

М. Ю. ЗАЙЧИК

НАЗАРИЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКАДАН
МАСАЛА ВА МАШҚЛАР
ТЎПЛАМИ

ҚАЙТА ИШЛАНГАН РУСЧА
БЕШИНЧИ НАШРИДАН ТАРЖИМА

*СССР Олий ва махсус ўрта таълим вазирлиги
техникумларининг электротехника ихтисосликлари
учун ўқув қўлланмаси сифатида тавсия этган*

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 1981

Ушбу масала ва машқлар тўплами техникумларнинг электротехника ихтисосликлари учун назарий электротехника программасига мослаштириб қайта ишланган.

Қўлланманинг ҳар бир бўлимида намуна масалалар ва уларнинг ечимлари берилган, уларда қўлланилган қонунлар ва формулалар тушунтирилган. Қўлланмада ечилган ҳамма масалаларга қўшимча саволлар жавоблари билан келтирилган. Бу савол-жавоблар масалаларнинг назарий материални тўлдирди, уларни ечишнинг турли усулларини кўрсатади ва ҳодисаларнинг физик моҳиятини тушунтиради. Ҳар бир бўлим охирида мустақил ечиш учун масалалар келтирилган.

Ушбу масалалар тўплами ўқитишнинг ҳамма турларига, шу жумладан, сиртдан ўқийдиганларга ҳам мўлжалланган.

На узбекском языке

Моисей Юрьевич Зайчик

СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Учебное пособие для электротехнических специальностей техникумов

Перевод с 5-го переработанного и дополненного издания «Энергия», М., 1978

УзССР | **Ташкент** — «*Ўқитувчи*» — 1981

Таржимон У. Ибрагимов

— Мухаррир Х. Шомуротов

Бадший муҳаррир Ф. Некқадамбев

Техн. муҳаррир Э. Вильданова, Н. Комиссарова

Корректорлар Н. Шукурова, П. Аъзамова

ИБ № 1466

Теринга берилди 17. 12. 80. Боснига оутсаг этилди 30. 08. 81. Формат 84x108¹/₁₆ д. Тип қоғози № 1, Кегли 10 пропиз. Оқори босма усулдан босилди. Шартла б. я 19,32. Нашр. л. Д. 4. Тиражи 4000. Зах. № 628. Баҳоси 75 т.

„Ўқитувчи“ нашриёти Ташкент Наъвий кўчаси, 30. (Шартнома № 30—80)

Ўзбекистон ССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат комитети Ташкент „Матбуот“ полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасининг полиграфия комбинати. Ташкент Ҳамза кўчаси, 21. 1981.

Илпография № 1 Ташкентского полиграфического производственного объединения „Матбуот“ : осуластвяного комитета УзССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, г. Ташкент. ул. Хамза 21.

© „Ўқитувчи“ нашриёти русчадан таржима. 1981.

3 $\frac{30306-220}{353(04)-61}$ 181—81 2302010000

РУСЧА НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Ҳавола қилинаётган тўпламдан кўзланган мақсад техникум ўқувчиларига электро-техникага оид масалалар ечиш усулларини ўрганишда ёрдам беришдир. Ўқув материалнинг ҳаммаси мукаммал ечилган намуна масалалар ва ҳар бир намуна масалага тегишли жавоблари билан тузилган кўшимча саволлар ёрдамида тушунтирилади. Ҳар бир бўлим охирида мустақил ечиш учун масалалар келтирилган.

Тўпламга қисман электромеханикадан, асосан эса, электротехника ва электроавтоматикадан олинган реал тематика асосидаги кўпгина масалалар ва қўшимча саволлар киритилган.

Тўпламнинг бешинчи наشري электротехниканинг назарий асослари курсининг ҳозирда қўлланилаётган программасининг талаблари, шунингдек, олдинги нашрига изҳор этилган вестаклар эътиборга олиниб, қайта ишланган. Шу мақсадларда тўртқутб-ликлар ва занжирларни ҳисоблаш усуллари ҳақидаги материал кенгайтирилди, резонанс ҳодисалари ҳақида янги боб яратилди, ўзгармас ва синусондал токнинг тармоқланмаган занжирларини ҳисоблаш ҳақидаги материал содалаштирилди, айлана диаграммалар ва узун чизиқлар олиб ташланди.

Янги нашрида намуна контрол масалалар (кўп бобларга) киритилди ва мустақил ечиш учун масалалар ҳажми бирмунча қисқартирилди.

Хат ва мулоҳазаларни муаллиф қуйидаги адресга юборишни илтимос қилади: 113114, Москва, М—114, Шлюзовая наб., 10. «Энергия» нашриёти.

Муаллиф

Бу китобнинг таржимаси туғрисидаги,
унда қабул қилинган терминалогия ҳақида-
ги фикр ва мулоҳазаларингизни қуйидаги
адресга юборишингизни илтимос қиламиз:

*Тошкент—129, Навоий 30. «Ўқитувчи»
нашриётининг умумтехника адабиёти
редакцияси.*

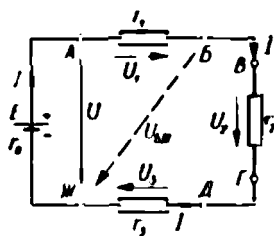
ЎЗГАРМАС ТОҚНИНГ ТАРМОҚЛАНМАГАН ЗАНЖИРИ

1-1. БИР ЭНЕРГИЯ МАНБАЛИ ЗАНЖИР

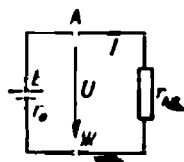
Масаланинг шarti

Занжирдаги (1-1- расм) аккумуляторлар батареясининг э. ю. кучи $E=37,5$ В, унинг ички қаршилиги $r_0=0,6$ Ом. Энергия истеъмолчилари қаршиликлари: $r_1=2,4$ Ом, $r_2=48$ Ом ва $r_3=7,2$ Ом бўлган резисторлардан иборат.

Занжирдаги токни, аккумуляторлар батареясининг ҳамда резисторларнинг қисмаларидаги кучланишларни, шунингдек, энергия манбаининг қуввати, унинг ф. и. к. ҳамда ҳамма истеъмолчиларнинг қувватларини ҳисобланг.



1-1- расм. Битта манбали ва бир нечта истеъмолчиси бўлган тармоқланмаган занжир.



1-2- расм. 1-1- расмдаги занжирнинг соддалаштирилган схемаси.

Масаланинг ечилиши

1. Занжирнинг актив ва пасив элементлари. Кўриб чиқилаётган электр занжирида икки хил қурилма бор: биринчидан, энергия манбаи—аккумулятор (актив элемент) ва, иккинчидан, энергия истеъмолчилари—қаршиликлари r_1 , r_2 ва r_3 бўлган резисторлар (пасив элементлар)¹.

2. Тармоқланмаган занжир ҳосил қилиш. Кўриб чиқилаётган занжир тармоқланмаган занжир бўлиб,

¹ Бундан кейин схемаларда резисторларнинг қаршиликларигина кўриб чиқилади, чунки занжирнинг қаршиликлардан тузилган эквивалент схемасигина анализ қилинади.

АБВГДЖ (1-1-расм) контурни ҳосил қилади. Бу демак, занжирни, масалан, бирор Γ нуқтадан соат стрелкаси ҳаракати йўналишида айланиб чиқилса, яна шу нуқтага фақат бир йўл билан қайтиб келиш мумкин.

3. Ток ўтиши. Ҳар қандай электр занжирда ва унинг исталган қисмида электр токи ўзининг қиймати ва йўналиши билан характерланади.

1-1-расмда берилган тармоқланмаган занжирдаги ток учун фақат биргина йўл бор: манбаининг «+» қисмасидан соат стрелкаси ҳаракати йўналишидадир. Бу йўлда ток ўзгармайди, шунинг учун ҳам занжирнинг ҳамма қисмларида бир хил (I билан) белгиланган.

Равшанки, қаралаётган занжирни ҳисоблашни унинг ҳамма қисмлари учун умумий бўлган токни аниқлашдан бошлаш маъқул.

4. Токни ҳисоблаш. Тармоқланмаган занжирдаги токни Ом қонунидан фойдаланиб ҳисоблаш мумкин:

$$I = \frac{E}{r_0} = \frac{E}{r_0 + r_{AJ}}, \quad (1-1)$$

бу ерда r_0 — бутун занжирнинг эквивалент қаршилиги, r_{AJ} — ток манбаининг A ва J қисмаларига нисбатан эквивалент қаршилиқ:

$$r_{AJ} = r_1 + r_2 + r_3 = 2,4 + 4,8 + 7,2 = 14,4 \text{ Ом},$$

чунки r_1 , r_2 ва r_3 қаршилиқлар кетма-кет уланган.

Занжирдаги r_1 , r_2 ва r_3 қаршилиқлар ўрнига $r_{AJ} = 14,4$ Ом қаршилиқни улаш (1-2-расм) ва 1-1, 1-2-расмлардаги занжирлар учун бир хил ток олиш мумкин:

$$I = \frac{E}{r_0 + r_{AJ}} = \frac{37,5}{0,6 + 14,4} = 2,5 \text{ А}.$$

Иккала схемада ҳам токнинг бир хил бўлиши берилган қаршилиқларни эквивалент қаршилиқ билан алмаштириш имконини беради.

5. Энергия манбаи қисмаларидаги кучланишни ҳисоблаш. Бу кучланишни (1-1) формуладан ёки қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$I r_{AJ} = E - I r_0.$$

Ҳосил қилинган тенгликнинг ҳар қайси қисмини кўриб чиқамиз. Унинг чап қисми $I r_{AJ} = U = 2,5 \cdot 14,4 = 36 \text{ В}$ бўлиб, у r_{AJ} қаршилиқдаги кучланишга тенг (1-2-расм) ва

бир вақтнинг ўзида энергия манбаининг A ва B қисмаларидаги кучланишга тенг. Бу кучланиш тенгламанинг ўнг томонидаги ифода билан, яъни э. ю. к. E ва кучланиш пасайиши $I r_0 = U_0$ орасидаги айирма билан аниқланади:

$$E - I r_0 = 37,5 - 2,5 \cdot 0,6 = 36 \text{ В} = U.$$

Шундай қилиб, энергия манбаи қисмаларидаги кучланиш э. ю. к. билан ички кучланиш пасайишининг айирмаси ёки занжирнинг ташқи қисмига уланган умумий қаршиликнинг токка кўпайтмаси билан ифодалаш мумкин.

6. Занжир ташқи қисмининг айрим қаршиликлари қисмаларидаги кучланишни ҳисоблаш. r_1 , r_2 ва r_3 қаршиликларнинг қисмаларидаги кучланиш ёки кучланиш пасайиши ҳам Ом қонунидан аниқланади:

$$U_1 = I r_1 = 2,5 \cdot 2,4 = 6,0 \text{ В};$$

$$U_2 = I r_2 = 2,5 \cdot 4,8 = 12,0 \text{ В};$$

$$U_3 = I r_3 = 2,5 \cdot 7,2 = 18,0 \text{ В}.$$

Уларнинг йиғиндиси $U_1 + U_2 + U_3 = 6 + 12 + 18 = 36 \text{ В}$, яъни $U_1 + U_2 + U_3 = U$.

7. Қувватни ва ф. и. к. ни ҳисоблаш. Қувватлар балансини тузиш. Энергия манбаи қуйидаги қувватни ҳосил қилади:

$$P_T = EI = 37,5 \cdot 2,5 = 93,75 \text{ Вт};$$

бу қувватнинг бир қисми

$$P_0 = U_0 I = 1,5 \cdot 2,5 = 3,75 \text{ Вт}$$

манбаининг ичида сарфланади; демак, манбадан занжирнинг ташқи қисмига бериладиган қувват

$$P = P_M - P_0 = 93,75 - 3,75 = 90 \text{ Вт}.$$

Худди шу қувват қуйидаги ифода билан ҳам аниқланади:

$$P = UI = 36 \cdot 2,5 = 90 \text{ Вт}.$$

P ва P_M қувватларни билган ҳолда энергия манбаининг фойдали иш коэффициентини аниқлаймиз:

$$\eta = \frac{P}{P_M} = \frac{90}{93,75} = 0,96, \text{ ёки } \eta = 96\%.$$

Манба бераётган P қувват r_1 , r_2 ва r_3 қаршиликларда қуйидагича тақсимланади: $P_1 = U_1 I = 6 \cdot 2,5 = 15,0 \text{ Вт}$ ёки шу қувватнинг ўзи $P_1 = I^2 r_1 = 6,25 \cdot 2,4 = 15,0 \text{ Вт}$; шунга

ўхшаш $P_2 = I^2 r_2 = 6,25 \cdot 4,8 = 30$ Вт ва $P_3 = I^2 r_3 = 6,25 \cdot 7,2 = 45$ Вт.

Энергиянинг сақланиш қонунидан манба бераётган қувват айрим истеъмолчилар қувватларининг йиғиндисига тенг, яъни қувватлар баланси уринли эканлиги келиб чиқади. Ҳақиқатан ҳам,

$$P = 90 \text{ Вт ва } P_1 + P_2 + P_3 = 15 + 30 + 45 = 90 \text{ Вт.}$$

Электр занжирларини ҳисоблашда ҳисоблашлар тўғрисидаги тегишли текшириш учун қувватлар балансидан фойдаланиш мумкин. Шунинг учун масала шартда қувватлар балансини тузиш талаб қилинмаган тақдирда ҳам уни тузиш фойдалидир.

Масалага қўшимча саволлар

1. Занжирнинг B ва J нуқталари орасидаги кучланишни қандай ҳисоблаш мумкин? Бу U_{BJ} кучланишни (1-1-расмда пунктир стрелка билан кўрсатилган) бир неча усуллар билан аниқлаймиз. Юқорида масалани ечишда кўрсатилганидек, Ом қонунидан фойдаланиб:

$$U_{BJ} = (r_2 + r_3)I = (4,8 + 7,2) \cdot 2,5 = 30 \text{ В}$$

ни оламиз.

Худди шу кучланишни қуйидаги йўда орқали ҳам ҳисоблаш мумкин:

$$U_{BJ} = U_2 + U_3 = 12 + 18 = 30 \text{ В.}$$

Амалда масала ечишда (1-2) тенгламадан фойдаланишга асосланган бошқа йўл ҳам қўлланилади. Буни бизнинг шартимизга қўллаемиз

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = U_1 + U_{BJ},$$

бундан

$$U_{BJ} = U - U_1 = 36 - 6 = 30 \text{ В.}$$

2. Нима учун амалда, кўпинча, манба қисмларидаги э. ю. к. эмас, балки унинг кучланиши берилади? Кўпгина энергия манбаларининг ички қаршиликлари улар таъминлайдиган занжирларнинг эквивалент қаршилигига нисбатан анча кичикдир. Масалан, бизнинг ҳолда

$$r_0 = 0,6 \text{ Ом} \ll r_{AJ} = r_1 + r_2 + r_3 = 14,4 \text{ Ом.}$$

$r_0 \ll r_{AJ}$ шартдан $I r_0 \ll I r_{AJ}$ эканлиги келиб чиқади, яъни манбанинг ички кучланиш пасайиши $I r_0 = U_0$ унинг

қисмларидаги кучланиш $I r_{\text{ЛЖ}} - U$ га нисбатан жуда кичик бўлганлиги сабабли U_0 ни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Бунда

$$U = E - r_0 I = E - U_0 \approx E.$$

Энергиянинг бундай манбалари электр юритувчи куч манбалари (э. ю. к. манбалари) дейилади, $r_0 = 0$ бўлганда эса э. ю. к. нинг идеал манбалари дейилади. Э. ю. к. нинг идеал манбаларидан фойдаланилганда, одатда, манба қисмларидаги кучланиш берилади.

3. Агар занжирдаги r_2 қаршилик узилиб қолса, вольтметрлар (1-3-расм, а) нимани кўрсатади? Занжирнинг r_2 қаршилиги узилиб қолса, ёки масалан, В қисмада уни узиб қўйилса (1-3-расм, а) занжир узилиб қолган бўлади. Вольтметрларнинг ички қаршиликларини r_1, r_2 ва r_3 қаршиликларга нисбатан анча катта деб оламиз, амалда шундай бўлади ҳам, бунда V_2 вольтметрдан ўтувчи ток ҳисобга олинмаслиги мумкин (1-3-расм, а) ва занжирнинг ҳамма қисмларида ток бўлмайди. Бунда V_1 ва V_3 вольтметрлар нолни кўрсатади.

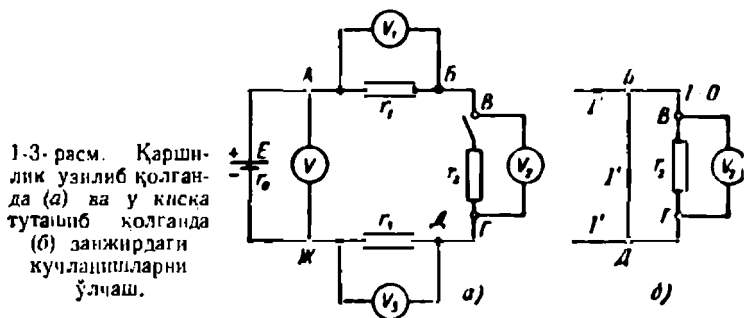
V вольтметр манба қисмларидаги V кучланишни кўрсатади, занжирда ток бўлмаганда ($I=0$) бу кучланиш $U = -E - I r_0 = E - 0 \cdot r_0 = E$ га тенг бўлади, яъни бу вольтметр манбанинг э. ю. к. нини ўлчайди.

V_2 вольтметр

$$U_2 = U - U_1 - U_3 = U - 0 - 0 = U$$

кучланишни кўрсатади, яъни бу вольтметр ҳам манба қисмларидаги, айни ҳолда э. ю. к. E га тенг бўлган кучланишни кўрсатади.

Бунга бошқача ҳам ишонч ҳосил қилинса бўлади. Олинган шартларимизда $U_1 = 0$ ва $U_3 = 0$. Шунга мувофиқ по-



тенциаллар айирмаси $\varphi_A - \varphi_B = U_1 = 0$ ва $\varphi_G - \varphi_{Ж} = U_3 = 0$, бундан $\varphi_B = \varphi_A$ ва $\varphi_G = \varphi_{Ж}$ эканлиги келиб чиқади, потенциаллар айирмаси $\varphi_A - \varphi_{Ж}$ (кучланиш U) эса потенциаллар айирмаси $\varphi_B - \varphi_G$ (кучланиш U_2) га тенг бўлади, яъни $U = U_2$.

4. *Б* ва *Д* қисмалар қисқа туташганда (1-3-расм, б) асбобларнинг кўрсатиши қандай ўзгаради? Занжирнинг *Б* ва *Д* нуқталар орасидаги қисқа туташуви *Б* ва *Д* қисмаларнинг бевосита туташуви (металл қисмаларнинг тегиб қолишидан) ёки бу қисмаларни қаршилиги жуда кичик (нолга яқин) $r_{БД} = 0$ ўтказгич билан (1-3-расм, б) туташтириш натижасида юзага келиши мумкин.

Қисқа туташуви натижасида занжирдаги ток:

$$I' = \frac{E}{r_0 + r_{АЖ}} = \frac{E}{r_0 + r_1 + r_{БД} + r_3} = \frac{37,5}{0,6 + 2,4 + 7,2} = 3,68 \text{ A} > I = 2,5 \text{ A}.$$

Б ва *Д* қисмалар орасида бу токнинг ҳаммаси токка қаршилиқ кўрсатмайдиган ўтказгичдан ўтади. Натижада r_2 қаршилиқда ток бўлмайди, яъни r_2 қаршилиқда кучланиш пасайиши нолга тенг бўлади ва V_2 вольтметр нолини кўрсатади, шунинг учун V_1 ва V_3 вольтметрлар каттароқ кучланишни кўрсатади. Занжирда ток ортгани сабабли манба қисмаларидаги кучланиш $U = E - I'r_0$ камаяди.

1-2. БИР НЕЧА Э. Ю. К. ЛИ ЗАНЖИР. «ГЕНЕРАТОР» ВА «ИСТЕЪМОЛЧИ» РЕЖИМИДАГИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

Масаланинг шарти

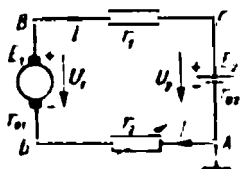
Ички қаршилиги $r_{02} = 0,05$ Ом бўлган аккумуляторлар батареяси разрядланган (бошланғич) ҳолатда $E_{200\text{м}} = 18$ В э. ю. к. га эга. Батарея ички қаршилиги $r_{01} = 0,75$ Ом ва занжиридаги э. ю. кучи $E_1 = 122$ В бўлган ўзгармас ток генераторидан $I = 8$ А ток билан зарядланади. Занжирга (1-4-расм) ўзгармас қаршилиқ $r_1 = 8$ Ом ва ростланадиган қаршилиқ r_2 уланган; зарядланиш охирида аккумуляторлар батареясининг э. ю. кучи $E_{20\text{х}} = 26$ В.

Энергия манбаларининг иш режимлари ва аккумуляторлар батареясининг зарядланиш бошида ва охирида r_2 қаршилиқ аниқлансин.

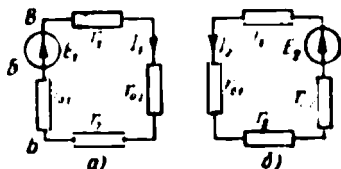
Масаланинг ечилиши

1. Занжирнинг характеристикаси. Бу занжир ҳам (1-4-расм) аввалги (1-1-расм) занжир каби тармоқланмаган ёки бир контурли занжирдир. Олдингисидан фарқли

равишда бу занжирда иккита энергия манбаи бўлиб, у зармас I токда ишлайди, бу режим r_2 ўзгарувчан қаршилиқни (1-4-расм) ростлаш йўли билан амалга оширилади. Аккумуляторлар батареяларини зарядлашда ана шундай режимга эришишга интиладилар. Умумий ҳолда энергия манбалари бир нечта бўлган занжирлар ҳар хил тоқларда ҳам ишлаши мумкин.



1-4- расм. Аккумуляторлар батареясини зарядлаш схемаси



1-5- расм. 1-4- расмдаги схемадан E_2 э.ю.к. ни (а) ёки E_1 ни (б) чиқариб ташлангандаги занжир схемаси.

2. Токни ҳисоблашда устлаш усулини қўллаш. Бу усулга биноан занжирдаги токни айрим манбалар ҳосил қиладиган тоқларнинг алгебраик йигиндиси сифатида аниқлаш мумкин.

Дастлаб схемада фақат битта э. ю. к., масалан, E_1 ни (1-5- расм) қолдирамиз ва у ҳосил қиладиган токни аниқлаймиз:

$$I_1 = \frac{E_1}{\Sigma r},$$

бу ерда Σr — занжир қаршилиқларининг йигиндиси, яъни бизнинг ҳолда:

$$\Sigma r = r_{01} + r_1 + r_2 + r_{02}.$$

Сўнгра схемада фақат иккинчи э. ю. к. E_2 ни қолдирамиз (1-5- расм) ва токни аниқлаймиз:

$$I_2 = \frac{E_2}{\Sigma r}.$$

I_1 ва I_2 тоқлар (1-5- расм, а, б), баъзан қисм тоқлари дейилади, чунки улар бир вақтда иккала э. ю. к. таъсири натижасида ҳосил қилинадиган токнинг қисмларидир (1-4-расм). I_1 ва I_2 тоқлар бир-бирига қарама-қарши йўналганлиги сабабли берилган занжирдаги ток:

$$I = I_1 - I_2 = \frac{E_1 - E_2}{\Sigma r}.$$

Демак, бир нечта манбали тармоқланмаган занжирдаги ток э. ю. к. лар алгебраик йиғиндисининг занжирнинг умумий қаршилигига нисбатига тенгдир.

3. Манбаларнинг режимлари. Агар манбанинг э. ю. кучи ток билан бир хил йўналишда бўлса (бизнинг ҳолда E_1 э. ю. к.), бундай манба тўғри уланган манба ёки «генератор режимида» ишлайдиган манба дейилади. Бундай манбанинг қисмаларида (1-4- расм B ва B нуқталар орасида) кучланиш

$$U_1 = E_1 - r_{01} \cdot I$$

ёки бизнинг шартларда $U_1 = 122 - 0,75 \cdot 8 = 116$ В.

Агар манбанинг э. ю. кучи токка тескари йўналган бўлса (бизнинг ҳолда E_2 э. ю. к.), бундай манба қарама-қарши уланган дейилади. Бу манба занжирда токни камайтиради (I ток I_1 қисм токидан кичик) ва «энергия истеъмолчиси режимида» бўлади. Бундай манбанинг қисмаларидаги (1-4- расм, Γ ва A нуқталар орасида) кучланиш

$$U_2 = E_2 + r_{02} I.$$

Берилган аккумулятор батареяси учун зарядланиш бошланишида кучланиш $U_{2\text{ бош}} = 18 + 0,05 \cdot 8 = 18,4$ В, зарядланиш охирида эса кучланиш $U_{2\text{ ох}} = 26 + 0,05 \cdot 8 = 26,4$ В.

Демак, генератор режимида манбанинг қисмаларидаги кучланиш э. ю. к. дан кичик, истеъмолчи режимида эса ички қаршилиқдаги кучланиш пасайиши $r_0 \cdot I$ қадар каттадир.

4. r_2 қаршилиқнинг ўзгариш чегараларини ҳисоблаш. Юқорида кўрсатилганидек, занжирдаги ток

$$I = (E_1 - E_2) / \Sigma r,$$

бундан

$$\Sigma r = (E_1 - E_2) / I.$$

Зарядланиш бошланишида зарур бўлган қаршилиқ:

$$(\Sigma r)_{\text{бош}} = \frac{E_1 - E_{2\text{ бош}}}{I} = \frac{122 - 18}{8} = 13 \text{ Ом}$$

ёки

$$r_{2\text{ бош}} = (\Sigma r)_{\text{бош}} - (r_{01} + r_{02} + r_1) = 13 - 8,8 = 4,2 \text{ Ом.}$$

Зарядланиш охирида, шунга ўхшаш:

$$(\Sigma r)_{\text{ох}} = \frac{E_1 - E_{2\text{ ох}}}{I} = \frac{122 - 26}{8} = 12 \text{ Ом}$$

ёки

$$r_{2\text{ок}} = (\sum r)_{\text{ок}} - (r_{01} + r_{02} + r_1) = 12 - 8,8 = 3,2 \text{ Ом}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Қувватлар балансини тузишда энергия манбаининг режими қандай ҳисобга олинади? Генератор режимида ишлаётган манба занжирга энергия беради. Истеъмолчи режимида ишлаётган манба (бизнинг ҳолда аккумуляторлар батареяси) бошқа истеъмолчилар қаторига киритилади. Ҳақиқатан ҳам, кўрилаётган занжир учун (1-4- расм) генераторнинг занжирга бераётган қуввати, масалан, зарядланиш бошида

$$P_1 = U_1 I = 116 \cdot 8 = 928 \text{ Вт}$$

бўлиб, шу режимдаги ҳамма истеъмолчиларнинг қувватларига тенг:

$$\begin{aligned} P_{r1} + P_{r2} + P_2 &= r_1 I^2 + r_{2\text{общ}} \cdot I^2 + U_2 I = \\ &= 8 \cdot 64 + 4,2 \cdot 64 + 18,4 \cdot 8 = 928 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

2. Салт ишлаш режимида генератор ва аккумуляторлар батареясининг кучланиши қандай ўзгаради (ортадими ёки камаядими)? Бундай режим, масалан, генератор ёки аккумуляторни занжирдан узиб қўйилганда вужудга келиши мумкин (1-4- расм). Бу ҳолда манбаларда ток бўлмайди ва уларнинг кучланиши ўзларининг э. ю. к. ларига тенг бўлади, яъни

$$U_1 = E_1, \quad U_2 = E_2.$$

Биринчи манба генератор режимида ($E_1 > U_1$), иккинчиси истеъмолчи режимида ишлаётганлиги учун ($E_2 < U_2$) генераторнинг кучланиши ортади, аккумуляторники эса камаяди.

1-3. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИ НУҚТАЛАРИНИНГ ПОТЕНЦИАЛИ, ПОТЕНЦИАЛ ДИАГРАММА

Масаланинг шarti

1-4- расмда берилган занжирнинг ҳамма нуқталарининг потенциаллари ҳисоблансин ва зарядланиш режимининг охири учун 1-2- § да олинган сонларга тегишли потенциал диаграмма қурилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Электр занжири нуқтасининг потенциали. Потенциал, ноль қийматга эга бўлган нуқтага, яъни санок боши нуқтасини танлашга боғлиқ бўлган катталиклар

қаторига киради. Температура, масалан, шундай катталиклар қаторига киради (маълумки, ноль қиймати турлича бўлган бир неча температура шкаласи бор).

Шунинг учун баъзи ҳолларда занжирда потенциали нол бўлган нуқта, масалан, A нуқта (1-4- расм) бор деб ҳисоблаш қулай. Бундай нуқта 1-4- расмда кўрсатилганидек белгилади ва баъзан қурилмани ерга улайдиган симга ёки асбоб корнусига уланади.

Бу ҳолда Γ ва A нуқталар (1-4- расм) орасидаги потенциаллар айирмаси ёки кучланиш $U_{\Gamma A} = \varphi_{\Gamma} - \varphi_A = \varphi_{\Gamma}$, чунки A нуқтанинг потенциалини $\varphi_A = 0$ деб қабул қилганмиз.

Шундай қилиб, занжирнинг бирор Γ нуқтасининг потенциали шу нуқта билан потенциали нолга тенг деб қабул қилинган A нуқта орасидаги кучланиш ($U_{\Gamma A}$) га тенгдир.

2. Потенциаллар ишораларини аниқлаш. Занжирнинг икки хил қисмини кўриб чиқамиз. Биринчидан, фақат қаршиликка эга бўлган қисминин (масалан, 1-4- расм, AB қисми). Занжирнинг бундай қисми (A ва B нуқталари) чегараларида потенциаллар ишораси ток йўналиши билан аниқланади. Маълумки, қаршиликдаги ток потенциали катта бўлган нуқтадан потенциали кичик нуқтага йўналган. Шунга биноан кўрсатилган қисм учун $\varphi_A > \varphi_B$. Лекин

$$\varphi_A - \varphi_B = U_{AB} = r_2 I,$$

бундан $\varphi_B = \varphi_A - U_{AB}$ ёки $\varphi_A = 0$ бўлса, $\varphi_B = -U_{AB} = -r_2 I$ ни оламиз.

Иккинчидан, фақат э. ю. к. га эга бўлган қисмини (масалан, 1-5- расм, а, $B'B$ қисми). Бу ҳолда потенциаллар ишораси манба э. ю. кучининг йўналиши билан аниқланади. Манбанинг «+» қисмасининг потенциали (исталган токда) «-» қисмасининг потенциалидан донм катта, яъни занжирнинг шу қисми учун $\varphi_B > \varphi_{B'}$. Лекин $\varphi_B - \varphi_{B'} = E_1$, бундан $\varphi_B = \varphi_{B'} + E_1$

3. Потенциалларни ҳисоблаш. A нуқта учун (1-4-расм) потенциал $\varphi_A = 0$ қабул қилинган. Шу шарт асосида, юқорида кўрсатилганидек, B нуқтанинг потенциали $\varphi_B = -r_2 I$ ифода билан аниқланади ёки биз 1-2- § да олган (аккумулятор зарядланиш режими охирида) маълумотлар асосида:

$$\varphi_B = -r_{2\text{ox}} I = -3,2 \cdot 8 = -25,6 \text{ В га эга бўламиз.}$$

Занжирнинг бошқа, масалан, B нуқтанинг потенциалини

аниқлаш учун ҳисобланган потенциал $\varphi_B = -25,6 \text{ В}$ ва BF қисми қисмаларидаги кучланишдан, яъни U_1 кучланишдан (1-4- расм) фойдаланамиз. Бу кучланиш олдинги масалада ҳисобланган эди: $U = 116 \text{ В}$.

B нуқта генераторнинг «+» қисмасига уланганлиги учун унинг потенциали $\varphi_B > \varphi_B$. Шунинг учун

$$\varphi_B = \varphi_B + U_1 = -25,6 + 116 = 90,4 \text{ В}$$

га эга бўламиз.

$\varphi_B = 90,4 \text{ В}$ потенциални билган ҳолда кейинги Γ нуқтанинг потенциали φ_Γ ни ҳисоблаймиз. r_1 қаршилиқдаги ток B нуқтадан Γ нуқтага йўналганлиги учун уларнинг потенциаллари $\varphi_\Gamma < \varphi_B$ тенгсизлик орқали боғланган, шунинг учун $\varphi_\Gamma = \varphi_B - r_1 I = 90,4 - 8 \cdot 8 = 26,4 \text{ В}$.

Ҳисоблаш тўғрилигини текшириш мақсадида, бизга маълум $26,4 \text{ В}$ потенциалдан ҳамма Γ ва A нуқталар орасида ҳисобланган (1-2- § да) кучланиш, яъни $U_{2\text{ох}} = 26,4 \text{ В}$ дан фойдаланиб, A нуқтанинг потенциалини аниқлаймиз. Бунда $\varphi_A < \varphi_\Gamma$ эканлигини ҳисобга олиб, қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$\varphi_A = \varphi_\Gamma - U_{2\text{ох}} = 26,4 - 26,4 = 0.$$

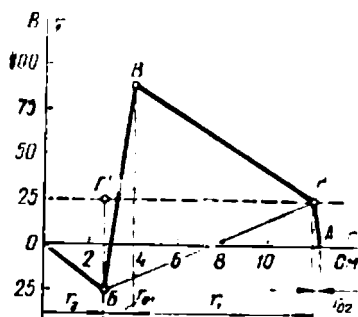
4. Потенциаллар диаграммасини қуриш. Занжирнинг турли нуқталари учун ҳисобланган потенциаллар қийматлари асосида потенциал диаграммасини қурамиз (1-6- расм).

X (ёки r) ўқига ҳамма қисмларнинг қаршилиқлари (r_2, r_{01}, r_1, r_{02}) ни олиб қўямиз. Улар юқорида кўрилган занжирдаги (1-4- расм) каби тартибда жойлашган.

r ўқи қаршилиқлар берк контурининг чизиқли ёйилмаси бўлгани учун бу ўқнинг бошида ва охирида фақат биргина A нуқта бўлади.

U (ёки φ) ўқига нуқталарнинг потенциаллари уларнинг ишораларини ҳисобга олган ҳолда мусбат потенциаллар r ўқидан юқорига, манфийлари ундан пастга қуйилади.

Занжирнинг бир неча қисмлари учун диаграмма қуришни кўриб чиқамиз. Масалан AB қисми учун четки нуқталарнинг потенциаллари $\varphi_A = 0$ ва $\varphi_B = -25,6 \text{ В}$ эди. Бу ҳол занжирнинг AB қисмида (1-4- расм) потенциал 0 дан $-26,4 \text{ В}$ гача камая боришини кўрсатади; бу 1-6-расмда AB чизиқ билан кўрсатилган.



1-6- расм. 1-4- расм бўйича занжирнинг потенциал диаграммаси.

Ички қаршилиги кичик, яъни $r_{01} = 0,75$ Ом бўлган энергия манбаи уланган $БВ$ қисмида (1-4-расм) $БВ$ потенциал чизиги (1-6-расм) r ўқига нисбатан 90° га яқин бурчак ҳосил қилиб жойлашади.

Потенциал диаграмманинг бошқа пккита $ВГ$ ва $ГА$ қисмлари ҳам юқоридаги каби қурилган. r_2 ва r_1 қаршиликлардан бир хил ток ўтганлиги сабабли $АБ$ ва $ВГ$ чизиқларнинг параллеллигини кўрсатиб ўтамыз.

Масалага қўшимча саволлар

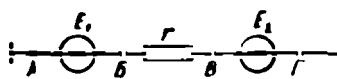
1. 1-4- расмдаги занжирнинг $Б$ ва $Г$ нуқталари орасидаги кучланиш қандай ҳисобланади? Бу ($U_{БГ}$) кучланишни $Б$ ва $Г$ нуқталарнинг маълум потенциаллари орқали аниқлаш осон:

$$\varphi_{БГ} = \varphi_{Б} - \varphi_{Г} = -25,6 - 26,4 = -52 \text{ В.}$$

Уни 1-6- расмдаги потенциал диаграммадан фойдаланиб, график усулда ҳам топиш мумкин, бунда $ГБ$ чизиқ $U_{БГ}$ кучланишни аниқлайди.

2. Потенциали ноль бўлган бошқа нуқтани танлаш потенциал диаграмма кўрнишига қандай таъсир қилади? Занжирнинг қисмларида потенциаллар (кучланишлар) айирмаси ўзгармайди, чунки улар э. ю. к., қаршиликлар ва тоқлар билан аниқланади (потенциали ноль бўлган нуқтани танлашга боғлиқ эмас). Ҳақиқатан ҳам, агар $\varphi_{Г} = 0$ деб олинса (1-4- расм), бу нарса r ўқнинг $Г$ нуқтага (1-6- расм, $ГГ'$ пунктир чизиқ) кўчиши билан баробар, бунда ҳамма нуқталарнинг потенциаллари $\varphi_{Г} = 26,4$ В қадар камаёди, потенциаллар айирмаси эса илгаригисича қолаверади. Демак, потенциалли ноль булган бошқа нуқтани танлаш r ўқнинг силжишига олиб келади.

3. Занжирнинг берк бўлмаган $АГ$ қисми нуқталарининг потенциаллари қандай ҳисобланади (1-7- расм)? Занжирнинг берк бўлмаган қисмида ток йўқ ($I=0$) $\varphi_{А} = 0$ деб қабул қилиб, $АБ$ қисми учун



$\varphi_B = \varphi_A + E_1 - E_1$ ни оламир.
 B ва B нуқталар орасидаги
 кучланиш

1-7-расм. Занжирнинг туташ-
 маган қисми.

$$U_{БВ} = \varphi_B - \varphi_B - rI = r \cdot 0 = 0,$$

$$\text{бундан } \varphi_B = \varphi_B = E_1$$

Манбанинг «—» қисмасидаги G нуқтанинг потенциали B
 нуқтанинг потенциалидан кичик, шунинг учун

$$\varphi_G = \varphi_B - E_2 = E_1 - E_2.$$

Шундай қилиб, занжирнинг берк бўлмаган қисмида
 потенциал ўзгариши фақат манба уланган жойлардагина
 кузатилади.

1-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

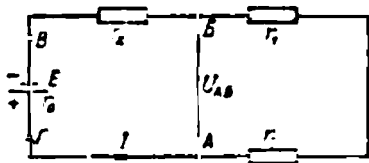
1. Ички қаршилиги $r_0 = 0,2$ Ом ва э. ю. кучи $E = 60$ В бул-
 ган манба тўртта қаршилик билан кетма-кет уланган: $r_1 = 1$ Ом,
 $r_2 = r_3 = 4$ Ом ва $r_4 = 0,8$ Ом. Электр схема тузилсин ва занжирдаги
 ток, ҳамма қаршиликлардаги кучланиш пасайиши, манба қисмларидаги
 кучланиш, шунингдек, манба томонидан ҳосил қилинадиган ва занжир-
 га бериладиган қувват ва ҳамма истеъмолчиларнинг қуввати аниқлан-
 син.

2. $E = 12$ В, $r_1 = 1,6$ Ом, $r_2 = 1,8$ Ом, занжирдаги ток эса
 $I = 3$ А. 1-8-расмда берилган электр занжирда r_x аниқлансин. Ман-
 банинг ички қаршилиги ҳисобга олинмасин.

3. n та электр лампочкалардан бири куйиб қолди (1-9-расм) ва
 ҳамма лампочкалар ўчди. Лампаларнинг баллони хира шишадан
 ясалгани сабабли, унинг ичидаги чўғланиш сими кўринмайди. Вольт-
 метр ёрдамида куйган лампочкани қандай аниқлаш мумкин?

4. Олдинги масалада берилган шартлар ўзгармаган ҳолда, куйган
 лампочкани электр ўлчаш асбобисиз қандай топиш мумкин?

5. Агар биринчи қаршилик қисмларида кучланиш $2,5$ В бўлса,
 $1,5$ марта пишқилик запасини таъминлаб, кетма-кет уланган $10, 15$ ва
 20 Ом қаршиликлар учун йўл қўйиладиган қувватлар танлансин.

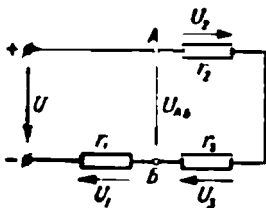


1-8-расм. 2- масалага.

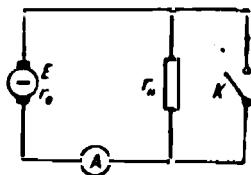


1-9-расм. 3- масалага.





1-10-расм. 7- масалага.
3- масалага.



1-11-расм. 8- масалага.

6. $E = 50,4$ В, $U_{AB} = 24$ В ва $r_0 = 2$ Ом, занжирдаги ток $I = 1,2$ А қаршилик (1-8-расм) қисмаларидаги кучланиш U_{BB} па r_x қаршилик аниқлансин.

7. Электр занжирида (1-10-расм) $U = 120$ В, $U_{AB} = 75$ В, $r_1 = 9$ Ом ва $r_2 = r_3$. U_1 , U_2 ва U_3 кучланиш пасайишлари, шунингдек, r_2 қаршилик аниқлансин.

8. Калит (1-11-расм) очки бўлганда амперметр 5 А ни ва ёпилганда 50 А ни (қисқа туталиш токни) кўрсатади. Манба ички қаршилигининг нагрзука қаршилиги $r_{кю}$ га инсбати аниқлансин

9. 1-12-расмдаги электр занжиридаги калит ёпилганда вольтметр 18 В ни, очилганда 56 В ни кўрсатади. $r_1 = 54$ Ом, $r_2 = 18$ Ом, $r_3 = 36$ Ом. Манбанинг ички қаршилиги аниқлансин.

10. Сигими 360 А-соат булган 60 элементдан тузилган аккумуляторлар батареяси 8 соат давомнда кучланиши 220 В булган узгармас ток генераторидан зарядланади. Зарядланиш бошланишида ҳар бир элементнинг э. ю. к. и 1,8 В, охирида эса 2,7 В. Зарядловчи ток ва зарядловчи токнинг бир хилда туришини таъминловчи реостат қаршилигининг ўзгарши чегаралари аниқлансин. Аккумуляторларнинг ички қаршилиги ҳисобга олинмасин.

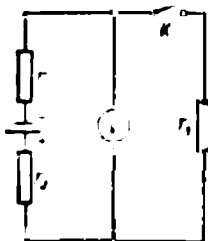
11. Ички қаршилиги 4 Ом, қисмаларидаги кучланиш $U = 60$ В (5 А токда) булган тўғрилагичга реостат орқали аккумуляторлар батареяси уланган. Зарядланиш бошида ва охирида ток қиймати мос ҳолда 5 А ва 2 А га тенг, реостатнинг қаршилиги 4,8 ва 9,0 Ом. Аккумуляторлар батареясининг қисмаларидаги кучланиш аниқлансин ва зарядланиш режимининг бошланиши ва охири учун қувватлар баланси тузилсин.

12. 1-13-расмда тасвирланган электр занжирида шу занжир қисмларидаги ток ва кучланишлар, шунингдек, манбалар ва истеъмолчилар қуввати аниқлансин; қувватлар баланси тузилсин. Берилган: $E = 48$ В; $E_2 = 24$ В; $r_1 = 10$ Ом; $r_2 = 28$ Ом; $r_{01} = r_{02} = 1$ Ом. Манбаларнинг ишлаш режимлари аниқлансин.

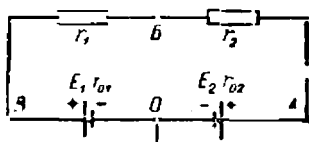
13. Олдинги масаладаги шартлар асосида занжирни худди шундай ток билан таъмин қиладиган битта (эквивалент) манбанинг э. ю. кучи ва ички қаршилиги аниқлансин.

14. 12-масалада кўрилган занжир учун потенциал диаграмма кўрилсин.

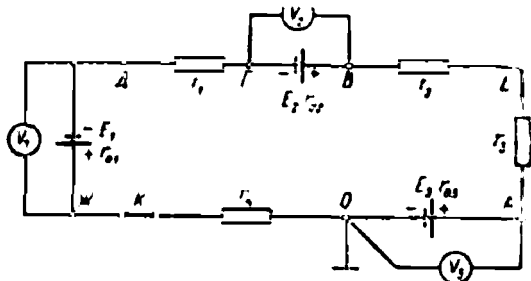
15. Агар $E_1 = 24$ В, $E_2 = 60$ В, $E_3 = 12$ В бўлса, калит K узик қўйилганда (1-14-расм) вольтметрларнинг курсатиши қандай ўзгаради (ортадими ёки камайdimи)?



1-12- расм. 9- масалага.



1-13- расм. 12- масалага.



1-14- расм. 15 ва 16- масалаларга.

16. 1-14- расмдаги схемада $E_1 = E_2 = 12$ В; $E_3 = 30$ В; $r_1 = r_2 = 5$ Ом; $r_{01} = 2$ Ом; $r_{02} = r_{03} = 0$; $r_3 = 20$ Ом; калит ёпиқ (схемада кўрсатилганидек). Схемада белгиланган ҳамма нуқталарнинг потенциаллари ҳисоблансин ва контурни айланиб чиқишнинг ҳамма холлари учун (соат стрелкаси ҳаракати йўналишида ва унга тескари йўналишда) потенциал диаграммалар курлсин.

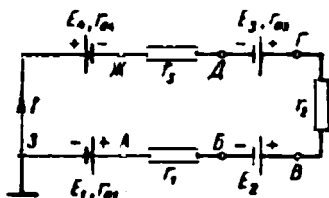
17. Олдинги масалада кўрилган занжирда калит K узилган ҳол учун схемада белгиланган ҳамма нуқталарнинг потенциаллари ҳисоблансин ва занжирнинг потенциал диаграммаси қўрилсин.

1-5. НАМУНА КОНТРОЛ МАСАЛА

1-5-расмдаги занжирда ҳамма э. ю. к. лар, қаршилиқлар маълум: $E_1 = 9$ В; $E_2 = E_3 = 3$ В; $E_4 = 15$ В; $r_1 = 28$ Ом; $r_2 = 7,5$ Ом; $r_3 = 20$ Ом; $r_{01} = r_{04} = 2$ Ом; $r_{03} = 0,5$ Ом. Иккинчи (э. ю. кучи E_2 булган) манбанинг ички қаршилиғи $r_{02} = 0$ деб олинган.

Шу берилганлар асосида занжирда $I = 0,4$ А токка эгамиз.

Вариантлар бўйича (1-1- жадвал) занжир икки нуқтасининг потен-



1-15- расм. Намунали контрол масалага.

иаллари шу жазвалда кўрсатилган учинчи нуқтанинг потенциални нолга тенг деб олиб аниқлансин. Потенциалларни ҳисоблашда масала шартида берилганлардан фойдаланилсин.

1-1- жадвал

	Вариантлар						
	1	2	3	4	5	6	7
Ноль потенциал- ли нуқта	Э	А	Б	В	Г	Д	Ж
Номаълумлар	$\Phi_A; \Phi_B$	$\Phi_B; \Phi_V$	$\Phi_B; \Phi_\Gamma$	$\Phi_\Gamma; \Phi_D$	$\Phi_D; \Phi_{Ж}$	$\Phi_{Ж}; \Phi_З$	$\Phi_З; \Phi_A$
	Вариантлар						
	8	9	10	11	12	13	14
Ноль потенциал- ли нуқта	Э	Ж	Д	Г	В	Б	А
Номаълумлар	$\Phi_{Ж}; \Phi_D$	$\Phi_D; \Phi_\Gamma$	$\Phi_\Gamma; \Phi_B$	$\Phi_B; \Phi_A$	$\Phi_A; \Phi_З$	$\Phi_З; \Phi_{Ж}$	

1-6. БИРИНЧИ БОБ МАСАЛАЛАРИ УЧУН ЖАВОБЛАР

1. 6 А; 1,2 В; 6 В; 24 В; 24 В; 4,8 В; 58,8 В; 360 Вт; 352,8 Вт; 36 Вт; 144 Вт; 28,8 Вт.

2. 0,6 Ом

3. Қўлган лампа қисмларида вольтметр U кучланишини, қолганларида эса нолни кўрсатади.

4. Қолган лампалар ёнмагунча ўтказгич билан бир чеккадан ҳар бир лампа қисмларини туташтириб чиқиш керак.

5. 0,94 Вт (1 Вт); 1,4 Вт (1,5 Вт); 1,87 Вт (2,0 Вт).

6. 24 В; 20 Ом.

7. 45 В; 37,5 В; 37,5 В; 7,5 Ом.

8. $r_0; r_H = 1:9$.

9. 4 Ом

10. 45 А; 2,45 дан 1,29 Ом гача.

11. 36 В; 54 В; 400 = 180 + 220 (Вт); 160 = 108 + 52 (Вт).

12. 0,6 А; 24,6 В; 16,8 В; 47,4 В; 14,76 Вт; 10,08 Вт; 3,6 Вт; 28,8 Вт;

E_1 — манба, E_2 — истеъмолчи.

13. 24 В; 2 Ом.

14. $\Phi_A = 24,6$ В; $\Phi_B = 47,4$ В; $\Phi_B = 41,4$ В.

15. U_2 ошади, U_1 на U_2 камаяди.

16. $\Phi_A = 30$ В; $\Phi_B = 20$ В; $\Phi_B = 15,5$ В; $\Phi_\Gamma = 3,5$ В; $\Phi_D = -1,0$ В, $\Phi_{Ж} = 10$ В.

17. $\Phi_A = \Phi_B = \Phi_V = 30$ В; $\Phi_\Gamma = \Phi_D = 28$ В; $\Phi_{Ж} = 30$ В.

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7
Потенциаллар, В	8,2	-11,2	3,0	-3,0	-3,2	-8,0	14,2
	3,0	8,2	0	-6,2	-11,2	6,2	22,4
Вариант №	8	9	10	11	12	13	14
Потенциаллар, В	-14,2	8,0	3,2	3,0	-3,0	11,2	-8,2
	-6,2	11,2	6,2	0	8,2	3,0	-22,4

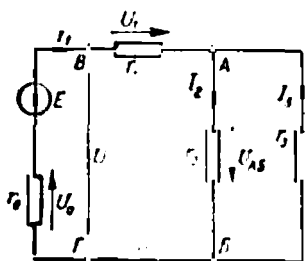
ИККИНЧИ БОБ
ЎЗГАРМАС ТОКНИНГ БИР ЭНЕРГИЯ МАНБАЛИ
ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИРИ

2-1. Э. ю. к. МАНБАДАН ТАЪМИНЛАНАДИГАН ИККИ ТУГУНЛИ
ЗАНЖИР. ЗАНЖИРНИ ҲИСОБЛАШ

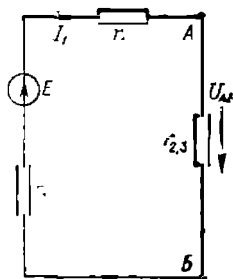
Масаланинг шarti

Э. ю. кучи $E = 120$ В ва ички қаршилиги $r_0 = 2$ Ом бўлган манба занжирга (2-1- расм) уланган, занжир $r_1 = 18$ Ом, $r_2 = 100$ Ом, $r_3 = 150$ Ом.

Занжирнинг ҳамма қисмларида ток, истеъмолчилар ва манба қисмларидаги кучланишлар, шунингдек, манбанинг ва ҳамма истеъмолчиларнинг қуввати ҳисоблансин.



2-1- расм. Кучланиш манба-
ли тармоқланган занжир.



2-2- расм. Занжирнинг
содалаштирилган
схемаси.

Масаланинг ечилиши

1. Э. ю. к. манбан. Бу масалада ҳам, бундан аввалги ҳамма масалалардаги каби, э. ю. кучи ва ички қаршилиги билан характерланадиган энергия манбаидан фойдаланилади. Бундай манба э. ю. к. манбаи дейилади.

1-1-§, 1-2-§ да кўрсатилганидек, э. ю. к. манбаи занжирни ток билан, истеъмолчиларни энергия билан таъминлайди, ички қаршилиги эса манбанинг ўзида исроф бўладиган энергияни характерлайди.

Манбада энергия исрофини камайтириш учун ички қаршилиги, одатда, занжирнинг ташқи қисми қаршилигига қараганда анча кичик қилиб танланади. Олдинги масалаларда фойдаланилган ҳамма энергия манбалари (аккумуляторлар, генераторлар ва бошқалар) бу шартни қаноатлантиришларини эслатиб ўтади.

Амалда, кўпинча, манбанинг нисбатан кичик ички қаршилигини ҳисобга олмаслик имкониятига ҳам эга бўлинади. Бундай манбалар (ички қаршиликсиз) э. ю. кучнинг идеал манбалари ҳисобланади. Амалда баъзан улар кучланиши берилган манбалар дейилади.

Демак, э. ю. к. манбаини амалда кучланиши берилган манбалар деб ҳисоблаш мумкин.

2. Занжир тоқлари. Занжирнинг э. ю. к. манбаи ва кетма-кет уланган икки r_1 ва r_2 қаршиликларидан тузилган тармоқланмаган ҳамма қисмида ток бир хил I_1 қийматга эга бўлади (2-1-расм). Бу ток A тугун нуқтада I_2 ва I_3 тоқларга тармоқланади. Бу тоқлар B тугун нуқтада қўшилади ва яна янгидан I_1 токни ҳосил қилади. Бунда Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича $I_1 = I_2 + I_3$, бу ҳол A тугун ва B тугун учун ҳам тўғридир.

3. Занжирнинг умумий қаршилигини ҳисоблаш. Схемани соддалаштириш. Схеманинг айрим қисмларидаги кетма-кет ва параллел уланган қаршиликларни уларнинг умумий қаршиликлари билан алмаштириб, схемани соддалаштириш, бошқача айтганда, схемани «йиғиштириш» мумкин.

Схемани соддалаштиришда нимага интилиш керак? Мақсад ҳисоблаш йўли маълум бўлган оддий тармоқланмаган занжир ҳосил қилишдир.

Бунинг учун r_2 ва r_3 қаршиликларни уларнинг умумий қаршилиги билан алмаштирамиз:

$$r_{2,3} = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} = \frac{100 \cdot 150}{100 + 150} = \frac{15000}{250} = 60 \text{ Ом.}$$

Бундай алмаштиришдан сўнг оддий тармоқланмаган занжир ҳосил бўлади (2-2- расм).

4. Токларни ва кучланишларни ҳисоблаш. Токлар қандай кетма-кетликда ҳисобланади? Энг аввал соддалаштирилган схемадаги токни аниқлаймиз (2-2- расм):

$$I_1 = \frac{E}{r_0 + r_1 + r_{2,3}} = \frac{120}{2 + 18 + 60} = 1,5 \text{ A,}$$

сўнгра дастлабки схемага ўтамиз (2-1- расм), аввал кўрсатилганидек, бу схема учун

$$I_2 + I_3 = I_1 \quad (2-1)$$

ёки

$$I_2 + I_3 = 1,5 \text{ A.} \quad (2-2)$$

Бошқа томондан, параллел шохобчаларда тоқлар шохобчаларнинг қаршилиқларига тескари пропорционал ёки

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{r_3}{r_2} = \frac{150}{100} = 1,5 \quad (2-3)$$

(чунки $U_{BA} = r_2 I_2 = r_3 I_3$), бундан

$$I_2 = 1,5. \quad (2-4)$$

(2-2) тенгламадаги I_2 токни унинг (2-4) даги қиймати билан алмаштириб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$1,5 I_3 + I_3 = 1,5 \text{ ёки } I_3 = 1,5 \cdot 2,5 = 0,6 \text{ A.}$$

Ҳамма қаршилиқларда кучланиш пасайишини аниқлаймиз (2-1- расм):

$$U_1 = r_1 I_1 = 18 \cdot 1,5 = 27 \text{ В;}$$

$$U_0 = r_0 I_1 = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ В;}$$

$$U_{AB} = r_2 I_2 = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ В.}$$

Манбанинг ВГ қисмларидаги кучланиш:

$$U = E - U_0 = 120 - 3 = 117 \text{ В.}$$

Демак, тоқлар ва кучланишларни ҳисоблашни соддалаштирилган схемадан берилган схемага кетма-кет ўтиши йўли билан олиб борамиз.

Тоқлар ва кучланишларнинг тўғри ҳисобланганлиги қандай текширилади?

Бунинг учун Кирхгоф қонунларидан фойдаланиш мумкин.

Токларнинг олинган қийматлари Кирхгофнинг биринчи қонунини қондира олади, чунки

$$I_2 + I_3 = 0,9 + 0,6 = 1,5 \text{ A} = I_1.$$

Натижани Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида текшириб кўрамиз. Бу қонунга биноан, электр занжирининг берк контурида э. ю. к. ларнинг алгебраик йиғиндиси ($\sum E$) ҳамма қаршилиқлардаги кучланиш пасайишларининг алгебраик йиғиндисига тенгдир ($\sum rI = \sum U$).

Бизнинг ҳолда занжирда фақат битта манба бўлгани учун э. ю. к. ларнинг йиғиндиси $E = 120 \text{ В}$. Кучланиш пасайишлари йиғиндиси $U_0 + U_1 + U_{AB} = 3 + 27 + 90 = 120 \text{ В}$. Шундай қилиб, ҳақиқатдан ҳам $\sum E = \sum U$.

5. Қувватни ҳисоблаш. Манба ҳосил қиладиган қувват $P_M = EI_1 = 120 \cdot 1,5 = 180 \text{ Вт}$. Ички қаршилиқда исроф бўладиган қувват $P_0 = r_0(I_1)^2 = 2 \cdot (1,5)^2 = 4,5 \text{ Вт}$. Демак, манбанинг ташқи занжирга берадиган қуввати

$$P = P_M - P_0 = 180 - 4,5 = 175,5 \text{ Вт}.$$

Бу қувватни бошқача ҳисоблаш ҳам мумкин:

$$P = UI = 117 \cdot 1,5 = 175,5 \text{ Вт}.$$

Бошқа томондан:

$$P = r_1 I_1^2 + r_{2,3} I_1^2 = (r_1 + r_{2,3}) I_1^2 = (18 + 60) \cdot 1,5^2 = 175,5 \text{ Вт}.$$

Занжирнинг тўғри ҳисобланганлигини қандай текшириш мумкин?

Бунинг учун қувватлар балансини тузиш лозим. Манба берадиган қувват $P_M - P_0 = 175,5 \text{ Вт}$ ва истеъмолчиларнинг қуввати $P = 175,5 \text{ Вт}$, яъни баланс тўғри келади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Умумий токнинг параллел уланган шохбчалар орасида тақсимланиш формуласини қандай ҳосил қилиш мумкин? (2-3) тенгламадан

$$I_3 = I_2 (r_2/r_3)$$

токни топамиз ва унинг қийматини (2-1) тенгламага қўямиз:

$$I_2 + I_2 \frac{r_2}{r_3} = I_1,$$

бундан

$$I_2 \frac{r_3 + r_2}{r_3} = I_1$$

$$I_2 = I_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2} \quad (2-5)$$

Шундай қилиб, иккита параллел уланган шохобчалардан бирининг I_2 токи уларнинг умумий I_1 токининг бошқа шохобча қаршиликка кўпайтмасининг шохобчалар қаршиликлари ўйиндисига бўлинганига тенгдир.

2. Занжирнинг тармоқланган қисмида тугунлар орасидаги кучланиш қандай аниқланади? Бу саволга жавобни тугун кучланиши U_{AB} ни ҳисоблаш мисолда кўриб чиқамиз. Соддалаштирилган схемада (2-2- расм):

$$U_{AB} = r_{2,3} I_1 = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ В}$$

ва дастлабки схемада (2-1- расм)

$$U_{AB} = r_2 I_2 = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ В.}$$

Демак, тармоқланган қисм тугунлари орасидаги кучланиш шохобча токини шу шохобча қаршиликка кўпайтириб ёки занжирнинг умумий токини тармоқланмаган қисмининг умумий қаршиликка кўпайтириб аниқланади.

3. Кирхгофнинг иккинчи қонуни ёрдамида кучланиш қандай аниқланади? Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама тузишдан олдин ипоралар қондасини эсга туширамиз. Агар контурни танланган айланиб чиқиш йўналиши э. ю. к. йўналиши билан бир хил бўлса, э. ю. к. мусбат ишора билан ёзилади. Агар кўриб чиқиладиган қаршиликда токнинг йўналиши контурни айланиб чиқиш йўналиши билан бир хил бўлса, шу қаршиликда кучланиш пасайиши мусбат ишора билан ёзилади.

Шу қоидаларга мувофиқ $ВABIV$ контур учун (2-1- расм) шу контур соат стрелкаси ҳаракати йўналишида айланиб чиқилганда:

$$E = (r_0 + r_1 + r_{2,3}) I_1 + U_0 + U_1 + U_{AB}$$

бўлади.

Шу контур тескари йўналишда (соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналишда) айланиб чиқилса, натижа қуйидагича бўлади.

$$-E = -U_0 - U_1 - U_{AB}.$$

Бу икки тенглама ўхшашдир. Олинган тенгламадан:

$$U_{AB} = E - U_0 - U_1 = 120 - 3 - 27 = 90 \text{ В.}$$

Илгари маълум бўлган натижа олинди.

Демак, агар занжирнинг бошқа қисмларида кучланишлар маълум бўлса, Қирхгофнинг иккинчи қонуни ёрдамида электр занжир берк контурининг исталган қисмида кучланишни аниқлаш мумкин.

4. Манба схеманинг ички шохобчасида бўлиши мумкинми? Масалада кўрилган занжир 2-3-расмда кўрсатилган схематик тасвирга эга бўлиши мумкин, бунда схема дастлабки схемадан (2-1-расм) манбага эга бўлган таъмоқланган қисм схеманинг ўртасида жойлашганлиги билан фарқ қилади. Аслини олганда бу турли схематик тасвирулар айнан бир занжирга тааллуқлидир, шунинг учун келтирилган ҳисоблаш иккала схема учун ҳам яроқлидир.

Баъзан 2-3-расмдаги занжирни ҳисоблаш мураккабдир, чунки r_2 ва r_3 қаршиликларнинг айнан бир хил A ва B тугун нуқталарга уланганлигини дарров пайқаб олиш қийин, яъни улар параллел уланган бўлиб битта $r_{2,3}$ қаршилик билан алмаштирилиши мумкин, шундан кейин схема 2-2-расмда кўрсатилган кўринишни олади.

5. r_3 қаршилик қисмларининг қисқа туташishi занжирнинг токи ва кучланишига (2-1-расм) қандай таъсир қилади? Кўрсатилган қисқа туташish 2-4-расмда қаршилик қисмларини уловчи қўшимча сим билан амалга оширилган. Амалда бундай режим монтажда хато қилинганда, қаршилик шикастланганда ва бошқа ҳолларда юз бериши мумкин.

Кўрилатган режимда A ва B нуқталар орасида (2-4-расм) бир шохобчани уловчи симнинг қаршилигини нолга тенг деб қабул қилиш мумкин. Бунда A ва B нуқталар орасида умумий ўтказувчанлик

$$g_{AB} = \frac{1}{r_{AB}} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{0} = \infty$$

ёки AB қисмининг умумий қаршилиги $r_{AB} = 0$.

Шунга мувофиқ бутун занжирнинг умумий қаршилиги

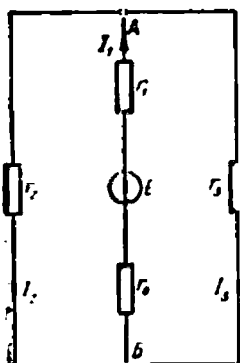
$$r_y = r_1 + r_0 + r_{AB} = r_1 + r_0$$

камаяди, занжирнинг умумий токи I_1 кўпаяди, манба қисмларида кучланиш

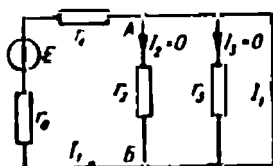
$$U = E - r_0 \cdot I_1$$

камаяди.

Шохобча токлари I_2 ва I_3 нолга тенг бўлади, чунки параллел уланган қаршиликларда умумий ток шохобча қар-



2-3- расм. Манба ички шохобада бўлган занжир схемаси.



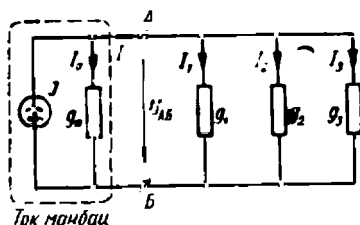
2-4- расм. g_3 қаршилигининг қисқа туташини.

шилиқларига тескари пропорционал равишда тақсимланади, яъни амалда I_1 токнинг ҳаммаси қаршилиги нолга тенг деб қабул қилинган шохобчадан (2-4- расмда кўрсатилганидек уловчи симдан) ўтади.

2-2. ТОҚ МАНБАДАН ТАЪМИН ЛАНАДИГАН ИККИ ТУГУНЛИ ЗАНЖИР. ЗАНЖИРНИ ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шарти

$I = 880$ мкА ли ток манбадан таъминланадиган, хусусий (ички) ўтказувчанлиги $g = 2 \cdot 10^{-6}$ См бўлган 2-5- расмда келтирилган занжирда ўтказувчанликлари $g_1 = g_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ См ва $g_3 = 10 \cdot 10^{-6}$ См бўлган учта параллел уланган истеъмолчи бор.



2-5- расм. Ток манбаи тармоқланган занжир.

Схемада (2-5- расм) белгиланган ҳамма тоқлар, ток манбаининг қисмларидаги кучланиш, манбаининг ва ҳамма истеъмолчиларнинг қувватлари ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Ток манбаи. Техниканинг баъзи соҳаларида

(электроника, радиотехника, асбобсозликда) ички қаршилиги r_0 катта бўлган энергия манбаларидан фойдаланилади. Бундай манбали занжирлар, кўпинча, манба нагрзукаси қаршилиги $r_{ю} \ll r_0$ бўлган режимда ишлайди. Бундай шароитда ва э. ю. к. E берилганда манбанинг токи $I = E / (r_0 + r_{ю}) \approx E / r_0 = \text{const}$ амалда ташқи қисм қаршилиги $r_{ю}$ га боғлиқ бўлмайди. Занжирлар назариясида бундай энергия манбалари ток манбалари дейилади.

Э. ю. к манбали занжирларга ўхшаб ток кучи э. ю. к. нинг занжирнинг умумий қаршилиги бўлинмасига тенг, ток манбаидаги кучланиш манба токининг занжир умумий қаршилиги кўпайтмасига тенг бўлади.

Идеал ток манбаида, яъни исталган ҳар қандай нагрзукада бу ҳолда амалга ошириб бўлмайдиган, салт ишлаш режими бундан мустасно, катъий ўзгармайдиган ток берадиган манбанинг ички қаршилиги чексизликка тенг бўлади.

Шундай қилиб, ички қаршилиги чексиз бўлган идеаллаштирилган энергия манбаи ҳар қандай нагрзукада ҳам бир хил ток билан таъминлайди ва у идеал ток манбаи бўлади.

Идеал ток манбалари схемаларда ичида ток йўналишини кўрсатувчи кўшалок стрелкаси бўлган доирача билан белгиланади. Кўшалок стрелка ички қаршилиқнинг чексизликка тенглигини (узилганлигини) кўрсатади.

Ҳар қандай реал манбада унинг ички қаршилиги билан характерланадиган ички энергия исрофи бўлади. Маълумки, (2-1- §), э. ю. к. манбаининг ички қаршилиги унинг э. ю. к. кучи билан кетма-кет уланади. Ток манбаи учун бундай уланиш қаршилиги чексиз бўлган идеал манбани ва энергия исрофи билан боғланган маълум қийматли ички қаршилиқни кетма-кет улаш бўлар эди, бу ҳеч бир маънога эга бўлмайди. Шунинг учун ток манбаининг реал схемасида манбанинг қисмларига параллел қилиб ички қаршилиги r_0 ёки ички ўтказувчанлиги $g_0 = \frac{1}{r_0}$ бўлган шохобча уланади (2-5- расм).

Ички ўтказувчанлик g_0 (2-5- расм) ток манбаига нагрзука берилганда ташқи ток I ўзгаришининг ҳамма сабабларини ҳисобга олади.

Демак, I ток ва g_0 ички ўтказувчанлик билан характерланадиган электр энергиянинг манбаи ток манбаи дейилади.

2. Тугун кучланишини ва шохобчалар тоқларини ҳисоблаш. Илгари (2-1- §) иккита параллел шохобчанинг тоқларини аниқлаш учун шохобча тоқлари ва

қаршиликларининг тескари пропорционаллик хусусиятидан фойдаланилган эди. Параллел шохобчалар сони кўп бўлганда бошқача йўл тутиш қулайдир. Олдин A ва B нуқталар (2-5-расм) орасидаги умумий қаршиликни ёки умумий ўтказувчанликни аниқлаймиз. Занжир ташқи қисмининг ўтказувчанлиги:

$$g_{AB} = g_1 + g_2 + g_3 = 5 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ См.}$$

Бутун занжирнинг умумий (эквивалент) ўтказувчанлиги:

$$g_0 = g_0 + g_{AB} = 0,2 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ См.}$$

A ва B тугун нуқталар орасидаги ёки манба қисмларидаги кучланиш:

$$U_{AB} = \frac{I}{g_0} = \frac{880 \cdot 10^{-6}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 40 \text{ В;}$$

истеъмолчилар токи

$$I_1 = I_2 = g_1 U_{AB} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 200 \text{ мкА;}$$

$$I_3 = g_3 U_{AB} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 400 \text{ мкА.}$$

Шундай қилиб, шохобчалар тоқларини ҳисоблаш учун тугун кучланишларини аниқлаш усули масаланинг тезроқ ечилишига олиб келади ва параллел шохобчалар сони кўпайиши билан унинг афзаллиги ортади.

3. Умумий ва ички токни ҳисоблаш. Занжир ташқи қисмининг умумий токи

$$I_1 = I_1 + I_2 + I_3 = 2 \cdot 200 + 400 = 800 \text{ мкА.}$$

Ички ўтказувчанлик токи:

$$I_0 = J - I = 880 - 800 = 80 \text{ мкА}$$

ёки шунинг ўзи

$$I_0 = g_0 U_{AB} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 80 \text{ мкА.}$$

4. Қувватни ҳисоблаш. Ток манбаининг энергияси I токли шохобчадан (2-5-расм) ҳосил қилинди. Бу шохобча $U_{AB} = 40 \text{ В}$ кучланишга эга ва $P_{TM} = U_{AB} I = 40 \cdot 880 \cdot 10^{-6} = 35,2 \text{ мВт}$ қувват беради.

Манбанинг ички ўтказувчанлигида исроф бўладиган қувват

$$P_0 = g_0 U_{AB}^2 = 0,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40^2 = 3,2 \text{ мВт.}$$

Ташқи занжир қуввати

$$P = g_{AB} U_{AB}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 40^2 = 32 \text{ мВт};$$

Қувватлар баланси

$$P_{\text{ТМ}} 35,2 \text{ мВт} = P_0 + P = 3,2 + 32 = 35,2 \text{ мВт},$$

яъни қувватлар баланси тўғри чиқди.

Масалага қўшимча саволлар

1. 2-5-расмда берилган ток манбали схема ни қандай қилиб э. ю. к. манбали эквивалент схемага келтириш мумкин? Параметрлари I ва g_0 бўлган ток манбаи ва параметрлари E ва r_0 бўлган кучланиш манбаи қуйидаги шартлар бажарилгандагина эквивалент бўлиши исбот этилган:

$$E = \frac{I}{g_0} \text{ ва } g_0 = \frac{1}{r_0}.$$

Бу формуладан фойдаланиб биздаги берилганлар асосида эквивалент кучланиш манбаининг параметрларини оламыз:

$$E = \frac{I}{g_0} = \frac{880 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} = 440 \text{ В};$$

$$r_{0\text{э}} \frac{1}{g_0} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^8 \text{ Ом} = 500 \text{ кОм}.$$

Натижада 2-5-расмдаги занжир 2-6-расмда берилган эквивалент схема кўринишида берилиши мумкин, бу ерда r_{AB} — занжир ташқи қисмининг умумий қаршилиги — бу маълум:

$$r_{AB} = \frac{1}{g_{AB}} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-8}} = 0,5 \cdot 10^8 \text{ Ом}.$$

Ҳисоблаш тўғри эканлигини текшириш мақсадида эквивалент схемада (2-6-расм) I токни ва U_{AB} кучланишини аниқлаймиз:

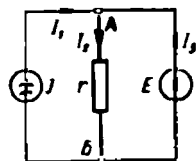
$$I = \frac{E}{r_{0\text{э}} + r_{AB}} = \frac{440}{5 \cdot 10^8 + 0,5 \cdot 10^8} = \frac{440}{5,5 \cdot 10^8} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ А} = 800 \text{ мкА};$$

$$U_{AB} = r_{AB} \cdot I = 0,5 \cdot 10^8 \cdot 800 \cdot 10^{-9} = 40 \text{ В},$$

яъни натижалар бир хил.



2-6-расм.
2-5-расмдаги занжир учун эквивалент кучланиш манбаининг схемаси.



2-7- расм. Ток манбаи ва кучланиш манбаини параллел улаш.

2. Эквивалент ток ва кучланиш манбаларида қандай параметрлар бир хил? Қўшимча 1-саволда кўрсатилганидек, эквивалент ток ва кучланиш манбалари ташқи занжирни бир хил ток ва кучланиш билан таъминлайди. Демак, улар нагрузкага бир хил қувват беради. Лекин бундай манбалар уларнинг берадиган қувватлари жиҳатидан ноэквивалентдир. Ҳақиқатдан ҳам, 2-6- расмдаги занжирда кучланиш манбаларининг берадиган қуввати:

$$P_{к.м} = E_0 J = J I' g_0 = 880 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^{-6} / 2 \cdot 10^{-6} = 352 \text{ мВт},$$

идеал ток манбаининг (1-5- расм) берадиган қуввати эса:

$$P_{ТМ} = U_{АВ} \cdot J = \frac{IJ}{g_{БА}} = 880 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^{-6} / 2 \cdot 10^{-6} = 35,2 \text{ мВт}.$$

Тугунлар орасидаги кучланишни ёки шохобчалар токини қандай қилиб стабиллаш (қийматини бир хил ушлаш) мумкин? Занжирнинг бирор қисмида кучланиш ёки ток қийматини бир хилда ушлаб туриш учун занжирнинг шу қисми параметрлари ҳар қандай ўзгарганда ҳам уларнинг қийматларини доимо бир хилда бўлишини таъминлаш лозим. Агар кучланиш қийматини масалан, 2-1- расмдаги А ва Б нуқталар орасида бир хилда ушлаб туриш талаб қилинса, шу кўрсатилган нуқталар орасига идеал э. ю. к. манбаини улаш керак, чунки идеал э. ю. к. манбаининг ички қаршилиги эътиборга олинмайди, шунинг учун ҳам 2-1- расмдаги қаршиликлар ва э. ю. к. ҳар қандай ўзгарса ҳам унинг қисмаларидаги (ёки А ва Б нуқталар орасидаги) кучланиш ўзгармай қолаверади.

Агар исталган ҳар бир шохобчага ток манбаи уланса, шу шохобча токи бир хил (ўзгармай) қолади.

4. 2-7- расмдаги занжирда ҳамма тоқлар қандай аниқланади? Устлаш усулидан 1-2- § фойдаланамиз. Олдин ҳамма шохобчаларда I ток манбаи томонидан ҳосил қилинадиган тоқларни топамиз. Бунда бошқа э. ю. к. манбаи ишламайди ($E = 0$) ва бизнинг ҳолда (2-7- расм) унинг шохобчасининг қаршилиги нолга тенг.

Натижада r қаршилиқ қисқа туташган ҳолда бўлади ва олдин кўрсатилганидек (2-1, §. 5- қўшимча савол), унда ток бўлмайди.

Шундай қилиб, кўриладиган режим учун ҳамма шохобчаларда қисмий тоқлар қуйидагича аниқланади:

$$I_2 = J; \quad I'_2 = 0; \quad I'_1 = -I = -J.$$

Энди фақат э. ю. к. E манбаи томонидан ҳосил қилинадиган тоқларни топамиз. Бу ҳолда биринчи шохобчада ток манбаи J таъсир этмайди, лекин унинг чексизга тенг бўлган ички қаршилиги сақланади, яъни биринчи шохобча узилган ҳолда бўлади. Бу режимда қуйидаги қисмий тоқларга эга бўламиз

$$I'_1 = 0; \quad I'_2 = I'_3 = E/r.$$

Икки хил режимдаги қисмий тоқларни қўшиб, 2-7-расмдаги занжир учун қуйидаги тоқларни оламиз;

$$I_1 = I'_1 + I_2 = I'_1 = J;$$

$$I_2 = I'_2 + I'_2 = I'_2 = E/r;$$

$$I_3 = I'_3 + I'_3 = -J + E/r.$$

Бунда тугун кучланиши $U_{AB} = rI_2 = E$, ток эса $I_1 = J$ эканлигини ҳисобга олсак, олдинги қўшимча саволда кўрилган тугунлар орасида кучланиш ёки шохобча токи қийматларининг ўзгармаслиги ҳақидаги ҳол тасдиқланганлигини кўрамиз.

2-3. БИР НЕЧА ТУГУНЛИ ЗАНЖИР. ЗАНЖИРНИ ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шarti

2-8-расмдаги занжирда э. ю. к. манбаи $E = 18,3$ В унинг ички қаршилиги $r_0 = 0,2$ Ом (бу қаршилик манба шохобчасида алоҳида кўрсатилган). Истеъмолчиларнинг қаршиликлари: $r_1 = 36$ Ом; $r_2 = 30$ Ом; $r_3 = 6$ Ом; $r_4 = 13$ Ом; $r_5 = 14$ Ом; $r_6 = 6,5$ Ом; $r_7 = 7,5$ Ом. Занжирнинг умумий қаршилиги ва ҳамма тоқлар ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Масалани ечиш плани. Занжирнинг умумий қаршилиги ($r_{\text{ум}}$) ни айрим кетма-кет ёки параллел уланган қаршиликларни эквивалент қаршиликлар билан алмаштириш (схемани «йиғиштириш») усули билан ё Ом қонуни асосида аниқлаш мумкин: $r_{\text{ум}} = E/I$, бу ерда I - 2-8-расмдаги э. ю. к.

маъбаининг токи. Бунда I ток номаълум бўлганлиги учун умумий қаршилиқни биринчи йўл билан аниқлаймиз.

Занжир тоқларини бир неча усуллар билан ҳисоблаш мумкин, улардан энг тарқалганлари қуйидагилар:

1. Ом қонунидан ва параллел шохобчаларда тоқларнинг тақсимланиш хусусиятидан фойдаланилади. Бунда занжир схемасини «иҳчамлаштириш» ва «ёйиш» лозим бўлади, яъни 2-1-§ да кўрилган усул билан иш кўрилади.

2. Дастлабки схемадаги тугун кучланишларини Кирхгоф қонунлари ёрдамида ва шохобчалар тоқларини Ом қонуни бўйича тўғридан-тўғри ҳисоблаш.

Ечишнинг биринчи усули масаланинг асосий мазмунига киритилган, иккинчиси эса ундаги қўшимча саволларга киритилган.

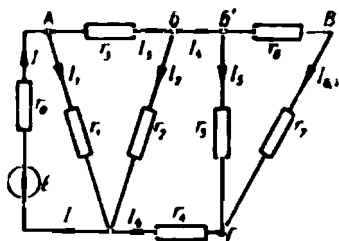
2. Умумий қаршилиқни ҳисоблаш. Четки $B'B'$ шохобчадан боқилаймиз (2-8-расм). Бу ерда, баъзан, B нуқтани (симнинг эгилган жойини) тугун деб ҳисоблаб хатога йўл қўйилади. Хато қилмаслик учун электр занжирнинг тугуни—бу учта ва ундан ортиқ шохобчаларнинг уланган жойи эканлигини эсдан чиқармаслик керак. Шу таърифга мувофиқ B нуқта тугун эмас, шунинг учун r_6 ва r_7 қаршилиқлардан бир хил $I_{6,7}$ ток ўтади, яъни бу қаршилиқлар кетма-кет уланган ва уларнинг умумий қаршилиқни қуйидагича:

$$r_{6,7} = r_6 + r_7 = 6,5 + 7,5 = 14 \text{ Ом.}$$

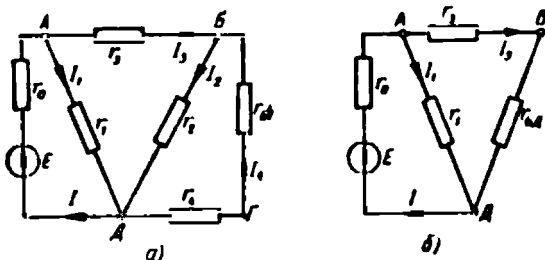
Олинган $r_{6,7}$ қаршилиқ унга тенг бўлган r_5 билан параллел уланган, шунинг учун уларнинг умумийси:

$$r_{B'Г} = \frac{r_{6,7}}{2} + \frac{r_5}{2} = \frac{14}{2} + \frac{7}{2} = 7 \text{ Ом.}$$

2-8-расмдаги занжирнинг $B'Г$ қисмини унинг умумий қаршилиги билан алмаштириб, 2-9-расм, α даги схемани оламиз, маълумки, $Г$ нуқта тугун эмас (юқорида кўрсатилган 2-8-расмдаги B нуқта каби). Шунинг учун $r_{B'Г}$ ва r_2 қаршилиқлар кетма-кет уланган. Шунингдек, 2-9-расм, α даги $BГД$ шохобча r_2 қаршилиқ билан параллел уланган—



2-8-расм. Бир печта тугуни тармоқланган занжир.



2-9- расм. 2-8- расмдаги схемани Б'Г (а) ва БД (б) қисмини алмаштириб соддалаштириш.

лигини ҳисобга олиб, Б ва Д тугун нуқталари орасида уланганларнинг умумий қаршилигини оламиз:

$$r_{БД} = \frac{(r_{Б'Г} + r_{д}) r_2}{r_{Б'Г} + r_2 + r_2} = \frac{(7 + 13) 30}{7 + 13 + 30} = 12 \text{ Ом.}$$

$r_{Б'Г}$, r_4 ва r_2 қаршиликларни уларнинг умумий қаршилиги билан алмаштириб (2-9- расм, б), дастлабки схемани соддалаштиришнинг («йиғиштириш» нинг) навбатдаги босқичини бажарамиз.

Олдингига ўхшаб 2-9- расм, б даги схемада А ва Д тугун нуқталари орасида умумий қаршилиқ:

$$r_{АД} = \frac{(r_0 + r_{БД}) r_1}{r_1 + r_{БД} + r_1} = \frac{(6 + 12) 36}{6 + 12 + 36} = 12 \text{ Ом,}$$

бу қаршилиқ r_0 билан кетма-кет уланган, шунинг учун бутун занжирнинг умумий қаршилиги:

$$r_{ум} = r_{АД} + r_0 = 12 + 0,2 = 12,2 \text{ Ом.}$$

3. Токларни ҳисоблаш. Энг олдин умумий ток I ни ҳисоблаймиз: $I = E / r_{ум} = 18,3 / 12,2 = 1,5 \text{ А.}$

Бу ток занжирнинг (2-9- расм, б) А тугун нуқтасида иккита параллел уланган шохобчалардан ўтувчи I_1 ва I_2 тоқларга бўлинади. Бундай ҳолат илгари кўрилган (2-1-§, 1-қўшимча савол) ва бу ҳолат учун (2-5-) формула олинган эди. Токни ҳисоблаш учун шу формуладан фойдаланамиз:

$$I_1 = I \frac{r_2 + r_{БД}}{r_1 + r_2 + r_{БД}} = 1,5 \frac{6 + 12}{36 + 6 + 12} = 0,5 \text{ А.}$$

Бошқа шохобчаларнинг токи I_3 ни Қирхгофнинг биринчи қонуни асосида аниқлаймиз:

$$I_3 = I - I_1 = 1,5 - 0,5 = 1,0 \text{ А.}$$

Занжирдаги (2-9-расм, а) I_4 ва I_2 тоқларни шу йўл билан топамиз:

$$I_4 = I_3 \frac{r_2}{r_2 + r_4 + r_{БГ}} = \frac{1,0 \cdot 30}{30 + 13 + 7} = 0,6 \text{ А;}$$

$$I_2 = I_3 - I_4 = 1,0 - 0,6 = 0,4 \text{ А.}$$

Шу усул билан 2-8-расмдаги занжирда қуйидагини топамиз:

$$I_{6,7} = I_4 \frac{r_9}{r_5 + r_6 + r_7} = 0,6 \frac{14}{14 + 6,5 + 7,5} = 0,3 \text{ А;}$$

$$I_5 = I_4 - I_{6,7} = 0,6 - 0,3 = 0,3 \text{ А.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. 2-8-расмдаги дастлабки схемада тугун кучланишларни ва шохобчалар тоқини тўғридан-тўғри қандай аниқлаш мумкин? Умумий тоқ $I = 1,5 \text{ А}$ лигини билиб, A ва D тугун нуқталари орасидаги кучланишни топамиз:

$$U_{AD} = E - r_0 I = 18,3 - 0,2 \cdot 1,5 = 18 \text{ В.}$$

Маълумки,

$$I = U_{AD} / r_1 = 18 / 36 = 0,5 \text{ А, } I_3 = I - I_1 = 1,5 - 0,5 = 1,0 \text{ А.}$$

Сўнгра Қирхгофнинг иккинчи қонуни асосида $ABDA$ контурни соат стрелкаси ҳаракати йўналишида айланиб чиқиб,

$$r_3 I_3 + r_2 I_2 - r_1 I_1 = 0$$

ёки

$$U_{AB} + U_{BD} - U_{AD} = 0$$

ни оламиз. $U_{AD} = r_1 I_1$ кучланиш тенгламада манфий ишорали, чунки контурни айланиб чиқишда биз I_1 тоқнинг йўналишига тескари юрамиз.

Бундан тугун кучланиши $U_{BD} = U_{AD} - U_{AB} = 18 - 6 \cdot 1,0 = 12 \text{ В.}$

Шунга ўхшаш, қуйидагиларни топамиз:

$$I_2 = U_{BD} / r_2 = 12 / 30 = 0,4 \text{ А;}$$

$$I_4 = I_3 - I_2 = 1,0 - 0,4 = 0,6 \text{ А.}$$

Тугун кучланиши

$$U_{БГ} = U_{БД} - U_{ГД} = 12 - r_4 I_4 = 12 - 13 \cdot 0,6 = 4,2 \text{ В}$$

ва шунга биноан тоқлар

$$I_5 = U_{БГ} / r_5 = 4,2 / 14 = 0,3 \text{ А;}$$

$$I_{6,7} = I_4 - I_5 = 0,6 - 0,3 = 0,3 \text{ А.}$$

2. Нима учун $ББ'$ симдан ва r_4 қаршиликдан (2-8-расм) бир хил I_4 ток ўтади? Б тугун нуқтага $I_4 = I_5 + I_{6,7}$ ток келади (Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан), шохобчаларнинг бу тоқлари (I_5 ва $I_{6,7}$) $Г$ тугун нуқтада қўшилиб, $Г$ нуқтадан $Д$ нуқтага йўналган $I_5 + I_{6,7} = I_4$ токни ҳосил қилади.

3. Нима учун 2-8-расмдаги $ББ'$ симни битта тугун нуқта деб қараш мумкин? Схemaда $ББ'$ симнинг қаршилиги кўрсатилмаган, унинг қаршилиги жуда кичик ва уни ҳисобга олмаслик, яъни $r_{ББ'} = 0$ деб ҳисоблаш мумкин. Бу ҳолда кучланиш пасайиши $U_{ББ'} = I_4 \cdot 0 = 0$. Лекин кучланиш пасайиши—бу икки нуқта орасидаги потенциаллар айирмаси демакдир: $U_{ББ'} = \Phi_B - \Phi_{Б'} = 0$ бундан $\Phi_B = \Phi_{Б'}$.

Демак, бу ҳолда $Б$ ва $Б'$ нуқталар орасида кучланиш пасайиши йўқ, бу нуқталарнинг потенциаллари узаро тенг, яъни ҳисоблаш нуқтаи назаридан занжирни $ББ'$ қисми исталган узунликдаги сим билан тасвирланиши мумкин. Бу бизга қаршилиқлар уланган нуқталарни улагич сим бўйича суриб, уни бир тугун деб қараш ҳуқуқини беради.

4. Агар э. ю. к. $Е$ икки марта оширилса, 2-8-расмдаги занжирнинг ҳамма тоқлари ва кучланиши қандай ўзгаради? Кўрилаётган занжирда ҳамма қаршилиқлар улардан ўтаётган тоқларга (ёки улардаги кучланишларга) боғлиқ эмас, яъни бу қаршилиқлар, уларда тоқлар ўзгарганда ҳам, масала шартида берилган қийматларини сақлайди. Бундай қаршилиқларда ток билан кучланиш орасидаги боғланиш (Ом қонуни) тўғри пропорционаллик билан характерланади (тўғри чизиқли боғланиш), шунга мувофиқ бундай қаршилиқлардан тузилган занжир ҳам тўғри чизиқли бўлади. Шунинг учун э. ю. к. нинг икки марта ортиши, занжирнинг ҳамма қисмларида

тоқлар ва қучланишларнинг худди шундай (икки марта) ортишига олиб келади.

2.4. ЗАНЖИРНИ ҲАММА ҚИСМЛАРИДА ҲИСОБЛАШ

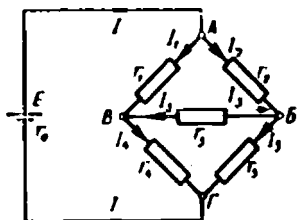
Масаланинг шarti

2-10-расмдаги занжир учун: $E = 5,6$ В; $r_0 = 0,12$ Ом; $r_1 = 8$ Ом; $r_2 = 10$ Ом; $r_3 = 2$ Ом; $r_4 = 4$ Ом; $r_5 = 5$ Ом берилган. Ҳамма тоқлар ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Қўрилаётган занжирнинг хусусиятлари. Олдинги масалаларда занжирнинг ҳамма қисмларида тоқларнинг йўналишини олдиндан (ҳисоблашгача) ачиқлаш мумкин эди. 2-10-расмдаги занжирнинг ҳамма қисмларида тоқларнинг йўналишини олдиндан кўрсатиш мумкинми?

Бу саволга жавоб бериш учун схемада умумий ток I нинг йўналишини кўрсатамиз, бу ток A тугун нуқтада I_1 ва I_2 ларга тақсимланади. Сўнгра B ва B тугунлар орасидаги I_3 токнинг йўналишини кўрсатиш керак эди, лекин бу ток икки йўналишга эга бўлиши мумкин (расмда туташ ва пунктир стрелкалар билан кўрсатилган). I_3 токнинг ҳақиқий йўналиши схеманинг параметрларига боғлиқ ва фақат занжир ҳисоблангандан кейин аниқланади.

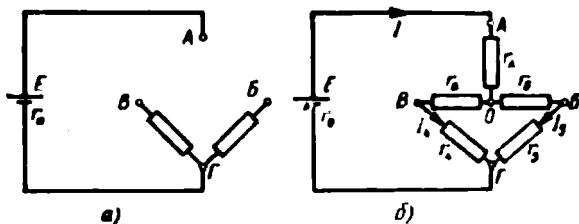


2-10- расм. Учбурчак шаклида уланган қаршилиқларни юлдуз шаклида улашга ўзгартириб соддалаштирилиши мумкин бўлган схема.

Демак, қурилаётган занжирда фақат тоқларнинг қийматларигина эмас, балки уларнинг йўналишлари ҳам (айрим шохобчаларда) ҳисоблаб аниқланади.

Бундан ташқари, бир мэнбали занжирларни ҳисоблашда шу вақтгача кетма-кет ва параллел уланган қаршилиқлардан тузилган схемани соддалаштиришга асосланилган эди. Шу йўл билан бу масалани ечиш мумкинми?

Йўқ, мумкин эмас экан. Қўрилаётган занжир параллел ва кетма-кет уланган қаршилиқларга эга эмас. Ҳақиқатан ҳам, бир томондан, бир жуфт тугунга уланган қаршилиқлар йўқ (параллел улаш шarti), бошқа томондан, бир хил ток ўтайдиган қаршилиқлар ҳам йўқ (кетма-кет улаш шarti).



2-11- расм. 2-10- расм бўйича учбурчак шаклида уланган r_1 , r_2 , r_3 қаршиликлари схемадан чиқариб ташланган (а) схема;

Демак, кўрилатган занжирни кетма-кет ва параллел қисмларга (шоҳобчаларга) ажратиш мумкин эмас. Бундай электр занжирлар баъзан мураккаб занжирлар дейилади, шунинг учун кўрилатган (2-10- расм) занжирни ҳам мураккаб занжирлар каторига киритиш мумкин.

2. Умумий қаршилиқни ҳисоблаш. Занжирнинг умумий қаршилигини олдинги масалаларда кўрилган усуллар билан аниқлаш бу ҳол учун тўғри келмайди. Шунинг учун «Схемани, аввал кўриб чиқилган усуллари қўллаш мумкин бўладиган қилиб ўзгартириш мумкин бўлмасмикан?» деган савол туғилади.

Агар учбурчаклик шаклида уланган қаршиликларни юлдуз шаклига ёки, аксинча, юлдуз шаклида уланган қаршиликларни учбурчаклик шаклига ўзгартирилса, ўша усулларни қўллаш мумкин бўлар экан. Учбурчаклик шаклида уланган r_1 , r_2 ва r_3 қаршиликларни ўзгартиришни бажарамиз.

Энг олдин схемани алмаштириладиган учбурчакликсиз, лекин А, В ва В нуқталар билан белгилаб (2-11- расм, а) қайта чизамиз. Сўнгра бу нуқталарга r_A , r_B ва r_C қаршиликларни юлдуз шаклида улаймиз (2-11- расм, б). Юлдузнинг ҳар бир қаршилиги учбурчакликнинг икки ён томонидаги қаршиликлар кўпайтмасининг унинг учала қаршилиги йиғиндисининг нисбатига тенглигини ҳисобга олиб, қуйидагини топамиз:

$$r_A = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{8 \cdot 10}{8 + 10 + 2} = \frac{80}{20} = 4 \text{ Ом};$$

$$r_B = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{10 \cdot 2}{8 + 10 + 2} = \frac{20}{20} = 1 \text{ Ом};$$

$$r_C = \frac{r_3 \cdot r_1}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{2 \cdot 8}{8 + 10 + 2} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ Ом}.$$

Кейин 2-11-расм, б даги эквивалент схемани ҳисоблаш бизга маълум усул билан олиб борилади. Ҳақиқатан ҳам, r_B қаршилнк r_4 билан, r_B қаршилик эса r_5 билан кетма-кет уланган. Шунинг учун $ОВГ$ шохобча учун умумий қаршилик $r_{B,4} = r_B + r_4 = 0,8 + 4 = 4,8$ Ом, $ОВГ$ шохобча учун $r_{B,5} = r_B + r_5 = 1 + 5 = 6$ Ом. $r_{B,4}$ ва $r_{B,5}$ қаршиликлар параллел уланган ва уларнинг умумийси:

$$r_{ог} = \frac{4,8 \cdot 6}{4,8 + 6} = \frac{28,8}{10,8} = 2,67 \text{ Ом.}$$

Бутун занжирнинг умумий қаршилиги:

$$r_y = r_A + r_{ог} = 4 + 2,67 = 6,67 \text{ Ом.}$$

3. Токларни ҳисоблаш. Занжирдаги (2-11-расм, б) токларни аниқлаш олдинги масалаларда бажарилган эди ва бу ерда муфассал тушунтиришсиз келтирилди.

Манбанинг токи:

$$I = \frac{E}{r_{ум} + r_0} = \frac{3,6}{6,67 + 0,12} = 0,53 \text{ А.}$$

$ОВГ$ шохобчанинг токи:

$$I_4 = I \frac{r_{B,5}}{r_{B,5} + r_{B,4}} = 0,53 \cdot \frac{6}{6 + 4,8} = 0,295 \text{ А.}$$

$ОВГ$ шохобчанинг токи:

$$I_5 = I - I_4 = 0,53 - 0,295 = 0,235 \text{ А.}$$

2-10 ва 2-11-расм, б даги схемаларда $ВГ$ ва $ГБ$ қисмлар ўзгартирилмаганлиги сабабли I_4 ва I_5 токларнинг ҳисобланган қийматлари иккала схема учун бир хилдир. Дастлабки 2-11-расмдаги схемага ўтамыз: $ВБГ$ контур учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама ёзамиз (I_3 токни туташ стрелка билан кўрсатилгандек йўналган деб ҳисоблаймиз):

$$-I_3 r_3 + I_5 r_5 - I_4 r_4 = 0.$$

Сон қийматларини қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$-I_3 \cdot 2 + 0,235 \cdot 5 - 0,295 \cdot 4 = 0$$

$$\text{ёки} \quad 2I_3 \approx 0,12 - 0,12 = 0, \text{ яъни } I_3 = 0;$$

$$I_1 = I_4 - I_3 = I_4; \quad I_2 = I_3; \quad I_5 = I_5.$$

Масалага қўшимча саволлар

1. I_3 токнинг нолга тенг бўлиши тасодифийми? Кўрилаётган занжир (2-11-расм) кўприксимон занжир дейилади. Кўприксимон занжирда, агар қарама-қарши елкалардаги қаршиликларнинг кўпайтмаси бир хил бўлса, кўприкнинг диагонали дейиладиган $ВВ$ шохобчанинг токи I_3 нолга тенг бўлади. Ҳақиқатан ҳам, бизнинг ҳолда $r_1 \cdot r_6 = 8 \cdot 5 = 40$ ва $r_2 \cdot r_4 = 10 \cdot 4 = 40$, шунинг учун ҳам $I_3 = 0$ бўлиб қолади.

Кўприксимон схемалар электр ўлчаш техникасида ва, хусусан, қаршиликларни ўлчаш учун кенг қўлланилади.

2. Кўрилаётган занжирда (2-10-расм) юлдуз шаклида ва учбурчаклик шаклида улаш нечта? Бу занжирда иккита юлдуз шаклида улаш (r_1, r_3, r_4 ва r_2, r_3, r_5 ҳамда иккита учбурчаклик шаклида улаш r_1, r_2, r_3 ва r_3, r_4, r_5) бор.

3. Кўприк диагоналида токнинг йўналиши қандай ҳисобга олинади? Ҳисоблашнинг бошида I_3 ток икки йўналишга эга бўлиши мумкинлиги кўрсатилган эди, лекин унинг ҳақиқий йўналиши олдиндан маълум эмас. Шунинг учун олдин унинг йўналишини ихтиёрий равишда танлаймиз. Агар токнинг танланган йўналиши нотўғри бўлса, ҳисоблаш натижасида токнинг қиймати манфий чиқади.

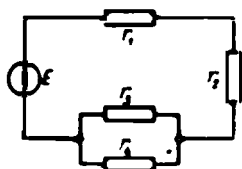
2-5. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

18. 2-12-расмдаги занжирда $E = 100$ В; $r_1 = 2,1$ Ом; $r_2 = 7,78$ Ом; $r_3 = 0,3$ Ом; $r_4 = 0,2$ Ом. Занжирнинг ҳамма қисмлари учун тоқлар, кучланишлар ва қувватлар, шунингдек, манбанинг қуввати ҳисоблансин. Қувватлар баланси тузилсин.

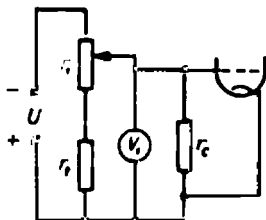
19. Манбанинг токи $I = 0,6$ А. 2-12-расмдаги $r_3 = 20$ Ом ва $r_4 = 10$ Ом қаршиликлардаги тоқлар аниқлансин.

20. Кетма-кет уланган r_1 ва r_2 қаршиликларни $E = 10$ В бўлган э. ю. к. манбанинг ички қаршилиги деб ҳисоблаб, 2-12-расмдаги занжирда э. ю. к. манбаи эквивалент ток манбаи билан ўзгартирилсин. Агар $r_1 = r_2 = 4$ Ом; $r_3 = 6$ Ом; $r_4 = 12$ Ом бўлса, ток манбанинг токи, унинг хусусий ўтказувчанлиги ҳамда r_3 ва r_4 қаршиликлардаги тоқлар аниқлансин.

21. Электр занжирнинг икки тугунига учта шохобча уланган. Ўртадаги шохобчада э. ю. кучи $E = 60$ В ва ички қаршилиги $r_0 = 0,1$ Ом бўлган энергия манбаи ҳамда $r_1 = 0,4$ Ом ва $r_6 = 0,5$ Ом бўлган иккита қаршилик кетма-кет уланган. Четки шохобчалардан бири учта кетма-кет уланган $r_3 = 2$ Ом; $r_4 = 10$ Ом; $r_5 = 8$ Ом қаршиликларга эга. Бошқа четки шохобча $r_2 = 5$ Ом бўлган битта қаршиликдан иборат. Схема тузилсин. Ҳамма тоқлар шунингдек, манба қисмларидаги ва тугуни нуқталари орасидаги кучланишлар аниқлансин.



2-12- расм. 18- масалага.



2-13- расм. 22- масалага.

22. Уч электродли лампанинг тўри ва катоди орасидаги U_1 кучланишни ростлаш учун 2-13-расмдаги схема қўлланилади, унда $r_2 = 100$ кОм; $r_T = 1$ МОм; $r_1 = 0 \dots 100$ кОм (шу чегарада ўзгаради). Манба қисмларидаги кучланиш U га тенг. Вольтметр r_V қаршилигининг икки қиймати: а) жуда катта (ҳисобга олинмайди); б) $r_V = 1$ МОм учун U нинг улуши сифатида U_1 кучланишнинг четки қийматлари аниқлансин.

23. Қаршилиқни вольтметр ва амперметр усулида аниқлашда иккита схема қўлланилади (2-14-расм, а ва б). Иккала схеманинг ҳар бирида номанъум қаршилиқ r_x вольтметр кўрсатишининг амперметрнинг кўрсатишига нисбати билан аниқланади. Иккала схемада ҳам қаршилиқлари мос ҳолда $r_A = 0,2$ Ом ва $r_V = 500$ Ом бўлган амперметр ва вольтметр қўлланилган.

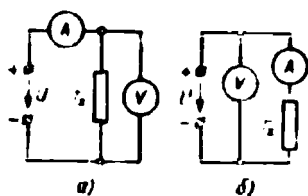
Қаршилиқни ўлчашдаги хатолик аниқлансин: 1) 10 Ом; 2) 100 Ом ҳар бир схема учун. Булардан қайси бирини кичик r_x қаршилиқларни ва қайси бирини катта r_x қаршилиқларни ўлчаш учун танлаш лозим?

24. $I = 150$ мА; $r_1 = 0,5$ кОм; $r_2 = 1,5$ кОм; $r_3 = 12$ кОм; $r_4 = 6$ кОм 2-15-расмдаги занжирда шохобчалардаги ток ва қаршилиқлардаги кучланишлар аниқлансин.

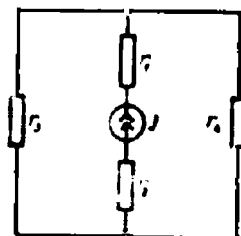
25. Электр занжири учта шохобчадан ибрат. Ўрта шохобчада э. ю. кучи $E = 120$ В ва ички қаршилиғи $r_0 = 0,3$ Ом бўлган манба ва $r_3 = 7,6$ Ом ли қаршилиқ у билан кетма-кет уланган. Четки шохобчалардан бирига $r_1 = 6,6$ Ом ва $r_2 = 0,4$ Ом ли қаршилиқлар кетма-кет уланган, бошқа четки шохобчада иккита $r_5 = 3$ Ом ва $r_6 = 15$ Ом қаршилиқлар параллел уланган ва улар билан $r_4 = 0,5$ Ом қаршилиқ кетма-кет уланган. Схема тузилсин ва ҳамма тоқлар, шу жумладан манба ҳосил қиладиган қувват, ташқи занжирга бериладиган қувват ва ички қаршилиқда исроф бўладиган қувват ҳисоблансин. Қувватлар баланси тузилсин. Кирхгофнинг қонунлари асосида ҳисоблаш тўғрилиги текширилсин.

26. Агар $r_1 = 2,5$ Ом; $r_2 = r_5 = 60$ Ом; $r_3 = 20$ Ом; $13,5$ Ом бўлса, 2-16-расмдаги занжирнинг умумий қаршилиғи қанча бўлиши аниқлансин.

27. 2-17-расмдаги занжир учун $U = 120$ В; $r_1 = r_2 = r_3$ $r_4 = r_5 = 120$ Ом берилган. Тугун нуқталар сони, занжирнинг умумий қаршилиғи, ҳамма тоқлар, шунингдек, тугунлар ортдаги кучланишлар аниқлансин. Ҳисоблаш намуналари АБВГДЖА, АЖКА ва



2-14- расм. 23- масалага.
(а, б)

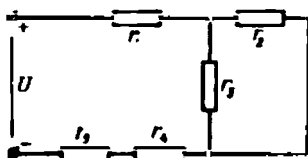


2-15- расм. 24- масалага.

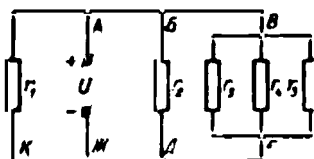
АБДЖКА контурлар учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида текширилсин.

28. Пентодда (электрон лампа) анод токи $I_a = 2$ мА ва экран тўрининг токи $I_s = 1$ мА, кучланиши $U = 240$ В булган манбанинг «—» қисмасига уланган катодга йўналган (2-18- расм). Анод ва катод орасидаги кучланиш $U_a = 140$ В, экран тури ва катод орасидаги кучланиш $U_s = 120$ В, қаршилик $r_2 = 24$ кОм. r_1 ва r_2 қаршиликлар ҳисоблансин ва уларнинг номинал қувватлари танлансин (қаршиликлар 1 Вт чегарасида 0,25; 0,5 ва 1 Вт қувватли қилиб тайёрланади). Агар электрон лампа панелидан олинса (схемадан узилса), U_a ва U_s кучланишларнинг (2-18- расм) қиймати қандай бўлади?

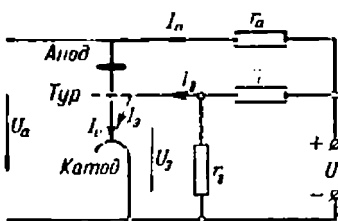
29. 2-19- расмдаги радиосхеманинг бир қисми қуйидаги параметрларга эга $U = 300$ В; $r = 5$ кОм (номинал қуввати 0,25 Вт); $I_a = 6$ мА. Конденсатор С орқали ўзгармас ток ўтмайди. Нам иқлимда иш



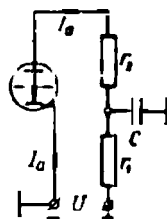
2-16- расм. 26- масалага.



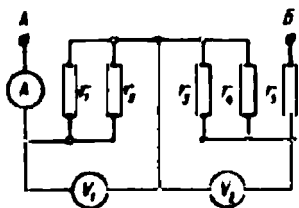
2-17- расм. 27- масалага.



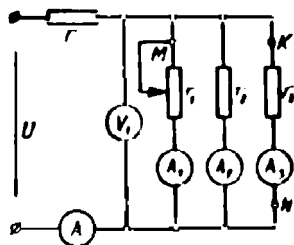
2-18- расм. 28- маслага.



2-19- расм. 29- масалага.



2-20- расм. 30- масалага.



2-21- расм. 32- масалага.

лаганда C конденсаторнинг изоляцияси бузилди ва у тешили (пластинкалари туташиб қолди). Бузилишда нима булади?

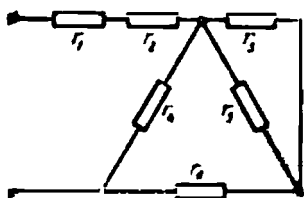
30. 2-20- расмдаги занжирни монтаж қилиш вақтида кавшарлагич билан қиздириб юбориш натижасида r_1 каршилич узилиб қолди. Агар A ва B қисмлар орасида кучланиш бир хил қолса, схемада кўрсатилган ҳамма асбобларнинг кўрсатиши қандай ўзгаради (сртадимми ёки камайдими)?

31. 2-20- расмдаги занжирда нормал иш шароитининг бузилиши натижасида амперметрнинг кўрсатиши ортди, V_1 вольтметр нолни, V_2 вольтметр A ва B қисмлар орасидаги кучланишга тенг бўлган кучланишни кўрсатади. Қандай бузилиш юз берган?

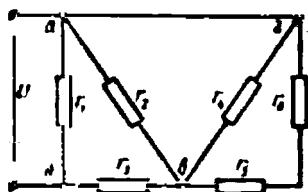
32. 2-21- расмдаги занжирда K ва N нуқталар қаршилигини колга тенг деб олиш мумкин бўлган сим билан туташтирилса, ўлчаш асбоблари қандай қийматларни кўрсатади?

33. 2-21- расмдаги занжирда r_1 реостат сурмаси M нуқтадан пастга томон сурилса, ўлчаш асбобларининг кўрсатиши қандай ўзгаради?

34. Агар:



2-22- расм. 3'- масалага.

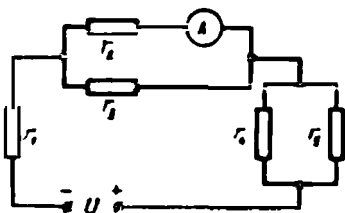


2-23- расм. 35- масалага.

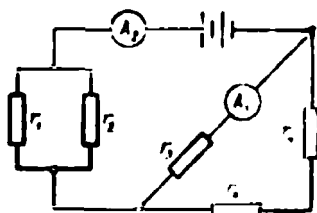
$r_1 = r_2 = r_3 = r_5 = 5,5$ Ом; $r_4 = 12$ Ом; $r_6 = 3,25$ Ом бўлса, 2-22- расмдаги занжирнинг умумий қаршилиги учун ифода тузилсин ва у ҳисоблансин.

35. Агар $r_1 = r_4 = 60$ Ом; $r_6 = r_5 = 40$ Ом; $r_3 = 10$ Ом; $r_7 = 80$ Ом бўлса, 2-23- расмдаги занжирнинг умумий қаршилиги аниқлаксин.

36. Схемаси 2-24- расмда келтирилган занжирда амперметр $0,5$ мА токни кўрсатмоқда. Агар $r_1 = 600$ Ом; $r_2 = 6$ кОм; $r_3 = 2$ кОм; $r_4 =$



2-24- расм. 36- масалага

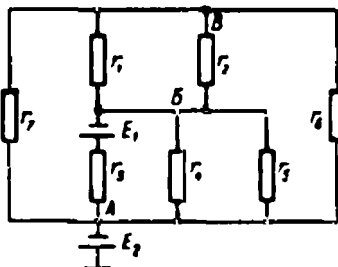


2-25- расм. 38- масалага.

= 1 кОм; $r_5 = 4$ кОм бўлса, манба қисмларидаги кучланиш аниқлансин.

37. Ички қаршиллик $r_0 = 0,8$ Ом бўлган энергия манбаи қисмларига иккита шохобча уланган. Улардан бирида $I = 0,5$ А ток ўтадиган номатълум қаршилик r_x , бошқа шохобчада учта қаршилик $r_2 = 24$ Ом; $r_3 = 10$ Ом ва $r_4 = 15$ Ом бўлиб, r_3 ва r_4 қаршиликлар параллел уланган, r_2 эса уларга кетма-кет уланган. Агар r_3 қаршиликда кучланиш пасайиши 12 В га тенг бўлса, r_x қаршилик ва манбаининг э. ю. кучи аниқлансин.

38. A_1 ва A_2 амперметрлар (2-25- расм) мос ҳолда 1,6 ва 2,4 мА токни кўрсатмоқда. Агар $r_1 = r_6 = 5$ кОм; $r_3 = 1,5$ кОм; $r_4 = 2$ кОм бўлса, r_x қаршилик ва энергия манбаининг э. ю. кучи аниқлансин. Манбаининг ички қаршиллик ва амперметрнинг қаршиллик ҳисобга олинмасин.



2-26- расм. 39- масалага.

39. 2-26- расмдаги занжир учун: $E_1 = E_2 = 4,8$ В; $r_1 = r_2 = 960$ Ом; $r_3 = 260$ Ом; $r_4 = r_5 = 720$ Ом; $r_6 = 600$ Ом; $r_7 = 400$ Ом лар берилган; ички қаршиликлар $r_{01} = r_{02} = 0$. Ҳамма тоқлар ва А, В ва В нуқталарнинг потенциаллари ҳисоблансин.

40. Диаметри 4 мм, узунлиги: 1 км бўлган иккита алюминий симли линиядан кучланиши $U_2 = 450$ В бўлган двигатель таъминланади. Линиянинг бошида кучланиш $U_1 = 500$ В. Занжирнинг схемаси тузилсин ва кучланиш исрофи, тармоқдаги ток ва ток энчлиги, шу-

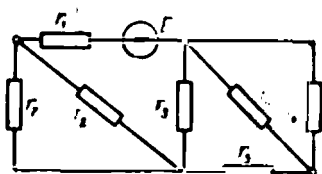
нингдек, истеъмолчининг қуввати ва сутка давомида ўртача 10 соат ишлаганда ва 1 кВт соат электр энергиянинг нархи 4 тишин бўлганда бир ойда линияда исроф бўладиган энергиянинг қиймати аниқлансин.

41. Агар алюминий симлар мис сим билан алмаштирилса ва моторнинг иш шароити бир хилда сақланса, аввалки масаладаги линия бошида уланган генератор кучланишини неча вольт каҳайтириш мумкин?

42. Агар температура ± 30 С ўзгариб турганда U_2 кучланиш 1 % ўзгарса, қуввати 4,5 кВт ва кучланиши $U_2 = 450$ В бўлган истеъмолчини таъминловчи алюминий симли тармоқнинг қаршиллик аниқлансин. Симларнинг қаршиллик истеъмолчининг қаршилликдан анча кам деб фараз қилинсин.

2-6. НАМУНА КОНТРОЛ
 МАСАЛА

2-27-расмдаги занжирда кар-
 шиликлар маълум: $r_1 = 2,5$ Ом;
 $r_2 = 2$ Ом; $r_3 = 9$ Ом;
 $r_4 = 15$ Ом; $r_5 = 3$ Ом; $r_6 = 10$ Ом;
 $r_7 = 3$ Ом.



2-27-расм. Намунали контрол
 масалага.

2-1-жадвал

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8
Берилган	U_1	U_1	U_3	U_2	U_7	I_2	I_6	I_2
	100	50	45	6	30	6	3	6
Аниқлансин	I_2	E	E	E	E	I_1	I_3	I_5
Вариант №	9	10	11	12	13	14	15	16
Берилган	I_2	I_2	I_3	I_3	I_3	I_3	I_3	I_4
	6	3	1,2	2	3	4	5	0,1
Аниқлансин	I_4	I_6	I_1	I_6	I_3	I_5	I_6	I_1
Вариант №	17	18	19	20	21	22	23	24
Берилган	I_4	I_4	I_4	I_6	I_6	I_6	I_6	I_6
	0,2	0,3	0,2	0,75	0,5	0,8	0,06	10
Аниқлансин	I_2	I_3	I_7	I_1	I_6	I_3	I_1	I_2

2-1-жадвалда Серилган вариантлар бўйича кўрсатилган электр катталиклардан бирининг (ток I , кучланиш U ёки э. ю. к. E) қиймати занжирнинг маълум қаршилигидан ва шу жадвалда берилган бошқа катталикларнинг қийматларидан фойдаланиб аниқлансин. 2-1-жадвалдан фойдаланишда қуйидагилар ҳисобга олинсин:

1) ҳамма кучланишлар — вольт ҳисобида, тоқлар эса ампер ҳисобида берилган;

2) кучланиш ва тоқлардаги индекслар 2-27-расмдаги қаршилик индексларига мос келади, масалан, $U_1 - r_1$ қаршиликдаги кучланиш ёки $I_3 - r_3$ қаршиликдаги ток.

2.7. 2-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

18. 10А; 4 А; 6А; 21 В; 77,8 В; 1,2 В; 210 Вт; 778 Вт; 12 Вт; 1000 Вт ($210 + 778$ 12) = 1000 Вт.

19. 0,2 А; 0,4 А.

20. 1,25 А; 0,125, См; 0,54 А; 0,27 А.

21. 12А; 9,6А; 2,4 А; 58,8 В; 48 В.

22. U дан 0,48 U гача; U дан 0,45 U гача

23. 1/2 ва 2% 2) 16,5 на 0,2%

24. 50 мА; 150 мА; 75 В; 225 В; 60 В.

25. 3,6 А; 12 А; 8,4 А, 7 А; 1,4 А; 1440 Вт; 43 Вт; 1397 Вт.

26. 91 Ом.

27. Иккита; 24 Ом; умумий ток 5 А қаршиликлардаги тоқлар 1А дан; 120 В.

28. 20 кОм (1 Вт); 50 кОм (0,25 Вт); 240 В; 131 В.

29. Йўл қўйилмаган қувват 0,25 Вт бўлгани ҳолда r_1 қаршиликдаги қувват 18 Вт ни ташкил қилади ва демак, у куйиб кетади.

30. Амперметр ва V_2 вольтметр кичик қийматни, вольтметр эса катта қийматни кўрсатади.

31. r_1 ёки r_2 қаршилик қисқа туташган.

32. Вольтметр ва A_1 , A_2 , A_3 амперметрлар нолни, умумий амперметр $I = U/r$ токни кўрсатади.

33. A ва A_1 амперметрларнинг кўрсатиши катталашади, қолган амперметрларники эса камаяди.

$$34. r_{\text{ум}} = r_1 + r_2 + \frac{\left(\frac{r_3 \cdot r_4}{r_3 + r_4} + r_5 \right) \cdot r_6}{\frac{r_3 \cdot r_4}{r_3 + r_4} + r_5 + r_6} = 15 \text{ Ом.}$$

35. 20 Ом.

36. 5,8 В.

37. 120 Ом; 62 В.

38. 1 кОм; 8,4 В.

39. 9,6 мА; 3,2 мА; 3,2 мА; 1,6 мА; 1,6 мА; 1,28 мА; 1,92 мА;
 $\varphi_A = 4,8 \text{ В}; \varphi_B = -7,1 \text{ В}; \varphi_H = 5,68 \text{ В.}$

40. 50 В; 10,8 А; 0,86 А/мм³; 4,9 кВт; 6 с 50 т.

41. 20 В.

42. 1,8 Ом.

Намуна контрол масалаларнинг /2-6-§/ жавоблари 2-2 жадвалда келтирилган:

2-2-жадвал

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Жавоби (А), (В)	24	164	83	41	205	10	2,5	5	2	1,5	2,4	2,4
Вариант №	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Жавоби (А)	1,2	4	3	0,5	0,6	0,75	0,4	0,9	1	2	0,2	10

УЧИНЧИ БОБ

ТУРЛИ ШОХОБЧАЛАРГА УЛАНГАН БИР НЕЧА ЭНЕРГИЯ МАНБАЛИ ТАРМОҚЛАНГАН ЎЗГАРМАС ТОҚ ЗАНЖИРИ

3-1. ТОҚЛАРНИ УСТЛАШ УСУЛИ

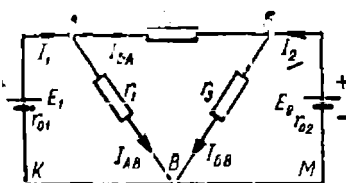
Масаланинг шarti

Қуйида берилганлар: $r_1 = r_3 = 2 \text{ Ом}$; $r_2 = 1,6 \text{ Ом}$; $E_1 = 3,6 \text{ В}$; $E_2 = 4,8 \text{ В}$; $r_{01} = r_{02} = 0,5 \text{ Ом}$ асосида 3-1-расмдаги занжир учун ҳамма қисмлардаги тоқлар ва A , B , ва B тугун нуқталар орасидаги кучланишлар аниқлансин.

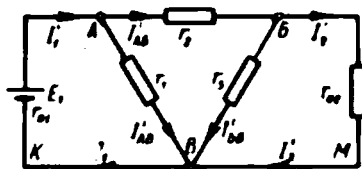
Масаланинг ечилиши

1. 3-1-расмдаги занжир учун устлаш усулини қўллаш. Турли шохобчаларга уланган бир неча энергия манбали тармоқланган занжирлар, шу жумладан, 3-1-расмдаги занжир ҳам, мураккаб занжир ҳисобланади. Бундай мураккаб занжирларни ҳисоблаш учун бир қатор усуллар мавжуд бўлиб, улардан бири (устлаш усули) ни шу параграфда, бошқа усуллар кейинги параграфларда кўриб чиқилади.

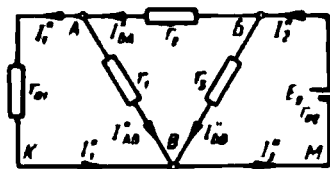
Устлаш усулида занжирнинг инсталланган қисмидаги тоқ ҳар



3-1- расм. Икки энергия манбали мураккаб занжир.



3-2- расм. Мураккаб занжирдан битта э.ю.к. ни чиқариб ташлаш.



3-3- расм. Мураккаб занжирдан иккинчи э.ю.к. ни чиқариб ташлаш.

бир э. ю. к. томонидан ҳосил қилинадиган хусусий тоқларнинг йиғиндиси сифатида қаралади. Бизнинг ҳолда: биринчидан, э. ю. к. E_2 бўлмаганда E_1 э. ю. к. ҳосил қиладиган қисмий тоқларни аниқлаш, яъни 3-2- расмдаги оддий занжирни ҳисоблаш, иккинчидан, E_1 э. ю. к. бўлмаганда E_2 э. ю. к. ҳосил қиладиган қисмий тоқларни, яъни 3-3- расмдаги оддий занжирни ҳисоблаш; учинчидан, сунгги икки схемадаги қисмий тоқларни алгебраик қўшиши лозим бўлади.

Демак, ушлаш усули бир неча энергия манбали (3-1- расм) битта мураккаб занжирни ҳисоблашни ҳар бирида битта энергия манбаи бўлган бир нечта (бизнинг ҳолда иккита) занжирлар билан алмаштириш имконини беради.

2. Қисмий тоқларни белгилаш. E_1 э. ю. к. учуннинг ҳамма қисмий тоқларини (3-2- расм) битта штрихли I ҳарфи билан, E_2 э. ю. к. нинг ҳамма қисмий тоқларини (3-3- расм) икки штрихли I' билан белгилаймиз.

3. Қисмий тоқларни ҳисоблаш. э. ю. к. учун E_1 бўлган занжир учун (3-2- расм) олдин умумий қаршилиқни ҳисоблаймиз. $БВ$ қисмининг қаршилиғи:

$$r_{БВ}^I = \frac{r_3 \cdot r_{02}}{r_3 + r_{02}} = \frac{2 \cdot 0,5}{2 + 0,5} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Бу қаршилиқ r_2 қаршилиқ билан кетма-кет уланган, шунинг учун

$$r_{АБВ} = r_2 + r_{БВ}^I = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ Ом.}$$

Иккита бир хил $r_{АБВ}$ ва r_1 қаршилиқлар параллел уланган, шунинг учун бутун ташқи занжирнинг умумий қаршилиғи:

$$r_{АВ} = \frac{r_1}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ Ом.}$$

Манбанинг токи:

$$I_1' = \frac{E_1}{r_{01} + r_{AB}} = \frac{3,6}{1,5} = 2,4 \text{ А.}$$

A тугун нуқтада иккита тенг токка бўлинади:

$$I_{AB}' = I_{AB}' = \frac{I_1'}{2} = 1,2 \text{ А.}$$

I_{AB}' ток *B* тугун нуқтада қуйидаги токларга бўлинади:

$$I_2' = I_{AB}' \cdot \frac{r_3}{r_{02} + r_3} = 1,2 \cdot \frac{2}{2,5} = 0,96 \text{ А;}$$

$$I_{BB}' = I_{AB}' - I_2' = 1,2 - 0,96 = 0,24 \text{ А.}$$

Электр юритувчи кучи E_2 бўлган занжир учун (3-3-расм)

$$r_{AB}'' = \frac{r_1 \cdot r_{01}}{r_1 + r_{01}} = \frac{2 \cdot 0,5}{2 + 0,5} = 0,4 \text{ Ом;}$$

$$r_{BAV}'' = r_2 + r_{AB}'' = 1,6 + 0,4 = 2,0 \text{ Ом;}$$

$$r_{BB}'' = \frac{r_{BAV}''}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ Ом,}$$

чунки $r_3 = r_{BAV}''$

Электр юритувчи кучи E_2 бўлган манба шохобчасидаги ток:

$$I_2'' = \frac{E_2}{r_{BB}'' + r_{02}} = \frac{4,8}{1,5} = 3,2 \text{ А.}$$

$r_{BAV}'' = r_3 = 2,0$ Ом бўлгани учун ток:

$$I_{BA}' = I_{BB}' = \frac{I_2''}{2} = \frac{3,2}{2} = 1,6 \text{ А.}$$

AB қисмининг параллел шохобчаларидаги токлар:

$$I_1'' = I_{BA}' \cdot \frac{r_1}{r_{01} + r_1} = 1,6 \cdot \frac{2}{2,5} = 1,28 \text{ А;}$$

$$I_{AB}'' = I_{BA}' - I_1'' = 1,6 - 1,28 = 0,32 \text{ А.}$$

4. 3-1-расмдаги занжир тоқларини ҳисоблаш. Қисмий тоқларни алгебраик қўшамиз.

$ВКА$ қисмда I'_1 қисмий ток (3-2-расм) $В$ тугундан $А$ тугунга, қисмий ток I''_1 эса $А$ дан $В$ га, яъни биринчининг қаршисига йўналган. Шунинг учун йиғинди ток

$$I'_1 = I'_1 - I''_1 = 2,4 - 1,28 = 1,12 \text{ А.}$$

I_1 токнинг йўналиши (3-1-расм) катта қисмий токнинг, яъни I'_1 токнинг йўналиши билан мос тушади.

I_{BA} ва I_2 тоқларни шунга ўхшаш аниқлаймиз:

$$I_{BA} = I'_{BA} - I'_{AB} = 1,6 - 1,2 = 0,4 \text{ А;}$$

$$I_2 = I'_2 - I_2 = 3,2 - 0,96 = 2,24 \text{ А.}$$

I_{BA} ва I_2 тоқларнинг йўналиши (3-1-расм) мос ҳолда I'_{BA} ва I'_2 тоқларнинг йўналиши кабидир.

AB шохобчада иккала қисмий токнинг (I'_{AB} ва I''_{AB}) йўналиши мос тушади, шунинг учун

$$I_{AB} = I'_{AB} + I''_{AB} = 1,2 + 0,32 = 1,52 \text{ А.}$$

Шунга ўхшаш

$$I_{BB} = I'_{BB} + I''_{BB} = 0,24 + 1,6 = 1,84 \text{ А.}$$

5. Кучланишларни ҳисоблаш. Тугун нуқталар орасидаги кучланиш:

$$U_{AB} = I_{BA} r_2 = 0,4 \cdot 1,6 = 0,64 \text{ В;}$$

$$U_{AB} = I_{AB} \cdot r_1 = 1,52 \cdot 2 = 3,04 \text{ В;}$$

$$U_{BB} = I_{BB} \cdot r_3 = 1,84 \cdot 2 = 3,6 \text{ В.}$$

6. Ҳисоблаш натижаларини текшириш. Ҳисоблаш натижаларини текшириш учун Кирхгоф қонунлари асосида тенглама тузамиз.

$А$ тугун учун: $I_{AB} = I_1 + I_{BA}$; ҳақиқатан ҳам, $1,52 = 1,12 + 0,4$.

$Б$ тугун учун: $I_2 = I_{BA} + I_{BB}$; ҳақиқатан ҳам $2,24 = 0,4 + 1,84$.

ABB контур учун: $U_{AB} - U_{BB} + U_{BA} = 0$; ҳақиқатан ҳам, $+3,04 - 3,68 + 0,64 = 0$ (контурни айланиб чиқиш йўналиши соат стрелкаси ҳаракати йўналишига тесқари).

Масалага қўшимча саволлар

1. Иккидан ортиқ манбали занжирларни ҳисоблашда устлаш усули қандай қўлланилади? Агар мураккаб занжир, масалан, турли шохобчаларга уланган учта E_1 , E_2 ва E_3 э. ю. к. манбаларига эга бўлса, қисмий тоқларни ҳисоблаш учун учта схема тузиш керак: биринчи схема фақат E_1 э. ю. к. га, бошқаси — фақат E_2 э. ю. к. га, учинчиси фақат E_3 га эга бўлади. Учта схемада қисмий тоқларни ҳисоблаб ва уларни алгебраик қўшиб, берилган занжирнинг тоқларини оламиз.

2. Мураккаб занжирни ҳисоблашда қандай ҳолларда устлаш усулини қўллаш мақсадга мувофиқ? Устлаш усули билан ҳисоблашда қисмий тоқларни ҳисоблаш энг сермеҳнат иш. Шунинг учун ҳам бу усул манбалар сони унча кўп бўлмаганда — иккита, баъзан учта бўлганда қўлланилади. Бундан ташқари, занжирни тўла ҳисоблаш керак бўлмаганда, масалан, занжирнинг фақат манбали қисмлардаги тоқларни топиш талаб қилинган ҳоллардагина бу усул қулайдир.

3. Тоқларни устлаш усули билан ҳисоблаш қандай ҳолларда жавобларда катта хатоликларга олиб келиши мумкин? Агар шохобчанинг йиғинди токи иккита яқин қийматлар айирмаси билан ифодаланса, қўшилувчиларни (қисм тоқларни) аниқлашдаги жуда кичик хато натижанинг (шохобча ҳақиқий токнинг) жуда катта нисбий хатоллигига олиб келиши мумкин.

3-2. КИРХГОФ ТЕНГЛАМАЛАРИ УСУЛИ

Масаланинг шарти

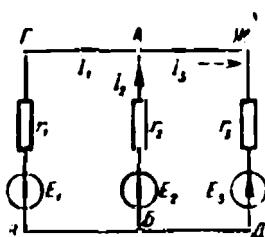
3-4-расмдаги занжир учун берилган:

$$E_1 = 60 \text{ В}; E_2 = 48 \text{ В}; E_3 = 6 \text{ В}, r_1 = 200 \text{ Ом};$$

$r_2 = 100 \text{ Ом}; r_3 = 10 \text{ Ом}$. Ҳамма шохобчаларда тоқларни аниқлаш талаб қилинади.

Масаланинг ечилиши

1. Усулнинг моҳияти. Бу усул Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонувларини қўллашга асосланган, схемани ўзгартиришни мутлақо талаб қилмайди ва ҳар қандай занжирларни ҳисоблаш учун яроқли; бу усулнинг афзаллиги шунда.



3-4- расм. Учта шохобчали мураккаб занжир.

Занжирни ҳисоблаш учун нечта тенглама тузиш керак? Маълумки, номаълумлар қанча бўлса, шунча тенглама тузиш керак, бизнинг ҳолда тоқлар номаълум. Шунинг учун масалани ечишни номаълум тоқлар сонини аниқлашдан бошлаймиз.

2. Номаълум тоқлар сонини аниқлаш ва уларнинг йўналишини танлаш. Маълумки, занжирнинг ҳар бир тармоқланмаган қисмида (шохобчада)

шу қисмнинг бошидан схиригача ток бир хил қийматга эга бўлади. Кўрилатган занжирда (3-4-расм) *A* ва *Б* тугун нуқталарга учта шохобча уланган: I_1 тоқли *БВГА*, I_2 тоқли *БА*, I_3 тоқли *БДЖА*.

Демак, тоқлар сони электр занжирининг шохобчалар сонига тенг.

Бу тоқларнинг йўналиши қандай аниқланади?

Бизга маълумки, мураккаб занжирда уни ҳисобламасдан туриб, ҳамма тоқларнинг йўналишини билиб бўлмайди. Шунинг учун *олдин тоқларнинг йўналиши (тоқларнинг мусбат йўналиши) ихтиёрий танланади* ва шу танланган йўналишлар асосида тенгламалар тузилади. Сўнгра бу тенгламалар ечилади ва тоқларнинг ҳақиқий йўналиши уларнинг алгебраик ишоралари бўйича аниқланади, чунончи, ҳақиқий йўналиши ихтиёрий олинган йўналишга тескари бўлган тоқлар манфий сонлар билан ифодаланади.

Бизнинг ҳолда, масалан, олдиндан шунини айтиши мумкинки, тоқларнинг танланган йўналишининг ҳаммаси ҳам (3-4-расм, туташ стрелкалар) ҳақиқий йўналиш билан мос тунавермайди, чунки ҳамма тоқлар ҳам *A* тугунга келавермайди. Битта ёки иккита ток манфий сонлар билан ифодаланиши мумкин.

Демак, *Кирхгоф тенгламаларидаги тоқлар алгебраик катталиқлар бўлиб, уларнинг ишоралари тоқларнинг йўналишига боғлиқдир.*

3. Кирхгоф қонунлари асосида тенгламалар тузиш. Бизнинг масалада учта — I_1 , I_2 ва I_3 тоқлар номаълум, буларни аниқлаш учун учта тенглама тузамиз.

Анча содда бўлгани сабабли тенгламалар тузишни Кирхгофнинг биричи қонунидан бошлаймиз. *q* тугунли занжир учун $q - 1$ мустақил тенгламалар тузиш мумкин; занжирнинг битта (исталган) тугуни учун тенглама тузиш керак

эмас, чунки у олдингиларнинг натижасидан иборат бўлиб қолур эди.

3-4-расмдаги занжирда иккита тугун бор. Шунинг учун Кирхгофнинг биринчи қонуни асосида битта, масалан, А тугун учун тенглама тузамиз:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (3-1)$$

Етишмаган икки тенгламани Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тузамиз, бунинг учун, масалан, *БАЖДБ* ва *ВГДЖВ* контурларни танлаймиз (тенгламалар мустақил бўлиши учун сўнгги ҳар бир контурга олдингиларига кирмаган битта янги шохобча кириши лозим).

Ҳар бир контурни айланиб чиқиш йўналишини соат стрелкаси ҳаракати йўналиши бўйича қабул қилиб ва ишюралар қондасини ҳисобга олиб (2-1-§, 3-қўшимча саволга қаранг), қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$r_2 I_2 - r_3 I_3 = E_2 - E_3, \quad (3-2)$$

$$r_1 I_1 - r_3 I_3 = E_1 - E_3. \quad (3-3)$$

4. Токларни ҳисоблаш. (3-2) ва (3-3) тенгламаларга қаршиликлар ва э. ю. к. ларнинг қийматларини қўйиб, қўйидагиларни оламиз:

$$100 I_2 - 10 I_3 = 48 - 6$$

ёки

$$100 I_2 - 10 I_3 = 42; \quad (3-4)$$

$$200 I_1 - 10 I_3 = 54. \quad (3-5)$$

Шундай қилиб, токларни ҳисоблаш уч номаълумли учта (3-1), (3-4) ва (3-5) тенгламалар системасини ечишга келтирилади. Бунинг учун, масалан, (3-1) тенгламадан I_2 токни аниқлаймиз ва унинг қийматини (3-4) тенгламага қўямиз:

$$-100(I_1 + I_3) - 10 I_3 = 42;$$

ўхшаш ҳадларни йиғиб, қўйидагини оламиз:

$$-100 I_1 - 110 I_3 = 42. \quad (3-6)$$

Икки I_1 ва I_2 номаълумли иккита (3-5) ва (3-6) тенгламалар ҳосил қилинди.

(3-6) тенгламани 2 га қўпайтириб ва уни (3-5) тенглама билан қўшиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$-100 I_3 - 220 I_3 = 138$$

бундан

$$I_3 = -\frac{138}{220} = -0,6 \text{ A.}$$

I_3 токнинг қийматини (3-6) тенгламага қўйсақ,

$$-100 I_1 - 110(-0,6) = 42$$

бундан

$$I_1 = \frac{42-66}{-100} = 0,24 \text{ A.}$$

I_2 токни (3-1) тенгламадан аниқлаймиз:

$$I_2 = -I_1 - I_3 = -0,24 + 0,6 = 0,36 \text{ A.}$$

I_1 ва I_2 тоқлар мусбат, I_3 эса манфий қийматга эга, демак, биринчи иккита токнинг йўналиши тўғри, I_3 токнинг йўналиши нотўғри танланган экан. I_3 токнинг ҳақиқий йўналиши 3-4-расмда пунктир стрелка билан кўрсатилган. Бунда A тугунга келган тоқларнинг йиғиндис $I_1 + I_2 = 0,24 + 0,36 = 0,6 \text{ A}$ чиқиб кетган $I_3 = 0,6 \text{ A}$ тоқка тенг.

Масалага қўшимча саволлар

1. 3-4 ва 3-1 расмларда кўрсатилган занжирлар нечта электр контурига эга? 3-4-расмдаги электр занжир учта контурга эга: $ГАБВГ$, $ГЖДВГ$ ва $АЖДБА$, Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича иккита тенглама тузиш учун иккита контур танлаш зарур ва етарлидир. Энг осони алоҳида ячейка ҳосил қиладиган контурларни, бизнинг ҳолда $ГАБВГ$ ва $АЖДБА$ контурларни танлаш керак. Ячейкалар сони доимо Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тузиладиган мустақил тенгламалар сонига тенг бўлади.

3-1-расмдаги занжирни Кирхгоф қонунлари ёрдамида ҳисоблаш учун бешта мустақил тенглама тузиш керак (занжир беш шохобчадан тузилган). Занжир учта A , B ва B тугунларга эга, демак, Кирхгофнинг биринчи қонуни

бўйича иккита мустақил тенглама тузиш мумкин. Етишмаган учта тенгламани Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тузиш керак.

3- I-расмдаги занжирда олти контурни мўлжаллаш мумкин (АБКА, АБВКА, АБМҚА, АБВА, АБМВА ва БМВБ), лекин мустақил тенгламалар фақат учта контур учун масалан, учта АБКА, АБВА ва БМВБ ячейкалар учун олинishi мумкин, буларнинг ҳар бирига битта янги шохобча киради.

Демак, тармоқланган электр занжир керагидан ортиқ контурга эга бўлади ва улардан тенгламалар тузиш учун фойдаланиш мумкин.

2. Агар тоқларнинг қийматлари берилган бўлиб, занжирнинг бошқа параметрлари номаълум бўлса, ҳисоблашни қандай олиб бориш керак? Маълумки, 3-4-расмдаги занжир учун тузилган учта (3-1) — (3-3) мустақил тенгламадан исталган учта номаълум катталикини аниқлаш мумкин. Масалан, тоқлар ва қаршиликлар берилган бўлса, э. ю. к. E_1 , E_2 ва E_3 ларни, маълум бўлган тоқлар ва э. ю. к. лар билан эса учта қаршиликни аниқлаш мумкин.

Демак, занжирни Кирхгоф тенгламалари усулида ҳисоблаш тартиби қайси катталиклар берилганлигига ва қайсилари номаълумлигига боғлиқ эмас. *Номаълум катталиклар сони Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонунлари асосида тузилиши мумкин бўлган мустақил тенгламалар сонидан ортиқ бўлмаслиги шарт.*

3. Контурни айланиб чиқиш йўналишини ҳамма контурлар учун бир хил олиш шартми? (3-2) ва (3-3) тенгламаларни тузишда бу контурларни айланиб чиқиш йўналиши бир хил (соат стрелкаси ҳаракати йўналишида) олинган эди. Улардан бири, масалан, АЖДБА учун (3-4-расм) айланиб чиқиш йўналишини қарама-қарши йўналишда қабул қилиб, қуйидагини оламиз:

$$r_3 I_3 - r_2 I_2 = E_3 - E_2. \quad (3-7)$$

(3-2) ва (3-7) тенгламаларни солиштириб, уларнинг бири-бирига айнан ўхшашлигига осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин, чунки улар тенгламанинг ҳамма ҳадларининг қарама-қарши ишоралари билангина фарқ қилади.

Демак, ҳар бир контур учун айланиб чиқиш йўналиши ихтиёрий танланиши мумкин.

4. Олдинги масалани (3-1-расм) Кирхгоф тенгламалари усули билан ечиш мақсадга

мувофиқми? 3-1-расмдаги электр занжир бешта номаълум токка эга ва уларни ҳисоблаш учун бешта тенглама (Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича — иккита ва иккинчи қонуни бўйича—учта) талаб қилинган бўлар эди.

Бешта тенгламадан иборат системани ечиш йиғиш усули билан иккита оддий занжирдаги тоқларни ҳисоблашдан осон эмас.

3-3. КОНТУР ТОҚЛАРИ УСУЛИ

Масаланинг шарти

Ҳисобланиши олдинги параграфда Кирхгоф тенгламалари ёрдамида бажарилган 3-5-расмдаги занжир учун занжирнинг ўша берилганлари бўйича ҳамма тоқлар контур тоқлари усулида аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

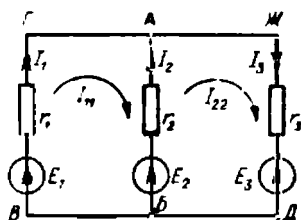
1. Контур тоқлари ва уларнинг шохобча тоқлари билан боғлиқлиги. Контур тоқлари усули фақат Кирхгофнинг иккинчи қонунидан фойдаланишга асосланган, бу эса биргаликда ечиладиган тенгламалар сонини камайтиришга имкон беради.

Бунга схемани ячейкаларга (мустақил контурларга) бўлиш ва ҳар бир ячейка (контур) учун ҳисобланадиган катталиқ бўлган ўзининг тоқини — контур тоқини киритиш йўли билан эришилади.

Масалан, берилган занжирда (3-5-расм) иккита ячейкачи ($ГАВВГ$ ва $АЖДВА$) кўриш ва булар учун мос ҳолда I_{11} ва I_{22} контур тоқларини киритиш мумкин.

Занжир схемасидан маълумки, ташқи шохобчалар ($ГВ$ ва $ЖД$) учун контур тоқлари шохобча тоқлари билан бир хил, яъни $I_1 = I_{11}$ ва $I_3 = I_{22}$ бўлади. Схеманинг ички шохобчаси учун (3-5-расм, $АБ$ шохобча) i_2 ток контур тоқларнинг айирмаси билан аниқланади, яъни $i_2 = I_{22} - I_{11}$ (бу ерда I_2 токнинг I_{22} токка мос йўналганлиги ва i_{11} токка қарама-қарши йўналганлиги назарда тутилмоқда).

Шундай қилиб, куриб чиқилаётган занжирда иккита контур тоқи учта шохобча тоқини ифодалашга имкон беради.



3-5- расм. Учта шохобчали занжирда контур тоқлари.

2. Контурларнинг хусусий ва умумий қаршиликларини аниқлаш. Контурнинг ҳамма қаршиликларининг йиғиндиси унинг хусусий қаршилиги дейилади ва улар $ГАВГ$ контур учун (3-5-расм) $r_{11} = r_1 + r_2 = 200 + 100 = 300$ Ом ни ташкил этади. $АЖДБА$ контур учун хусусий қаршилик $r_{22} = r_2 + r_3 = 100 + 10 = 110$ Ом.

Икки контурнинг умумий шохобчасининг қаршилиги (3-5-расм, $АВ$ шохобча) уларнинг умумий қаршилиги дейилади. Бу қаршилик биринчи контур учун r_{12} , иккинчи контур учун r_{21} билан ифодаланади. r_{12} ва r_{21} битта шохобчанинг қаршилиги бўлгани учун) $r_{12} = r_{21}$. Бизнинг ҳолда $r_{12} = r_{21} = r_2 = 100$ Ом.

3. Контур тенгламаларини тузиш ва тоқларни ҳисоблаш. $БВГАБ$ контур учун контур тенглама (Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама) тузамиз:

$$r_1 I_{11} - r_2 (I_{22} - I_{11}) = E_1 - E_2,$$

ёки тенгламанинг I_{11} ва I_{22} тоқлар бўлган ҳадларини йиғиб, қуйидагини оламиз:

$$(r_1 + r_2) I_{11} - r_2 I_{22} = E_1 - E_2.$$

Бу тенгламада кучланишлар пасайишининг алгебранк йиғиндиси кўрилатган контур тоқи I_{11} нинг унинг хусусий қаршилиги r_{11} га кўпайтмаси билан ва бошқа контурнинг тоқи I_{22} ни биринчи ва иккинчи контурларнинг умумий қаршилиги r_{12} га кўпайтмаси билан ифодаланади, яъни:

$$r_{11} I_{11} - r_{12} I_{22} = E_1 - E_2.$$

$АЖДБА$ контур учун шунга ўхшаш тенглама тузамиз:

$$r_{22} I_{22} - r_{21} I_{11} = E_2 - E_3.$$

Қаршилик ва э. ю. к. ларнинг қийматларини қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$300 I_{11} - 100 I_{22} = 60 - 48 = 12;$$

$$110 I_{22} - 100 I_{11} = 48 - 6 = 42.$$

Шундай қилиб, I_{11} ва I_{22} контур тоқларини ҳисоблаш иккита тенгламалар системасини ечишга олиб келади.

Иккинчи тенгламани 3 га кўпайтириб ва уни биринчи тенглама билан ҳадма-ҳад қўшиб қуйидагини оламиз:

$$300 I_{11} - 100 I_{22} + 330 I_{22} - 300 I_{11} = 12 + 126,$$

бундан

$$230 I_{22} = 138, \text{ ёки } I_{22} = 138/230 = 0,6 \text{ А.}$$

I_{22} нинг қийматини биринчи контур тенгламасига қўйиб, қуйидагини топамиз:

$$I_{11} = \frac{12 + 100I_{22}}{300} = \frac{12 + 100 \cdot 0,6}{300} = 9,24 \text{ A.}$$

Юқорида ёзилган (1 п.) контур токлари билан шохобча токлари орасидаги боғланишдан фойдаланиб, шохобча токларининг қийматларини оламиз:

$$I_1 = 0,24 \text{ A}; I_3 = 0,6 \text{ A}; I_2 = I_{22} - I_{11} = 0,6 - 0,24 = 0,36 \text{ A.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Агар I_{22} токнинг (3-5-расм) йўналиши бошқача қабул қилинса, контур тенгламалари қандай ўзгаради? Агар I_{22} ток соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналтирилса, контур тенгламаларининг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$r_{11}I_{11} + r_{12}I_{22} = E_1 - E_2; r_{22}I_{22} + r_{21}I_{11} = E_3 - E_2.$$

Масалани ечишда фойдаланилгач тенгламаларни олинган тенгламалар билан солиштириш контурларнинг умумий қаршилигида кучланиш пасайишининг ишораси ҳақида умумий хулоса чиқаришга имкон беради, умумий қаршилиқда токларнинг йўналиши бир хил бўлса, у ишора мусбат ва токлар қарама-қарши йўналганда ишора манфийдир.

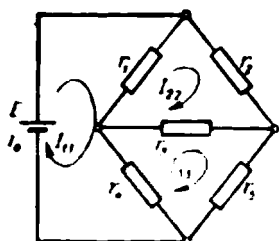
2. Қандай ҳолларда контур токлари усулни қўллаш мақсадга мувофиқ? тугунлари кўл бўлган занжирлар учун олдинги усулга нисбатан (3-2-§) бу усулнинг афзаллиги орта боради. Масалан, олтита шохобчали ва учта ячейкали кўприксимон схемада (2-10-расм) токларни ҳисоблаш учун Кирхгоф қонунлари бўйича олтита тенглама талаб қилинар эди ва контур токлари усули бўйича фақат учта талаб қилиниши 3-6-расмдан кўриниб турибди.

Кўприксимон схемани контур токлари усулида ҳисоблашни (тузилган тенгламалар системасини ечишни) шу масала учун 2-4-§ да кўрилган ўзгартириш усулига қараганда тезроқ бажариш мумкин.

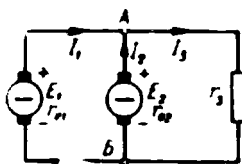
3-4. ИККИ ТУГУН УСУЛИ

Масаланинг шarti

Э. ю. к. лари $E_1 = E_2 = 230 \text{ В}$ ҳамда ички қаршилиқлари $r_{01} = 0,5 \text{ Ом}$ ва $r_{02} = 0,4 \text{ Ом}$ бўлган иккита параллел



3-6-расм. Кўприксимон
схемада контур токлари.



3-7-расм. Иккита генера-
торни параллел улаш.

уланган генератор эквивалент қаршилиги $r_3 = 10$ Ом бўлган истеъмолчини таъминлайди.

Ҳамма тоқлар, генераторнинг қуввати, ички қаршилиқларда исроф бўладаган қувват, шунингдек, истеъмолчи r_3 нинг қуввати аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Икки тугун усулининг қўлланилиши. Ҳар қандай занжир учун қўлланиладиган олдинги учта усулдан бу усулнинг фарқи фақат *иккита тугунга жа булган (шоҳобчалар сони ихтиёрый бўлганда) занжирларни ҳисоблаш учун яроқлигидадир*. Иккита тугунли занжирлар амалда кўп учрайди ва икки тугун усули уларни ҳисоблашни осонлаштиради.

Ҳисоблаш учун тугун нуқталар орасидаги кучланишни аниқлайдиган формула қўлланилади:

$$U_0 = \Sigma E g / \Sigma g,$$

бу ерда $\Sigma E g$ — э. ю. к. нинг шоҳобча ўтказувчанлигига кўпайтмасининг алгебраик йиғиндиси;

Σg — шоҳобчалар ўтказувчанликларининг йиғиндиси.

Масалан, кўрилатган занжир (3-7-расм) учун:

$$U_0 = U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}. \quad (3-8)$$

Учинчи шоҳобчада э. ю. к. бўлмагани учун бу ерда суратда қўшилувчи $E_2 g_3$ йўқ. Агар, масалан, E_2 э. ю. кучи тесқари йўналишда бўлганда $E_2 g_2$ қўшилувчининг олдинга манфий илпюра қўйилиши керак эди.

2. Тугун кучланишини ҳисоблаш. Шохобчаларнинг ўтказувчанликларини аниқлаймиз:

$$g_1 = \frac{1}{r_{01}} = \frac{1}{0,5} = 2,0 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{1}{r_{02}} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ См};$$

$$g_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ См}.$$

Тугун кучланиши:

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{230 \cdot 2,0 + 230 \cdot 2,5}{2,0 + 2,5 + 0,1} = 225,0 \text{ В}.$$

3. Токларнинг мусбат йўналишини танлаш. Қўрилатган занжир (3-7-расм) ҳисоблашдан олдин йўналишлари номълум булган учта I_1 , I_2 ва I_3 токли шохобчага эга (мураккаб занжир), шунинг учун уларнинг мусбат йўналишларини ихтиёрй танлаш лозим бўлади (3-7-расмдаги стрелкалар).

4. Токларни ҳисоблаш. Токларнинг 3-7-расмда қабул қилинган йўналишлари э. ю. кучнинг таъсир йўналиши билан бир хил. Бу ҳолда тугун кучланиши ёки э. ю. к. ли шохобча учларидаги кучланиш, манбанинг э. ю. кучи билан шохобча қаршилигидаги кучланиш пасайиши орасидаги айирмага тенг, яъни:

$$U_{AB} = E_1 - I_1 r_{01} = E_2 - I_2 r_{02},$$

бундан

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{r_{01}} = (E_1 - U_{AB}) g_1 = (230 - 225) \cdot 2 = 10 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{r_{02}} = (E_2 - U_{AB}) g_2 = (230 - 225) \cdot 2,5 = 12,5 \text{ А}.$$

Ом қонуни бўйича ток:

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{r_3} U_{AB} g_3 = 225 \cdot 0,1 = 22,5 \text{ А}.$$

5. Қувватларни ҳисоблаш. Манбалар ҳосил қиладиган қувват:

$$P_1 = E_1 I_1 = 230 \cdot 10 = 2,30 \text{ кВт};$$

$$P_2 = E_2 I_2 = 230 \cdot 12,5 = 2,875 \text{ кВт}.$$

Ички қаршилиқда исроф бўладиган қувват:

$$P_{01} = r_{01} I_1^2 = 0,5 \cdot 10^2 = 50 \text{ Вт} = 0,07 \text{ кВт};$$

$$P_{02} = r_{02} I_2^2 = 0,4 \cdot (12,5)^2 = 62,5 \text{ Вт} = 0,0625 \text{ кВт}.$$

Истеъмолчининг қуввати:

$$P_{r3} = I_3^2 r_3 = (22,5)^2 \cdot 10 = 5,0625 \text{ кВт}.$$

Қувватлар балансини тузамиз:

$$P_{01} + P_{02} + P_{r3} = 0,050 + 0,0625 + 5,0625 = 5,175 \text{ кВт};$$

$$P_1 + P_2 = 2,30 + 2,875 = 5,175 \text{ кВт}.$$

Шундай қилиб,

$$P_{01} + P_{02} + P_{r3} = P_1 + P_2,$$

агар ҳисоблаш тўғри бажарилган бўлса, буни кутиш мумкин.

Масалага қўшимча саволлар

1. Тугун кучланишини қандай аниқликда ҳисоблаш керак бўлади? Кўрилатган занжирга ўхшаш кўпгина амалий масалаларда тугун кучланиши э. ю. к. дан унча фарқ қилмайди. Шунинг учун бизнинг ҳолда U_{AB} ни аниқлашда фақат 1% хато қилинганда, яъни 225 В ўрнига $U_{AB} = 227,25$ В олинганда токнинг $I_1 = 10$ А қиймати ўрнига $I_1 = (E_1 - U_{AB}) \cdot g(230 - 227,25) \cdot 2,0 = 5,5$ А қиймати оламиз ёки 45% хато қилган бўламиз.

Бу мисол тугун кучланишларини тоқлар учун талаб қилинадиган аниқликка қараганда икки марта аниқроқ ҳисоблаш шартлигини кўрсатади. Шунинг учун тугун кучланиши э. ю. к. қийматидан кам фарқ қиладиган занжирлар учун икки тугун усули қўлланилмаслиги керак.

2. Шоҳобчаларда тоқларнинг тақсимланишига манбаларнинг қандай параметрлари таъсир этади? Генераторларнинг параллел ишлаши учун улар орасида нагрузканинг (токнинг) тақсимланишига оид масала энг қизиқарлидир.

Масалэн, $E_1 = E_2$ бўлганда тоқларнинг қуйидаги нисбатини ҳосил қиламиз:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(E_1 - U_{AB})}{(E_2 - U_{AB})} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{r_{01}}{r_{02}}$$

яъни параллел уланган генераторларнинг э. ю. к. лари тенг бўлганда уларнинг токлари ички қаршиликларига текари пропорционалдир.

3. Қандай ҳолларда параллел уланган манбалардан бири истеъмолчи режимида ишлайди? Ихтиёрий генераторга запас таъминловчи манба сифатида аккумуляторлар батареясини параллел улаб (генератор сафдан чиққан ҳолда), аккумуляторни «буфер» улаш деб аталадиган улашни оламиз. Бундай улашдан технологик шароитлари бўйича ҳатто жуда қиеқа вақт давомида узилиб қолиши мумкин бўлмаган истеъмолчиларни таъминлашда фойдаланилади. Биз кўраётган масалалар биринчи манба — генератор, иккинчиси эса — буфер аккумуляторлар батареяси деб фараз қиламиз. Маълумки, нормал шароитда истеъмолчи генератордан таъминланиши, батарея эса салт ишлаши ёки зарядланиш режимида ишлаши керак, бунга эса генераторнинг э. ю. кучи маълум даражада аккумулятор э. ю. кучидан каттароқ бўлиши билан эришилади.

Масалан, $E_1 = 245$ В га $E_2 = 230$ В бўлганда тугун кучланиши (3-8)

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{245 \cdot 2,0 + 230 \cdot 2,5}{4,5} = 232 \text{ В};$$

аккумулятор токи

$I_2 = (E_2 - U_{AB}) g_2 = (230 - 232) \cdot 2,5 = -5$ А, яъни бу ҳолда I_2 ток E_2 э. ю. кучга қарама-қарши йўналган ва аккумулятор истеъмолчи (зарядланиш) режимида ишлайди.

Генератор узиб қўйилганда аккумулятор занжирдаги ягона таъминловчи манба сифатида генератор режимига ўтади ва истеъмолчини таъминлайди.

3-6. ЭКВИВАЛЕНТ Э. Ю. К. МАНБАИ УСУЛИ. НАГРУЗКА ЎЗГАРИБ ТУРАДИГАН РЕЖИМ

Масаланинг шарти

3-7-расмдаги занжирда генераторларнинг э. ю. к. лари $E_1 = 232$ В ва $E_2 = 228$ В, уларнинг ички қаршиликлари $r_{01} = r_{02} = 0,40$ Ом. Генераторлар нагрукасининг r_3 қаршилги 0—1 Ом чегарасида ўзгариб туради.

Нагрукка токи ва қувватининг, шунингдек, генераторлар ф. и. коэффициентларининг r_3 қаршиликка боғланиши аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

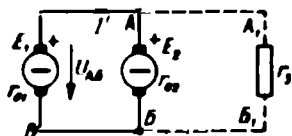
1. Эквивалент э. ю. к. манбаи усулининг қўлланилиши. Бу усул мураккаб занжирнинг битта шохобчасидаги электр катталикларни (ток, кучланиш, қувват ва бошқаларни) аниқлаш учун қулайдир. Кўриб ўтилган бошқа усулларга нисбатан эквивалент э. ю. к. манбаи усулининг афзаллиги текшириладиган шохобчанинг қаршилиги берилган масаладаги каби ўзгарадиган бўлса (ўзгарувчан нагрузка), айниқса, сезиларлидир.

2. Эквивалент схема тузиш. Кўриб чиқиладиган занжирни тугун нуқталарига қараб икки қисмга бўлиш мумкин (3-8-расм): изланаётган қаршиликни шохобчага (уни схеманинг ташқи қисми деб оламиз) ва занжирнинг қолган хамма қисмига (уни ички қисми деймиз). 3-8-расмдаги схеманинг иккала қисми AA_1 ва BB_1 пунктир чизиқлар билан бирлаштирилган (ҳар бир чизиқ битта тугун нуқтага тегишли).

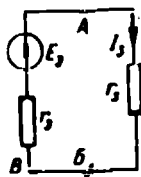
Эквивалент э. ю. к. манбаи тўғрисидаги теоремага биноан схеманинг ички қисмини қаршилиги r_3 ва э. ю. кучи E_3 бўлган битта таъминловчи манба (3-9-расм. АВВ шохобча) билан алмаштириш мумкин. Бундай алмаштиришда 3-7-расмдаги дастлабки занжир ҳисоблаш қийин бўлмаган оддий тармоқланмаган занжирга келтирилади (3-9-расм).

Шундай қилиб, масалани ечилиши схема ички қисмининг эквивалент параметрларини (E_3 ва r_3) аниқлашдан бошлаш керак бўлади.

3. Эквивалент э. ю. к. манбаининг параметрларини ҳисоблаш. Эквивалент э. ю. к. манбаининг э. ю. кучи E_3 занжирнинг ташқи қисми узилганда (салт ишлаш режими) унинг ички қисми қисмаларидаги кучланишга тенглиги исбот қилинган. Бизнинг ҳолда эквивалент э. ю. к. E_3 3-8-расмдаги схеманинг салт ишлаш режимида A ва



3-8-расм. Занжирни ички ва ташқи қисмларга ажратиш.



3-9-расм. Эквивалент кучланиш манбаи ўзгартирилган занжир.

Б нуқталар орасидаги кучланишга тенг демакдир: $E_3 = U_{AB} = E_1 - r_{01}I$, бу ерда $I' - 3-8-$ расмда $ABBA$ контурнинг токи. r_3 қаршилик узиб қўйилгани учун I' токни 1-2- §. да кўрсатилганидек топамиз:

$$I' = \frac{E_1 - E_2}{r_{01} + r_{02}} = \frac{232 - 228}{0,8} = 5 \text{ A,}$$

$$E_3 = E_1 - r_{01}I' = 232 - 0,4 \cdot 5 = 230 \text{ В.}$$

$E_3 = U_{AB}$ э. ю. к. ташқи занжирда A нуқтадан B нуқтагача таъсир этади, бу 3-9- расмда ҳисобга олинган.

Эквивалент манбанинг ички қаршилиги r_s ни аниқлашга ўтамыз. Бунинг учун схеманинг ички қисмидаги ҳамма э. ю. к. лар ёки бизнинг ҳолда (3-8-расм) E_1 ва E_2 э. ю. к. ларни чиқариб ташлаймиз ва салт ишлаш режими учун ажратилган қисмаларда (3-8- расм, A ва B қисмалар) схеманинг эквивалент (умумий) қаршилигини аниқлаймиз:

$$r_{ум} = r_{AB} = \frac{r_{01} \cdot r_{02}}{r_{01} + r_{02}} = \frac{r_{01}}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Схеманинг бундай йўл билан топилган ички қисмининг умумий қаршилиги эквивалент манбанинг биз излаган параметри r_s бўлади, яъни $r_s = r_y = 0,2 \text{ Ом}$.

4. Ток билан қаршилик орасидаги боғланиш $I_3 = f(r_3)$ ни аниқлаш. Эквивалент схемада (3-9-расм) ток:

$$I_3 = \frac{E_3}{r_s + r_3} = \frac{E_3}{r_s} \cdot \frac{1}{(r_3/r_s) + 1} = \frac{230 \cdot 1}{0,2(r_3/r_s) + 1} = 1,15 \frac{10^3}{1 + (r_3/r_s)}$$

Бу тенгламадан r_3/r_s ёки r_3 нинг бир неча кийматлари учун тоқлар аниқланган (3-1-жадвал), ундан токнинг гипербола қонуни асосида (r_3 нинг ўсишига қараб) камайиб бориши келиб чиқади.

3-1-жадвал

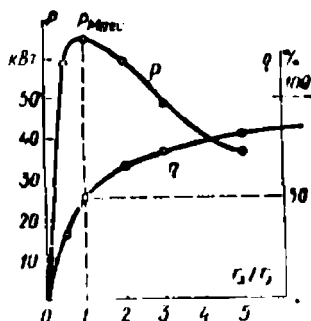
r_3/r_s	0	0,5	1	2	3	5
$r_3, \text{ Ом}$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	1,0
$I, \text{ А}$	1150	766	575	383	287,5	191,5

5. Қувват ва фойдали иш коэффициенти учун боғланишларни аниқлаш. I_3 токи ва r_3 қар-

шилик орқали (3-1-жадвал) нағрузка қувватини ҳисоблай-
миз. $P = r_3 I_3^2$ (3-2-жадвал) ва P графигини қурамыз (3-10-
расм).

(3-2-жадвал)

r_3/r_0	0	0,5	1	2	3	5
$P, \text{ кВт}$	0	58,7	66,12	58,7	49,5	36,7



3-10-расм. Ташқи занжир каршилиги r_3 нинг манбаи ички каршилиги нисба-
тига қараб қувват ва ф.и.к. нинг гра-
фиги.

Ташқи занжирда энг катта қувват режими $P_{\text{макс}}$ (3-10-
расм) $r_3 = r_0$ бўлганда олинар экан (шу масаланинг 3-қў-
шимча саволида анча аниқроқ исботланган).

б. Ф. и. к. ни аниқлаш.

$$\eta = \frac{P}{P_m} = \frac{I_3^2 r_3}{I_3^2 (r_3 + r_0)} = \frac{r_3}{(r_3 + r_0)} = \frac{1}{1 + r_0/r_3}$$

Характерли режимлар учун ф. и. к. ни ҳисоблаймиз

$$r_3 = 0 \text{ бўлганда} \quad \eta = \frac{0}{0 + r_0} = 0;$$

$$r_3 = r_0 \text{ бўлганда} \quad \eta = \frac{r_0}{r_0 + r_0} = 0,5 \text{ ёки } 50 \%$$

$$r_3 = \infty \text{ бўлганда} \quad \eta = \frac{1}{1 + r_0/\infty} = 1 \text{ ёки } 100 \%$$

Шундай қилиб, r_3/r_0 нисбат ортиб бориши билан
ф. и. к. ўсиб боради ва салт ишлаш режимида назарий
максимал қиймат (100%) га эришади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Нима учун эквивалент э. ю. к. манбаи тўғрисидаги теорема актив икки қутблик ҳақидаги теорема ҳам дейилади? Масалани ечишда берилган мураккаб занжир (3-8-расм) ички ва ташқи қисмларга бўлинган эди. Ички қисми икки қисмали (A ва B қисмлар, 3-8-расм) актив занжирдан иборатдир, яъни актив икки қутбликдир.

Эквивалент э. ю. к. манбаининг параметрлари (E_3 ва r_3) схемадан ва кўрсатилган актив икки қутбликнинг параметрлари билан аниқланади. Шунинг учун кўпинча ва ҳақли ривийда эквивалент кучланиш манбаи ҳақидаги теоремани актив икки қутблик тўғрисидаги теорема деб юритилади.

2. Нима учун эквивалент э. ю. к. манбаи усулини яна салт ишлаш ва қисқа туташтириш усули ҳам деб юритилади? Агар r_3 қаршилиқ узилган ҳолда, яъни эквивалент генераторнинг салт ишлаш режимида A ва B тугун нуқталар (3-8-расм) орасидаги кучланиш вольтметр билан ўлчанса, унда э. ю. к. $E_3 = U_{AB}$ ни олаемиз. Агар A ва B нуқталар орасига қаршилиги кичкина амперметр уланса, яъни эквивалент генераторда қисқа туташтириш режими ҳосил қилинса, у ҳолда амперметр билан ўлчанаётган ток $I_k = \frac{E_3}{r_3}$ ($r_3 = 0$ бўлганда, 3-9-расм), бундан қаршилиқ

$$r_3 = \frac{E_3}{I_k} = \frac{U_{AB}}{I_k}.$$

Шундай қилиб, салт ишлаш ва қисқа туташтириш режимида улчаниш бажариб, эквивалент э. ю. к. манбаи параметрларини тажриба асосида аниқлаш мумкин.

3. Ташқи занжирда энг катта қувват олиш шартини аналитик тарзда қандай топиш мумкин? Бизнинг ҳолда $P(r_3)$ боғланиш тенгламасини тузиб ва бу боғланишнинг биринчи ҳосиласини нолга тенглаштириб $dp/dr_3 = 0$, P_{\max} қийматни аниқлаш мумкин:

$$P = I_3^2 \cdot r_3 = \left(\frac{E}{r_3 + r_3} \right)^2 r_3 = \frac{r_3}{(r_3 + r_3)^2} \cdot E^2,$$

$$\frac{dp}{dr} = E^2 \frac{(r_3 + r_3)^2 - r_3 \cdot 2(r_3 + r_3)}{(r_3 + r_3)^4} = E^2 \frac{r_3 - r_3}{(r_3 + r_3)^3} = 0,$$

бундан $r_3 - r_3 = 0$ ёки $r_3 = r_3$.

4. Қандай ҳолларда 3-9-расмдаги занжир учун қувват максимал бўлган режим ва қандай ҳолларда ф. и. к. максимал бўлган режим танланади? Энергиянинг бир қадар исрофгарчилиги муҳим бўлмаган кичик қувватли занжирлар (масалан, махсус электрон асбоблар) учун истеъмолчининг r_3 қаршилигида максимал қувватга яқин режимни таъминлаш учун кўпинча $r_3 = (1 \div 3)$ қилиб танланади. Бунда ф. и. к. 50—75% га тенг бўлади.

Ўрта ва катта қувватли занжирлар учун ф. и. к. ning кичик бўлиши ва энергия исрофгарчилигининг катта бўлишига йўл қўйиш мумкин эмас. Бундай занжирларда ф. и. к. ning юқори бўлишини таъминлаш мақсадида (95% дан юқори) $r_3 = (10 \div 20)$ r_3 атрофида ва ундан ортиқ танланади. Лекин бунда истеъмолчига бериладиган қувват берилиши мумкин бўлган максимал қувватдан бир неча марта кам бўлади.

3-6. Мустақил ечиш учун масалалар

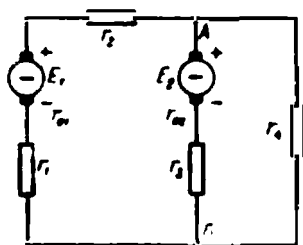
43. Агар $E_1 = E_2 = 120$ В; $r_{01} = 0,5$ Ом; $r_{02} = 0,4$ Ом; $r_1 = 10$ Ом; $r_2 = 14,5$ Ом; $r_3 = 12,4$ Ом; $r_4 = 83,3$ Ом бўлса, занжирнинг (3-11-расм) ҳамма шохобчаларидаги тоқлар аниқлансин. Масала икки усулда: устлаш ва икки тугун усулида ечилсин.

44. Агар $E_1 = 45$ В; $E_2 = 60$ В; $r_1 = 60$ Ом; $r_2 = 100$ Ом; $r_3 = 150$ Ом; $r_4 = 20$ Ом бўлса, 3-12-расмдаги занжирда ҳамма шохобчалардаги тоқлар устлаш усулида аниқлансин. Манбаларнинг ички қаршиликлари ҳисобга олинмасин.

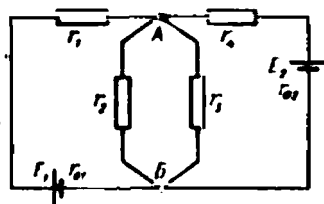
45. Қуйидаги берилганлар асосида 3-12-расмдаги занжирнинг ҳамма қисмларидаги тоқлар ҳамда А ва В нукталар орасидаги кўчланиш икки тугун усулида ҳисоблансин; $E_1 = E_2 = 105$ В; $r_1 = r_4 = 9,5$ Ом; $r_2 = r_3 = 20$ Ом; $r_{01} = r_{02} = 0,5$ Ом.

46. Қуйидаги берилганлар асосида 3-13-расмдаги занжирнинг ҳамма шохобчаларида тоқлар Кирхгоф тенгламалари усулида аниқлансин; $E_1 = E_2 = 110$ В; $r_1 = 0,98$ Ом; $r_2 = r_4 = 0,5$ Ом; $r_3 = 4,35$ Ом.

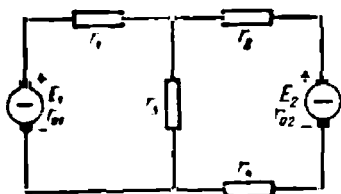
47. E_1 , ε , ю. к. ли ва $r_{01} = 0,01$ Ом ички қаршилликли аккумуляторлар батареяси ва кетма-кет уланган r_1 қаршилиқ ε , ю. кучи



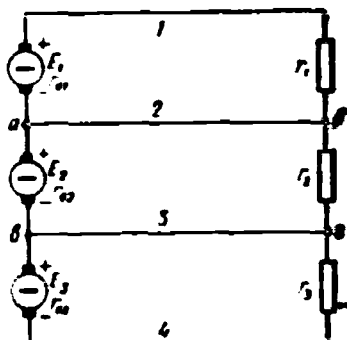
3-11-расм. 43-масалага.



3-12-расм. 44-масалага.



3-13- расм. 46- масалага.



3-14- расм. 48- масалага.

E_2 ва ички қаршилиги $r_{02} = 0,15$ Ом бўлган генераторга параллел уланган. Бутун қурилма кучланиши 120 В ва қуввати 0,96 кВт бўлган истеъмолчини энергия билан узлуксиз таъминлайди.

Аниқлаш талаб қилинади:

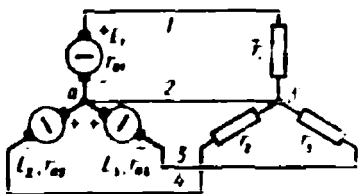
а) агар энергия манбаларининг токи бир хил ва $E_1 = 126$ В бўлса (аккумулятор зарядланган), r_1 қаршилик ва E_2 э. ю. кучни;

б) агар $E_1 = 121$ В, $r_1 = 1,49$ Ом, қолган берилган аввалгидек ҳолса, энергия манбаининг тоқларни ва E_2 э. ю. кучни.

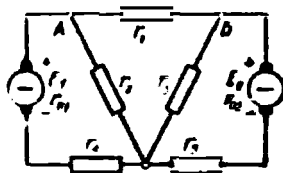
48. 3-14 ва 3-15-расмларда учта генераторни уларнинг истеъмолчиларни билан тўрт симли схема бўйича улашнинг икки варианты кўрсатилган. Ҳар бир схеманинг 1—4 уловчи симларидаги тоқлар аниқлансин. Берилганлар: $E_1 = E_2 = E_3 = 230$ В;

$$r_{01} = r_{02} = r_{03} = 0,5 \text{ Ом};$$

$$r_1 = 4,1 \text{ Ом}; r_2 = r_3 = 1,8 \text{ Ом}.$$



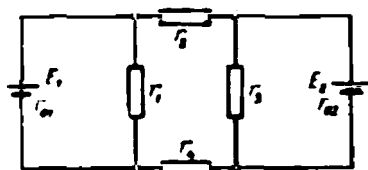
3-15- расм. 48- масалага.



3-16- расм. 50- масалага.

49. Олдинги масалани истеъмолчилар қаршилиги бир хил, яъни $r_1 = r_2 = r_3 = 4,1$ Ом бўлган ҳол учун ечилсин.

50. 3-16- расмдаги занжир учун турли тоқлар сони аниқлансин; уларни ҳисоблаш учун Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонуни асосида нечта тенглама тузиш кераклиги схемада ҳаммаси бўлиб нечта электр контурни борлиги аниқлансин.



3-17- расм. 54- масалага.

51. Олдинги масала учун контур токларни усулида ҳисоблашда керак бўладиган тенгламалар сонини топилсин.

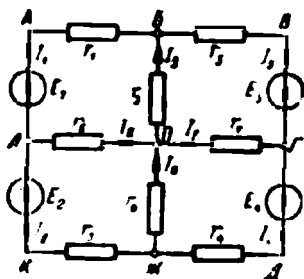
52. Агар $E_1 = 40$ В; $E_2 = 30$ В; $r_{01} = r_{02} = 0,4$ Ом; $r_1 = 30$ Ом; $r_2 = r_3 = 10$ Ом; $r_4 = r_5 = 3,6$ Ом бўлса, 3-16- расмдаги занжирнинг ҳамма қисмларида токлар ва ҳар бир генератор берадиган қувват аниқлансин.

53. Олдинги масала учун AB шохобчадаги ток эквивалент кучлигини манбаи усулида аниқлансин.

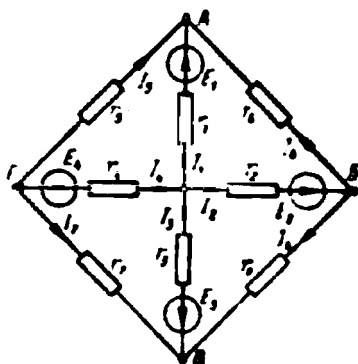
54. Агар $E_1 = 16$, 4В; $E_2 = 24$, 5 В; $r_1 = 3$ Ом; $r_2 = 0,8$ Ом; $r_3 = 3$ Ом; $r_{02} = 2$ Ом; $r_{01} = 2$ Ом; $r_4 = 5$ Ом бўлса, 3-17- расмдаги занжирнинг ҳамма шохобчаларидаги токлар аниқлансин.

3-7. НАМУНА КОНТРОЛ МАСАЛА

3-3 ва 3-4- жадваллардаги вазифа вариантларида тегишлича 3-18 ёки 3-19- расмлардаги занжирлар учун кўрсатилган контурлардан биринга Қирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама тузилсин. Контурнинг айланиб чиқиш йуналиши соат стрелкаси ҳаракати йўналиши бўйича олинсин.



3-18- расм. Намунали контрол масалага.



3-19- расм. Намунали контрол масалага.

3-3- жадвал

Вариант №	Занжирнинг контури (3-18- расм)
1	А Б О Ж К Л А
3	Б В Г Д Ж О Б
5	А Б В Г О Л А
7	Л О Г Д Ж К Л
9	А Б О Г Д Ж К Л А
11	В Б О Л К Ж Д Г В
13	Ж К Л А Б В Г О Ж
15	А Б В Г Д Ж О Л А
17	А Б В Г Д Ж К Л А

Вариант №	Занжиришнинг контури (3-19-расм)
2	A B O Г A
4	Г O B B Г
6	A O B Г A
8	A B B O A
10	A O B B Г A
12	A O Г B B A
14	Г A B O B Г A
16	B B O Г A B
18	A B B Г A

3-в. 3- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

43. 0,44 A; 0,86 A; 1,3 A
 44. 0; 0,75 A; 0,30 A; 0,45 A.
 45. 70 B; ҳамма тоқлар 3,5 A дан
 46. 22,4 A; 11,2A; 11,2A.
 47. а) 1,49 Ом; 120, 6 B; б) 0,67 A; 7,33 A; 121,1 B.
 48. 3-14- расмдаги схема учун: 50 A; 50 A; 0; 100 A
 3-15- расмдаги схема учун: 50 A; 150 A; 100 A; 100 A.
 49. 3-14- расмдаги схема учун: 50 A; 0; 0; 50 A
 3-15- расмдаги схема учун: ҳамма тоқлар 50 A дан.
 50. Тоқлар бешта; биринчи қонун бўлича иккита ва иккинчи қонун бўлича учта; контурлар олтига.
 51. Учта тенглама.
 52. 3 A; 2,8 A; 0,2 A; 2 A; 120 Вт; 60 Вт.
 53. 0,2 A.
 54. 2,92 A; 3,52 A; 0,6 A; 4,68 A; 0,6 A; 5,28 A.
 Намуна контрол масалага вазифанинг вариантлари бўлича жавоблар:

- $E_1 - E_2 = r_1 I_1 - r_3 I_3 - r_6 I_6 - r_2 I_2.$
- $E_4 - E_2 = -r_6 I_6 - r_2 I_2 + r_4 I_4 + r_5 I_5.$
- $I_4 - E_3 = r_3 I_3 + r_4 I_4 + r_8 I_8 + r_6 I_6.$
- $E_2 - E_4 = -r_4 I_4 + r_2 I_2 + r_6 I_6 - r_7 I_7.$
- $E_1 - E_3 = r_1 I_1 - r_3 I_3 + r_7 I_7 - r_6 I_6.$
- $E_3 - E_1 = -r_1 I_1 + r_3 I_3 - r_7 I_7 + r_6 I_6.$
- $E_4 - E_2 - r_6 I_6 - r_7 I_7 + r_4 I_4 = r_2 I_2.$
- $E_1 - E_3 = -r_6 I_6 - r_3 I_3 + r_7 I_7 + r_1 I_1.$
- $E_1 + E_3 - E_2 = r_1 I_1 - r_6 I_6 - r_7 I_7 + r_4 I_4 - r_2 I_2.$
- $E_2 - E_1 = -r_1 I_1 + r_2 I_2 + r_6 I_6 - r_7 I_7 + r_6 I_6.$
- $E_2 + E_3 - E_4 = r_3 I_3 - r_3 I_3 - r_6 I_6 + r_2 I_2 - r_4 I_4.$
- $E_4 - E_1 = -r_1 I_1 + r_4 I_4 - r_7 I_7 - r_6 I_6 + r_6 I_6.$
- $E_1 - E_3 - E_2 = -r_2 I_2 + r_1 I_1 - r_3 I_3 + r_7 I_7 - r_6 I_6.$

14. $E_3 - E_2 = r_3 I_3 - r_6 I_6 - r_7 I_7 + r_8 I_8 - r_1 I_1$.
15. $E_1 - E_3 - E_4 = r_1 I_1 - r_3 I_3 + r_4 I_4 + r_8 I_8 - r_6 I_6$.
16. $-E_4 + E_6 = r_6 I_6 - r_3 I_3 + r_4 I_4 + r_8 I_8 - r_6 I_6$.
17. $E_1 - E_3 + E_4 - E_2 = r_1 I_1 - r_3 I_3 + r_4 I_4 - r_2 I_2$.
18. $0 = -r_6 I_6 + r_8 I_8 - r_7 I_7 - r_5 I_5$.

ТЎРТИНЧИ БОБ

ТЎРТҚУТБЛИҚЛАР

4-1. СХЕМАСИНИНГ БЕРИЛГАН ПАРАМЕТРЛАРИ БЎЙИЧА ТЎРТҚУТБЛИҚНИ ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шарти

Кириш қисмалари 1-1' ва чиқишниги 2-2' бўлган тўртқутблик (4-1- расм) схемасининг қаршиликлари $r_1 = 100$ Ом; $r_2 = 200$ Ом; $r_0 = 800$ Ом.

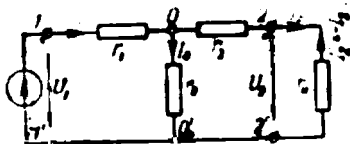
Аниқлаш талаб қилинади:

1) қаршиликлар орқали (r форма), ўтказувчанликлар орқали (q форма) ва А формада ифодаланган тенгламалар системасининг коэффициентларини;

2) таъминловчи манбанинг кучланиши $U_1 = 12$ В ва юк қаршилиги $r_{ю} = 600$

Ом бўлганда кириш ва чиқиш тоқларини;

3) тўртқутблик симметрик бўладиган r_1 қаршиликни.



4-1- расм. Тўртқутбликнинг Т симон схемаси.

Масаланинг ечилиши

1. Пассив тўртқутбликнинг тенгламаси. Тўртқутбликнинг схемаси занжирнинг кириш қисмалари 1-1' ва чиқиш қисмалари 2-2' орасидаги қисмида (4-1- расм) ҳосил бўлади. Бу схема фақат қаршиликлардан (r_1, r_2, r_0) ташкил топган бўлиб, унда энергия манбаи йўқ. Бундй тўртқутблик пассив тўртқутблик дейилади. Тўртқутбликларни ҳисоблашда тўртта катталиқ: кириш ва чиқиш кучланишлари ҳамда тоқлари (4-1- расм, U_1, U_2 кучланишлар ва I_1, I_2 тоқлар) орасидаги боғланишдан фойдаланилади.

Бу тоқлар ва қучланишлар турли формадаги тенгламалар билан ўзаро боғланиши мумкин. Агар, масалан, I_1 ва I_2 тоқлар берилганда U_1 ва U_2 қучланишларни аниқлаш керак бўлса, тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\begin{cases} U_1 = r_{11}I_1 + r_{12}I_2 \\ U_2 = r_{21}I_1 + r_{22}I_2 \end{cases} \quad (4-1)$$

Маълумки, бу тенгламаларнинг (r форма) ҳамма коэффициентлари (r_{11} , r_{12} , r_{21} , r_{22}) қаршилиқ ўлчамлигига эга.

Агар масалани тескари ечиш талаб қилинса, яъни I_1 ва I_2 тоқлар U_1 ва U_2 қучланишлар орқали ифодаланса, ўтказувчанлик формасидаги тенгламалардан фойдаланилади:

$$\begin{cases} I_1 = g_{11}U_1 + g_{12}U_2 \\ I_2 = g_{21}U_1 + g_{22}U_2 \end{cases} \quad (4-2)$$

Ёзилган тенгламаларнинг ҳамма коэффициентлари (g_{11} , g_{12} , g_{21} ва g_{22}) ўтказувчанликлар ўлчамлигига эга. (4-2) тенгламани формадаги тенглама дейиш мумкин.

Кўпинча, бирламчи қисмалардаги қучланиш ва тоқ иккиламчи қисмалардаги қучланиш ва тоқ орқали ифода қилинадиган A формадаги тенгламалар қўлланилади:

$$\begin{cases} U_1 = AU_2 + BI_2 \\ I_1 = CU_2 + DI_2 \end{cases} \quad (4-3)$$

(4-3) тенгламаларда ва AD коэффициентлар ўлчамсиз катталиклар бўлиб, B коэффициент қаршилиқ ва C коэффициентни ўтказувчанлик ўлчамлигига эга.

Берилган масалани ечишда тенгламаларнинг келтирилган уч формасидан фойдаланилади, лекин амалда бошқа формалари ҳам учрайди.

(4-1) ва (4-3) тенгламалардан фойдаланиш учун бу тенгламаларнинг коэффициентларини билиш керак.

Бу масалада тенгламаларнинг коэффициентларини тўртқутблик схемасининг берилган параметрларига кўра аниқлаш усули кўриб чиқилади.

2. r формадаги тенглама коэффициентларини аниқлаш. Талаб қилинаётган коэффициентларни топиш учун (4-1) кўринишдаги тенгламани тузиш керак. Уларни Кирхгоф қонунлари асосида тузиш мумкин.

Масалан, $1022'0'1'1$ контур учун (4-1-расм) Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида

$$U_1 = r_1I_1 + r_2I_2 + U_2, \quad (4-4)$$

022'0'0 контур учун

$$U_2 - r_0 I_0 = r_2 I_2,$$

бу ерда $I_0 = I_1 - I_2$ ва шунинг учун

$$U_2 = r_0(I_1 - I_2) - r_2 I_2 = r_0 I_1 - (r_2 + r_0) I_2 \quad (4-5)$$

(4-4) тенгламадаги U_2 кучланиш ўрнига унинг учун

олинган (4-5) ифодани қўйиб, ўхшаш ҳадларни ихчамлаштириб, қуйидагини топамиз:

$$U_1 = (r_1 + r_0) I_1 - r_0 I_2. \quad (4-6)$$

Бир томондан (4-6) ва (4-5) тенгламаларни ва бошқа томондан дастлабки тенгламалар (4-1) ни солиштириб, бу икки тенглама системаси коэффициентлар қиймати қуйидагича бўлганда бир хил бўлишини кўрамиз:

$$r_{11} = r_1 + r_0; \quad r_{12} = -r_0; \quad r_{21} = r_0; \quad r_{22} = -(r_2 + r_0)$$

r_{12} ва r_{21} коэффициентлар сон жihatдан тенг, лекин ишоралари билан фарқ қилади, бу эса амалий мақсадлар учун ноқулайдир. Бу ноқулайлик $I_2' = -I_2$ токни киритиб йўқотилиши мумкин (4-1- расм).

Бунда (4-6) ва (4-5) тенгламалар қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$U_1 = (r_1 + r_0) I_1 + r_0 I_2';$$

$$U_2 = r_0 I_1 + (r_2 + r_0) I_2' \quad (4-7)$$

Коэффициентлар ўзгартирилса, (4-7) тенгламалар системаси (4-1) системага келтирилади

$$r_{11} = r_1 + r_0;$$

$$r_{12} = r_{21} = r_0;$$

$$r_{22} = r_2 + r_0. \quad (4-8)$$

Биздаги берилганларда: $r_{11} = 100 + 800 = 900$ Ом; $r_{12} = -r_{21} = 800$ Ом; $r_{22} = 200 + 800 = 1000$ Ом га эга бўламиз.

Шундай қилиб, умумий ҳолда *пассив тўртқутблик учта мустақил коэффициент билан характерланади*. Берилган мисолда бу коэффициентлар r_{11} ; $r_{12} = r_{21}$ ва r_{22} .

3. Ўтказувчанликлар формасидаги тенгламаларнинг коэффициентларини аниқлаш. r формадаги тенгламалар коэффициентларини аниқлаш (олдинги пункт) Кирхгоф қонунларидан фойдаланилган эди. Улар ёрдамида ҳамма формадаги, шу жумладан (талаб қилинаётган g формадаги тенгламаларнинг коэффициентларини ҳа-

топиш мумкин. Лекин масалани ечишнинг бошқа йўли ҳам бор.

(4-7) тенгламалар системаси ва (4-8) нфодалар шу нар- сани кўрсатадики, тенгламаларнинг коэффициентлари наг- рузка қаршилигига боғлиқ эмас, яъни улар ҳар қандай қийматда ҳам, шу жумладан $r_{ю} = \infty$ (салт ишлаш) ва $r_{ю} = 0$ (қисқа туташиш) бўлганда ҳам тўғридир. Бу режим- ларнинг қўлланилиши амалда кенг фойдаланиладиган салт ишлаш ва қисқа туташиш усулларига асосланган. Улар- дан тенгламаларнинг талаб қилинадиган коэффициентларини аниқлаш учун фойдаланамиз.

Қисқа туташиш режимида тўртқутбликнинг чиқишидаги кучланиш $U_{2к} = r_{к} I_{2к} - 0 \cdot I_{2к} = 0$. Бунда (4-2) тенглама сод- далашади: $I_{1к} g = g_{11} \cdot U_{1к}$ ва $I_{2к} = g_{21} \cdot U_{1к}$. бу ерда $U_{1к}$ ва $I_{1к}$ — тўртқутбликнинг чиқиши қисқа туташганда, яъни $r_{ю} = 0$ бўлганда тўртқутбликнинг кириш қисмасидаги куч- ланиш.

4-1- расмдаги занжирда $r_{ю} = 0$ бўлганда r_0 ва r_2 қар- шиликлар параллел, r_1 эса уларга кетма-кет улаишини таъкидлаб, занжирнинг умумий токини топамиз:

$$I_{1к} = \frac{U_{1к}}{r_1 + \frac{r_0 r_2}{r_0 + r_2}} = \frac{U_{1к}(r_0 + r_2)}{r_0 r_1 + r_1 r_2 + r_0 r_2},$$

бундан

$$\frac{I_{1к}}{U_{1к}} = g_{11} = \frac{r_0 + r_2}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2}. \quad (4-9)$$

Умумий ток учун юқоридаги нфодага эга бўлган ҳолда параллел шохобчалардан бирининг (r_2 қаршиликдаги) токни аниқлаймиз:

$$I_{2к} = I_{1к} \frac{r_0}{r_0 + r_2} = \frac{U_{1к}(r_0 + r_2)}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2} \frac{r_0}{r_0 + r_2} = \frac{U_{1к} r_0}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2},$$

бундан

$$\frac{I_{2к}}{U_{1к}} = g_{21} = \frac{r_0}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2}. \quad (4-10)$$

Бошқа иккита коэффициентни топиш учун тўртқутбликни тескари улаймиз, яъни таъминловчи манбани 2-2 қисмалар- га, $r_{ю}$ қаршиликни эса 1-1' қисмаларга улаймиз. Тескари улаш учун қисқа туташиш режимини қўллаб (бу ҳолда

$I = I'$ қисмалари туташтириладиган), (4-9) ва (4-10) ифодаларга ўхшаш ифода оламиз:

$$\frac{I_{2K}}{U_{2K}} = g_{22} = \frac{r_0 r_1}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2}, \quad (4-11)$$

$$\frac{I_{1K}}{U_{2K}} = g_{12} = \frac{r_0}{r_1 r_0 + r_1 r_2 + r_0 r_2} \quad (4-12)$$

бу ерда $I'_{1K} = -I_{1K}$.

g_{12} ва g_{21} коэффициентларнинг тенглиги пассив тўртқутблик учта мустақил коэффициент билан характерланишини яна бир марта тасдиқлайди. Берилган ҳол учун бу коэффициентлар g_{11} , g_{22} ва $g_{12} = g_{21}$

Бизга берилганлар асосида

$$g_{11} = \frac{800 + 200}{100 \cdot 800 + 100 \cdot 200 + 800 \cdot 200} = \frac{10^3}{2,6 \cdot 10^5} = 3,84 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$g_{22} = \frac{800 + 100}{2,6 \cdot 10^5} = \frac{0,9 \cdot 10^3}{2,6 \cdot 10^5} = 3,46 \cdot 10^{-3} \text{ См},$$

$$g_{12} = g_{21} = \frac{800}{2,6 \cdot 10^5} = 3,08 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Олинган натижаларни тўртқутбликнинг салт ишлаш режимида фойдаланиб осонгина текшириш мумкин (4- қўшимча саволга қаранг)

4. А формадаги тенгламаларнинг коэффициентларини аниқлаш. I'_2 ток орқали ёзилган r формадаги тенгламалардан фойдаланамиз:

$$U_1 = r_{11} I_1 + r_{12} I'_2;$$

$$U_2 = r_{21} I_1 + r_{22} I'_2$$

Иккинчи тенгламадан токни ифодалаймиз

$$I_1 = \frac{U_2 - r_{22} I'_2}{r_{21}} = \frac{1}{r_{21}} U_2 - \frac{r_{22}}{r_{21}} I'_2 \quad (4-13)$$

ва уни биринчи тенгламага қўямиз

$$U_1 = r_{11} \frac{U_2 - r_{22} I'_2}{r_{21}} + r_{12} I'_2$$

ёки

$$U_1 = \frac{r_{11}}{r_{21}} U_2 - \left(\frac{r_{11} r_{22}}{r_{21}} - r_{12} \right) I'_2. \quad (4-14)$$

(4-13) ва (4-14) тенгламаларни берилган A формадаги тенгламалар билан солиштириб, қуйидагиларни оламиз:

$$\begin{aligned} A &= r_{11}'r_{21}; & B &= r_{11}'r_{22}'r_{21} - r_{12}; \\ C &= \frac{1}{r_{21}}; & D &= r_{22}'r_{21} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Кoeffициентлар орасидаги маълум боғланиш $AD - BC = 1$ дан фойдаланиб, олинган натижаларни текшираемиз:

$$\begin{aligned} AD &= \frac{r_{11}'r_{22}'}{r_{21}r_{12}} = \frac{r_{11}'r_{22}'}{r_{12}^2}; \\ BC &= \frac{r_{11}'r_{22}'}{r_{12}^2} - \frac{r_{12}}{r_{12}} = \frac{r_{11}'r_{22}'}{r_{12}^2} - 1. \end{aligned}$$

Ҳақиқатан ҳам, $AD - BC = 1$.

Бизга берилганлардан: $A = 1,13$; $B = 330$ Ом; $C = 1,25 \cdot 10^{-3}$ См; $D = 1,25$ ни оламиз.

Шундай қилиб, тўртқутблик тенгламаларининг бирор формаси (бизнинг ҳолда r формаси) коэффициентлари қийматига эга булган ҳолда тенгламаларнинг бошқа ҳар қандай формаси (бизнинг ҳолда A формаси) коэффициентларини топиш мумкин.

5. Токларни ҳисоблаш. Ўтказувчанлик формасидаги тенгламалардан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned} I_1 &= g_{11}U_1 - g_{12}U_2; \\ I_2 &= g_{21}U_1 + g_{22}U_2 \end{aligned}$$

Кучланиш $U_2 = r_{ю}I_2 = -r_{ю}I_2$ (4-1-расм) ни ҳисобга олиб, иккинчи тенгламадан чиқиш токини аниқлаймиз:

$$I_2 = g_{21}U_1 - g_{22}r_{ю}I_2$$

ёки

$$I_2 = \frac{g_{21}U_1}{1 + g_{22}r_{ю}} = \frac{3,08 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{1 + 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 12 \text{ мА}.$$

Энди, биринчи тенгламадан фойдаланиб, кириш токини топамиз:

$$\begin{aligned} I_1 &= g_{11}U_1 - g_{12}r_{ю}I_2 = 3,84 \cdot 10^{-3} \cdot 12 - 3,08 \cdot 10^{-3} = \\ &= 600 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 46,2 \cdot 10^{-3} - 22,2 \cdot 10^{-3} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 24 \text{ мА}. \end{aligned}$$

A формадаги тенгламага биз аниқлаган коэффициентлар қийматини қўйиб, олинган натижаларни текшираемиз:

$$U_1 = 1,13 U_2 + 330 I_2;$$

$$I_1 = 1,25 \cdot 10^{-3} U_2 + 1,25 I_2,$$

бу ерда $U_2 = r_{10} I_2 = 600 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 7,2$ В. Шунинг учун

$$U_1 = 1,13 \cdot 7,2 + 330 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 12 \text{ В};$$

$$I_1 = 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 7,2 + 1,25 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 24 \text{ мА}.$$

Натижалар бир хил чиқди.

6. Симметрик схеманинг r_1 қаршилигини аниқлаш. Симметрик тўртқутблик тенгламалар коэффициентларининг тенглиги билан характерланади: $r_{11} = r_{22}$ (r форма) ёки $g_{11} = g_{22}$ (g форма), ёки $A = D$ (A форма).

Кўрсатилган коэффициентларнинг тенглигига $r_1 = r_2$ шарти бажарилганда эришилади, бунга (4-7) тенглама системаларини кўриб чиқиб ё бўлмаса (4-9) ва (4-11) ифодаларни солиштириб, ёки (4-15) ифоданинг коэффициентлари қийматларини анализ қилиб, осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Бизнинг ҳолда $r_1 = 200$ Ом қилиб танлаш лозим. Олинган натижанинг тўғрилигига тўртқутблик схемасини (4-1-расм) анализ қилиш ёрдамида ҳам ишонч ҳосил қилиш мумкин. $r_1 = r_2$ бўлганда 4-1-расмдаги схеманинг бирламчи ва иккиламчи қисмаларини ўзаро алмаштириш, таъминловчи ланба ва нагрузка кучланишларини ҳамда тоқларини ўзгартирмайди, тўртқутбликнинг симметриклик хусусияти ҳам ана шундадир.

Масалага қўшимча саволлар

1. Тўртқутблик тенгламаларининг коэффициентлари қандай катталикларга боғлиқ? Масалани ечишда тўртқутбликнинг коэффициентлари учун олинган ифодалар, бу коэффициентлар фақат (ҳамма тенгламаларнинг ҳамма формалари учун) тўртқутбликнинг ички схемаси ва унинг параметрлари билан аниқланишини кўрсатади. Демак, улар энергия манбаининг параметрларига ва нагруканинг қаршилигига боғлиқ эмас.

2. r_{10} турлича бўлганда тўртқутбликнинг чиқишидаги токни қандай аниқлаш мумкин? Масалани ечишда олинган ифодадан (5п.) фойдаланамиз:

$$I_2' = \frac{g_{12} U_1}{1 + g_{22} r_{10}} = \frac{3,08 \cdot 10^{-3} 12}{1 + 3,46 \cdot 10^{-3} r_{10}},$$

бу ерда r_{10} га турли қийматлар бериб, талаб қилинаётган I_2' (r_{10}) боғланишини аниқлаймиз.

Кўрилайтган шароитда g_{12} ва g_{22} коэффициентлар ўзгармасдан қолтирили таъкидлаб ўтаминз (олдинги саволга қараи).

3. Занжирни ҳисоблашда қандай ҳолларда тўртқутблик тенгламаларини қўллаш бошқа усулларга қараганда афзалликка эга? Берилган занжирни (4-1- расм) фақат тўртқутблик сифатидагина эмас, балки битта таъминловчи манбали занжир сифатида, масалан, маълум бўлган (3- боб) ўзгартириш усули билан ҳам ҳисоблаш мумкин.

Ҳақиқатан ҳам, 1-1' қисмларга нисбатан эквивалент қаршилиқ

$$r_0 = r_1 + \frac{r_0(r_2 + r_{10})}{r_0 + r_2 + r_{10}} = r_1 + \frac{r_0}{2} = 100 + \frac{800}{2} = 500 \text{ Ом,}$$

бу ерда шохобча қаршилиқларининг бир хиллиги назарда тутилган.

Занжирнинг умумий токи

$$I_1 = U_1 / r_0 = 12/500 = 24 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

шохобчаларнинг токлари эса $I_0 = I_2 = I_1 / 2 = 12 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 12 \text{ мА.}$

Масалада I_1 ва I_2 токларнинг худди шундай қийматлари олинган эди.

Токлар ва қаршилиқларнинг қийматлари маълум бўлса, ҳамма қисмлардаги кучланиш қийматларини топиш осон.

Бу ҳисоблаш нагруканинг ўзгармас қийматида, яъни $r_{10} = \text{const}$ шартида бажарилгани учун анча соддадир.

Нагрукка ўзгарувчан бўлганда бундай ҳисоблашни жуда кўп марта, яъни r_{10} нинг қиймати қанча берилган бўлса, шунча марта бажариш керак бўлар эди. Демак, ҳисоблашнинг бу усули, олдинги қўшимча саволда кўрилганга қараганда анча мураккабдир.

Шундай қилиб, агар схеманинг бир ёки бир нечта шохобчаларининг режимлари тадқиқ қилинаётган бўлса, айниқса шохобчанинг қаршилиги ўзгарувчан бўлганда, тўртқутбликнинг тенгламаларини қўллаш бошқа усулларга қараганда занжирни ҳисоблашни анча осонлаштиради.

4. g_{22} ва g_{12} коэффициентларни текшириш учун тўртқутбликнинг салтишлаш режимидан қандай фойдаланиш керак? Тўртқутблик салтишлаганда унинг чиқиш токи $I_2 = 0$ (5-2) системанинг ин-

кинчи тенгламасида $I_2 = 0$ ни эътиборга олиб, қуйидагини топамиз:

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{g_{22}}{g_{21}} = \frac{g_{22}}{g_{12}}$$

(4-11) ва (4-12) тенгламаларини солиштириб,

$$g_{22} g_{12} = (r_0 + r_1)/r_0$$

эканлигига қатъий ишонч ҳосил қиламиз.

Олинган икки ифодадан қуйидагини топамиз:

$$U_1/U_2 = (r_0 + r_1)/r_0.$$

Худди шу натижани $I_2 = 0$ бўлган режимда 4-1-расмдаги схемани анализ қилиб олиш мумкин. Ҳақиқатан ҳам, бу шароитда r_1 ва r_0 қаршилиқлар кетма-кет уланганини ҳосил қилади, унга U_1 кучланиш берилган, қаршилиқлардан (r_0) бирига U_2 кучланиш таъсир этади. Бу ҳолда (кетма-кет уланган хусусиятидан) қуйидагига эга бўламиз:

$$U_1/U_2 = (r_1 + r_0)/r_0.$$

5. g_{11} , g_{22} ва r_{11} , r_{22} коэффициентларнинг физикавий маъноси нима? Масалада олинган (4-9) ва (4-11) ифодалар g_{11} ва g_{22} коэффициентлар тўртқутбликнинг қисқа туташини режимда мос ҳолда унинг бирламчи 1-1' ва иккаламчи 2-2' қисмаларига нисбатан, яъни чиқиш қисмалари 2-2' ва 1-1' туташтирилган ҳолда кириш ўтказувчанликлари эканлигини кўрсатади.

r_{11} ва r_{22} коэффициентлар салт ишлаш режимда тўртқутбликни тўғри ва тескари улашда кириш қаршилиқлари эканлигини кўрсатамиз.

Ҳақиқатан ҳам, тўртқутблик тўғри уланганда (4-1-расм) ва салт ишлаш режимда ($I_2 = 0$)

$$U_1/I_1 = r_{кпр1} = r_1 + r_0,$$

тескари уланганда эса, ўша режимда ($I_1 = 0$)

$$U_2/I_2 = r_{кпр2} = r_2 + r_0.$$

Кириш қаршилиқлари учун олинган қийматларни (4-7) тенгламаларнинг коэффициентлари билан солиштириб, қуйидагини ёзиш мумкин:

$$r_{кпр1} = r_{11} \text{ ва } r_{кпр2} = r_{22}.$$

6. Тўртқутбликнинг симметрик схемасининг характеристик қаршилигини қандай аниқлаш керак? Тўртқутбликнинг симметрик схемаси

учун (4-1- расм) масала ечишда $r_1 = r_2 = 200$ Ом эканлиги тонулган эди. Бу берилганлар асосида (4-8) ифодадан фойдаланиб,

$$r_{11} = r_1 + r_0 = 200 + 800 = 1000 \text{ Ом} = r_{22}$$

ни оламиз ва мос ҳолда A кўринишдаги тенгламалар учун B коэффициентни топамиз [(14-15) тенглама]:

$$B = \frac{r_{11} r_{22}}{r_{21}} - r_{12} = \frac{10^6}{800} - 800 = 450 \text{ Ом.}$$

Характеристик қаршилик

$$r_c = \sqrt{B C} = \sqrt{450 \cdot 800} = 600 \text{ Ом,}$$

бу ерда аниқланган $C = \frac{1}{r_0} = \frac{1}{800}$ коэффициентининг қиймаги симметрик схема учун ҳам ўзининг қийматини сақлаши назарда тутилган.

7. Агар $r_{ю} = r_c = 600$ Ом бўлса тўртқутблик симметрик схемасининг (4-1- расм) кириш қаршилиги нимага тенг бўлади? Тўртқутбликнинг берилган режимида унинг кириш қаршилиги

$$r_{\text{кир}} = r_1 + \frac{r_0 (r_2 + r_0)}{r_0 + r_2 + r_0} = 200 + \frac{800}{2} = 600 \text{ Ом.}$$

Олинган натижа симметрик тўртқутбликда

$$r_{ю} = r_c$$

бўлганда кириш қаршилиги нагрузка қаршилигига тенг ($r_{\text{кир}} = r_{ю} = r_c$) деган маълум ҳолни тасдиқлайди. Бундай нагрузка мослаштирилган нагрузка дейилади.

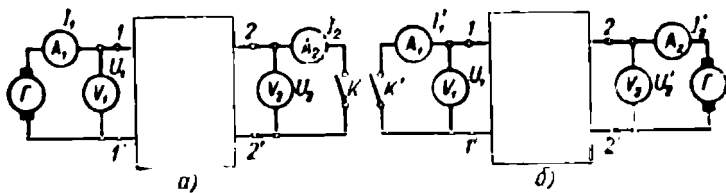
Мослаштирилган нагрузкада симметрик тўртқутбликни манба билан нагрузка орасига улаш манбанинг режимини узгартирмайди.

4.2. САЛТ ИШЛАШ ВА ҚИСКА ТУТАШИШ ТАЖРИБАЛАРИДАН ОЛИНГАН НАТИЖАЛАР АСОСИДА ТУРТҚУТБЛИКНИ ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шarti

Электр схемаси номаълум бўлган, тўғри тўртбурчак кўринишида тасвирланган (4-2- расм), кириш қисмалари $1-1'$ ва чиқишиники $2-2'$ бўлган тўртқутблик тўғри ва тескари улашиб синалган.

Тўғри уланганда (4-2- расм, а) салт ишлаш режимида (K калити очик) ўлчов асбоблари қуйидагиларни кўрсатди:



4-2- расм. Схемаси номаълум бўлган тўртқутблик тўғри уланганда (а) ва тескари уланганда (б).

$U_{1c} = 9 \text{ В}$; $I_{1c} = 10 \text{ мА}$, $U_{2c} = 8 \text{ В}$, қисқа туташуш режимида эса (K калити ёпиқ) $U_{1к} = 2,93 \text{ В}$; $I_{1к} = 11,25 \text{ мА}$; $I_{2к} = 9 \text{ мА}$.

Тескари уланганда (4-2- расм, б) шу асбоблар K калит очик ва ёпиқ ҳолда бўлганда мос ҳолда $U'_{1c} = 8 \text{ В}$; $I'_{1c} = 8 \text{ мА}$; $U_{1c} = 6,4 \text{ В}$ ва $U_{2к} = 5,85 \text{ В}$; $I'_{2к} = 20,2 \text{ мА}$; $I'_{1к} = 18 \text{ мА}$ ларни кўрсатди.

Қаршилик ва ўтказувчанлик кўринишидаги, шунингдек, A кўринишидан тўртқутблик тенгламаларининг коэффициентлари аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Тўртқутблик коэффициентларини тажриба йўли билан аниқлаш. Олдинги масалада тўртқутблик коэффициентлари унинг схемаси ва параметрларига боғлиқлиги кўрсатилган эди. Бироқ, кўпинча тўртқутбликнинг схемаси номаълум ёки жуда мураккаб бўлади. Бундай ҳолларда талаб қилинадиган коэффициентлар тажриба асосида аниқланади ва бунинг учун тўртқутбликни иккита оддий: салт ва қисқа туташув режимида синаб кўриш кифоядир.

Берилган масалада синаш тўртқутбликни тўғри улаш (4-2- расм, а) учун ҳам — таъминловчи манба (генератор) кириш қисмалари $1-1'$ га уланганда ва тескари улаш учун ҳам (4-2- расм, б) манба чиқиш қисмалари $2-2'$ га ўтказилган — бажарилган.

Уланишнинг ҳар бири учун тўртқутблик икки режимда: салт ишлаш (K ва K' калитлар очик) ва қисқа туташуш (K ва K' калитлар ёпиқ) режимларида синаб кўрилди. Тўртқутблик учун (таъминловчи манбага қарама-қарши қисмалари томонидан) ё қаршилиги чексиз катта деб қабул қилинган

вольтметр (салт ишлаш режими), ёки қаршилиги ҳисобга олинмайдиган амперметр (қисқа туташмиш режими) нағрузка ҳисобланади.

2. А кўринишдаги тенгламалар коэффициентларини аниқлаш. Бу курийиш учун (4-3) тенглама ёр. у тўртқутблик салт ишлаганда ($I_2 = I_{2c} = 0$) қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned}U_{1c} &= AU_{2c} + BI_{2c} = AU_{2c}; \\I_{1c} &= CU_{2c} + DI_{2c} = CU_{2c}.\end{aligned}$$

бундан $A = U_{1c}/U_{2c}$; $C = I_{1c}/U_{2c}$ ёки берилган тўртқутблик учун $A = 9/8 = 1,13$, $C = 10 \cdot 10^{-3}/8 = 1,25 \cdot 10^{-3}$ См.

Қисқа туташмиш режими ($U_2 = U_{2k} = 0$) учун ўша (4-3) тенгламалар қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned}U_{1k} &= AU_{2k} + BI_{2k} = BI_{2k}; \\I_{1k} &= CU_{2k} + DI_{2k} = DI_{2k},\end{aligned}$$

бундан $B = U_{1k}/I_{2k}$; $D = I_{1k}/I_{2k}$ ёки берилган тўртқутблик учун $B = 2,93/9 \cdot 10^{-3} = 330$ Ом; $D = 11,25/9 = 1,25$.

3. Қаршиликлар кўринишдаги коэффициентларни аниқлаш. Талаб қилинаётган коэффициентларни А кўринишдаги коэффициентларни топиш учун 2-п да фойдаланилган усул билан аниқлаш мумкин. Бунинг учун тўртқутбликнинг тўғри ва тескари улашдаги (4-1) тенгламаларидан уларни салт ишлаш режимиға мослаб фойдаланиш лозим бўлар эди, яъни тўғри улаш $I_1 = I_{1c} = 0$, тескари улаш учун эса $I_2 = I_{2c} = 0$ деб қабул қилиш керак.

Олдинги масала натижаларидан фойдаланиш қулайроқ, (5- қўшимча савол), унда $r_{11} = r_{кнр 1}$, $r_{22} = r_{кнр 2}$, яъни r_{11} ва r_{22} коэффициентлар — тўртқутбликнинг салт ишлаш режимида мос ҳолда тўғри ва тескари улашдаги кнриш қаршиликлари эканлиги кўрсатилган эди. Бизга берилганлар асосида

$$\begin{aligned}r_{11} &= \frac{U_{1c}}{I_{1c}} = \frac{9}{10 \cdot 10^{-3}} = 900 \text{ Ом}, \\r_{22} &= \frac{U_{2c}}{I_{2c}} = \frac{8}{8 \cdot 10^{-3}} = 1000 \text{ Ом}.\end{aligned}$$

$r_{12} = r_{21}$ коэффициентларни $U_2 = r_{21}I_1 + r_{22}I_2$ тенгламадан фойдаланиб аниқлаймиз, ундан салт ишлаш режимида ($I_2 = 0$) қуйидаги келиб чиқади:

$$r_{21} = U_{2c}/I_{1c} = 8/10 \cdot 10^{-3} = 800 \text{ Ом}.$$

4. Ўтказувчанликлар кўринишидаги коэффициентларни аниқлаш. Берилганлар асосида (4-9) ва (4-11) ифодалардан фойдаланамиз:

$$g_{11} = I_{1к} |U_{1к} = 11,25 \cdot 10^{-3} | 2,93 = 3,84 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$g_{21} = I_{2к} |U_{1к} = 9 \cdot 10^{-3} | 2,93 = 3,08 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$g_{22} = I_{2к} |U_{2к} = 20,2 \cdot 10^{-3} | 5,85 = 3,46 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Тўртқутбликнинг коэффициентларини фақат тўғри улаб ўтказилган тажриба маълумотлари асосида аниқлаш мумкинми? Масалани ечишда A кўринишидаги тенгламаларнинг коэффициентлари тўртқутбликни тўғри улаш шароитида синаб олинган маълумотлар асосида топилган эди. Бунда иккита тажриба натижаларидан фойдаланилган эди: салт ишлаш ва қисқа туташуш. Бошқа кўринишдаги тенгламаларнинг коэффициентларини аниқлаш учун ҳам шундай йўл тутиш мумкин.

Масалан, r кўринишдаги (4-1) тенглама $I_2 = I_{2с} = 0$ бўлганда (салт ишлаш) $r_{11} = U_{1с} | I_{1с}$ ва $r_{21} = U_{2с} | I_{1с}$ коэффициентларни аниқлашга имкон беради.

Шунинг билан бирга кўрилатган (4-1) тенгламаларнинг иккинчиси $U_2 - U_{2к} = 0$ (қисқа туташуш) бўлганда қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0 = I_{1к} r_{21} + I_{2к} r_{22},$$

бундан r_{22} ни аниқлаш мумкин, чунки r_{21} олдин аниқланган, $I_{1к}$ ва $I_{2к}$ эса тўғри улангандаги қисқа туташуш тажрибасидан маълум.

Келтирилган усул масалада кўрилганидан мураккаброқ.

Шундай қилиб, пассив тўртқутбликнинг коэффициентларини аниқлаш учун уни бир хилда улаб (тўғри ёки тесқари) синаш kifойадир. Бироқ баъзи кўринишларнинг коэффициентларини тўғри ва тесқари улаб синалганда осонроқ топшиш мумкин.

2. Тўртқутблик салт ишлаш ва қисқа туташуш режимларида синалганда кириш занжирида номинал кучланишни сақлаб қолиш мумкинми? Тўртқутбликнинг коэффициентлари кириш занжирининг исталган кучланишида салт ишлаш ва қисқа туташуш тажрибаларидан аниқланади. Лекин кириш қисмаларида номинал кучланишни доимий сақлаб бўлмайди, чунки

энергия манбаи ва қирриш занжири номинал токка нисбатан анча катта ток билан ўта юкланган бўлиши мумкин (қисқа туташуш режимида). Шунинг учун синаш чиқиш занжири-нинг номинал режимида ўтказилади.

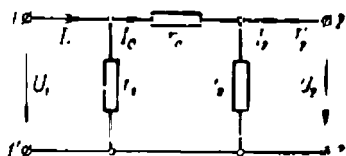
4-3. ТўРТҚУТБЛИКНИНГ ЭКВИВАЛЕНТ ЭЛЕКТР СХЕМАСИНИНГ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АНИҚЛАШ

Масаланинг шarti

Олдинги масалада кўрилган тўртқутблик учун 4-2- § да берилганлар асосида П-симон ва Т-симон эквивалент электр схема тузилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Ўрин алмашинадиган схема. Тўртқутбликнинг хусусиятини тадқиқ қилиш учун баъзан уни Т-симон (4-1-расм) ёки П-симон (4-3-расм) электр схема билан алмаштирилади, бу схема ҳам худди ўзгартирилаётган тўртқутбликдек тенгламалар коэффициентларига эга бўлади. Бундай шароитда бу схемалар эквивалент электр схемалар дейилади.



4-3-расм. Тўртқутбликнинг П-симон схемаси.

Кўрилатган ҳар қайси схема учун (r_1 , r_2 ва r_0) параметрга эга, ҳар қандай тўртқутблик ҳам учта параметр билан характерланади (4-1- §). Шунинг учун берилган пассив тўртқутблик учун фақат битта ё Т-симон, ёки П-симон эквивалент электр схема тузиш мумкин, яъни кўрилатган масала бир қийматлидир.

2. П-симон схеманинг параметрларини аниқлаш. Берилган тўртқутблик учун 4-2- § да бир неча кўринишларнинг коэффициентлари олинган эди, уларнинг ҳар биридан схеманинг қаршиликларини аниқлашда фойдаланиш мумкин (4-3-расм). Масалани ечиш учун, масалан, g кўринишидаги маълум коэффициентларни танлаймиз.

4-3-расмдаги тўртқутблик 1-1' қисмалар томонидан таъминланса ва қисқа туташуш режимида (2-2' қисмалари туташтирилган) (4-9) формула ўринли бўлса, ундан

$$g_{11} = g_{кпр 1} = \frac{1}{r_{кпр 1}} = \frac{1}{\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2}$$

чунки кўрилатган шароитларда r_2 қаршилик қисқа туташтирилган, r_1 ва r_0 қаршиликлар мос ҳолда параллел уланган. g_{11} ифодақи қуйидагича ўзгартирамиз: $g_{11}r_1r_0 = r_1 + r_0$ бундан

$$r_1 = \frac{r_0}{g_{11}r_0 - 1}$$

Тўртқутбликнинг бошқа коэффициенти (g_{22}) учун (4-11) формуладан фойдаланиб қуйидагига эга бўламиз:

$$g_{22} = g_{\text{кпр } 2} = \frac{1}{r_{\text{кпр } 2}} = \frac{r_2 + r_0}{r_2 \cdot r_0}$$

g_{11} ва g_{22} коэффициентлар учун формулаларнинг структураси бир хил бўлганлиги сабабли r_2 қаршилик учун олинган ифода r_1 учун олинган ифодага ўхшайди, яъни

$$r_2 = \frac{r_0}{g_{22}r_0 - 1}$$

Иккита бошқа $g_{21} = g_{12}$ коэффициентларни аниқлаш учун, аввало, умумий ток $I_{1\kappa} = g_{11}U_{1\kappa}$ ни ва сўнгра схеманинг бир параллел шохобчасидаги токни ёзамиз:

$$I_{0\kappa} = I_{2\kappa} = I_{1\kappa} \frac{r_1}{r_1 + r_0} = g_{11}U_{1\kappa} \frac{r_1}{r_1 + r_0}$$

Олинган тенгламадаги g_{11} ни юқорида топилган қиймати билан алмаштириб қуйидагини оламиз:

$$I_{2\kappa} = U_{1\kappa} \frac{(r_1 + r_0)r_1}{r_1r_0(r_1 + r_0)} = \frac{U_{1\kappa}}{r_0},$$

бундан (4-10) формулани ҳисобга олиб: $I_{2\kappa}|U_{1\kappa} = 1/r_0 = g_{21}$ га эга бўламиз.

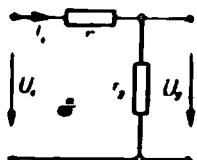
Бизга берилганларда

$$r_0 = \frac{1}{g_{11}} = 1/3,08 \cdot 10^{-3} = 324 \text{ Ом};$$

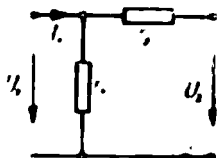
$$r_1 = \frac{r_0}{g_{11}r_0 - 1} = \frac{324}{3,84 \cdot 10^{-3} \cdot 324 - 1} \approx 1300 \text{ Ом};$$

$$r_2 = \frac{r_0}{g_{22}r_0 - 1} = \frac{324}{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 324 - 1} \approx 3000 \text{ Ом}.$$

3. Т-симон схеманинг параметрларини аниқлаш. Аввало 4-1-§ ва 4-2-§ да кўрилган тўртқутбликлар бир хил қийматли коэффициентларга эгаллигига эътибор берамиз. Шунинг учун 4-1-расмдаги Т-симон схема 4-1-§ даги масаланинг шартдаги қаршиликлар қийматларида бу ерда берилган тўртқутблик учун эквивалент электр схема бўлади.



4-4- расм. 55- масалага.



4-5- расм. 56- масалага.

Умумий ҳолда кўрсатилган ўхшашлик йўқ ва T-симон схеманинг параметрлари П-симон схема учун кўрсатилган усуллар билан аниқланади, 4-1- § да олинган формулалар

$$r_{11} = r_1 + r_0, |r_{22}| = r_2 + r_0 \text{ ва } r_{21} = |r_{12}| = r_0$$

дан фойдаланиб, r_1 , r_2 ва r_0 қаршиликларнинг қийматларини тўртқутбликнинг маълум коэффициентлари r_{11} , r_{22} ва r_{21} орқали ҳисоблаш осон, буни ўқувчига мустақил равишда бажаришни ҳавола қиламиз.

4.4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

55. Тўртқутбликнинг Г-симон схемаси учун (4-4- расм) тенгламалар ифодаси A , r ва g кўринишида (умумий ҳолда) ёзилсин.

56. Тўртқутбликнинг A кўринишидаги коэффициентлари учун (4-5- расм) ифодалар (умумий ҳолда) тузилсин ва натижалар текшириб кўрилсин.

57. 55 ва 56- масалаларда кўрилган Г-симон тўртқутбликларнинг A кўринишидаги коэффициентлари учун ифодаларни солиштиринг.

58. 4-6- расмдаги тўртқутблик учун коэффициентларнинг ифодалари r ва g кўринишида тузилсин.

59. Олдинги масаладаги тўртқутблик учун схеманинг симметриклигини таъминлайдиган қаршиликлар орасидаги боғланишни топинг.

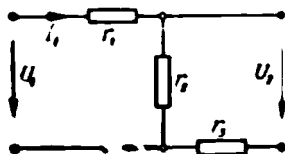
60. Агар $r_0 = 450$ Ом, $r_1 = r_2 = 1800$ Ом бўлса, 4-3- расмдаги П-симон тўртқутблик учун коэффициентлар ҳисоблансин, A ва g шаклдаги тенгламалар тузилсин.

61. Олдинги масаладаги тўртқутбликнинг характеристик қаршилиги аниқлансин.

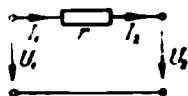
62. 4-7- расмдаги тўртқутблик учун A ва g кўринишидаги коэффициентларнинг ифодалари ёзилсин, шунингдек, характеристик r_c қаршилиги аниқлансин.

4.5.4- БОБДАГИ МАСАЛАЛАР УЧУН ЖАВОБЛАР

$$55 \quad A = (r_1 + r_2)/r_2; \quad H = r_1; \quad C = 1/r_2; \quad D = 1; \\ r_{11} = r_1 + r_2; \quad r_{22} = r_2; \quad |r_{12}| = |r_{21}| = r_2; \\ H_{11} = \frac{1}{r_1}; \quad H_{22} = (r_1 + r_2)/r_1 r_2; \quad |g_{12}| = |g_{21}| = 1/r_1.$$



4-6- расм.
58- масалага.



4-7-расм.
62- масалага.

58 $A = 1; B = r_2;$

$$C = \frac{1}{r_1}, D = (r_1 + r_2)/r_1$$

$AD - BC = 1.$

57. $r_1 = r_2$ бўлганда B ва C коэффициентлари бир хил, A ва D коэффициентларининг қийматлари ўзаро алмашилади.

58.

$$r_{11} = r_1 + r_2, r_{22} = r_2 + r_3; |r_{21}| = |r_{12}| = r_2;$$

$$g_{11} = \frac{r_2 + r_3}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}; \quad g_{22} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1};$$

$$|g_{12}| = |g_{21}| = \frac{r_2}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}$$

59. $r_1 = r_2.$

$$60. U_1 = 1,25U_2 + 450I_2; \quad I_1 = 1, 25 \cdot 10^{-3}U_2 + 1,25I_2; \quad I_1 = 2,78 \cdot 10^{-3}U_1 + 2,22 \cdot 10^{-3}U_2; \quad I_2 = 2,22 \cdot 10^{-3}U_1 + 2,78 \cdot 10^{-3}U_2.$$

61. 600 Ом.

62. $A = 1; B = r; C = 0; D = 1; g_{11} = g_{22} = \frac{1}{r};$

$$|g_{12}| = |g_{21}| = \frac{1}{r}; r_c = \infty.$$

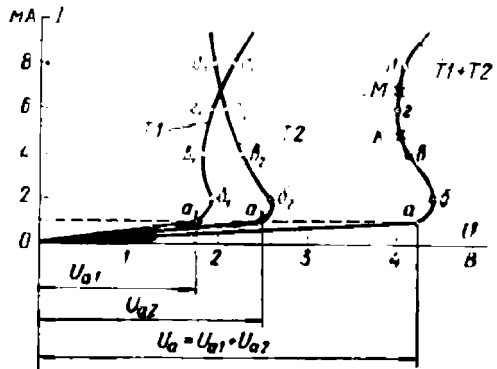
БЕШИНЧИ БОБ

ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ БЎЛМАГАН ЎЗГАРМАС ТОК ЗАНЖИРЛАРИ

5-1. ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ БЎЛМАГАН (ЭҒРИ ЧИЗИҚЛИ) ЭЛЕМЕНТЛАРНИ КЕТМА-КЕТ УЛАШ

Масаланинг шарти

$T1$ ва $T2$ вольт-ампер характеристикага эга бўлган (5-1-расм) иккита терморезистор (қаршилигининг температура коэффициенти катта бўлган ярим ўтказгичли элементлар)



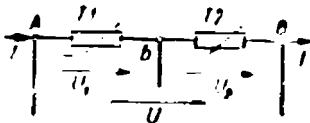
5-1- расм. Терморезисторларнинг вольт-ампер характеристикалари.

кетма-кет уланган (5-2- расм). Занжир токи 1 дан 8 мА гача ўзгариши мумкин бўлган чегарада ўзгарганда, $T1$ терморезистор қаршилигининг токка боғлианиши, ҳар бир терморезисторда ва AB қисмларида (5-2- расм) кучланиш ўзгаришининг чегаралари аниқлансин.

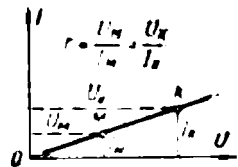
Масаланинг ечилиши

1. Қаршилиқнинг токка боғлианишини аниқлаш. Олдинги боблардаги масалаларда ҳар қайси истеъмолчининг қаршилиғи ўзгармас (ундан ўтувчи токка боғлиқ эмас) деб олинган эди. Бундай қаршилиқлар тўғри чизиқли қаршилиқлар дейилади. Тўғри чизиқли қаршилиқларнинг вольт-ампер характеристикаси график усулда координаталар бошидан чиқадиган тўғри чизиқ билан тасвирланади, чунки тўғри чизиқнинг ҳар бир нуқтаси учун кучланишнинг токка нисбати бир хил қийматга эга бўлади.

$T1$ терморезисторнинг (5-1- расм) вольт-ампер характеристикаси (Oa_1) тўғри чизиқдан иборат бўлишини кўриш мум-



5-2- расм. Терморезисторларни кетма-кет улаш.



5-3- расм. Тўғри чизиқли элементнинг вольт-ампер характеристикаси.

кни. Шунинг учун ток 0 дан 1 мА гача ўзгарганда (характеристиканинг a_1 нуқтаси) терморезисторнинг қаршилиги ўзгармасдир:

$$r_{T1} = \frac{U_{a_1}}{I_{a_1}} = \frac{1,75 \text{ В}}{1,10 \text{ А}} = 1750 \text{ Ом} = 1,75 \text{ кОм},$$

яъни бу қисмда терморезистор тўғри чизиқли қаршилик бўлади. Лекин ток ортиши билан вольт-ампер характеристика дастлабки тўғри чизиқдан кескин оғади (5-1-расм, a, δ қисми) ва тахминан ток ўқига параллел ўтади. Бу демак, терморезистор қаршилигининг формуласи $r_T = U/I$ да сурат жуда оз ўзгарганда махраж ўсиб боришини кўрсатади. Шунинг учун I ток ўсиши билан r_T қаршилик камаяди.

$r_T(I)$ боғланиши қандай яшаш мумкин?

T/I вольт-ампер характеристикасидан (5-1-расм) унинг бир нечта нуқтаси учун кучланишнинг токка нисбатларини топамиз (улар терморезисторнинг шу

5-4-расм. Терморезистор қаршилигининг токка боғланиш графиги.

нуқталардаги қаршилигини ифодалайди) ва олинган қийматларни 5-1-жадвалга ёзамиз. Шу берилганлар асосида $r_T(I)$ боғланишни ясаймиз (5-4-расм).

Олинган графикни T/I нинг вольт-ампер характеристикаси (5-1-расм) билан солиштиришни осонлаштириш учун графикдаги ва характеристикадаги мос нуқталар бир хил ифодаланган.

Демак, эгри чизиқли элементнинг қаршилиги ўзгарувчандир ва $r_T(I)$ ёки $r_T(U)$ боғланиш билан аниқланади.

5-1-жадвал

Вольт-ампер характеристиканинг нуқтаси	Ток I , мА	Кучланиш, U , В	Қаршилик, r_T , кОм
a_1	1	1,75	1,75
b_1	2	1,90	0,95
a_1	4	1,85	0,46
z_1	6	1,95	0,325
d_1	8	2,15	0,27

2. Терморезисторларда кучланишнинг ўзгариш чегараларини аниқлаш. $T1$ терморезистори учун 5-1-жадвалдаги берилганлардан фойдаланиш мумкин: ток 1 дан 8 мА гача ўзгарганда кучланиш $U_{a1} = 1,75$ В дан $U_{a1} = 2,15$ В гача ортишини жадвалдан топамиз. $T2$ терморезистор учун унинг вольт-ампер характеристикасидан (5-1-расм) кучланишнинг чегара қийматларини оламиз: $U_{c2} = 2,6$ В ва $U_{c2} = 1,9$ В.

3. Иккита кетма-кет уланган терморезисторлар учун вольт-ампер характеристика ясаш. AB қисмада (5-2- расм) кучланишнинг токка боғлиқлиги AB қисмдаги вольт-ампер характеристикани, яъни иккита кетма-кет уланган характеристикаси эгри, чизиқли элементларни ифодалайди. Буни қандай ясаш мумкин?

Бунинг учун кетма-кет улаш хусусиятларидан фойдаланамиз: AB қисмалардаги кучланиш (5-2- расм) AB ва BB қисмлардаги кучланишлар йиғиндисига тенг ёки $U = U_1 + U_2$. Бу ҳолда $T1$ ва $T2$ терморезисторларнинг вольт-ампер характеристикаларидан (5-1- расм), масалан, ток 1 мА бўлганда иккала терморезисторлардаги умумий кучланишни аниқлаш мумкин: $U_a = U_{a1} + U_{a2}$. a_1 ва a_2 нуқталарнинг абсциссалари йиғиндисига тенг бўлган a нуқтанинг (5-1- расм) абсциссаси йиғинди вольт-ампер характеристикага тегишлидир. b_1 ва b_2 , (ток 2 мА бўлганда), c_1 ва c_2 (ток 4 мА бўлганда) нуқталарнинг абсциссаларини қўшишни давом эттириб йиғинди вольт-ампер характеристиканинг b , c ва бошқа нуқталарини оламиз.

Демак, тоқлар бир хил бўлганда терморезисторлардаги кучланишларни график усулда қўшиб, кетма-кет улашнинг йиғинди характеристикасини қуриш мумкин булади.

Йиғинди вольт-ампер характеристикадан (5-1- расм) AB қисмда кучланиш (5-2- расм) ток 1 дан 8 мА гача ўзгарганда максимал U_6 қийматидан минимал U_7 қиймати оралиғида ўзгаришини топамиз:

$$\Delta U = U_6 - U_7 = 4,45 - 4 = 0,45 \text{ В.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Кетма-кет уланган, характеристикаси эгри чизиқли қаршиликларни битта эквивалент қаршилик билан алмаштириш мумкинми? 5-1-расмда келтирилган йиғинди вольт-ампер характеристикани ($T1 + T2$) олиб, AB қисмнинг ҳаммаси учун қар-

шиликнинг токка боғланиш графигини $T1$ терморезистор учун ечилган масаладаги каби яшаш мумкин (5-2-расм). $r_{AB}(I)$ график иккита кетма-кет уланган қаршиликлар ўрнини босадиган, характеристикаси эгри чизикли эквивалент қаршиликни характерлайди.

$r_{AB}(I)$ графикни иккала терморезистор графикларнинг ординаталарни қўшиб ҳам қуриш мумкин.

2. Агар AB қисми (5-2-расм) кучланиши 4 В бўлган манба қисмаларига уланса, терморезисторлар занжирида ток қандай бўлади?

($T1 + T2$) вольт-ампер характеристикадан (5-1-расм) фақат берилган ток бўйича AB қисм қисмаларидаги кучланишининг эмас, балки берилган кучланиш бўйича токни ҳам аниқлаш мумкин. Ушбу ҳолда характеристиканинг KM қисми ток ўқиға деярли параллел, шунинг учун манба кучланиши қийматининг 4 В атрофида жуда оз ўзгариши ҳам занжирда токнинг кескин (5-7 мА чегарасида) ўзгаришига олиб келади.

3. Таъминлашнинг қандай режимида AB қисмда қиймати ўзгармас (стабиллашган) кучланиш бўлади? AB қисми ички қаршилиги $r_0 \gg r_{AB}$ бўлган манбадан, масалан, одатдаги таъминловчи манбани анча катта қаршилик билан кетма-кет улаб, таъминлаш керак. Бунда занжирда (KM қисмда) токнинг мумкин бўлган ўзгариши U_{AB} кучланишга жуда оз таъсир этади, яъни AB қисмда кучланишнинг юқори стабиллиги таъминланади.

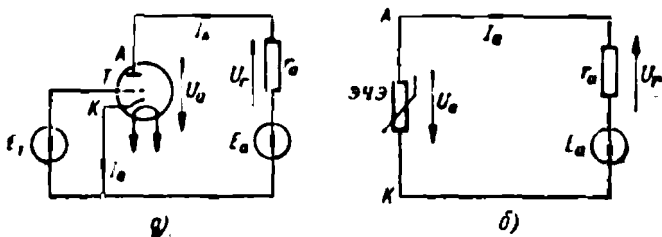
Ўзгармас ток занжирларида кучланишни стабиллаш учун, одатда, қисмлари тахминан ток ўқиға параллел бўлган вольт-ампер характеристикали чизикли элементлар (сабилитронлар) қўлланилади.

4. Терморезисторлар қандай мақсадларда қўлланилади? Терморезисторларнинг кўп хилларида қаршиликнинг температура коэффициентни металларникига қараганда тахминан 10 марта ошиқ ва манфий ишорага эга. Шунинг учун улар температуранинг ростловчи, ўлчовчи ва компенсацияловчи қурилмаларда кенг қўлланилади. Масалан, вольтметрда температура ортиши билан унинг занжирида (рамка ва қўшимча қаршилигида) қаршиликнинг ортиши натижасида хатолик вужудга келади. Вольтметр қўшимча қаршилигининг бир қисmini температура ортиши билан қаршилиги камайдиган терморезистор билан алмаштириб, вольтметрнинг температура хатолигини кескин камайтириш (10—15 марта) мумкин бўлади.

5-2. ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ВА ЭҒРИ ЧИЗИҚЛИ ЭЛЕМЕНТЛАРНИ КЕТМА-КЕТ УЛАШ

Масаланинг шарти

Занжир (5-5- расм) кетма-кет уланган э. ю. к. $E_2 = 300$ В; характеристикаси тўғри чизиқли қаршилик $r_a = 115$ кОм ва электрон триоднинг АК қисмидан (анод-катод) тузилган. Занжирнинг токи (шунинг ўзи бир вақтда триоднинг анод токи) I_a билан катод орасида U_a кучланишнн (анод кучла-



5-5- расм. Тўғри чизиқли қаршилик ва триоднинг кетма-кет уланиши (а), занжирнинг эквивалент схемаси (б).

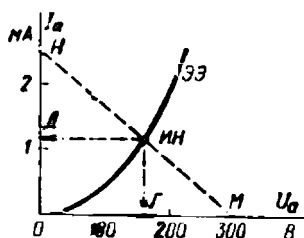
ниши) ҳосил қилади. Тўр С билан триоднинг катоди К орасига $E_c = 1$ В э. ю. к. уланган, триоднинг вольт-ампер характеристикаси (анод токи I_a нинг анод кучланиши U_a га боғлиниши) эгри чизиқли элемент (ЭЧЭ) графиги билан (5-6- расм) аниқланади.

1) I_a ток, U_a ва U_r кучланишлар аниқлансин;

2) характеристикаси эгри чизиқли элементни (триодни) эквивалент тўғри чизиқли қисм билан алмаштириб, 140—170 В оралиғида кучланиш U_a билан таъминловчи занжир токи аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Ечиш усули. Триодни (5-5- расм, а; АК қисми) характеристикаси эгри чизиқли элемент билан алмаштириб, тўғри чизиқли r_a ва ЭЧЭ қаршиликлардан тузилган, берилган занжирнинг ўрни алмашинадиган кетма-кет уланган схемасини (5-5- расм, б) оламиз. ЭЧЭ нинг вольт-ампер характеристикаси маълум (5-6- расм), характеристикаси тўғри чизиқли қаршилик $r_a = 115$ кОм учун уни яшаш осон (келгусида кўрсатилади).



5-6- расм. Эгри чизиқли элементнинг вольт-ампер характеристикасининг юкланиш характеристикаси билан кесишиши.

Шундай қилиб, берилган масалани ечиш учун 5-1-§ да келтирилган маълум усуллардан тўла фойдаланиш мумкин (шунингдек, шу параграфнинг 1- қўшимча саволига қаранг).

Нима учун бу ерда юқоридагига ўхшаш (ўрганилган) масала кўрилмоқда? Берилган занжирда (5-5- расм) олдингисидан (5-2- расм) фарқли равишда элементлардан бири чизиқли қаршиликдир. Бундай занжирлар амалда кўп тарқалган ва уларни ҳисоблаш қизиқиш уйғотилади.

Бундан ташқарп, ва бу асосийси, характеристикалари тўғри ва эгри чизиқли кетма-кет уланган элементларни ҳисоблашнинг янада оддийроқ усули мавжуддир. У нагрузка характеристикаси деб аталувчи характеристика қуришга асосланган.

Берилган занжир миқолида (5-5- расм, б) бу усулни кўрсатамиз, унинг учун

$$r_a I_a = U_r = E_a - U_a,$$

бундан

$$I_a = \frac{E_a}{r_a} - \frac{U_a}{r_a}.$$

Ўзгармас катталиқларни

$E_a/r_a = a$ ва $1/r_a = b$ билан ифодалаб, тўғри чизиқ тенгламасини оламиз:

$$I_a = a - bU_a.$$

I_a ток учун U_a кучланиш орқали икки боғланишга эга эканмиз: бири ЭЧЭ графиги билан берилади (5-6- расм) ва фақат характеристикаси эгри чизиқли элемент (триод) хусусияти билан аниқланади, бошқаси—тўғри чизиқ тенгламаси $I_a = a - bU_a$ билан ва r_a ҳамда ЭЧЭ кетма-кет уланган занжирнинг хусусиятини ифодалайди. Шунинг учун кўрсатилган бу икки боғланишнинг биргаликда ечилиши ЭЧЭ нинг (триоднинг) хусусиятини ҳам, занжирнинг (5-5- расм) хусусиятини ҳам қониқтирадиган I_a токнинг ва U_a кучланишнинг қийматларини топишга имкон беради.

Талаб қилинаётган ечим, одатда, график усулда бажарилади, чунки боғланишлардан бири ЭЧЭ графиги билан

(5-6- расм) берилгандир. Бошқа графикни қуриш учун (тўғри чизиқли) иккита характерли нуқталарни танлаймиз: а) $I_a = 0$ ёки $0 = a - tU_a$, бундан

$$U_a = a/b = \frac{I_a}{r_a} r_a = E_a,$$

яъни $U_a = E_a$, $I_a = 0$ координатали M нуқтага (5-7- расм);

б) $U_a = 0$ ёки $I_a = a = \frac{E_a}{r_a}$, яъни

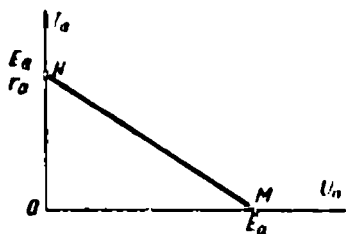
$$U_a = 0, I_a = \frac{E_a}{r_a}$$

координатали N нуқтага (5-7- расм) эга бўламиз.

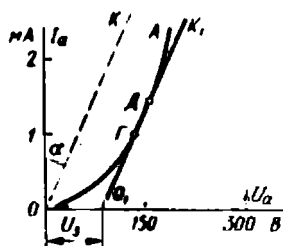
Демак, нагрузка характеристикаси дейиладиган, изланган тўғри чизиқни ун нг кучланиш ва ток ўқлари билан (5-7- расм, M ва N нуқталари) кесишган нуқталари орқали ясаш мумкин.

2. Ток ва кучланишларни ҳисоблаш. 5-6- расмда ЭЧЭ графигига қўшимча қилиб, I_a нинг U_a га бошқа боғланишини, яъни нагрузка характеристикаси MN ни қурамиз. Унинг M нуқтаси $U_a = E_a = 300$ В билан, N нуқтаси эса $I_a = E_a/r_a = 300/115 \cdot 10^{-3} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ А = 2,6 мА билан аниқланади.

MN тўғри чизиқ эгри чизиқли элементнинг характеристикаси билан IN (иш нуқтаси) нуқтада кесишади, худди шу нуқта кўриладиган икки боғланишнинг график ечилиши бўлади. Бошқача айтганда, IN нуқта занжирнинг бўлиши мумкин бўлган биргина режимини (5-5- расм) аниқлайди.



5-7- расм. Юкланиш характеристикаси.



5-8- расм. ОГДА вольт-ампер характеристикасининг ГД қисминин тўғрилаш.

Бу режим ток $I_a = 1,3$ мА (5-6-расм, III нуқтанинг OD ординатаси) ва кучланиш $U_a = 160$ В (5-6-расм, III нуқтанинг OG абсциссаси) билан аниқланади.

Характеристикаси тўғри чизиқли қаршиликдаги кучланиш

$$U_r = E_a - U_a = 300 - 100 = 140 \text{ В}$$

MG кесма билан аниқланади (5-6-расм).

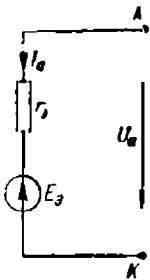
Масаланинг ечими вольт-ампер ва нагрузка характеристикаларининг кесишиши асосида топилганлиги учун фойдаланилган усулни кўпинча «кесишиш усули» деб юритилади.

3. Характеристикаси тўғри чизиқли бўлмаган элементни занжирнинг тўғри чизиқли эквивалент қисми билан алмаштириш. Аввало, вольт-ампер характеристиканинг тўғриланадиган қисмини топамиз. Бунинг учун ЭЧЭ (5-6-расм) характеристикасини 5-8-расмга олиб ўтамиз ($OGDA$ эгри чизиқ) ва берилган кучланиш (масаланинг шarti бўйича) $U_a = 140 - 180$ В га мос бўлган GD қисмини белгилаймиз.

Сўнгра эгри чизиқнинг GD қисмини GD тўғри чизиқ билан алмаштирамиз ва кейингининг параметрларини топамиз. Бу мақсадларда G ва D нуқталардан O_1K_1 тўғри чизиқни чизамиз ва уни координата бошига сурамиз (OK тўғри чизиқ).

OK тўғри чизиқнинг (5-8-расм) ҳамма нуқталари учун $\frac{U_a}{I_a} = r_s$ нисбат бир хил, шунинг учун уни исталган битта нуқта учун топиш мумкин. Масалан, $I_a = 2$ мА бўлганда $U_a = 120$ В ва

$$r_s = \frac{U_a}{I_a} = \frac{120}{(2 \cdot 10^{-3})} = 60 \text{ кОм.}$$



5-9-расм. Вольт-ампер характеристиканинг эквивалент қисми, электр юритувчи куч ва қаршилик.

Шунинг учун OK тўғри чизиқ $r_s = 60$ кОм бўлган тўғри чизиқли қаршилиқнинг вольт-ампер характеристикаси бўлади.

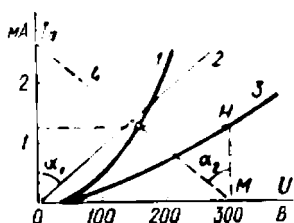
OK ва O_1K_1 (5-8-расм) тўғри чизиқларнинг абсциссалари мос ҳолда OO_1 кесма билан аниқланадиган (5-8-расм) $U_s = E_s = 75$ В бўлган ўзгармас кучланиш томон сурилган. Шунинг учун агар OK чизиқ $U_a = r_s I_a$ тенглама аниқланса, у ҳолда O_1K_1 чизиқ

$$U_a = r_s I_a + E_s$$

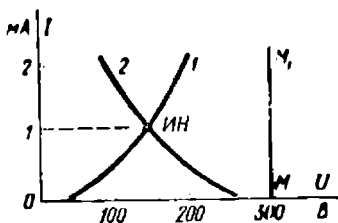
ёки

$$I_a = (U_a - E_s) / r_s$$

тенгламадан аниқланади.



5-10- расм. Тўғри чизиқли қаршилик (2) ва триоднинг (1) абсиссаларининг характеристикаларини қўшиб йиғинди вольт-ампер характеристикани ясаш.



5-11- расм. Ёккита бир хил эгри чизиқли элементдан иборат бўлган занжир режимини вольт-ампер характеристикаси (1) ва унинг кўзгу тасвири (2) билан кесилишин асосида аниқлаш.

Сўнги тенгламага 5-9- расмдаги занжирнинг АҚ қисми мос келади, бу эса 5-5- расм, б даги АҚ қисмга (берилган шартларда) эквивалентдир.

Агар ЭЧЭ ўрнига 5-9- расмдаги АҚ қисм уланган бўлса, занжирдаги ток I_a ни аниқлаймиз (5-5- расм, б). Бунда

$$I_a = \frac{E_a - E_s}{r_a + r_s} = \frac{300 - 75}{(115 + 60) \cdot 10^3} = 1,28 \text{ мА},$$

яъни натижа олдин топилган $I_a = 1,3 \text{ мА}$ га жуда яқин. 2% дан кам хатолик график усулда ечишда жуда кичкина хисобланади.

Демак, эгри чизиқли элемент ўзининг вольт-ампер характеристикасининг умча қисми булмаган қисмида шиласа ва бу қисмини тахминий тўғри чизиқ билан алмаштириши мумкин бўлса, ЭЧЭ эквивалент электр схемада эквивалент қаршилик ва э. ю. к. сифатида берилиши мумкин.

Масалага қўшимча саволлар

1. Триод ва r_a қаршиликнинг характеристикаларини қўшиш усулида масалани қандай ечиш мумкин? 5-10- расмда триоднинг вольт-ампер характеристикаси 1 (5-6- расмдан ЭЧЭ эгри чизиги кўчирилган) ва r_a чизиқли қаршиликнинг характеристикаси 2 ясалган. Бу тўғри чизиқ юқорида кўрсатилган усуллар билан (5-8- расмдаги ОК тўғри чизиқни анализ қилишда) $I_a = \frac{E_a}{r_a}$ тенглама асосида ясалган.

Эгри чизиқ 1 ва тўғри чизиқ 2 ларнинг мос нуқталарини қўшиб, ЭЧЭ ва r_a улашининг йиғинди вольт-ампер характеристикаси 3 эгри чизиқ олинди (5-10- расм).

3 эгри чизиқдан фойдаланамиз (5-10- расм) ва $E_a = 300$ В бўлганда ток $I_a = 1,3$ мА бўлишини аниқлаймиз, қайсики кўриладиган занжир учун олдин (5-5- расм, б) топилган эди.

2. r_a қаршилиқ ва нагрузка характеристикалари орасида ўзаро боғланиш борми? (5-10- расмда бурчаклар $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, яъни юкланиш тўғри чизиғи 4 (5-6- расмдан бу ерга кўчирилган) вертикал ўққа нисбатан $U = E_a = 300$ В нуқтадан ўтказилган 2 тўғри чизиқнинг кўзгу акс тасвири эканлигига мустақил ишонч ҳосил қилишларини ўқувчиларнинг ўзларига тавсия қиламиз.

3. Нагрузка характеристикасининг қиялик бурчагини қандай аниқлаш мумкин? Кўпинча нагрузка характеристикаси 4 ни (5-10- расм) ёки тўғри чизиқ 2 ни (5-10- расм) $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$ бурчак орқали яшаш қулай ҳисобланади.

Бу бурчакни қуйидагича топиш мумкин:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_r}{M_U} : \frac{I}{M_I} = \frac{M_I}{M_U} r_a,$$

бу ерда M_U , M_I — 5-10- расмда абсцисса (кучланиш) ва ордината (ток) ўқи бўйича масштаблардир. Бизнинг ҳолда танланган масштаблар $M_U = 90$ В/см ва $M_I = 10^{-3}$ А/см, шунинг учун

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{10^{-3}}{90} r_a = \frac{10^{-3}}{90} \cdot 115 \cdot 10^3 = 1,28 \text{ ва } \alpha = 51'.$$

Нагрузка характеристикасини яшаш учун α бурчакдан фойдаланиш, E_a/r_a нисбат H нуқта (5-7- расм) график четига чиқиб кетадиган даражада катта бўладиган ҳолларда, айниқса, қулайдир.

Демак, характеристикаси тўғри чизиқли r_a қаршилиққа қараб нагрузка характеристикаси ток ўқига нисбатан қиялик бурчаги орқали ёки характеристикаси эгри чизиқли элементнинг қисқа тўташиш режимдаги токи орқали ясалади.

4. Характеристикалари эгри чизиқли иккита кетма-кет уланган элементни ҳисоблаш учун қандай усуллардан фойдаланиш мумкин? Агар 5-5- расм, б даги занжирда r_a нинг характеристикаси эгри чизиқли элемент билан алмаштирилса, занжирни ҳисоб-

лашни вольт-ампер характеристикаларни қўшиш усули билан ҳам (5-1- § ва шу параграфнинг 1- қўшимча саволига қаранг), шу масалада кўрилган кесишиш усули билан ҳам бажариш мумкин. Ҳақиқатан ҳам, иккала эгри чизиқли элементнинг вольт-ампер характеристикаларини бир хилда ва ЭЧЭ графига мос (5-6- расм) деб қабул қиламиз. Бу графикни 5-11- расмга ўтказиб (1 эгри чизиқ) ва y ўқига нисбатан унинг MM_1 ҳолатига сурилган кўзгу акс тасвирини қуриб, $ИН$ иш нуқтасини оламиз (1 ва 2 эгри чизиқларнинг кесишиши каби). $ИН$ нуқтанинг ординатаси кўрилатган занжирдаги ток $I = 1,1$ мА ни аниқлайди. $ИН$ нуқтанинг абсциссаси биринчи эгри чизиқли элементдаги кучланишни аниқлайди.

5. Қандай ҳолларда характеристикаларни қўшиш усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ? Агар элементлари кетма-кет уланган эгри чизиқли занжирда манбанинг э. ю. кучи, масалан, 5-1- § даги каби, берилмаган бўлса, кесишиш усулини қўллаш анча қийинлашади ва вольт-ампер характеристикаларни қўшиш усули масала ечишни анча тезлаштиради.

6. Вольт-ампер характеристиканинг бир қисмини тўғрилаш усулининг қандай афзалликлари ва камчиликлари бор? Эгри чизиқли элементнинг характеристикасини тўғри чизиқли қаршилик ва э. ю. к. билан алмаштириш эгри чизиқли занжирни ҳисобланишининг оддий аналитик усуллари мавжуд бўлган тўғри чизиқли занжирга алмаштиришга имкон беради. График усулга нисбатан аналитик усулнинг асосий афзаллиги масаланинг умумий ечимини олиш имконияти борлигидир.

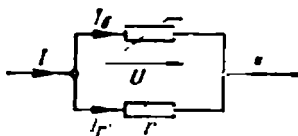
Лекин ЭЧЭ вольт-ампер характеристикасининг бир қисмини тўғрилаш усулини қўллаш қийинчиликлар билан боғлиқ: ё характеристиканинг иш қисмини олдиндан билиш керак, ёки уни бир неча тўғри чизиқли кесмаларга бўлиш керак.

7. Триоднинг тўри ва катода орасида таъсир этувчи $E_c = 1$ В нима учун берилган? Триод бошқарилувчи деб аталадиган ЭЧЭ лар қаторига киради. У иккита занжирга: чиқиш (I_a токи билан) ва бошқариш занжирларига эга (тўр-катод орасида E_c э. ю. к. билан). Бошқарувчи э. ю. к. E_c га қараб чиқиш ёки асосий занжир турли вольт-ампер характеристикаларига эга бўлади. Масалада 6Н2П маркали реал триод қўлланилган бўлиб, унинг учун E_c турлича бўлгандаги бир неча чиқиш вольт-ампер характеристикалари (справочникларда) мавжуд. $E_c = 1$ В бўлгандаги характеристикалардан бири танланган.

5.3. ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ВА ЭҒРИ ЧИЗИҚЛИ ЭЛЕМЕНТЛАРНИ ПАРАЛЛЕЛ УЛАШ

Масаланинг шарти

Номинал токи $I = I_n = 600$ мА булган занжирга (5-12-расм) вольт-ампер характеристикаси $I_0(U)$ (5-13-расм) булган эҒри чизиқли элемент (бареттер) билан параллел уланган



5-12-расм. Тўғри чизиқли қаршилик ва эҒри чизиқли элементнинг (бареттернинг) параллел уланиши.

$r = 50$ Ом тўғри чизиқли қаршилик уланган. Занжирнинг умумий токи номинал қийматидан ($-20 \div +10$)% атрофида ўзгарганда бареттердаги кучланиш ўзгаришининг чегаралари аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Йиғинди вольт-ампер характеристикани ясаш. ЭҒри чизиқли элементларни кетма-кет улаш учун (5-1-§) йиғинди вольт-ампер характеристика умумий кучланишнинг эҒри чизиқли элементлар кучланишлари йиғиндисига тенглиги, яъни

$$U_a = U_{a1} + U_{a2}$$

(5-1-расм) шарти билан ясалган эди. Шу усулдан (5-2-§ да 1-қўшимча савол) эҒри чизиқли ва тўғри чизиқли элементларни кетма-кет улаш учун ҳам фойдаланилди.

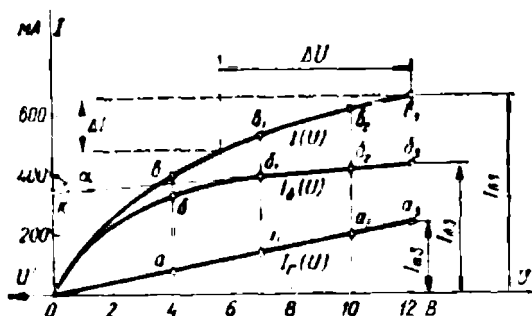
Параллел улашда, шубҳасизки, умумий ток шохобчалар тоқларининг йиғиндисига тенглиги, яъни бизнинг ҳолда (5-13-расм) $I = I_0 + I_r$ шарти асосида умумий вольт-ампер характеристикани олиш мумкин.

Олдин r қаршиликнинг вольт-ампер характеристикасини, координаталар бошидан $I_r(U)$ тўғри чизиғини (5-13-расм), масалан, координаталари $U_{a2} = 10$ В ва

$$I_{a2} = \frac{U_{a2}}{r} = 10/50 = 0,2 \text{ А} = 200 \text{ мА}$$

булган a_2 нуқта орқали ўтказиб ясаймиз.

5-13-расмдаги $I(I)$ умумий вольт-ампер характеристика абсциссалар (кучланишлар) бир хил булганда $I_r(U)$ ва $I_0(U)$



5-13-расм. Тўғри чизиқли (Oa_3) ва бареттернинг ($Oб_3$) характеристикаларининг ординаталарини қўшиб ифғинди вольт-ампер характеристика ($Oв_3$) ни куриш.

эгри чизиқларнинг (токларнинг) ординаталарини қўшиш натижасида олинган.

Масалан, кучланиш $U = 12$ В бўлганда $в_3$ нуқта (5-13-расм) $б_3$ ва $а_3$ нуқталарнинг ординаталарини қўшиш натижасида олинган ($I_{в_3} = I_{б_3} + I_{а_3}$). Худди шу йўл билан $в_2$, $в_1$ ва $а$ нуқталар ҳам ясалган.

2. Бареттерда кучланиш ўзгаришининг чегараларини аниқлаш. Занжирда ток (масаланинг шартини бўйича) $I_1 = 0,8I_n = 0,8 \cdot 600 = 480$ мА дан $I_2 = 1,1 \cdot I_n = 1,1 \cdot 600 = 660$ мА қийматигача ёки $\Delta I = I_2 - I_1 = 660 - 480 = 180$ мА га ўзгаради. 5-13-расмда I_1 , I_2 ва ΔI ни белгилаб, $I(U)$ характеристикадан фойдаланиб, кучланишнинг ўзгариш чегараларини топамиз $\Delta U = U_2 - U_1 = 11,6 - 5,6 = 6$ В.

Масалага қўшимча саволлар

1. Қуйидаги тескари масала қандай ечилади: берилган U кучланиш бўйича умумий ток I аниқлансин. Юзаки қараганда тескари масала ҳам худди ифғинди $I(U)$ вольт-ампер характеристикани (5-13-расм) ясаи билан ечиладигандек туюлади, унга кўра U ёки ΔU берилганда номаълум I ёки ΔI ни аниқлаймиз. Бундай йўл мавжуд бўлса ҳам, у мураккабдир, чунки бунда (тескари масала учун) ифғинди вольт-ампер характеристикани ясаишга зарурат йўқ. Ҳақиқатан ҳам, берилган U ва $I_6(U)$

характеристика бўйича бареттер токи I_6 ни, Ом қонуни бўйича эса қаршилиқдаги ток I ни аниқлаймиз. Сўнгра умумий ток $I = I_6 + I_r$ ни топамиз.

Демак, эгри чизиқли элементларни параллел улашда йиғинди вольт-ампер характеристика занжир ток манбадан таъминланганда занжирни ҳисоблаш учун зарурдир. Агар параллел занжир кучланиш манбадан таъминланса, уни ҳисоблашнинг йиғинди вольт-ампер характеристикани ясамасдан бажариш мумкин.

2. Параллел уланган элементлар сони ҳисоблаш усулига таъсир этадими? Ҳисоблаш усули параллел уланган элементлар сонига эмас, балки занжирни таъминлаш усулига боғлиқ (олдинги саволга қаранг). Масалан, агар 5-12- расмдаги занжир вольт-ампер характеристикалари берилган учта параллел уланган элементдан тузилган бўлса, $I(U)$ боғланишни олиш учун (5-13- расм) берилган учта вольт-ампер характеристика ординаталарининг мос нуқталарини қўшиш талаб қилинар эди. Агар худди шундай параллел улашни (учта элементни) кучланиш манбага улганса, занжирни ҳисоблаш йиғинди характеристикани ясамасдан бажарилади.

5.4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

63. 5-2- жадвалда германийли тўғрилагичнинг тўғри улашишдаги вольт-ампер характеристикаси берилган. Тўғрилагич қаршилигининг кучланишга боғланиш графиги ясалсин (берилган тўртта нуқта бўйича).

5-2- жадвал

$U, В$	0,5	1,0	1,5	1,8
I, mA	7,7	25	120	175

64. Вольт-ампер характеристикаси 5-3- жадвалда берилган иккита стабилитрон кетма-кет уланган. Ўқкала стабилитрон учун умумий вольт-ампер характеристика ясалсин ва ток $I = 18 mA$ бўлганда қисмалардаги умумий кучланиш аниқлансин.

5-3- жадвал

I, mA	5	10	15	20	25	30
$U, В$	74,5	74,6	74,8	75,1	75,5	76,0
$U, В$	146,4	146,5	146,7	147	147,4	148

65. Олдинги масаладаги иккита кетма-кет уланган стабилитрон $U_{\text{ст}}$ умумий қаршилиқнинг токка боғланиши ясалсин.

66. 5-4-жадвалда берилган вольт-ампер характеристикали икки электродли лампа ва тўғри чизиқли қаршилиқ $r = 4$ кОм, кучланиши 200 В бўлган таъминловчи манбага кетма-кет уланган. Лампанинг токи аниқлансин.

5-4-жадвал

$U, \text{В}$	20	40	80	120	160	200
$I, \text{мА}$	3,5	9	28	56	84	112

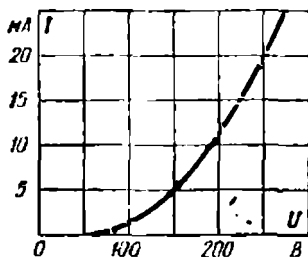
67. Фотоэлемент ва $r = 10$ МОм лп қаршилиқ кетма-кет уланган занжирга $U = 300$ В кучланиш берилган. Фотоэлементнинг вольт-ампер характеристикаси 5-5-жадвалда берилган. Занжирдаги ток ва қаршилиқдаги ҳамда фотоэлементдаги кучланиш аниқлансин.

5-5-жадвал

$U, \text{В}$	50	100	150	200	250
$I, \text{мкА}$	0,2	0,6	1,4	2,6	5,6

68. Агар ток ўқининг масштаби $M_I = 3$ мкА/см ва кучланиш ўқиники $M_U = 75$ В/см бўлса, олдинги масалада берилган шартларда, нагрузка характеристикасининг ток ўқига нисбатан қиялик бурчаги α аниқлансин.

69. 67-масалада берилган шартларда r қаршилиқ $\pm 20\%$ ўзгарганда фотоэлементдаги кучланишнинг ўзгариш чегаралари аниқлансин.



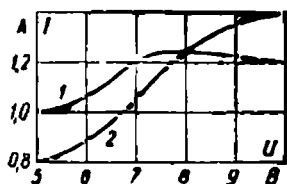
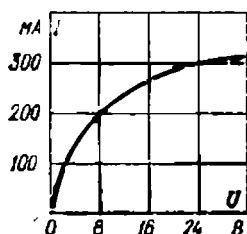
5-14-расм. 6Н8 маркали триоднинг вольт-ампер характеристикаси.

70. Кетма-кет уланган $r = 10$ кОм қаршилиқ ва уч электродли 6Н8 лампа кучланиши $U = 300$ В бўлган манбадан таъминланади. r қаршилиқ $\pm 20\%$ чегарасида ўзгарса, занжирнинг токи ва лампадаги кучланиш қандай чегарада ўзгаради. Лампанинг вольт-ампер характеристикаси 5-14-расмда берилган.

71. Вольт-ампер характеристикаси берилган (5-6-жадвал) чўғланма лампа кучланиши $U = 120$ В бўлган таъминловчи манбага реостат билан кетма-кет уланган. Лампадаги кучланиш 75 В бўлиши учун реостат қандай қиматли қаршилиқда туриши керак.

5-6-жадвал

$U, \text{В}$	0	20	40	60	80	100	120
$I, \text{А}$	0	0,2	0,5	0,9	1,4	2,0	2,5



5-15- расм. 0,3Б-1-7-35 типдаги бареттернинг вольт-ампер характеристикаси. 5-16- расм. 74- масалага.

72. 5-15- расмда 0,3Б17-35 маркали бареттернинг вольт-ампер характеристикаси келтирилган. Характеристиканинг $16 < U < 32$ В бўлган қисмини тўғрилаб, эквивалент э. ю. к. ва берилган иш режимда бареттернинг тўғри чизиqli ўрни алмашинадиган схемасининг қаршилик, шунингдек, шохобча токининг ва эквивалент э. ю. к. нинг йуналиши аниқлансин.

73. Вольт-ампер характеристикали бареттер (5-15- расм) ва тўғри чизиqli қаршилик $r = 80$ Ом параллел уланган ва ўзгармас кучланиш $U = 16$ В га қўшилган занжирнинг ҳамма шохобчаларидаги тоқлар аниқлансин.

74. Вольт-ампер характеристикалари (5-16- расмда) мос ҳолда 2 ва 1 эгри чизиқлар билан берилган терморезистор ва бареттер параллел уланган. Бундай уланишнинг йиғинди вольт-ампер характеристикаси ясалсин.

75. 74- масаладаги занжирнинг эгри чизиqli қисми билан $r = 1,15$ Ом ли тўғри чизиqli қаршилик кетма-кет уланган. Агар ҳамма занжир 10 В ли кучланиш манбандан таъминланса, занжирдаги ток ва эгри чизиqli қисмдаги ва қаршиликдаги кучланиш аниқлансин.

5-5. 5- бобдаги масалаларга жавоблар

63.	$U, \text{В}$	0,5	1,0	1,5	1,8
	$r, \text{Ом}$	65	40	12,5	6,55

64. 221,9 В.	$I, \text{мА}$	5	10	15	20	25	30
	$U, \text{В}$	220,9	221,1	221,5	222,1	222,9	223,9

65.	$I, \text{мА}$	5	10	15	20	25	30
	$r, \text{кОм}$	44,4	22,1	14,8	11,1	8,92	7,46

66. 30 мА.
 67. $5,6 \cdot 10^{-9}$ А; 50 В; 250 В.
 68. $\alpha \approx 22^\circ$.
 69. 240–255 В.
 70. 10–12,5 мА; 180–200 В.
 71. 36 Ом.
 72. 215 В; 800 Ом; бир хил ёуналишда.
 73. 230 мА; 200 мА; 480 мА.

74	$I, \text{ A}$	1,85	1,98	2,3	2,5	2,5	2,6
	$U, \text{ B}$	5	6	7	8	9	10

75. 2,0 А; 7,5 В; 2,5 В.

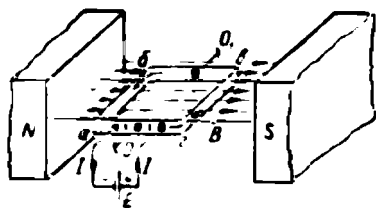
ОЛТИНЧИ БОБ

ЎЗГАРМАС ТОКНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ. МАГНИТ ЗАНЖИРИ

6-1. БИР ЖИНСЛИ МАГНИТ МАЙДОНИДАГИ ТОКЛИ ЭТКАЗГИЧ

Масаланинг шarti

Доимий магнит қутблари орасида (6-1-расм) OO' , ўқ атрофида эркин айланадиган тўғри бурчакли $abca$ рамка жойлаштирилган. Рамка занжирида ток $I = 5$ А. Рамканинг расмда кўрсатилган дастлабки вазиятида ва охириги вазиятида



6-1-расм. Токли рамка бир жинсли магнит майдонида

унинг томонларига таъсир этадиган кучлар (ва уларнинг йўналиши) аниқлансин. Агар қутблар орасида магнит индукцияси $B = 0,2$ Т (тесла) $1 \text{ T} = 1 \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2} = 10^4 \text{ Гс}$ (гаусс) бўлса, рамканинг дастлабки вазиятидан охириги вазиятига кўчишида ва рамка 360° га бурилганда бажариладиган иш ҳисоблансин.

Рамка томонларининг узунлиги $ab = bc = 30$ мм = 0,03 м ва $aa' - bb' = 20$ мм = 0,020 м.

Масаланинг ечилиши

1. Магнит майдоннинг таъсир кучи. Магнит майдоннинг таъсир кучи магнит индукцияси билан характерланади. Магнит индукцияси B ни, масалан, узунлиги

I бўлган I токли симга таъсир этувчи F куч орқали аниқлаш мумкин. Агар токли сим магнит чизиқларига тик жойлаштирилса, унда

$$B = F/I \quad (6-1)$$

Магнит индукцияси—вектор катталиқдир; (6-1) формула бу векторнинг фақат сон қийматини ифодалайди. B вектор майдоннинг берилган нуқтасидан ўтайдиган магнит куч чизиқларига уринма бўйича йўналган. Бизнинг ҳолда (6-1-расм) магнит индукциясининг векторлари магнит куч чизиқлари бўйлаб йўналган. (Тўғри чизиқли токли симнинг магнит майдони учун магнит индукцияси векторларининг йўналиши 6-6-расмда курсатилган.)

Нима учун масаланинг шарида магнит индукциясининг фақат битта қиймати берилган?

Масалала кўрилатган магнит майдонининг характерли хусусияти унинг бир жинслигидадир. Бу демак, магнитнинг N ва S қутблари (6-1-расм) орасидаги ҳар бир нуқтада магнит индукцияси бир хил қийматга эга ва унинг векторлари параллелдир (бу ерда магнитнинг қутблари четда майдоннинг бузилиши ҳисобга олинмаган).

(6-1) формулага кирган маълум B , I ва l катталиқлар орқали электромагнит куч дейиладиган ва магнит куч чизиқларига тик жойлашган (6-1-расмдаги ab ёки ae) симга таъсир қилувчи F кучни ҳисоблаш мумкин.

Магнит куч чизиқларига нисбатан маълум бурчакда жойлашган токли сим учун электромагнит куч

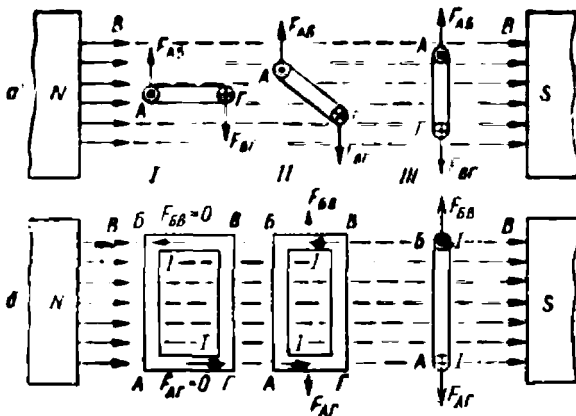
$$F = BIl \sin \alpha, \quad (6-2)$$

бу ерда α — B векторнинг йўналиши билан симдаги ток I орасидаги бурчак.

Куч векторининг йўналиши «чап қўл қондаси» билан аниқланади: агар чап қўлимиз кафтини магнит индукциясининг векторлари унга кирадиган, тўртта ёзилган бармоқларимиз симдаги ток йўналишига мос келадиган қилиб жойлаштирсак, очилган бош бармоқ симга таъсир этадиган куч йўналишини кўрсатади.

6-2-расм, a да шу қондага мувофиқ тўғри тўртбурчаклик $abca$ рамканинг (6-1-расм) ab ва ac симларига таъсир қилувчи кучларнинг векторлари F_{AB} ва F_{AC} ясалган.

2. Рамкага таъсир этувчи кучларни ҳисоблаш. Рамка тўртта симдан иборат (ab , bc , ca ва ba , 6-1-расм). Рамканинг дастлабки вазиятида магнит куч чи-



6-2- расм. Магнит майдонининг кучлари рамкани айлантирганда, унинг уч ҳолати (I, II, III). а—олд томондан кўриниши; б—уст томондан кўриниши.

лиқлари бўйлаб жойлашган $a\gamma$ ва $b\delta$ томонларга куч таъсир қилмайди, чунки

$$F_{A\Gamma} = F_{B\Delta} = IBl_{ac} \sin 0^\circ = 0$$

(6-2- расм, б). Рамканинг қолган икки томонига (6-2- расм, а) қўйидаги куч таъсир этади:

$$F_{AB} = F_{\Gamma D} = IBla\delta \sin 90^\circ = 5 \cdot 0,2 \cdot 0,03 \cdot 1 = 0,03 \text{ Н.}$$

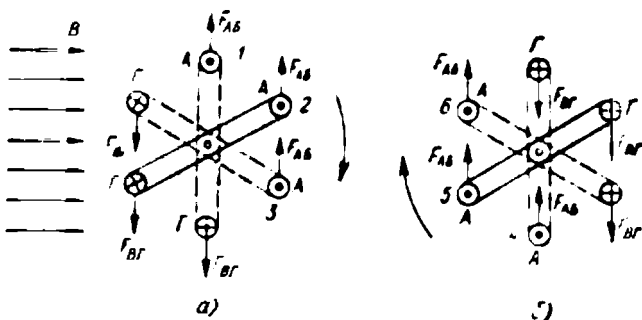
СИ ўлчов бирликлари системасида куч ньютон ҳисобида ўлчанади, бунда $1\text{Н} = 0,102 \text{ кгк}$. F_{AB} ва $F_{\Gamma D}$ кучлар (6-2- расм, а) рамкани I вазиятдан III вазиятга (90° га) буради.

Рамканинг бурилиши таъсир этувчи кучларга қандай таъсир қилади?

Берилган шартлар асосида кучнинг формуласи (6-2) да фақат бир катталик α бурчак рамка симларининг вазиятига боғлиқ. Масалан, рамка бурилганда $a\gamma$ ва $b\delta$ томонлар учун α катталашади ва III вазиятда (6-2- расм, б) $\alpha = 90^\circ$. Бунда $a\gamma$ ва $b\delta$ томонларга таъсир этувчи кучлар максимал қийматга эришади:

$$F_{A\Gamma\text{макс}} = F_{B\Delta\text{макс}} = IBl_{ac} \sin 90^\circ = 5 \cdot 0,2 \cdot 0,02 \cdot 1 = 0,02 \text{ Н.}$$

Йўналиши (чап қўл қондасига биноан) OO_1 ўқ билан устма-уст тушадиган $F_{A\Gamma}$ ва $F_{B\Delta}$ кучлар (6-1- ва 6-2- расм, б) рамкани фақат чўзади ва айлантирувчи момент ҳосил қилмайди.



6-3- расм. Рамканинг спат стрелкаси бўйича 360° бурчакка бурилиши: a — 1 ҳолатдан майдон кучлари қаршисига 180° бурчакка; b — 4 ҳолатдан 180° бурчакка майдон кучлари таъсирида.

ab ва bc томонлар рамканинг ҳамма вазиятида магнит куч чизиқларига тик ($\alpha = 90^\circ$) жойлашади, шунинг учун F_{A1} ва F_{B2} кучлар ва уларнинг йўналиши ўзгармайди. III вазиятда (6-2- расм, a) бу кучлар рамкани фақат чўзади.

3. Магнит майдон кучининг ишини ҳисоблаш. Магнит майдоннинг кучлари рамкани айлантириб $A = I \Delta \Phi$ ишни бажаради, бу ерда I — рамкадаги ток, $\Delta \Phi$ — рамка I вазиятдан III вазиятга бурилганда (6-2- расм) ундан ўтадиган доимий магнит оқимининг ўзгариши. Бир жинсли магнит майдон учун магнит куч чизиқларига тик бўлган сиртчадан ўтадиган магнит оқими магнит индукцияси B нинг сирт S га кўпайтмаси билан аниқланади, яъни доимий магнитнинг магнит оқими $\Phi = BS$.

Бизнинг ҳолда (6-1- расм) рамканинг юзаси дастлаб магнит куч чизиқларига параллел ва ундан ўтувчи магнит оқими нолга тенг. Вертикал вазиятда (6-2- расм, III вазият) рамкадан магнит индукциясининг рамка юзасига кўпайтмасига тенг бўлган

$$\Phi = BS = B (ac) (bc) = 0,2 \cdot 0,02 \cdot 0,03 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб (вебер)}$$

$$[1 \text{ Вб} \Rightarrow 1 \text{ В} \cdot \text{с} = 10^8 \text{ Мкс (максвелл)}]$$

максимал магнит оқими ўтади.

Бизнинг ҳолда магнит оқимининг ўзгариши $\Delta \Phi = \Phi$ бўлгани учун:

$$A = I \Delta \Phi = 5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Ж.}$$



6-4- расм. Рамканинг икки ҳолати учун ташқи магнит майдон чизиқларининг ва рамка майдонининг йўналиши.

4. Рамка 360 га бурилганда бажариладиган ишни ҳисоблаш. Агар рамка 1 вазиятдан (6-3- расм, а) соат стрелкаси ҳаракати йўналишида айлантирила бошланса, биринчи ярим айланиш чегарасида, тескари айлантирувчи момент ҳосил қилувчи F_{AB} ва F_{BG} электромагнит кучларни енгилта тўғри келади. Шунинг учун биринчи ярим айланиш электромагнит кучларни енгадиган кучлар, масалан, ташқи Двигатель кучлари билан бажарилиши мумкин.

4 вазиятдан бошланадиган (6-3- расм, б) иккинчи ярим айланиш магнит майдон кучлари F_{AB} ва F_{BG} томонидан бажарилади ва уларнинг бажарган иши $A = I \Delta \Phi$ магнит майдонининг ўсиши $\Delta \Phi$ га пропорционалдир. Ярм айланиш бошланишида ва унинг охирида (6-4- расм, 4 ва 7 вазият) рамкадан доимий магнитнинг бир хил магнит оқими ўтади, шунинг учун сўрालиши жонзкн: *оқимнинг орттирмаси қандай ҳосил бўлади?*

Агар рамкадан ўтадиган магнит оқимининг ишораси ҳисобга олинса, бу саволга жавоб бериш мумкин.

Магнит оқимининг ишорасини аниқлаш учун «парма қондаси» дан фойдаланилади: агар рамкадаги токнинг йўналиши парма дастасининг айланма ҳаракат йўналиши билан мос тушса ва рамкадан ўтадиган оқимнинг йўналиши парманинг илгариланма ҳаракатига мос келса, унда магнит оқими мусбат ҳисобланади.

Кўрилатган рамка учун бу — 7 вазиятдир (6-4- расм). Агар рамка ичидан ўтадиган магнит оқими ёки рамкадаги ток тескари йўналишга эга бўлса, унда магнит оқими манфий ҳисобланади, масалан, 4 вазиятдагидек (6-4- расм).

Шунинг назарда тутиш керакки, бундай усулда рамкадаги токдан мустақил ҳосил қилинадиган, фақат рамкага нисбатан ташқи магнит оқимининг, яъни бизнинг ҳолда доимий магнит оқими Φ нинг ишораси аниқланади. Рамка токи томонидан ҳосил қилинадиган хусусий магнит оқими доимо

парма қондасига мувофиқ йўналган бўлади. Бу магнит оқими рамкани айлантирувчи ҳеч қандай момент ҳосил қилмайди.

Шундай қилиб, магнит оқимининг орттирмаси $\Delta\Phi = \Phi - (-\Phi) = 2 \cdot \Phi = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-4}$ Вб, майдон кучларининг иши $A = I\Delta\Phi = 5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}$ Ж. Ташқи двигатель рамканинг биринчи ярим айланишида худди шундай ишни бажариши керак.

Масалага қўшимча саволлар

1. Агар токнинг йўналиши ўзгартирилса, рамканинг томонларига (6-1-расм) таъсир этувчи кучлар нима бўлади? F_{AB} ва F_{BC} кучларнинг йўналиши тескарисига ўзгаради ва рамка тескари томонга 90° бурчакка бурилади. F_{BC} ва F_{AB} кучларнинг йўналиши олдингисидек қолади, чунки фақат токнинг йўналишигина эмас, балки рамка тескари томонга айлангани учун ab ва bc симларнинг магнит чизиқларига нисбатан жойлашиши ҳам ўзгаради.

2. Нима учун электромагнит кучлар рамкани чўзишга ҳаракат қилади? Агар рамкадан ўтадиган Φ мусбат магнит оқими $\Delta\Phi$ га ортса, токли симга таъсир қилувчи магнит майдоннинг кучлари $A = I\Delta\Phi$ ишни бажаради. Шунинг учун кўрилаётган масалада электромагнит кучлар рамкани магнит чизиқларига тик равишда буради ва рамка орқали ўтаётган мусбат магнит оқими ортиши учун уни чўзишга интилади.

Демак, токли контур магнит майдонда шундай вазиятни олишга ва ўз шаклини шундай ўзгартиришга интиладнки, бунда рамкадан ўтадиган оқим максимал қийматга эга бўлади.

3. Токли рамка майдон кучлари уни чўзмасдан, балки сиқадиган вазиятда туриши мумкинми? Агар III вазиятда (6-2-расм) рамкада токнинг йўналиши ўзгартирилса, рамканинг ҳамма томонларига таъсир этувчи электромагнит кучлар рамканинг ичига йўналиб уни сиқишга интилади. Бу юзаки қараганда назария қондасига қарама-қаршидек туюлади. Лекин рамкадан ўтадиган оқим парма қондасига биноан манфий ва майдон кучлари уни камайтиришга интилади. Шунинг учун рамканинг бундай вазияти тургун бўлмайди; тургун бўлмаган тенгликдан салгина оғиш рамканинг 180° га бурилишига олиб келади. Янги вазиятда оқим мусбат ва майдон кучлари рамкани чўзади.

4. Магнит майдонидаги токли рамка амалда қаерда ишлатилади? Ўзгармас ток завжирларида ток ва кучланишларни ўлчаш учун ишлаш принципи ўлчанадиган токли рамка ва доимий магнитнинг магнит майдони билан ўзаро таъсирига асосланган магнитоэлектрик амперметр ва вольтметрлар кенг қўлланилади. Рамканинг ўқига унинг айланishiга қаршилиқ қилувчи пружинани маҳкамлаб, рамканинг ўлчанаётган токка пропорционал бўлган бурилиш бурчагини ҳосил қилиш мўмкин.

Худди шу принцип электр двигателларининг тузилишига асос қилиб олинган. Уларнинг қўлланилиши 9- бобда кўрилади.

6-2. ТОКЛИ ТЎҒРИ СИМНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ

Масаланинг шарти

Диаметри $d = 1$ см бўлган тўғри чизиқли симдан $I = 235$ А ток ўтади.

Узунлиги $l = 1$ м (6-5- расм) бўлган AB сим бўлагининг M нуқтада ҳосил қиладиган магнит индукцияси ҳисоблансин. M нуқта сим бўлагининг учларидан бир хил масофада, унинг ўртасидан эса $R_M = 50$ см = 0,5 м узоқликда жойлашган. Симнинг ичида ва ташқарисида майдон кучланганлиги ҳамда магнит индукциясининг ўзгариш графиги ясалсин.

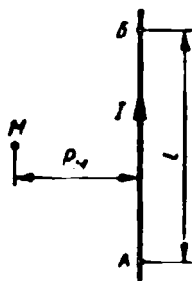
Масаланинг ечилиши

1. Токли тўғри симнинг магнит индукцияси ва майдон кучланганлиги. Олдинги масалада кўрилган доимий магнитнинг бир жинсли майдонидан фарқли ўлароқ, токли симнинг магнит майдони бир жинсли эмас, чунки магнит индукциясининг модули ва векторининг йўналиши майдоннинг турли нуқталарида бир хил эмас (6-6- расм).

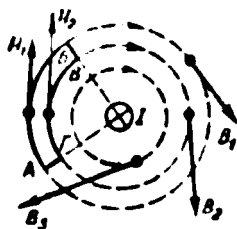
Вакуумда турган тўғри чизиқли сим учун майдоннинг симдан ташқаридаги бирор нуқтасида магнит индукцияси симдан ўтаётган токка тўғри пропорционал ва сим ўқидан нуқтагача бўлган масофага тескари пропорционал:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi R}, \quad (6-3)$$

бу ерда μ_0 — магнит доимийси. У вакуумда магнит майдонини характерлайди ва (6-3) формулага кирувчи катталик-



6-5-расм. Тоқли тўғри чизиқли сим.



6-6-расм. Магнит индукцияси ва тоқли, тўғри чизиқли симнинг майдон кучланганликлари векторларининг магнит чизиқлари.

ларнинг ўлчов бирликларига боғлиқдир. СИ ўлчов бирликлар системасида

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{с}/\text{м} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м.}$$

Тўғри чизиқли сим (6-6-расм) магнит чизиқларининг йўналиши (B векторлар бу чизиқларга уринма бўйича йўналади) парма қондаси бўйича аниқланади.

Бирор муҳитдаги (вакуумда эмас) магнит майдон учун майдоннинг кўрилатган шу муҳит томонидан кучайишни ёки кучсизланишни ҳисобга олиш керак бўлади. Бу ҳолда (6-3) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi R} = \mu \mu_0 \frac{I}{2\pi R}. \quad (6-4)$$

(6-4) формулада абсолют магнит сингдирувчанлик μ_0 муҳитнинг магнит индукциясига таъсирини ҳисобга олади. $\mu = \mu_0/\mu_0$ магнит сингдирувчанлик эса берилган муҳит абсолют магнит сингдирувчанлигининг магнит доимийсидан неча марта катта ёки кичиклигини кўрсатади.

Амалий ҳисоблашларда ҳамма *ноферромагнит* муҳитлар учун $\mu_0 = \mu_0$ деб қабул қилиш ва (6-3) формуладан фойдаланиш мумкин. *Ферромагнит* муҳитларда майдонни ҳисоблаш 6-4-§ ва 6-5-§ ларда кўрилади.

Магнит майдонларини ҳисоблашда магнит майдонининг кучланганлиги $H = B/\mu_0$ дан ҳам фойдаланилади. Тўғри чизиқли сим учун симдан ташқарида майдон кучланганлиги

$$H = \frac{I}{2\pi R}. \quad (6-5)$$

(6-3) ва (6-5) формулалар чексиз узун тўғри чизиqli сим учун қатъиян тўғри. Маълум узунликдаги симларде фақат сим яқинида, яъни симнинг l узунлигига нисбатан R масофа кичик бўлганда B ва H ни ҳисоблашда кўрсатилган формулалардан фойдаланиш мумкин.

Қўпчилик амалий масалалар учун сим яқинидаги анча интенсив бўлган майдонни билиш етарлидир.

Симнинг AB бўлаги (6-5-расм) томонидан M нуқтада ҳосил қилинадиган магнит индукциясини аниқлаш учун (6-3) формуладан фойдаланиш мумкинми?

$R_M = 0,5$ м масофа узунлик $l = 1$ м билан ўлчовдош бўлгани учун (6-3) формулани қўллаш мумкин эмас, бунда токли симнинг узунлиги ва шаклини ҳисобга оладиган Био—Савар қонунидан фойдаланиш лозим. Исталган l узунликдаги тўғри чизиqli сим учун Био—Савар қонуни бўйича M нуқтадаги магнит индукцияси

$$B_M = \frac{\mu_0 I}{4\pi R_M} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2), \quad (6-6)$$

бу ерда β_1 ва β_2 — 6-7-расмда кўрсатилган бурчаклар. $R_M \ll l$ бўлганда $\beta_1 = \beta_2 = 0$ ва $\cos \beta_1 = \cos \beta_2 = 1$ бўлишини кўриш мумкин; бунда (6-6) ва (6-3) формулалар айнан ўхшашдир.

2. M нуқтада (6-5-расм) магнит индукцияси ва кучланганликни ҳисоблаш. Энг олдин (6-6) формуладаги $\cos \beta_1$ ва $\cos \beta_2$ ни ҳисоблаймиз. Бизнинг ҳолда $R_M = l/2$ (6-7-расм), шунинг учун

$$\cos \beta_1 = \cos \beta_2 = \cos 45^\circ = 0,707. \quad (6-6) \text{ формула бўйича}$$

$$B_M = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{235}{4\pi \cdot 0,5} \cdot 2 \cdot 0,707 = 6,65 \cdot 10^{-6} \text{ Т.}$$

M нуқтада магнит майдонининг кучланганлиги.

$$H_M = \frac{B_M}{\mu_0} = \frac{6,65 \cdot 10^{-6}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 53 \text{ А/м.}$$

3. Симнинг ичида ва ташқарисида майдон кучланганлигининг ўзгариш графигини ясаш. Сим бўлаги яқинида майдон кучланганлигини ёки узун тўғри чизиqli сим майдонининг ўзгаришини кўриб чиқиш қизиқарлидир. Сим ташқарисида (6-5) формуласи бўйича

$$H = \frac{I}{2\pi R} = \frac{235}{6,28} \cdot \frac{1}{R} = 37,5 \frac{1}{R}.$$

R нинг бир неча қийматлари учун H ни аниқлаб (6-1-жадвал), нуқталар бўйича $H(R)$ графигини ясаймиз (6-8-расм, а).

6-1-жадвал

$R, \text{ м}$	0,005	0,01	0,025	0,05	0,075	0,10
$H, \text{ А/м}$	7500	3750	1500	750	500	375

Графикда (6-8-расм, а) Π нуқтанинг ординатаси сим сиртида ($R = 0,005 \text{ м}$ бўлганда) майдон кучланганлиги H ни аниқлайди. Координаталар бошини Π нуқта билан бирлаштириб, сим ичида $H(R)$ боғланишни ифодаловчи (6-8-расм, а пунктир) $O\Pi$ тўғри чизиқни оламиз, бунда майдон кучланганлиги сим ўқидан нуқтагача бўлган масофага тўғри пропорционал ўзгаради.

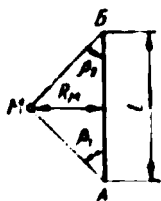
Ҳақиқатан ҳам, сим ичида R радиусли доира чизиб (6-8-расм, б) тўла ток қонуни бўйича қуйидагини оламиз:

$$H \cdot 2\pi R = I_s, \quad (6-7)$$

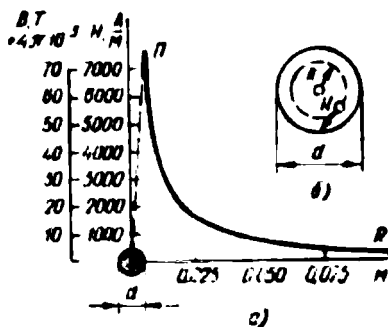
бу ерда I_s — сим кесимидан ўтувчи I токнинг радиуси R бўлган доира ичидан ўтувчи қисми. (6-7) тенглама радиуси R бўлган берк контур бўйича магнит кучланиши шу контур билан қуршалган токка (берилган ҳолда I_s токка) тенглигини ифодалайди.

Ток зичлиги ҳақида тушунча киритамиз:

$$\delta = \frac{I}{s} = \frac{I}{\pi d^2/4},$$



6-7-расм. (б) формула бўйича ҳисоб-кисми.



бу ерда s — симнинг кўндаланг кесим юзи. Унда $I_2 = \delta\pi R^2$ ни ёзиш мумкин ва сим ичида

$$H \cdot 2\pi R = \delta\pi R^2$$

ёки

$$H = \frac{\delta\pi R^2}{2\pi R} = \frac{\delta}{2} R.$$

яъни кучланганлик сим ўқидан нуқтагача бўлган масофага пропорционал ўсиб боради.

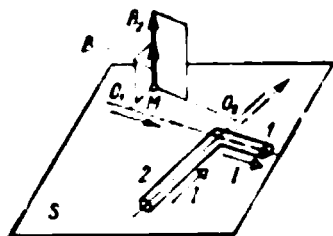
Олинган график (6-8-расм, а) $B(R)$ боғланишни ифода-лайди, чунки $B = \mu_0 H$.

Масалага қўшимча саволлар

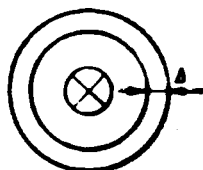
1. Берилган симнинг эгилган қисмларидаги токлар ҳосил қиладиган магнит индукцияси векторининг йўналиши қандай аниқланади (6-9-расм)? I токли иккита тўғри чизиқли симнинг 1 ва 2 қисмлари билан бир S текисликда ётган M нуқтанинг (6-9-расм) магнит индукциясини аниқлаш учун олдин M нуқтадан сим қисмларининг ўқига тик MO_1 ва MO_2 чизиқларни туширамыз. Сўнгра MO_1 ва MO_2 ларни M нуқта орқали ўгадиган магнит куч чизиқларининг радиуслари деб қараб, сим қисмларининг токлари мос ҳолда ҳосил қиладиган B_1 ва B_2 магнит индукциялари векторларининг йўналишини парма қондаси бўйича аниқлаймиз. Агар M нуқта сим бўлаклари билан бир текисликда ётса, B_1 ва B_2 векторларининг йўналиши бир хил бўлади.

2. Агар тўғри чизиқли симга қалинлиги Δ бўлган пўлат ҳалқа кийдирилса, магнит майдонида қандай ўзгаришлар бўлади (6-10-расм)? Ҳалқа ташқарисида магнит майдони ўзгармайди. Ҳалқа ичида магнит майдонининг кучланганлиги олдингидек қолади ($H = I/2\pi R$), магнит индукцияси ва магнит оқими эса кескин ўсади, чунки пўлатнинг абсолют магнит сингдирувчанлиги $\mu_a \gg \mu_0$. Пўлатнинг сорти маълум бўлса, унинг учун берилган майдон кучланганлигида магнит сингдирувчанлиги қийматини топиш ва пўлат ҳалқадаги магнит индукциясини ҳисоблаш мумкин.

Магнит майдонини анчагина кучайтириш хусусиятига фақат ферромагнит материаллар (темир, кобальт, никель ва уларнинг қотишмалари) эга. Агар ҳалқа ноферромагнит ма-



6-9- расм. Эгри чизикли сым қисмларида магнит индукциясининг векторлари.



6-10- расм. Пулат ҳалқа билан қўршалган битта сым.

териалдан ишланса, магнит майдонининг индукцияси ўзгармайди.

Бу ерда ҳалқа сым ўқига нисбатан симметрик жойлашган ва унинг сирти магнит чизиклари билан кесипмайди деб фараз қилинган. Агар ҳалқанинг ўқи силжитилса (ўзгартирилса) майдон картинаси ва унинг кучланганлиги ўзгаради.

3. $ABVGA$ контур учун магнит кучланиши қандай аниқланади (6-6- расм)? Энг аввал BV ва AG кесмаларда ётувчи нуқталардаги магнит индукциялари ва уларга параллел H майдон кучланганлиги векторлари шу кесмаларга перпендикуляр эканлигини кўрамиз, чунки BV ва AG кесмалар радиуслар бўйлаб, майдон кучланганлиги векторлари эса шу доираларга уринма бўйича жойлашган. Бу ҳолда H векторларнинг AG ва BV кесмаларга проекцияси нолга тенг. Кесмаларнинг ҳар биридаги кучланганлик вектор проекциясининг кесма йўналишига ва кесма узунлигига кўпайтмаси билан аниқланадиган магнит кучланиши ҳам нолга тенгдир.

Магнит чизиклари билан мос келадиган AB ва VG қисмларнинг ҳамма нуқталарида майдон кучланганлиги векторлари уринма бўйича йўналган, яъни векторларнинг проекцияси уларнинг ўзларига тенг ҳамда AB қисмда H_1 ва VG қисмда H_2 доимий қийматларига эгадир. Шунинг учун магнит кучланишлари қуйидагига тенг:

$$U_{M_1} = H (AB); U_{M_2} = H (VG).$$

H_1 ва H_2 майдон кучланганликлари сым ўқи ораллиғидаги масофаларга тескари пропорционал, доира ёйлари AB ва VG нинг узунлиги эса шу масофаларга тўғри пропорционал бўлгани учун $U_{M_1} = U_{M_2}$.

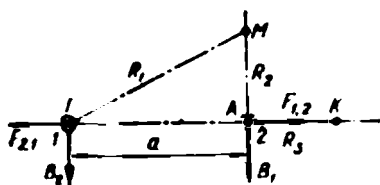
$ABVA$ контур бўйича магнит кучланишларининг алгебраик йиғиндисини тузишда U_m мусбат ишора билан, U_m эса манфий ишора билан олинади, чунки AB қисмнинг ҳар бир нуқтасида H_1 векторнинг йўналиши айланиб чиқиш йўналиши билан бир хил, VB қисмда H_2 векторнинг йўналиши айланиб чиқиш йўналишига тескари. Шундай қилиб, $ABVA$ берк контур бўйича магнит кучланиши нолга тенг.

Айнан шундай натижани кутиш керак эди. $ABVA$ контур билан чегараланган сиртни ток кесиб ўтмайди, яъни бу контурнинг тўла токи нолга тенг ва тўла ток конунига биноан контур бўйлаб магнит кучланишлари ҳам нолга тенг.

6-3. ТОКЛИ БИР НЕЧТА СИМЛАРНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ

Масаланинг шarti

Симлар орасидаги масофа $a = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$ бўлган икки симли ҳаво линиясидан $I_1 = I_2 = I = 235 \text{ А}$ ток ўтади (6-11-расм), M ва K нуқталарда ($AM = R_2 = AK = R_3 =$



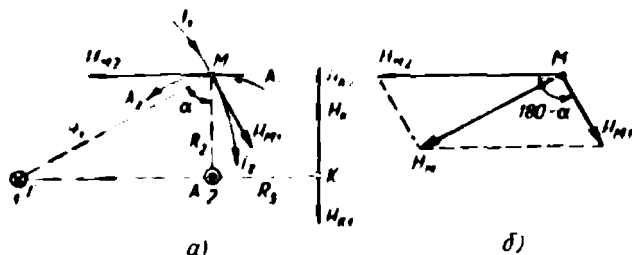
6-11-расм. Токли икки симнинг магнит индукциялари ва электромагнит кучларининг векторлари.

$= 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$) магнит майдонининг кучланганлиги, шунингдек, тармоқда қисқа туташин натижасида ток 10 марта ошиб кетганда симлар орасидаги ўзаро таъсир кучи ҳисоблансин. Сим ўқларини туташтирувчи GA тўғри чизик бўйлаб майдон кучланганлигининг ўзгариш графиги ясалсин.

Масаланинг ечилиши

1. Майдон кучланганлигини ҳисоблаш. Бир нечта манбадаги ўзгармас ток занжирини ҳисоблашда (1-2-§ га қаранг) йиғиш усули қўлланилган эди. Шу усулни M нуқтада майдон кучланганлигини ҳисоблаш учун қўлаймиз. Дастлаб 2 симнинг токи ҳосил қиладиган майдон кучланганлигини аниқлаймиз:

$$H_{M_1} = \frac{I}{2\pi R_1} = \frac{235}{2\pi R_1} = \frac{37,5}{R_1} = \frac{37,5}{0,05} = 750 \text{ А/м.}$$



6-12-расм. M ва K нуқталарда токли хар бир симдан ҳосил бўлган майдон кучланганлиги векторларининг ва йиғинди кучланганлик векторларининг қуриши.

H_{M_2} векторни (6-12-расм, а) M нуқтадан радиуси R_2 бўлган A_1A_2 магнит чизмни доирасига уринма бўйича йўналтирамиз. H_{M_2} векторнинг йўналишини парма қондаси бўйича топамиз.

Сўнгра 1 симнинг токи ҳосил қиладиган майдоннинг кучланганлигини аниқлаймиз:

$$H_{M_1} = \frac{37,5}{R_1} = \frac{37,5}{\sqrt{a^2 + R_2^2}} = \frac{37,5}{\sqrt{0,10^2 + 0,05^2}} = 335 \text{ А/м.}$$

H_{M_1} векторни M нуқтадан $\Gamma_1\Gamma_2$ магнит чизмгига уринма бўйича йўналтирамиз; у R_1 радиуси билан тўғри бурчак ташкил қилади. Магнит майдонининг йиғинди кучланганлиги вектори H_M ни (6-12-расм, б) косинуслар теоремасидан ёки график усулда топиш мумкин.

Майдон кучланганлиги масштаби $M_H = 30 \text{ А/(м} \cdot \text{мм)}$ ни ҳисобга олиб ва вектор узунлиги $H_M \approx 22,5 \text{ мм}$ ни ўлчаб $H_M = 30 \cdot 22,5 = 675 \text{ А/м}$ ни топамиз.

K нуқтадаги майдон кучланганлигини ҳам шу тарзда ҳисоблаймиз (6-12-расм, а).

2 симнинг токи ҳосил қиладиган майдон кучланганлиги:

$$H_{K2} = \frac{37,5}{R_3} = \frac{37,5}{0,05} = 750 \text{ А/м,}$$

1 симнинг токи ҳосил қиладиган майдон кучланганлиги:

$$H_{K1} = \frac{37,5}{a + R_1} = \frac{37,5}{0,15} = 250 \text{ А/м.}$$

H_{K2} ва H_{K1} векторлар қарама-қарши томонларга йўналган, шунинг учун майдоннинг йиғинди кучланганлиги $H_K = H_{K2} - H_{K1} = 750 - 250 = 500 \text{ А/м}$.

2. Симларнинг ўзаро таъсир кучларини ҳисоблаш. Токлари бир томонга йўналган симлар бир-бирига тортилади, токлари қарама-қарши томонга йўналган симлар бир-биридан итарилади.

Токи I_2 бўлган 2 сим жойлашган ерда I_1 ток томонидан ҳосил қилинадиган магнит индукциясини B_1 билан белгилаймиз; (6-3) формула бўйича

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi a}.$$

I_2 токли симнинг (6-11-расм) узунлиги $l = 1$ м қисмига таъсир этадиган кучни (6-2) формула билан аниқлаймиз:

$$F_{1,2} = B_1 I_2 l.$$

Шунга ўхшаш, бошқа сим учун

$$B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi a}$$

ни оламиз ва куч

$$F_{2,1} = I_1 B_2 l$$

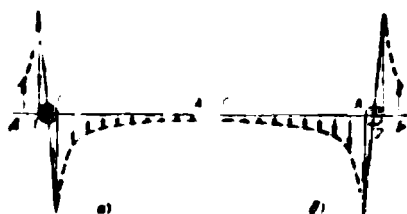
шу билан бирга

$$F_{1,2} = F_{2,1} = F = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l.$$

Бизнинг ҳолда $I_1 I_2 = I^2$ ва линиянинг симлари ўзаро қуйидаги куч билан таъсир этади (бир-биридан итарилади)

$$F = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I^2}{2\pi a} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{235^2}{0,1} = 11,1 \text{ Н/м} = 11,1 \text{ х} \\ \text{х } 0,102 \text{ кгк/м} = 1,13 \text{ кгк/м}.$$

Агар линия таянчлари (изляторлари) орасидаги масофа $l = 50$ м бўлса, шу қисмда симлар орасида $Fl = 1,13 \cdot 50 = 56,5$ кгк ҳосил бўлади.



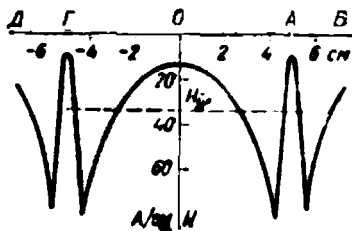
6-13-расм. Симлар ўқини бирлаштирувчи чизик нуқталарида ҳар бир токли симдан ҳосил бўладиган маъдон кучлангавликларни.

3. GA тўғри чизиқ бўйлаб майдон кучланганлигининг ўзгариш графигини ясаш (6-11-расм). Бу ерда яна йиғиш усулини қўллаймиз.

I симнинг I токи GA тўғри чизиқнинг исталган нуқта-сида вектори GA чизиғига перпендикуляр йўналган майдон кучланганлиги ҳосил қилади (масалан, A нуқтада $H_1 = B_1/\mu_0$; 6-11-расмга қаранг).

Γ нуқтадан узоқлашган сари, майдон кучланганлиги 6-13-расм, a да тасвирланган пунктир эгри чизиқ қонуни бўйича камай боради, бу эгри чизиқ 6-8-расмдан кўчирилган (иккала масалада ҳам ток бир хил). Бошқа симнинг токи ҳам майдон кучланганлиги векторларининг шунга ўхшаш тақсимланишини ҳосил қилади (6-13-расм, b). Майдон кўринишини янада тўлароқ тасаввур қилиш учун майдон кучланганлиги векторларининг кўрилаётган GA тўғри чизиқдан ташқарида ётувчи GD ва AB қисмлар бўйлаб тақсимланиши 6-13-расмда кўрсатилган.

Иккала сим токининг майдон кучланганлигининг ўзгариш эгри чизигини қандай олса бўлади? GA тўғри чизиқнинг ҳамма нуқталарида H векторларининг йўналиши мос келади. шунинг учун бу қисм учун аниқланиши талаб қилинган эгри чизиқ (6-14-расм) кўрилган графикларнинг (6-13-расм) ординаталарини қўшиш билан олинган. Шу эгри чизиқнинг ўзи AB ва GD қисмлар (6-14-расм) учун майдоннинг йиғинди кучланганлиги бўлиб (бу қисмларда 1 ва 2 симларнинг токлари ҳосил қиладиган H векторлар қарама-қарши йўналган), графиклар ординаталарининг айирмаси сифатида олинган (6-13-расм). 6-14-расмда майдон кучланганлигининг абсолют қийматлари, яъни уларнинг йўналиши ҳисобга олинмаган ҳолдаги қийматлари келтирилганлигини кўрсатиб ўтаемиз. Олинган графикдан фойдаланишни осонлаштириш учун абсцисса ўқида координата боши Γ ва A нуқталар оралиғи ўртасида танланган.



6-14-расм. 6-13-расмда келтирилган графиклар ординаталарини қўшиш йўли билан олинган график.

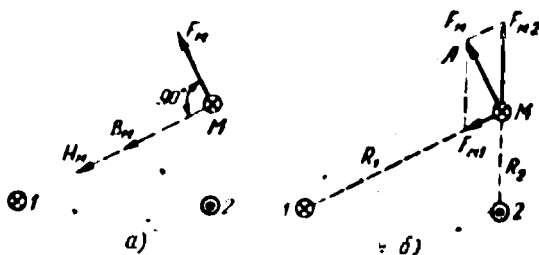
Масалага қўшимча саволлар

1. M нуқтадан ўтадиган, токи 100 A бўлган параллел симга таъсир этувчи электромагнит

куч қандай аниқланади? (6-15-расм)? Бу кучни икки усулда аниқлаш мумкин. Биринчидан, 1 м симга иккала сим магнит майдоннинг кучи таъсир этади:

$$F_M = B_m I_m = \mu_0 H_m I_m = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 680 \cdot 100 = 85,5 \times 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

F_M кучнинг йўналиши чап қўл қондаси бўйича аниқланади (6-15-расм, а). H_m вектор 6-15-расм, а га 6-12-расм,



6-15-расм. Тоқли иккита симнинг тоқли учинчи симга таъсири.

6 дан кўчирилган, B_m вектор H_m векторнинг йўналиши билан мос тушади.

Иккинчидан, киритилган симнинг иккита бошқаси билан ўзаро таъсир кучини топиш мумкин, жумладан 2 симдан (6-15-расм, б) у қуйидаги куч билан итарилади:

$$F_{M2} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m \cdot I}{R_2} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{100 \cdot 235}{0,05} = 94 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м,}$$

1 симга у қуйидаги куч билан тортилади:

$$F_{M1} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m \cdot I}{R_1} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{100 \cdot 235}{0,112} = 42 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

F_M йигинди куч F_M , ва F_{M1} , F_{M2} кучларнинг геометрик йигиндисига тенг (6-15-расм, б). Қабул қилинган $M_p = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н'м} \cdot \text{мм}$ масштабда векторнинг узунлиги $F_M = 10,7 \text{ мм}$ бўлганда қуйидагини оламиз:

$$F_M = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10,7 \approx 85 \cdot 10^{-3} \text{ Н'м,}$$

бу эса юқорида олинган натижа билан мос тушади.

2. Сим ўқлари билан чегараланган ясси сиртни кесиб ўтадиган магнит оқими қандай аниқланади? Сим ўқлари орқали ўтадиган текисликни

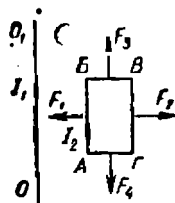
кесиб ўтадиган, симлар орасидаги магнит оқими 6-14-расмдаги $H(R)$ эгри чизиқнинг юзи бўйича аниқ ҳисобланиши мумкин. Магнит оқимини тахминан аниқлаш учун майдон кучланганлигининг ўртача қиймати $H_{\text{ор}} = 3500 \text{ А м дан}$ (6-14-расмдаги графикдан олинган) фойдаланиш мумкин.

Линиянинг l м узунлигида

$$\Phi = B_{\text{ор}} \cdot S = \mu_0 H_{\text{ор}} S = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3500 \cdot 0,1 \cdot 1 = 4,39 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

3. I_1 токли симнинг магнит майдонига киритилган I_2 токли бикр рамка силжишга қандай интилади (6-16-расм)? Токи I_1 токи билан бир томонга йўналган рамканинг AB сими OO_1 симга F_1 куч билан тортилади. BC сим (OO_1 симдан анча узоқда) $F_2 < F_1$ куч билан итарилади. Шунинг учун рамка OO_1 сим томон силжишга интилади.

Бу ерда токли контур магнит майдонидида майдоннинг индукцияси катта участкаси йўналишида силжишига яна бир бор ишонч ҳосил қилиш мумкин.



6-16-расм. Токли симнинг магнит майдонига киритилган токли рамканинг томонларига таъсир этадиган электр магнит кучлар.

6.4. ТАРМОҚЛАНМАГАН МАГНИТ ЗАНЖИРИ

Масаланинг шarti

Ўлчамлари 6-17-расмда миллиметрларда кўрсатилган қуйма пўлатдан йиғилган магнит ўтказгичда магнит оқими $\Phi = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$. Агар магнит ўтказгичнинг қалинлиги 25 мм ва П-симон магнит ўтказгичнинг ярмо билан туташган жойида $\delta = 25 \text{ мм} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ҳаво оралиги бўлса, 187 ўрамли ғалтакнинг токи, пўлатнинг магнит синдирувчанлиги ва магнит занжири қисмларининг қаршилиги ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Пўлат магнит ўтказгичнинг ғалтак магнит майдонига таъсири. Магнит ўтказгич бўлмаганда магнит чизиқлари ғалтак атрофида ҳаво орқали туташади.

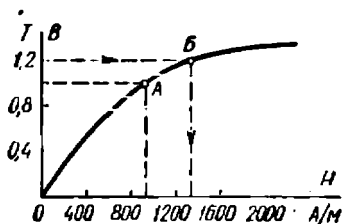
Магнит ўтказгичнинг киритилиши магнит майдони кўришини кескин ўзгартириб юборади. Юқори магнит синди-

рувчанликка эга бўлган пўлат магнит оқимига ҳавога нисбатан анча кам магнит қаршилик билан таъсир қилади. Шунинг учун пўлат орқали туташадиган магнит оқими Φ (6-17-расм) магнит ўтказгичсиз ғалтакни қараганда кўп марта катта бўлади. Магнит чизиқларининг бир оз қисми сочилма оқим Φ_c ҳосил қилиб, ҳаво орқали туташади. Кўпчилик амалий ҳолларда магнит занжирининг пўлати тўйинмаган бўлади (магнитлашиш эгри чизигининг OB қисми, 6-18-расм) ва магнит оқими Φ ҳаво орқали туташадиган магнит оқими Φ_c га қараганда юз ва минг марта ортиқ бўлади. Шунинг учун сочилма оқим Φ_c ни ҳисобга олмай, фақат Φ ни ҳисобга олиш мумкин.

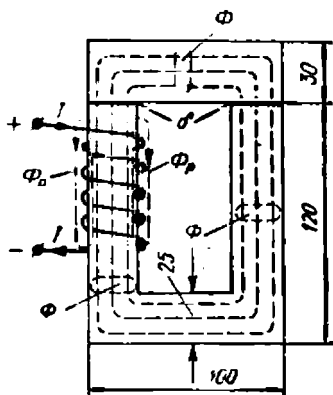
Бу ҳолда кўрилатган магнит занжирига нисбатан иккита муҳим хулоса чиқариш мумкин:

биринчидан, магнит йўлининг (магнит чизиқларининг) узунлиги магнит ўтказгичнинг узунлиги билан аниқланади, магнит ўтказгич ўзакда жойлашган калта ғалтакни гўё узун ва туташган (тороидалга ўхшаш) ғалтакка айлантиради;

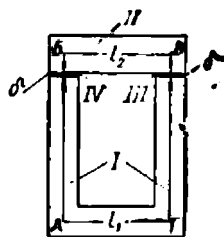
иккинчидан, кўрилатган магнит ўтказгичнинг (тармоқланмаган магнит занжири) исталган кўндаланг кесимида магнит оқими бир хилдир.



6-18-расм. Қўйма пўлатнинг магнитлашиш эгри чизиги.



6-17-расм. Тармоқланмаган магнит занжири.



6-19-расм. Магнит занжирининг қисмлари. I, II — пўлат; III, IV — ҳаво оралиқлари.

2. Магнит занжирининг қисмлари. Ҳисоблашда магнит ўлказғич қисмларга бўлинади.

Магнит занжири қандай аломатларига қараб қисмларга бўлинади (6-19-расм)? Қисм бир хил материалдан тайёрланиши ва қисм чегараларида майдон кучланганлиги ўзгармас бўлиши керак:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{\Phi}{S\mu_0}, \quad (6-8)$$

бу ерда S ва μ_0 — тегишлича магнит занжири қисмининг кўндаланг кесим юзи ва абсолют магнит сингдирувчанлиги.

Тармоқланмаган магнит занжирида магнит оқими бутун занжир бўйлаб бир хиллигини ҳисобга олиб, уни S ва μ_0 ўзгармас бўлган қисмларга бўламыз. Бундай қисмлар тўртта экан (6-19-расм).

I қисм кўндаланг кесимининг юзи:

$$S_1 = 25 \cdot 25 = 625 \text{ мм}^2 = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

магнит индукцияси

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{7,5 \cdot 10^{-4}}{6,25 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Т}$$

ва магнитланиш эгри чизиғи бўйича майдон кучланганлиги $H_1 = 1300 \text{ А/м}$ (6-18-расм, B нуқта)

II қисм:

$$S_2 = 3,2 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ см}^2 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-4}}{7,5 \cdot 10^{-4}} = 1 \text{ Т}$$

ва $H = 920 \text{ А/м}$ (6-18-расмдаги A нуқта)

III ва IV қисмлар—ҳаво оралиқлари (азорлар). Уларнинг узунлиги кўндаланг ўлчамларига нисбатан кичкина бўлгани учун кўндаланг кесимларининг юзи I қисмникидек бўлади, яъни $S_3 = S_4 = S_1 = 6,25 \text{ см}^2$. Мос ҳолда магнит индукцияси ҳам $B_3 = B_4 = B_1 = 1,2 \text{ Т}$.

Ҳавонинг магнит сингдирувчанлиги амалда магнит доимийси

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м.}$$

га тенг, шунинг учун майдон кучланганлиги

$$H_3 = H_4 = \frac{B_3}{\mu_0} = \frac{1,2}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 9,6 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

3. Ғалтакдаги токни ҳисоблаш. Ўрта магнит чизигига (6-19-расмдаги $ABGA$ контур) тўла ток қонунини қўллаб, ғалтакнинг магнитловчи кучи (IW) ни кўрсатилган контур бўйлаб, магнит кучланишлари (Hl) йиғиндиси сифатида аниқлаш мумкин. Ҳақиқатан ҳам

$$IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4. \quad (6-9)$$

Магнит утказгичнинг (6-17-расм) ўлчамларидан $l_1 = 29$ см, $l_2 = 10,5$ см ни аниқлаймиз. Бундан ташқари, масаланинг шартига кўра $l_3 = l_4 = 0,025$ см.

H ва l нинг топилган қийматларини (6-9) тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$IW = 1300 \cdot 0,29 + 920 \cdot 0,105 + 2(9,6 \cdot 10^5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}) = 953 \text{ А},$$

бундан

$$I = \frac{953}{W} = \frac{953}{187} = 5,1 \text{ А}.$$

4. Магнит қаршиликларни ҳисоблаш. Магнит занжирининг қисми учун электр занжирининг бир қисми учун Ом қонунига ўхшаш тенглама тузиш, яъни магнит кучланишни қуйидаги кўпайтма кўринишида ёзиш мумкин:

$$U_m = \Phi R_m. \quad (6-10)$$

бундан магнит қаршилиқ

$$R_m = \frac{U_m}{\Phi} = \frac{Hl}{BS} = \frac{l}{\mu_a S}. \quad (6-11)$$

I ва II қисмлар учун (6-19-расм) абсолют магнит синдирувчанликларни ҳисоблаб:

$$\mu_{a1} = \frac{H_1}{H_1} = \frac{1,2(\Gamma)}{1300(\text{А/м})} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ Г/м};$$

$$\mu_{a2} = \frac{1}{920} = 10,9 \cdot 10^{-4} \text{ Г/м},$$

шу қисмларнинг магнит қаршиликларини топамиз:

$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_{a1} S_1} = \frac{0,29}{9,25 \cdot 10^{-4} \cdot 6,25 \cdot 10^{-4}} = 5,02 \cdot 10^{-6} \text{ Г};$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_{a2} S_2} = \frac{0,105}{10,9 \cdot 10^{-4} \cdot 7,5 \cdot 10^{-4}} = 1,29 \cdot 10^{-6} \text{ Г}.$$

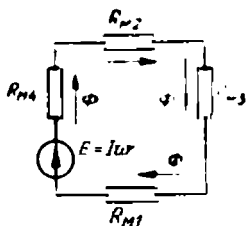
Ҳаво ораллиғининг магнит қаршилиғи:

$$R_{\text{вз}} = R_{\text{м4}} = \frac{l_3}{\mu_0 S_3} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,25 \cdot 10^{-4}} = 3,19 \cdot 10^5 \text{ Г.}$$

Пўлат қисмларнинг (I ва II) ва ҳаво қисмларнинг (III ва IV) магнит қаршилиқлари узунликлари жиҳатидан тахминан 800 марта фарқ қилса ҳам, қийматлари жиҳатидан яқин. Кўрилаётган масала учун қуйма пўлатнинг магнит сингдирувчанлиғи ҳавоникига қараганда тахминан шунча марта катталиғи ҳисобга олинса, буни тушуниш осон. Ҳақиқатан ҳам,

$$\mu_1 = \frac{\mu_{01}}{\mu_0} = \frac{9,25 \cdot 10^{-4}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 740; \quad \mu_2 = \frac{\mu_{02}}{\mu_0} = \frac{10,9 \cdot 10^{-4}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 870.$$

Кўрилаётган магнит занжирининг ҳамма қисмларининг магнит қаршилиқлари маълум бўлса, унинг учун эквивалент электр схема тузиш мумкин (6-20- расм). Бу занжир қийматлари магнит оқимига боғлиқ бўлган, характеристикаси эгри чизикли иккита $R_{\text{м1}}$ ва $R_{\text{вз}}$ қаршилиқдан тузилганлиғига эътибор бериш керак.



6-20- расм. Магнит занжирининг эквивалент электр схемаси.

Масалага қўшимча саволлар

1. Нима учун пўлатдаги кучланганликни ҳисоблаш учун абсолют магнит сингдирувчанликдан фойдаланилмайди ва магнитланиш эгри чизигига мурожаат қилинади? Пўлатнинг магнит сингдирувчанлиғи бошқа ферромагнит материалларники каби ўзгарувчан ва индукцияга ёки магнит майдони кучланганлиғига боғлиқдир. Шунинг учун индукциянинг ҳар бир қиймати учун майдон кучланганлиғини магнитланиш эгри чизигидан топишга тўғри келади. Магнитланиш эгри чизиклари, кўпинча, жадвал кўринишида берилади (китоб охиридаги 4-иловага қаранг).

Ҳаво ораллиғи ва умуман ноферромагнит материаллар учун магнит сингдирувчанлик ўзгармасдир.

2. Агар магнит ўтказгичда ҳаво оралиғи бўлмаса, магнит оқими илгаригисича қолиши учун ғалтакни қандай ток билан таъминлаш талаб қилинади? (6-9) тенгламани икки қисмдан иборат деб қараш мумкин:

$$I'W = H_1 I_1 + H_2 I_2 = 473 \text{ A}$$

пўлатдаги I ва II қисмлар учун (6-19-расм) ва $I''W = H_3 I_3 + H_4 I_4 = 480 \text{ A}$ ҳаво оралиқлари учун.

Шунинг учун ҳаво оралиғи бўлмаса, ғалтакни $I = 5,1 \text{ A}$ ўрнига $I' = 473/187 = 2,5 \text{ A}$ ток билан таъминлаб, ўша магнит оқимини олиш мумкин.

Демак, магнит қисмида ҳаво оралиғининг бўлмаслиги сабабли магнит юритувчи кучдан анча ютилади. Лекин, кўпинча, ҳаво оралиқлари булиши муқаррар ёки бўлиши зарурдир. (Магнит занжирида айланувчи ва ҳаракатланувчи қисмларнинг бўлиши, тўйинмаган ўзақда ишлаш ва шу кабилар.)

3. Қуйма пўлатни электротехникавий пўлат билан алмаштириш қандай (м. ю. к. бўйича) ютуқ беради? Магнитланиш характеристикаси бўйича (4-иловага қаранг) электротехникавий пўлат, масалан, 1511 (Э-41) учун қуйидагиларни топамиз: $B_1 = 1,2 \text{ Т}$ бўлганда $H_1 = 540 \text{ A/м}$; $B_2 = 1,0 \text{ Т}$ бўлганда $H_2 = 300 \text{ A/м}$.

Бу ҳол учун $H_1 I_1 + H_2 I_2 = 540 \cdot 0,29 + 300 \cdot 0,105 = 188,5 \text{ A}$ ни ҳисоблаб ҳаво оралиғи бўлмаса, ғалтакнинг токи $I = 188,5/187 = 1 \text{ A}$ бўлишини топамиз, яъни қуйма пўлатдан тайёрланган (ҳаво оралиқсиз) магнит ўтказгич талаб қиладиганига қараганда 2,5 марта камдир.

Токнинг камайиши ингичкароқ сим ишлатишга имкон беради ва бу билан ғалтакнинг ўлчамларини кичиклаштириш мумкин.

Агар магнит занжирида ҳаво оралиқлари сақланиб қолса, электротехникавий пўлатни ишлатишдан олинадиган ютуқ сезиларли даражада қисқаради, чунки ҳаво оралиқлари учун магнит кучланишлари шу оқимда илгаригисича қолаверади.

4. Нима учун магнит занжирини ҳисоблаш берилган оқим ва магнит индукцияси орқали олиб борилади? Бир томондан, ҳар бир ферромагнит материал учун магнит индукциясининг юқори чегараси бор, бу қийматдан ошириб юбориш материалнинг тўйинишига олиб келади ва токни анча оширишга сабаб бўлади. Бошқа томондан, магнит индукциясининг кичик қийматларида лозим бўлган оқимни олиш учун магнит ўтказгичнинг ўлчамларини

катталаштиришга, яъни конструкциясининг оғирлашишига ва мураккаблашувига олиб келади. Шунинг учун магнит занжирлари мавжуд қурилмаларни ҳисоблашда материалнинг магнитланиш эгри чизигига ва қурилмага бўлган талабга қараб, олдиндан B ва Φ танланади.

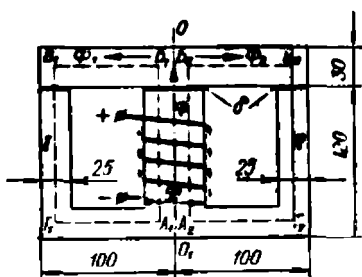
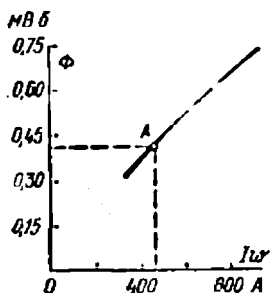
5. Агар ғалтакдаги ток 2 марта камайса, магнит ўтказгичда (6-18-расм) оқим қандай бўлади? Қўйилган масала кўриб чиқилган масаланинг теска-риси, яъни берилган м. ю. к. $I\omega$ бўйича магнит оқимини аниқлаш талаб қилинади. Бу масалани оддий аналитик ҳисоблаш йўли билан ечиб бўлмайди.

Масалани ечиш учун магнит оқимининг бир нечта қий-матларини олиб ва уларнинг ҳар бири учун м. ю. к. қийма-тини маълум йўл билан ҳисоблаб, магнит оқимининг м. ю. к. га боғланиш графигини ясаймиз. Ҳисоблаш натижалари 6-2-жадвалга киритилган; шу берилганлар бўйича магнит характеристикаси дейиладиган $\Phi(I\omega)$ боғланиш графиги ясал-ган (6-21-расм).

Ғалтакдаги токнинг янги қийматида: $I\omega = 953/2 = 476,5$ А ни оламиз, магнит характеристикаси бўйича (6-21-расмдаги A нуқта) магнит оқимини топамиз: $0,41$ мВб $= 4,1 \cdot 10^{-4}$ Вб.

6-2-жадвал

$\Phi, 10^{-4}$ Вб	6,25	5,0	3,75
$I\omega, A$	740	575	425



6-21-расм. 6-1-§ да кўрил-ган пўлатли занжирнинг маг-нит характеристикаси.

6-22-расм. Тармоқланган сим-метрик магнит занжири.

Масаланинг шарти

Пермендюр қотишмасидан тайёрланган магнит ўтказгичнинг ўрта стерженида (6-22-расм) магнит оқими $\Phi = 5 \cdot 10^{-3}$ Вб. Агар магнит ўтказгичнинг қаллиғлиги 50 мм ва ҳар бир ҳаво оралигининг узунлиги $\delta = 0,25$ мм $= 2,5 \cdot 10^{-4}$ м бўлса, галтакнинг м. ю. кучи ҳисоблансин.

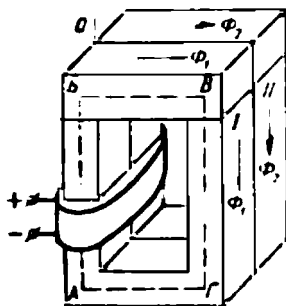
Масаланинг ечилиши

1. Тармоқланмаган эквивалент магнит занжири. Магнит ўтказгичнинг (6-22-расм) ўрта стерженида магнит оқими Φ магнит занжирининг ўрта чизиқлари $A_1B_1B_1\Gamma_1A_1$ ва $A_2B_2B_2\Gamma_2A_2$ бўлган иккита қисм орқали туташадиган Φ_1 ва Φ_2 магнит оқимларининг йиғиндисига тенг. Магнит занжирининг симметриклигини, яъни Φ_1 ва Φ_2 оқимлар туташадиган қисмларнинг магнит қаршиликлари бир хиллигини назарда тутиб, $\Phi_1 = \Phi_2 = \frac{\Phi}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Вб га эга бўламиз.

Магнит ўтказгични OO_1 симметрия ўқи бўйлаб кесиб (6-22-расм), олдинги масалада кўрилганга ўхшаш (6-17-расм) иккита бир хил тармоқланмаган магнит занжирини оламиз. Улардан бирини OO_1 ўқ атрофида 180° га буриб, галтакнинг м. ю. кучи $AB\Gamma A$ контур бўйича магнит кучлари йиғиндисига тенг бўлган, эквивалент тармоқланган магнит занжирини оламиз (6-23-расм).

Берилган симметрик тармоқланган занжирда $A_1B_1B_1\Gamma_1A_1$ ёки $A_2B_2B_2\Gamma_2A_2$ (6-23-расм) контурларнинг ўрта магнит чизиқлари бўйлаб олинган магнит кучланишларининг йиғиндисига $AB\Gamma A$ контур бўйлаб олинган эквивалент занжирнинг (6-23-расм) магнит кучланишлари йиғиндисига тенг, чунки уларнинг мос қисмлари бир хил майдон кучланганлигига ва узунликка эга.

Демак, симметрик тармоқланган магнит занжири учун (6-23-расм) галтакнинг м. ю. кучини контурлардан бирининг



6-23-расм. Тармоқланмаган эквивалент магнит занжири.

масалан, $A_1B_1B_1\Gamma_1A_1$ контурнинг магнит кучланишлари йиғиндисини сифатида ҳисоблаш мумкин.

2. Ғалтакнинг м. ю. кучини ҳисоблаш. Магнит ўтказгичнинг ярмини (6-23-расм) олдинги масалада кўрилган магнит занжири (6-17-расм) билан солиштириб, ўлчамларининг бир хиллигини (магнит ўтказгичнинг қалинлигидан ташқари) кўриш мумкин. Шунинг учун $A_1B_1B_1\Gamma_1A_1$ (6-22-расм) ни ҳам (6-19-расм) қисмларга бўлиш ва олдинги масалага ўхшаш ҳисоблаш мумкин:

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 2 \text{ Т};$$

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{-4}} = 1,67 \text{ Т};$$

$$B_3 = B_4 = B_1 = 2 \text{ Т}.$$

Пермендюр магнитланиш характеристикасидан магнит индукцияси учун олинган қийматларга (4-иловага қаранг) қуйидаги майдон кучланганликлари тўғри келади:

$$H_1 = 620 \text{ А/см ва } H_2 = 240 \text{ А/см}.$$

Ҳаво ораликлари учун майдон кучланганлиги:

$$H_3 = H_4 = \frac{B_3}{4\pi \cdot 10^{-7}} = \frac{H_1}{4\pi \cdot 10^{-7}} = \frac{2}{4\pi \cdot 10^{-7}} \approx 1,6 \cdot 10^8 \text{ А/м}.$$

Қисмларнинг узунлиги $l_1 = 29 \text{ см}$ ва $l_2 = 10,5 \text{ см}$ бўлганда (олдинги масалада топилган) м. ю. к.

$$I\omega = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4 = 620 \cdot 0,29 + 240 \cdot 0,105 + (1,6 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 2 = 1000 \text{ А}.$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Магнит занжиридан (6-22-расм) унинг ярмининг олиб ташланиши магнит оқими ва магнит индукциясига қандай таъсир қилади? Магнит ўтказгични OO_1 ўқ бўйлаб иккита тенг бўлакка бўламиз ва улардан бирини (масалан, I ни) олиб ташлаймиз.

Бунда ҳам қолган ярми учун олдингидек қуйидаги

$$I\omega = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4$$

тенгламани ёзиш мумкинлигидан ва м. ю. к. $I\omega$ ўзгармаганлиги учун ҳамма қисмларда майдон кучланганлиги аввалгидек қолади:

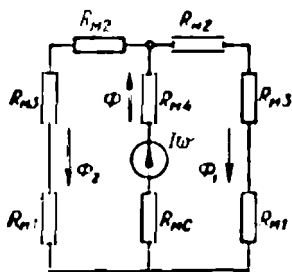
$$H_1 = 620 \text{ А/м}; H_2 = 240 \text{ А/м};$$

$$H_3 = H_4 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

Демак, қисмлардаги магнит индукциялари ўзгармайди ва магнит оқими $\Phi_2 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Вб бўлади.

Лекин тармоқланмаган янги магнит занжирини тармоқланган занжир билан тенг ҳуқуқли деб бўлмайди, чунки ғалтак жойлашган стерженда магнит оқими энди Φ га эмас, балки Φ_3 га тенг, яъни 2 марта кичик.

2. 6-22- расм бўйича магнит занжири учун эквивалент электр схемани қандай тузиш



6-24- расм. Тармоқланмаган магнит занжирининг эквивалент электр схемаси.

керак? Магнит ўтказгичнинг ўрта стержени (6-22- расм) пўлат қисмида R_{m1} магнит қаршиликка ва ҳаво оралиғида R_{m2} қаршиликка эга. Шу стерженнинг ўзида тоқли ғалтак жойлашган, қайсининг м. ю. кучи $I\omega$ эквивалент маъбанинг э. ю. кучини аниқлайди. Эквивалент схеманинг бошқа шохобчалари (6-24- расм) тармоқланмаган магнит занжирининг эквивалент схемасига (6-20- расм) ўхшаш тузилган.

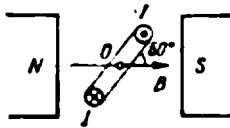
3. Ғалтакни магнит ўтказгичнинг бошқа стерженига жойлаштириш мумкинми? Магнит оқими билан эквивалент схемадаги (6-22- расм) электр тоқини бир-бирига қийслаб ғалтакни бошқа стерженга, яъни э. ю. к. маъбани бошқа шохобчага ўтказиш магнит оқимларининг қайта тақсимланишига ва магнит занжири режимининг бутунлай ўзгаришига олиб келишини ва натижада магнит занжири асимметрик бўлишини кўришимиз мумкин.

6-6. Мустақил ечиш учун масалалар

76. Магнит индукцияси 0,1 Т бўлган бир жинсли магнит майдонида узунлиги 50 мм, тоқи 20 А ли ўтказгичга 0,05 Н куч таъсир қилади. Ўтказгич билан магнит чизиқлари орасидаги бурчак, шунингдек, ўтказгич ўзига параллел равишда 100 мм масофага суралганда майдон кучлари бажарадиган иш ҳисоблансин.

77. Индукцияси 1,5 Т га тенг бўлган бир жинсли магнит майдонида узунлиги 0,6 м, тоқи 10 А ли ўтказгичнинг ҳар хил вазиятларида шу ўтказгичга таъсир этадиган электромагнит кучнинг мумкин бўлган энг катта ва энг кичик қийматлари аниқлансин.

78. Тўғри бурчакли рамка 0 ўқ атрафида айланиши мумкин (6-25- расм). $I = 5$ А ток улангунга қадар у магнит чизиқларига нисбатан



6-25- расм. 78- масалага.



6-26- расм. 80- масалага.

(6-25- расмда рамка кесиб кўрсатилган) $\alpha = 60^\circ$ бурчак остида жойлашган. Агар рамканинг магнит чизикларига перпендикуляр булган икки симнинг узунлиги 60 мм, қолган иккитасининг узунлиги 50 мм ва қутблар орасидаги магнит индукцияси 0,25 Т бўлса, рамканинг ток ўлангандан кейинги вазияти аниқлансин ва унинг силжиши бўйича электромагнит кучлар ҳисоблансин. Рамканинг охириги вазияти учун унинг томонларига таъсир этувчи кучларнинг векторлари ясалсин.

79. Агар рамка 50 ўрам симдан тайёрланса ва ундан 0,1 А ток ўтказилса, олдинги кўрилган масалада рамканинг томонларига таъсир этувчи кучлар ўзгарадими?

80. 6-26- расмдаги рамканинг магнит чизигига перпендикуляр бўлган томонлари I_1 ва I_2 токли икки жуфт симдан тузилган, тоқларининг йўналиши расмда кўрсатилган. Агар унинг четки симлари (I_1 токли) O ўқдан a_1 , ички симлари (I_2 токли) эса a_2 масофада турган бўлса, рамканинг мувозанат шартлари топилсин.

81. Тўғри чизикли токли узун симнинг ўқидан $a = 8$ см масофада майдон кучланганлиги $H = 8,5$ А/см. Симнинг токи аниқлансин ва агар симнинг диаметри 2 см бўлса, сим нчида ва унинг тапқарисиди (унинг ўқидан 10 см гача масофада) майдон кучланганлиги ва магнит индукциясининг ўзгариш графиги ясалсин.

82. Олдинги масала учун тўғри тўртбурчакликнинг S сиртини кесиб ўтадиган магнит оқими ҳисоблансин, сиртининг жойлашиши ва ўлчамлари сантиметр ҳисобида 6-27- расмда кўрсатилган.

83. I токли доиравий сим ўрали тўғри чизикли AA кесма тарзида ёйилган (6-28- расм, пунктир). I ток ўзгармасдан қолганда O нуқтада майдон кучланганлигининг неча марта ўзгариши аниқлансин.

84. Агар M нуқтадан сим ўқига туширилган перпендикуляр уни узунлиги 25 ва 75 см бўлган икки бўлакка бўлса, узунлиги 1 м, токи 50 А булган тўғри чизикли сим ўқидан 25 см масофада турган M нуқтада майдон кучланганлиги аниқлансин.

85. Агар сим ўртасидан ўзaro иккита тенг перпендикуляр бўлақлар (6-29- расмда, ўлчамлар сантиметр ҳисобида кўрсатилган) ҳосил қилиб букилса, M нуқтада (олдинги масала) майдон кучланганлиги қандай ўзгаради?

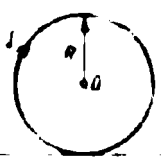
86. Ҳар бирининг токи $I = 200$ А бўлган иккита Г-симон симнинг ab ва a_1b_1 қисмлари M нуқтада (6-30- расм) ҳосил қиладиган кучланганлик аниқлансин. Симларни чексиз узун, M нуқтани эса b ва b_1 нуқталардан тенг узоқликда жойлашган деб ҳисоблансин.

87. Иккита сим бир-биридан 15 см масофада жойлашган, агар симнинг ҳар бир метрига 10 Н/м куч таъсир қилса, линиядаги ток нимага тенг?

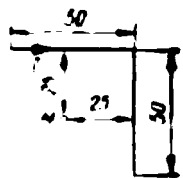
88. Олдинги масаладаги линия учун симларнинг ўқиди жойлашган нуқталардаги магнит индукциялари ва уларнинг векторларининг йўналишлари аниқлансин.



6-27- расм.
28- масалага.



6-28- масалага.
83- масалага.

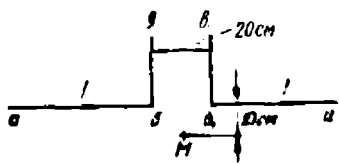


6-29- расм.
85- масалага.

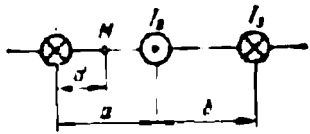
89. Агар $I_1 = I_3 = 1000 \text{ A}$; $I_2 = 500 \text{ A}$; $a = 10 \text{ см}$, $b = 15 \text{ см}$ ва $d = 5 \text{ см}$ бўлса, ҳар бир линия симининг 1 м ита таъсир қиладиган куч ва M нуқтадаги магнит индукцияси аниқлансин (6-31- расм).

90. Тоқлари 150 ва 200 А бўлган иккита тўғри чизиқли ўзаро перпендикуляр симдан (бир текисликда жойлашган) бир хил масофада (5 см) узоқлашган нуқтадаги магнит индукцияси аниқлансин. Симларнинг узунлиги чексиз деб олинсин. Тоқлар йўналишининг икки варианты кўриб чиқилсин.

91. 1, 2 ва 3, 4 симлар (6-32- расм) тоқлари мос ҳолда 900 ва 450 А бўлган иккита икки симлик линия ҳосил қилади. M нуқтадаги магнит индукция ҳисоблансин

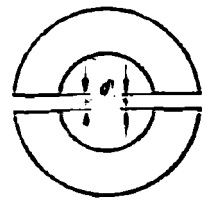
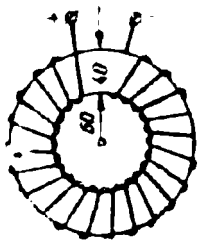
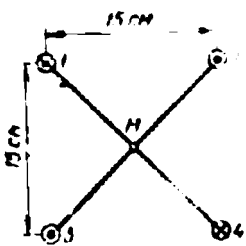


6-30- расм. 86- масалага.

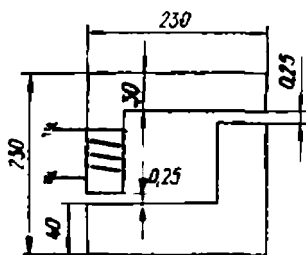


6-31- расм. 89- масалага.

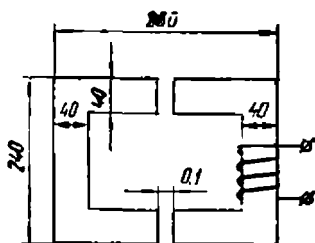
92. Олдинги масаладаги 3 симнинг 1 м ита таъсир этадиган куч ҳисоблансин.



6-32-расм. 91-масалага. 6-33-расм. 93-масалага, 6-34-расм. 94-масалага.



6-35- расм. 95- масалага.



6-36- расм. 97- масалага.

93. Ўлчамлари 6-33-расмда миллиметр ҳисобида кўрсатилган қуйма пўлатдан ясалган тороидал ҳалқада 925 ўрам симдан иборат чулғам жойлаштирилган. Ҳалқада магнит оқими $1,25 \cdot 10^{-3}$ Вб га тенг бўлганда, чулғам токи ва пўлатнинг магнит сингдирувчанлиги ҳисоблансин.

94. Олдинги масаладаги пўлат ҳалқа икки қисмдан (6-34-расм) $\delta = 0,2$ мм зазорлар билан тайёрланган. Магнит ўтказгичда магнит оқимининг аввалги қиймати сақланадиган чулғам токи ҳисоблансин.

95. Чулғам жойлашган магнитда (6-35-расм) 1 Т магнит индукцияси ҳосил қиладиган ғалтакнинг м. ю. кучи ҳисоблансин. 1311 (Э21) пўлатидан тайёрланган магнит ўтказгичнинг ўлчамлари миллиметр ҳисобида расмда кўрсатилган. Масаланинг берилганлари ўзгармай, фақат магнит ўтказгич эни 70 мм лигиб ясалса м. ю. к. қандай ўзгаради?

96. Олдинги масала учун магнит ўтказгич асосий қисмининг қалинлиги 30 мм бўлганда магнит каршилиги ҳисоблансин.

97. Ҳаво оралиғида 0,825 Т магнит индукцияси ҳосил қилиш учун, 1212 (Э21) пўлатидан йиғилган, магнит ўтказгичда жойлаштирилган токли ғалтак қандай м. ю. к. га эга бўлиши керак? Магнит ўтказгич бир хил қалинликка эга. Ҳамма ўлчамлари миллиметр ҳисобида.

6-7. Ө- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

76. 30° ; $5 \cdot 10^{-3}$ Ж.

77. 9 Н; 0.

78. α бурчаги 90° гача катталашади; $5 \cdot 10^{-4}$ Ж.

79. Ўзгармайди.

80. $I_1 : I_2 = a_2 : a_1$

81. 427 А.

R, см	0	1	2	5	10
H, А/м	0	6800	3400	1360	680
B · 10 ⁻⁴ Т	0	85,5	42,8	17,1	8,5

82. $9 \cdot 10^{-4}$ Вб.
 83. 1 март.
 84. 26,4 А/м.
 85. 45 А/м гача каттадашади.
 86. 93 А/м.
 87. 2740 А.
 88. $36,5 \cdot 10^{-4}$ Т.
 89. 0,2 Н/м; 0,33 Н/м; 0,133 Н/м; $50 \cdot 10^{-4}$ Т.
 90. $1,6 \cdot 10^{-3}$ Т; $4 \cdot 10^{-4}$ Т.
 91. $1,2 \cdot 10^{-3}$ Т.
 92. 0,382 Н/м.
 93. 0,5 А; 870.
 94. 0,74 А.
 95. 658 А; 123 А га кўпаяди.
 96. $2,1 \cdot 10^5$ 1/Г.
 97. 393 А.

ЕТТИНЧИ БОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ

7-1. СИМДА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯНИНГ ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧИ

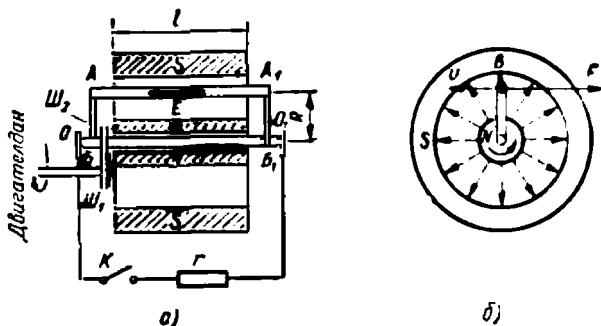
Масаланинг шарти

7-1- расмда иккита коаксиал цилиндрдан ташкил топган доимий магнит кўрсатилган (бундай магнитни тайёрлашнинг мумкин бўлган вариантларидан бири шу масаланинг 5- қўшимча саволида кўрилган). Магнит қутблари орасида AB ва A_1B_1 стерженлар ёрдамида OO_1 ўқ билан маҳкам боғланган AA_1 сим жойлашган. Сим OO_1 ўқ билан $Ш_1$ ва $Ш_2$ шестернялар орқали боғланган двигатель ёрдамида $n = 3000$ айл/мин частота билан айланади.

Агар сим ва стерженларнинг қаршилиги $r_c = 0,01$ Ом, қаршилиқ $r = 0,09$ Ом; сим жойлашган жойда магнит индукция $B = 0,25$ Т, $l = 40$ см $= 0,4$ м ва $R = 25$ см $= 0,25$ м бўлса, AA_1 симда индукцияланадиган э. ю. к., r қаршилиқдаги ток (K калит ёпиқ бўлганда) ва двигательнинг фойдали қуввати ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Симдаги э. ю. кучни ҳисоблаш. Икки коаксиал цилиндрдан иборат бўлган доимий магнит (7-1- расм, б) радиал магнит майдони ҳосил қилади, яъни цилиндрлар орасидаги фазода унинг магнит чизиқлари радиус бўйича йўналган.



7-1- расм. Ташқи дүнгатель кучлари ёрдамида симнинг магнит майдонида ҳаракатланиши.

Бу ҳолда магнит индукциясининг вектори B билан тезлик вектори (7-1- расм, б) AA_1 симнинг исталган вазиятида тўғри бурчак ҳосил қилади

$$(\angle \vec{B}, \vec{v} = \alpha = 90^\circ)$$

ва симда индукцияланувчи э. ю. к.

$$E = Bvl \sin \angle B, \vec{v} = Bvl \sin \alpha = Bv l,$$

бу ерда l — магнит майдонида турган сим бўлагининг узунлиги, v — симнинг чизиқли тезлиги.

Симнинг бир минутда айланишлари сони маълум бўлса, бурчак тезликини

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314 \text{ рад/с},$$

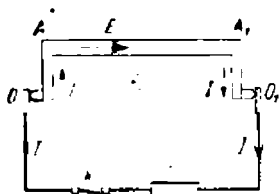
сўнгра чизиқли тезликини ҳисоблаш мумкин

$$v = \omega R = 314 \cdot 0,25 = 78,5 \text{ м/с},$$

Шундай қилиб,

$$E = Bvl = 0,25 \cdot 78,5 \cdot 0,4 = 7,85 \text{ В}.$$

Симда индукцияланувчи э. ю. к. нинг йўналиши (7-1- расм) ўнг қўл қондаси билан аниқланади, агар ўнг қўлимизнинг кафтини магнит чизиқлари кирадиган, очилган катта бармоқ сим ҳаракатининг йўналишини кўрсатадиган қилиб тутсак, ёзилган бармоқлар э. ю. к. нинг йўналишини кўрсатади.



7-2- расм. Генератор ва истеъмолчининг электр занжириги.

2. Истеъмолчининг токини ҳисоблаш. Ҳўқнинг BB_1 (7-1- расм, а) қисми изоляцион материалдан ишланган, шунинг учун K калит ёпилганда ток занжирдан стрелка билан (7-2- расм) кўрсатилган йўналишда ўтади.

Маълумки, ток

$$I = \frac{E}{r_c + r} = \frac{7,85}{0,01 + 0,09} = 78,5 \text{ A}$$

Демак, магнит майдонида ҳаракатлана теган сим электр энергия манбаи (генератор) режимида ишлайдиган электр машина сифатида ишлаши мумкин.

3. Двигателнинг фойдали қувватини ҳисоблаш. Двигателнинг қувватини аниқлаш учун унинг айланишига қандай кучлар қарши таъсир этишини билиб олиш керак.

Улардин асосийси — AA_1 симдаги I токнинг (K калит ёник) цилиндрлар орасидаги магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган электромагнит куч F дир:

$$F = IBl = 78,5 \cdot 0,25 \cdot 0,4 = 7,85 \text{ Н.}$$

Кучнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади.

Электромагнит кучни енгилш учун двигатель қуйидаги механикавий қувватга эга бўлиши керак:

$$P_m = EV = 7,85 \cdot 78,5 = 616,2 \text{ Вт,}$$

бу қувват фойдали қувватдир, чунки у бутунлай генераторнинг электр қувватига айланади:

$$P_e = E \cdot I = 7,85 \cdot 78,5 = 616,2 \text{ Вт.}$$

Двигателнинг фойдали қувватини аниқловчи электромагнит кучдан ташқари исроф қувватини аниқлайдиган ишқаланиш кучи ҳам бор. Шунинг учун двигательнинг қуввати унинг фойдали қувватидан бир неча бор катта бўлиши керак.

Шундай қилиб, двигательнинг электромагнит кучларини енгилшга сарфланадиган механикавий энергия бутунлай генераторнинг электр энергиясига айланади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Қўрилаётган масаладаги симни ўқи OO_1 ўқ билан мос тушадиган айланадиган ичи ко-вак цилиндр билан алмаштириш мумкинми? Ҳосил бўладиган э. ю. к. симнинг энига боғлиқ бўлмагани учун симни ихтиёрий танлаш ва уни ҳаттоки цилиндр шаклида тайёрлаш ҳам мумкин.

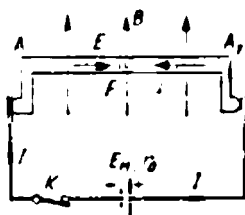
Агар бошқа (BnR ва l) катталикларнинг қиймати аввалгича қолса, цилиндрнинг четлари орасида AA_1 симдагидек айнан шундай индукцияланувчи э. ю. к. олинади (7-1- расм). Иккала ҳолда ҳам индукцияланувчи э. ю. к. симнинг ёки цилиндрнинг исталган вазиятида бир хил йўналишга эга бўлади. Бундан униполяр (қутблари доимий бўлган) электр машинаси яратишда фойдаланиш мумкин.

2. AA_1 симни цилиндр билан алмаштириш генераторнинг қандай параметрларига таъсир этади? (Олдинги саволга қаранг.) Бундай алмаштириш генераторнинг ички қаршилиги (r_1) нинг камайишига олиб келади ва унинг номинал токи ҳамда қувватини оширишга имкон беради.

3. r қаршилиқ двигателнинг механикавий қувватига қандай таъсир қилади? Двигателнинг айланиш частотаси ўзгармаганда симда индукцияланган э. ю. к. ўзгармас бўлади. r қаршилиқ (7-2- расм) занжирдаги токни, унга боғлиқ бўлган электромагнит куч $F = lB$ ни ва механикавий қувват $P_m = Fv$ ни аниқлайди. r қаршилиқ катталашса, I ток камаяди ва двигателдан кам қувват талаб қилинади: $r = \infty$ бўлганда (K калит очик) $P_m = 0$ (салт ишлаш).

Шундай қилиб, генераторни айлаштирадиган двигателнинг механикавий энергияси генераторда э. ю. к. ҳосил бўлишига эмас, балки унинг занжирида ток пайдо бўлишига боғлиқ.

4. Агар қаршилиги r бўлган истеъмолчи ўрнига э. ю. к. кучи E_m ва ички қаршилиги r_0 бўлган энергия манбаи уланиб, ташқи двигател узиб қўйилса, (7-3- расм) электр машина қандай режимга ўтади? Занжирда ҳосил бўладиган I ток AA_1 симдан ўтиб, магнит майдон билан ўзаро таъсирлашади ва чап қўл қон-



7-3- расм. Симдаги токнинг магнит майдони билан ўзаро таъсири.

даси бўйича йўналган электромагнит F кучни ҳосил қилади. Бу куч таъсирида AA_1 сим айлана бошлайди ва электр машинаси функциясини бажариши мумкин, бунда унинг айланиш йўналиши аввалгидек қолади.

Агар симнинг айланиш частотаси уни ташқи двигателдан (7-1-расм) айлантиргандагидек қолса (7-3 ва 7-2-расмлар), симда манбанинг э. ю. кучига қарама-қарши йўналган олдинги индукция э. ю. кучини оламиз ($E = 7,85$ В). Шунинг учун яанжирдаги ток

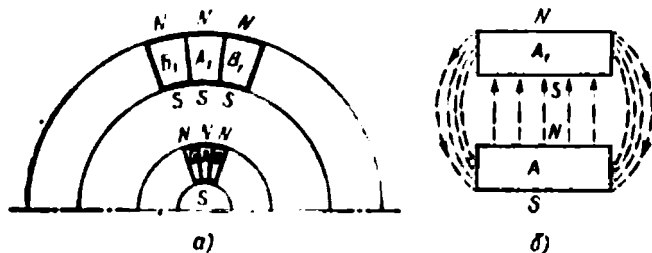
$$I = \frac{E_m - E}{r_0 + r_c}.$$

Олинган двигатель механикавий иш бажариши мумкин. Агар двигатель режимидаги механикавий қувват генератор режимидаги электр қувватига тенг бўлиши шарт бўлса, AA_1 симда токнинг олдинги қиймати $I = 78,5$ А ни таъминлаши керак. Манбанинг берилган ички қаршилигида, масалан, $r_0 = 0,01$ Ом да (7-3-расм) манбанинг талаб қилинадиган э. ю. кучини ҳисоблаш мумкин:

$$E_m = I(r_0 + r_c) + E = 78,5(0,01 + 0,01) + 7,85 = 9,42 \text{ В}.$$

Демак, энергия истеъмолчисини манба билан алмаштириб, электр машинасини генератор режимдан двигатель режимига ўтказиш мумкин. Маълумки, тескараси ҳам бўлиши мумкин — двигатель режимдан генератор режимга ўтказиш мумкин. Электр машинасининг бу хусусиятига уларнинг қайтувчанлик қобилияти дейилади.

Б. Шу масалада кўрилган донмий магнитни қандай тайёрлаш мумкин? 7-1-расмда кўрсатилган цилиндрларнинг ҳар бирини, масалан, алоҳида ясси магнитланган пластинкалардан тайёрлаш мумкин. 7-4-расмда ташқи ва ички цилиндрлар учун учтадан пластинка (B_1, A_1, B_1



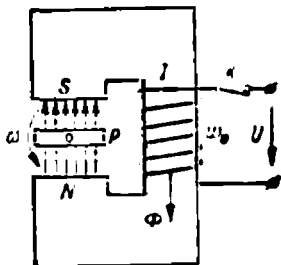
7-4-расм. 7-1-§. 5-қўшимча саволга.

ва B_1, A_1, B_1) тасвирланган. Магнит чизиқларининг йўли 7-4-расм, б да кўрсатилган, унда A_1 ва A пластинкаларнинг ён томондан кўриниши берилган.

7-2. КОНТУРДАГИ (ҒАЛТАКДАГИ) ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯНИНГ ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧИ

Масаланинг шарти

Узунлиги $l = 25$ см бўлган квадрат рамка P (7-5-расм) магнит индукцияси $B = 0,5$ Т булган бир жинсли магнит майдонида $\omega = 314$ рад/с бурчак тезлик билан айланади. Ҳосил булган э. ю. к. нинг рамка бурилиш бурчагига боғланиши аниқлансин ва агар рамканинг ўрамлари сонини $\omega = 20$ бўлса, шу боғланиш графиги ясалсин.



Масаланинг ечилиши

1. Индукцияланувчи э. ю. к. нинг рамка бурилиш бурчагига боғланиши аниқлансин. Кўрилатган рамка бир хил шароитларда бўлган 20 та квадрат контурдан тузилган. Шунинг учун битта контурда (7-5-расм) ҳосил бўладиган э. ю. к. ни аниқлаш, сўнгра уни ω марта кўпайтириш етарлидир. Тўғри тўрт бурчакли K_1 контурда ҳосил бўладиган э. ю. к. қандай аниқланади?

7-5-расм. Электромагнит қутблари орасидаги бир жинсли магнит майдонда тўғри бурчакли рамка.

Бунини икки усулда бажариш мумкин.

А. Олдинги масаладаги усулдан фойдаланиб, контурнинг тўрт симининг ҳар бирида ҳосил бўладиган э. ю. кучни ҳисоблаймиз.

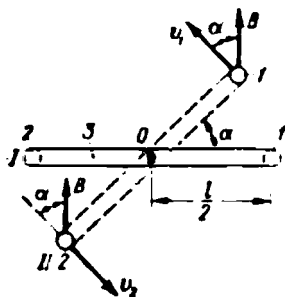
Бунда II контурнинг бирор ихтиёрий вазиятида (7-6-расм) OO_1 айланиш ўқиغا параллел бўлган 1 ва 2 симларида (7-7-расм) қуйидаги э. ю. к. ҳосил бўлар экан.

$$e_1 = e_2 = Bv_1 l \sin(\angle \vec{B}, \vec{v}_1) = Bv_1 l \sin \alpha = Bv_2 l \sin(180^\circ - \alpha),$$

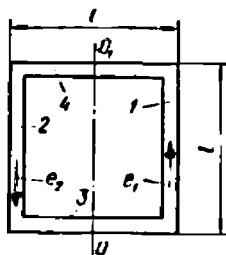
чунки

$$v_1 = v_2 = v = \omega l / 2 \quad \text{ва} \quad \sin \alpha = \sin(180^\circ - \alpha).$$

Контурда ўнг қўл қондасига биноан соат стрелкаси ҳаракати йўналишига тесқари йўналган (7-7-расм) e_1 ва e_2



6-6- расм. Айланувчи рамканинг бошланғич (I) ва оралиқ ҳоллари (II).



7-7- расм. Рамканинг бир ўрамининг контури.

э. ю. к. лар мос уланган бўлиб, контурда йиғинди э. ю. к. ҳосил қилар экан:

$$e_k = e_1 + e_2 = 2Bv \sin \alpha = 2B\omega l/2 l \sin \alpha = Bl^2\omega \sin \alpha.$$

Рамка айланганда 3 ва 4 симлар магнит чизиқларини кесиб ўтмайди, шунинг учун э. ю. к. $e_3 = e_4 = 0$ бўлади.

Контурнинг юзи $S_k = l^2$ га ва $Bl^2 - BS_k = \Phi_m$ эканлигини, яъни контурдан ўтадиган максимал магнит оқимига тенглигини ҳисобга олиб, қуйидагичин ҳосил қиламиз:

$$e_k = \Phi_m \omega \sin \alpha$$

ёки бутун рамка учун

$$e = \omega e_k = \omega \Phi_m \omega \sin \alpha. \quad (7-1)$$

Б. Контурни алоҳида симларга бўлмасдан, контурда индукцияланувчи э. ю. к. ни

$$e_k = - \frac{d\Phi}{dt}$$

формула билан, яъни контурдан ўтадиган магнит оқимининг вақт бўйича олинган, аммо тескари ишорали ҳосиласи сифатида аниқлаймиз.

Индукцияланувчи э. ю. к. ни аниқлаш учун магнит оқимининг вақт орқали боғланишин $\Phi(t)$ ни билиш керак. Буни ушбу ҳолда топиш осон. Ҳақиқатан ҳам, дастлабки I вазиятда (7-6- расм) контурдан максимал магнит оқими Φ_m , ихтиёрий II вазиятда оқим

$$\Phi = \Phi_m \cos \alpha$$

ўтади, бу ерда бурчак

$$\alpha = \omega t$$

(ω бурчак тезликнинг t вақтга кўпайтмаси), унда

$$\phi = \phi_m \cos \omega t,$$

бу ерда

$$\phi_m = BS_A = Bl^2 = 0,05 \cdot 0,0625 = 31,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Мос ҳолда контурдаги э. ю. к.

$$e_m = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\phi_m \cos \omega t}{dt} = -\phi_m \omega (-\sin \omega t) = \phi_m \omega \sin \omega t$$

ёки бутун рамка учун

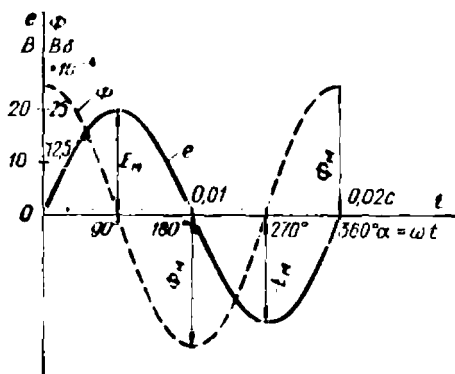
$$e = \omega e_m = -\omega \frac{d\phi}{dt} = \omega \phi_m \omega \sin \omega t = \omega \phi_m \omega \sin \alpha. \quad (7-2)$$

(7-2) тенглама юқорида олинган (7-1) тенгламадан фарқ қилмайди. Бизнинг ҳолда рамкадаги э. ю. к.

$$e = \omega \phi_m \omega \sin \alpha = 20 \cdot 31,25 \cdot 10^{-4} \cdot 314 \sin \alpha = 19,6 \sin \alpha = E_m \sin \alpha, \quad (7-3)$$

бу ерда э. ю. к. нинг максимал қиймати $E_m = 19,6 \text{ В}$, $\sin \alpha = 1$ энг катта қийматига мос келади.

2. $i(\alpha)$ ва $\phi(\alpha)$ боғланишларнинг графикларини ясаш. (7-3) формуладан α нинг бир нечта қийматлари учун (7-1-жадвал) индукцияланувчи э. ю. к. ни ҳисоблаш ва олинганлар асосида (7-8-расм) рамкадаги э. ю. к.



7-8-расм. Рамка ичидан ўтайдиган магнит оқимининг ва рамкада ҳосил бўладиган э.ю.к. нинг вақтга боғлиқ ўзгариши.

нинг синус қондаси бўйича ўзгаришини и, одатайдиган график ясаш мумкин.

7-1- жадвал

α	0	30	60	90	120	150	180
$\sin \alpha$	0	0,5	0,87	1	0,87	0,5	0
e, B	0	9,8	17,0	19,6	17,0	9,8	0

7-1- жадвалда синусоиданинг муебат ярим даврига (α бурчак 0 дан 180° гача ўзгаради) мос келувчи қийматлари келтирилган. Манфий ярим даври ($\alpha = 180^\circ \div 360^\circ$) тегишли нукталар ординаталарининг ишораси билангина фарқ қилади:

$$\phi = \phi_m \cos \alpha = 31,25 \cdot 10^{-4} \cos \alpha$$

тенгламага биноан $\phi(\alpha)$ боғланиш графигини нукталар бўйича ясаш мумкин (7-8- расм, пунктир).

Масалага қўшимча саволлар

1. Қўзғалмас рамкада индукция э. ю. кучини олиш мумкинми? Рамкани (7-5- расм) ҳаракатлантirmай қолдирамиз (кўрсатилган вазиятда) ва электромагнитнинг ω_0 чулғамини ўзгарувчан ток билан таъминлаймиз (ўзгармас ток ўрнига), бу билан N ва S қутблари орасида магнит оқимининг Φ графигига (7-5- расм) мос ҳолда ўзгаришини таъминлаймиз. У ҳолда қўзғалмас рамкада масалада топилган $e(\alpha)$ боғланиш билан аниқланадиган индукция э. ю. к. ҳосил бўлади [(7-3-) тенгламага ва 7-5- расмдаги графикка қаранг].

Индукция э. ю. кучини олишнинг бу йўли трансформаторларда кенг қўлланилади. Бунда ўзгарувчан ток магнит ўтказгичнинг бир чулғамидан ўтиб (кўпинча синусоидал) магнит ўтказгичда вақт бирлигида ўзгарувчи магнит оқимини ҳосил қилади. Ўзгарувчан магнит оқими бошқа чулғамни кесиб ўтади ва унда индукция э. ю. к. ҳосил қилади, иккинчи чулғам истеъмолчиларни таъминловчи манба сифатида хизмат қилиши мумкин.

2. Нима учун контурдаги магнит оқимининг максимал қийматига индукцияланган

э. ю. к. нинг минимал қиймати мос келади? Индукцияланадиган э. ю. к. магнит оқимининг қиймати билан эмас, балки унинг ўзгариш тезлиги билан аниқланади.

Масалан, α нолга яқин бўлганда (7-8- расм), ϕ эгри чизиқ абсцисса ўқиға деярли параллел ўтади [аргумент l нинг ўзгариши билан $\phi(t)$ функция деярли камаймайди], шунинг учун магнит оқимининг ўзгариш тезлиги $\frac{d\phi}{dt}$ кичкина ва мос ҳолда $e = -w \frac{d\phi}{dt}$ нолга яқин. $\alpha = 0$ бўлганда $l = 0$.

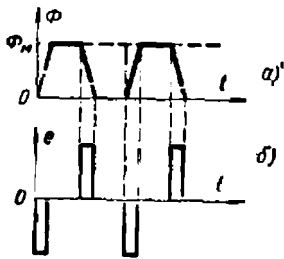
Бошқа томондан, $\alpha = 90^\circ$ бўлганда магнит оқимининг ўзгариш тезлиги $\phi(t)$ максимал, шунинг учун индукцияланадиган э. ю. к. ҳам максималдир.

3. Рамка (7-5- расм) энергия манбаи (генератор) бўлиши мумкинми? Магнит майдонида ҳаракатланаётган рамкада масалада кўрсатилганидек э. ю. к. индукцияланади, уни энергия манбаи (электр машинаси) сифатида ишлатиш мумкин.

Олдинги масалада (1-7- §) қўрилган генератордан фарқи — рамка истеъмолчини ўзгарувчан (синусоидал) ток билан таъминлайди. Электр машинасининг режимлари ҳақида юқорида айтилган мулоҳазаларнинг ҳаммаси бу ҳолга ҳам тааллуқлидир.

4. Агар рамкани кесиб ўтадиган магнит оқими 7-9- расм, а дағи график билан аниқланса, қўзғалмас рамкада э. ю. к. нинг ўзгариш эгри чизиги қандай бўлади? Индукцион э. ю. к. фақат магнит оқими ўзгаргандагина ҳосил бўлишини ҳисобга олиб, магнит оқими нолдан ϕ_m гача орта борган ёки ϕ дан нолгача камая борган вақт ораллиғида э. ю. к. нинг айрим импульсларини (7-9- расм, б) оламыз.

Вақтнинг бошқа ораллиқларида магнит оқими ўзгармас ва индукцион э. ю. к. нолга тенг.



7-9- расм. 7-2- §. 4- қўшимча саволга.

7-3. ҒАЛТАКЛАРНИНГ ИНДУКТИВЛИГИ

Масаланинг шарти

Ўрта магнит чизигининг узунлиги $l_p = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$ бўлган 1511 (Э41) электротехникавий пўлатдан йигилган

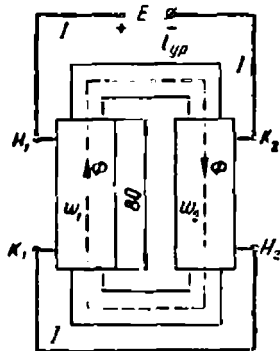
магнит ўтказгичда ҳар бирининг узунлиги $80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$, ўрамлар сони $\omega_1 = \omega_2 = 540$ бўлган иккита бир хил бўлақдан иборат чулғам жойлаштирилган.

Чулғамнинг иккала қисми шундай уланганки, улардан ўтувчи I ток магнит ўтказгичларда бир хил йўналишдаги магнит оқимлари ҳосил қилади. Магнит ўтказгичнинг кесими томонлари $2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$ бўлган квадратдан иборат. Агар магнит ўтказгичда магнит индукцияси $1,35 \text{ Т}$ бўлса, магнит ўтказгичли ва магнит ўтказгичсиз галтакнинг индуктивлиги ҳисоблансин. Чулғамнинг ўрта чизиғи томонлари $3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$ бўлган квадратни ташкил қилади.

Масаланинг ечилиши

1. Магнит ўтказгичда магнит оқимини ҳосил қилиш (7-10- расм). Масаланинг шарти бўйича чулғам икки бўлагининг м. ю. кучи бир хил таъсир этади ва умумий магнит оқими Φ ни вужудга келтиради. Шунинг учун чулғам икки бўлагини ўрамлари сони

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = 540 + 540 = 1080$$



7-10- расм. Тўғри уланган иккита бир хил чулғамли пўлат ўзақ.

бўлган битга чулғам деб қараш мумкин.

2. Магнит ўтказгич мавжуд бўлганда индуктивликни ҳисоблаш. Таърифи бўйича индуктивлик $L = \Psi / I_1$ бу ерда оқим туташтирувчанлик

$$\Psi = \Phi \omega = BS\omega,$$

ток эса (тўла ток қонунига асосан)

$$I = Hl_{\text{ўр}} / \omega.$$

Шундай қилиб,

$$L = \frac{BS\omega}{Hl_{\text{ўр}}} \omega = \frac{BS\omega^2}{Hl_{\text{ўр}}}. \quad (7-4)$$

B ва H ning боғлиниши, яъни μ , пўлат учун магнитланиш характеристикасидан (4-иловага қаранг) аниқланади.

$B = 1,35 \text{ Т}$ бўлганда 1511 (Э-41) пўлати учун $\mu = 970$ А м ни топамиз. Шунинг учун

$$L = \frac{1,35 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot (1080)^2}{970 \cdot 0,3} = 2,17 \text{ Г}.$$

* Бу — ўзгармас ток занжирида ғалтакнинг индуктивлиги ёки статик индуктивлик дейиладиган индуктивлик.

Ўзгарувчан ток занжирида магнит ўтказгичли ғалтакнинг индуктивлиги бошқача бўлади.

3. Магнит ўтказгич бўлмаганда индуктивликни ҳисоблаш. Бу ҳолда (7-4) формуладан фойдаланиш мумкинми?

(7-4) формула тўла ток қонуни $NI_{\text{до}} = Iw$ анча оддий, масалан, ҳалқасимон ғалтак учун, шунингдек, узунлиги диаметридан анча катта бўлган цилиндрик ғалтак учун ёзилган шароитда олинган.

Тахминий ҳисоблашлар учун ҳар бир чулғамни магнит ўтказгичсиз узун ғалтак деб ҳисоблаймиз ва (7-4) формуладан фойдаланамиз. Бу формулада S нинг қийматини чулғамнинг ўрта чизиги ҳосил қиладиган квадратнинг юзи сифатида аниқлаш мумкин: $S = 0,03 \times 0,03 = 0,0009 \text{ м}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Магнит ўтказгич бир чулғамнинг индуктивлиги

$$L_1 = \mu_0 \frac{S w_1^2}{l} \quad (7-5)$$

ёки берилган ўлчамларда

$$L_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{9 \cdot 10^{-4}}{0,8} (540)^2 = 4,13 \cdot 10^{-3} \text{ Г.}$$

Бир-бири билан ўланган иккита чулғамнинг индуктивлиги $2L_1$ дан катта бўлади, чунки бирламчи чулғам магнит оқимининг бир қисми иккинчисини кесиб ўтади ва аксинча, яъни чулғамлар орасида ўзаро индуктивлик бор (7-4-§ ни батафсил қаранг)

7-4. ЎЗАРО ИНДУКТИВЛИК. ЎЗАРО ИНДУКЦИЯ ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧИ

Масаланинг шarti

Ноферромагнит материалдан ($\mu_1 = \mu_0$) тайёрланган ҳалқасимон каркасда ўрамлар сони $w_1 = 2000$ ва $w_2 = 4000$ бўлган иккита чулғам бир текис тақсимланган. Ҳалқанинг ўрта диаметри $D = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$, унинг кўндаланг кесими томонлари $2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$ бўлган квадратдан иборат.

Агар биринчи чулғамда ток синусоидал бўлса, чулғамларнинг ўзаро индуктивлиги M , уларнинг боғланиш коэффициенти k аниқлансин ва иккинчи чулғамда ҳосил бўладиган э. ю. к. нинг графиги ясалсин.

Масаланинг ечилиши

1. Бир текис тақсимланган чулғамларнинг хусусиятлари. Исталган чулғамнинг токи ҳосил қиладиган магнит оқими бошқа чулғамларнинг ҳамма ўрамларидан ўтади (чулғамларнинг диаметрлари бир-биридан кам фарқ қилади деб олинади).

Бундай хусусиятга фақат ҳалқасимон ғалтакларгина эмас, балки амалда, агар чулғамлари бир текис тақсимланган бўлса, цилиндрнк ғалтаклар ҳам эга бўлади.

2. Ўзаро индуктивликни ҳисоблаш. Таърифига кўра ўзаро индукция

$$M = \frac{\Psi_{2,1}}{I_1} = \frac{\Phi_{1,2} \omega_2}{I_1}, \quad (7-6)$$

бу ерда $\Phi_{1,2}$ — ўрамлар сони ω_2 бўлган иккинчи ғалтакдан ўтадиган, лекин биринчи ғалтак токи I_1 томонидан ҳосил қилинган магнит оқими.

Биринчи чулғамдан ўтувчи I_1 ток ўрта магнит чизиги нуқталарида магнит индукцияси ҳосил қилади (тўла ток қонунига кўра)

$$B_{\text{ср}} = \mu_0 H_{\text{ср}} = \mu_0 \frac{I_1 \omega_1}{l_{\text{ср}}}, \quad (7-7)$$

бу ерда $I_1 \omega_1$ — магнит юритувчи куч; $l_{\text{ср}} = \pi D_{\text{ср}}$ — ўрта магнит чизигининг узунлиги.

Ҳалқадаги магнит оқимини магнит индукциясининг ўрта қиймати бўйича тақрибан топамиз:

$$\Phi_1 = B_{\text{ср}} S = \mu_0 \frac{I_1 \omega_1}{l_{\text{ср}}} S = \mu_0 \frac{I_1 \omega_1}{\pi D_{\text{ср}}}. \quad (7-8)$$

Бу формула ҳалқанинг кўндаланг ўлчамларига қараганда $D_{\text{ср}}$ канча катта бўлса, шунча аниқроқ натижа беради.

Биринчи чулғамнинг токи I_1 ҳосил қиладиган магнит оқими иккинчи чулғам ўрамларининг ҳаммасидан ўтишини,

яъни $\phi_{2,1} = \phi_1$ эканлигини ҳисобга олиб, (7-8) даги ϕ_1 ни (7-6) га қўйиб қуйидагини оламиз:

$$M = \mu_0 \frac{w_1 w_2}{\pi D_{\text{ур}}} S, \quad (7-9)$$

ёки бизнинг ҳолда

$$M = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{2000 \cdot 4000}{\pi \cdot 0,1} \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ Г} = 12,8 \text{ мГ}.$$

3. Боғланиш коэффициентини ҳисоблаш. Қуйидаги нисбат боғланиш коэффициенти дейлади:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

бу ерда M — ўзаро индуктивлик, L_1 ва L_2 — чулғамларнинг индуктивлиги, буларни (7-5) формуладан ҳисоблаш мумкин:

$$L_1 = \frac{\mu_0 w_1^2}{\pi D_{\text{ур}}} S, \quad L_2 = 4L_1,$$

чунки $w_2 = 2w_1$ ёки бизнинг ҳолда $L_1 = 6,4 \text{ мГ}$; $L_2 = 25,6 \text{ мГ}$.

Тегишлича ҳалқасимон ғалтак учун $k = 1$.

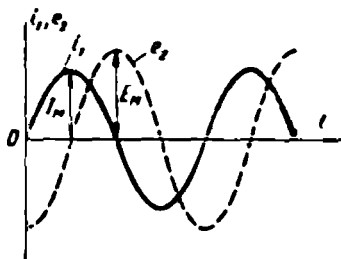
4. Индукцияланувчи э. ю. к. ни ҳисоблаш. Биринчи чулғамда ўзгарувчан, масалан, синусоидал ток i_1 бўлганда (7-11-расм), иккинчи чулғамда э. ю. к. ҳосил бўлади:

$$e_2 = -w_2 d\phi_{2,1}/dt = -M di_1/dt,$$

бу ерда токнинг вақт бўйича ҳосиласи (di_1/dt) i токнинг ўзгариш тезлигини аниқлайди.

Айнан шундай ҳол 7-2-§ да кўрилган эди, у ерда магнит оқими синусоидал қонун бўйича ўзгарганда индукция э. ю. кучининг графигини яшаш кўрсатилган эди.

Э. ю. к. e_2 нинг графиги шунга ўхшаш ясалган (7-11-расм), жумладан: э. ю. к. нинг максимал қиймати вақт бўйича токнинг ноль қийматига мос келади, ва аксинча, э. ю. к. нинг ноль қиймати токнинг максимал қийматига мос келади.



7-11-расм. Ток ва ҳосил булган э. ю. к. графиглари.

Масалага қўшимча саволлар

1. Нима учун масалада иккинчи чулғамнинг биринчи чулғамга нисбатан ўзаро индуктивлиги кўрилди? Биринчи чулғамнинг иккинчи чулғамга нисбатан ўзаро индуктивлиги иккинчи чулғамнинг биринчи чулғамга нисбати кабидир. Агар ўзаро индуктивлик (7-9) иккала чулғамнинг ўрамлари кўпантмаси билан аниқланишига эътибор берсак, бунга осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин.

2. Агар иккинчи чулғам $i_2 = i_1$ ток билан таъминланса, биринчи чулғамда ҳосил бўладиган э. ю. к. қандай бўлади? Агар биринчи чулғам ўрнига иккинчи чулғам $i_2 = i_1$ ток билан таъминланса, биринчи чулғамда э. ю. к. ҳосил бўлади (индукцияланади):

$$\epsilon_1 = -M \frac{di_2}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} = \epsilon_2.$$

Демак, агар чулғамлардан бир хил ток ўтса, индуктив боғланган чулғамларнинг бирида ҳосил бўладиган (индукцияланган) э. ю. к. бир хил бўлади.

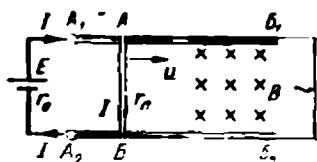
Индуктив боғланган чулғамлар учун ўзаролик принципи ана шундадир.

7-5. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР.

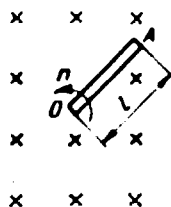
7-1-§ ГА МАСАЛАЛАР.

98. Узунлиги $l = 0,5$ м бўлган тўғри чизиqli сим индукцияси $B = 0,8$ Т бўлган бир жинсли магнит майдонда $v = 12$ м/с тезлик билан ҳаракат қиляпти. v ва B векторларнинг йўналишлари орасидаги бурчак 45° ни, сим ва магнит чизиқлари йўналишлари орасидаги бурчак эса 90° ни ташкил қилади. Симда ҳосил бўладиган э. ю. к. ҳисоблансин.

99. Олдинги масалада кўрилган симнинг учлари қаршилиги $1,7$ Ом бўлган резисторга уланган, бунда сим олдингидек тезлик билан па олдинги йўналишда ҳаракатланади. Симдаги ток, шунингдек, аужудга



7-12-расм. 100- масалага.



7-13-расм. 102- масалага.

келадиган электромагнит кучини енгиш учун хосил қилинган лозим бўлган механиканинг қувват ҳисоблансин. Ҳаракатланаётган симнинг қаршилиги ҳисобга олинмасин.

100. Магнит индукцияси $B = 1,2$ Т бўлган бир жинсли магнит майдонида AB сим иккита металл рельс A_1B_1 ва A_2B_2 (7-12-расм) бўйлаб $V = 8$ м/с тезлик билан ҳаракатланади.

Агар энергия манбаининг э. ю. к. учини $E = 6$ В, унинг ички қаршилиги $r_0 = 0,010$ Ом, симнинг қаршилиги $r_c = 0,005$ Ом, узунлиги $l = 0,5$ м бўлса, симдаги ток ва у ҳосил қиладиган механиканинг қувват ҳисоблансин.

101. Олдинги масала учун ҳаракатланмайдиган симдаги, шунингдек, ҳаракат тезлиги 2 марта камайгандаги ток аниқлансин. Ҳисоблаш натижалари солиштирилиб кўриلسин.

102. Узунлиги $l = 10$ см $\omega = 0,1$ м бўлган тўғри қизикли AO сим (7-13-расм) индукцияси $B = 0,4$ Т бўлган бир жинсли майдонда O ўқ атрофида айланади. Симнинг айланish частотаси $n = 3000$ ай/мин. Симдаги э. ю. к. ҳисоблансин.

Кўрсатма. O ўқдан r масофада жойлашган чексиз кичик сим бўлаги dr учун қизикли тезлик

$$v_r = \omega r = 2\pi \frac{n}{60} r$$

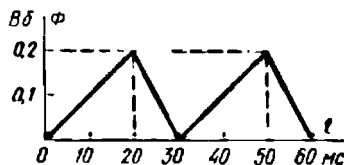
қабул қилинсин.

103. Агар O ўқ сим ўртасига кўчирилса, олдинги масаланинг шартларида сим учлари орасидаги кучланиш аниқлансин. Бу ҳолда ўқ билан A нукта орасидаги э. ю. к. қандай бўлади? Симнинг бурчак тезлиги аввалгидек қолади.

7-2-§ га масалалар

104. Тўғри тўртбурчаклик рамка P (7-14-расм) индукцияси $B = 0,6$ Т бўлган бир жинсли магнит майдонида $\omega = 628$ рад/с бурчак тезлик билан айланади.

Индукцияланадиган э. ю. к. нинг вақтга боғлианиш графигини $e(t)$ ясалсин ва агар рамканинг юзи 8×12 см² бўлса, э. ю. к. нинг максимал қиймати ҳисоблансин. Рамканинг бошланғич вазияти 7-14-расмда кўрсатилган.



7-14-расм. 104- масалага.

7-15-расм. 108- масалага.

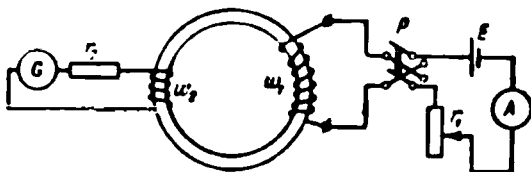
105. Олдинги масаланинг шартлари буйича худди тўғри тўртбурчаклик рамкадаги каби э. ю. к. ҳосил бўладиган донавий рамканинг диаметри аниқлансин.

106. Юзи $S = 100 \text{ см}^2$ бўлган иккита бир хил тўғри тўртбурчаклик рамканинг ҳар бири ўзаро бикр боғланган ва бир-бирига нисбатан тўғри бурчак ҳосил қилиб жойлашган. Рамкалар индукцияси $B = 1 \text{ Т}$ бўлган бир жинсли магнит майдонида $\omega = 500 \text{ рад/с}$ бурчак тезлик билан айланади. Биринчи рамка юзининг бошланғич вазияти магнит чизиқлари нуналиши билан устма-уст тушади деб қабул қилиб, рамкаларда ҳосил бўладиган ϵ_1 ва ϵ_2 э. ю. к. ларнинг вақт бўйича ўзгариш графиклари ясалсин.

107. Агар рамкаларнинг юзи орасидаги бурчакни 30° га тенг қилиб олинса, биринчи рамканинг бошланғич вазияти сақланган ҳолда олдинги масаладаги $\epsilon_2(t)$ графиги қандай ўзгаради?

108. Контурни кесиб ўтадиган магнит оқими 7-15-расмдаги графика асосан ўзгаради. Контурда ҳосил бўладиган э. ю. к. нинг ўзгариш графиги ясалсин.

109. Магнит хоссалари номаълум бўлган юмшоқ-магнит материалдан ҳалқасимон магнит ўтказгич тайёрланиб, унга ўрамлари сони $w_1 = 220$



7-16-расм. 109-масалага.

ва $w_2 = 160$ бўлган иккита чулғам ўралган. Биринчи чулғамга r_1 реостат (7-16-расм) ёрдамида токнинг ҳар хил қийматлари берилиб, унинг йўналиши қайта улагич рубильник P билан ҳар гал тескариситга ўзгартирилиб турилди. Бунда иккинчиси чулғамда заряд индукцияланди ва бу заряд баллистик гальванометр билан ўлчанди (гальвано-метрнинг нузли кўрсаткичининг оқиши 7-2-жадвалда берилган)

7-2-жадвал

$I, \text{А}$	0,06	0,09	0,12	0,15	0,24	0,36	
$\alpha \text{ ММ}$	14	32	240	412	480	512	

Агар гальванометрнинг баллистик доимийси (заряд Q билан оқиш бурчаги α орасидаги пропорционаллик коэффициенти) $C = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Қа/мм}$, иккинчи чулғам занжиридаги қаршилиқ $r_2 = 1000 \text{ Ом}$, ўрта магнит чизигининг узунлиги $l_{\text{ср}} = 30 \text{ см}$ ва магнит ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи $S = 1 \text{ см}^2$ бўлса, синалаётган материалнинг магнитланиш эгри чизиги $B = f(I)$ ясалсин.

Кўрсатма. Магнит оқими $\Delta\Phi$ га ўзгарганда индукцияланадиган в. ю. к. тазсирида гальванометр G занжирида (7-16-расм) $Q = \Delta\Phi\omega_2/r^2$ заряд ўтади. Магнит оқими магнит индукциясининг ўртача қиймати бўйича $\Phi = B \int S$ ҳисоблансин.

7-3 ВА 7-4-Ў ГА МАСАЛАЛАР

110. Ҳалқасимон ғалтакли магнит ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи $S = 2 \cdot 2 \text{ см}^2$ ва ўрта магнит чизигининг узунлиги $l = 20 \text{ см}$. Ғалтакнинг чулғами 400 сим ўрамдан иборат, унинг индуктивлиги $L = 0,4 \text{ Г}$ (ўзгармас деб қабул қилинган). Магнит ўтказгичдаги магнит индукцияси магнитлаиш эгри чизигининг «тирсаги» чегарасидан чиқмаслиги учун чулғамдаги токни қандай чегара оралиғида ўзгартириш мумкин?

111. Агар магнит ўтказгич ноферромагнит материалдан ясалган каркас билан алмаштирилса, олдинги масаладаги ғалтакнинг индуктивлиги қандай ўзгаради?

112. Магнит ўтказгичсиз цилиндрик ғалтак $l = 10 \text{ см}$ узунликка ва $D = 2 \text{ см}$ диаметрга эга. $L = 3,95 \text{ мГ}$ индуктивликни таъминловчи бир жянсли эич ўрамли симнинг (изоляцияли) ўрамлар сони ва диаметри аниқлансин.

113. Узунлиги l , индуктивлиги L , магнит ўтказгичнинг магнит сингдирувчанлиги μ бўлган цилиндрик ғалтак чулғами симнинг l_c узунлиги учун ифода тузилсин. Ғалтакнинг диаметри унинг узунлигига қараганда анча кичик деб олинсин.

114. Агар ғалтак индуктивлиги $L = 1 \text{ мГ}$, унинг диаметридан анча катта бўлган узунлиги эса $l = 16 \text{ см}$ бўлса, магнит ўтказгичсиз цилиндрик ғалтак чулғами симининг узунлиги аниқлансин.

115. Агар сим ўқлари орасидаги масофа 20 см бўлса, диаметри 20 мм ли мис симдан ишланган линия қисмининг (1 м узунликда) индуктивлиги аниқлансин.

116. Ҳаво линияси бир-биридан 45 см масофада жойлашган иккита алюминий симдан тайёрланган. Агар ҳар бир симнинг диаметри 9 мм бўлса, 1 км линиянинг индуктивлиги аниқлансин.

117. Агар пўлатнинг нисбий магнит ўтказувчанлиги 500 га тенг бўлса, олдинги масаладаги линиянинг индуктивлиги қандай ўзгаради.

118. Агар симлар орасидаги масофа икки марта катталаштирилса, 116-масалада кўрилган икки симлик линиянинг индуктивлиги қандай ўзгаради?

119. Немагнит материалдан тайёрланган ҳалқага ўрамлар сони $w_1 = 500$ ва $w_2 = 1000$ бўлган икки чулғам эич ўралган. Ҳалқанинг ташқи ва ички диаметрларининг нисбати $D_2 : D_1 = 5 : 3$; ҳалқанинг кесими — томонларининг узунлиги $a = 5 \text{ см}$ бўлган квадрат. Чулғамларнинг ўзаро индуктивлиги топилсин.

120. Магнит ўтказгичсиз цилиндрик ғалтак ўрамлари сони 60 ва 40 бўлган иккита бир текис тақсимланган чулғамларга эга. Агар ғалтакнинг ўртача диаметри 3 см ва узунлиги 15 см бўлса, чулғамларнинг ўзаро индуктивлиги ҳисоблансин. Боғланиш коэффициентини 1 га тенг деб ҳисоблаш мумкин.

121. Иккита ғалтакнинг мос улангандаги умумий индуктивлиги 30 мГ, қарама-қарши улангандагиси 24 мГ. Ғалтакларнинг ўзаро индуктивлиги ҳисоблансин.

122. Агар ғалтакларнинг индуктивлиги бир хил бўлса олдинги масаладаги ғалтакларнинг алоқа коэффициентини аниқлашсин.

123. Ҷрамлар сони ω_1 ва ω_2 булган ҳалқасимон ғалтакнинг иккита чулғами умумий магнит оқими билан боғланган. Биринчи чулғамнинг индуктивлиги 0,2 Г. Агар $\omega_2 = 3\omega_1$ бўлса, чулғамларнинг ўзаро индуктивлиги ҳисоблансин.

124. Олдинги масаладаги чулғамлар қарама-қарши уланганда уларнинг тўла индуктивлиги ҳисоблансин.

7-6. 7-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

98. 3,4 В.

99. 2 А; 6,8 Вт.

100. 20 А; 96 Вт.

101. 100 А; 60А.

102. 0,628 В.

103. 0; 0,157 В.

104. $E = 3$ В.

$t, \text{мс}$	0	2,5	5,0	7,5	10
$e, \text{В}$	E_m	0	$-E_m$	0	E_m

105. 0,111 м.

$t, \text{мс}$	0	3,15	6,3	9,45	12,6
$e_1, \text{В}$	5	0	-5	0	5
$e_2, \text{В}$	0	5	0	-5	0

107. $e_2(t)$ графини абсциссасининг ҳамма нуқталарини 2,1 мс га намайтириш керак.

108. График э. ю. к. қийматлари -10 ва $+20$ В билан тўғри тўртбурчаклик шаклга эга булади.

109.

$H, \text{А/м}$	40	60	80	100	160
$B, \text{Т}$	0,035	0,080	0,60	1,03	1,20

110. 0,4 — 0,52 А.

111. Тахминан 1000 марта камаяди.

112. 1000 ўрам; 0,1 мм.

$$113. t_c = 2 \sqrt{\frac{\pi}{\mu_a} L l}$$

114. 40 км.

115. $1,28 \cdot 10^{-6}$ Г/м.

116. 1,84 мГ/км.

117. 51,8 мГ/км.

118. 0,277 мГ/км га кўпаяди.

119. $2,55 \cdot 10^{-2}$ Г.

120. 14,25 мкГ.

121. 1,5 мГ

122. 0,11.

123. 0,6 Г.

124. 3,2 Г; 0,8 Г.

САККИЗИНЧИ БОБ

ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОН

8-1. НУҚТАВИЙ ЗАРЯДНИНГ ЭЛЕКТР МАЙДОНИ

Масаланинг шarti

Радиуси $R_{\text{ш}} = 2$ см = 0,02 м бўлган металл шарча $Q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл (кулон) мусбат заряд билан зарядланган ва катта ўлчамли идишга жойлаштирилган.

Дастлаб идишда вакуум ҳосил қилинди (ҳавоси сўриб олинди), сўнгра уни диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 2,15$ бўлган минерал мой билан тўлдирилди.

Майдон кучланганлиги \mathcal{E} ва идиш мой билан тўлдирилгунча ва ундан кейин шарча марказидан (M нуқта) R масофада, жумладан, $R_A = 20$ см = 0,2 м, $R_B = 40$ см = 0,4 м ва $R_B = 60$ см = 0,6 м бўлган A , B ва B нуқталарнинг ф потенциалли, шунингдек, кўрсатилган нуқталарда галма-гал жойлашган синаладиган нуқтавий заряд $q = 2 \times 10^{-11}$ Кл га таъсир этадиган майдон кучи F ни ҳисоблаш талаб қилинади.

Масаланинг ечилиши

1. Майдон кучланганлигини ҳисоблаш. Кўрилатган ҳолда зарядланган шарчанинг чизиқли ўлчамлари ундан A , B ва B нуқталаргача бўлган масофага нисбатан жуда кичик (ҳақиқатан ҳам энг яқин A нуқтаси $R_A = 20$ см = $10 R_{\text{ш}}$ масофада жойлашган). Шунинг учун майдонни ҳисоблашда шарчани нуқтавий заряд деб ҳисоблаш ва

берилган нуқталарда майдон кучланганлигини қуйидаги формула билан аниқлаш мумкин:

$$\epsilon = \frac{1}{\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi R^2}, \quad (8-1)$$

бу ерда СИ ўлчов бирликлар системасида $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м электр доимийси дейилади ва вакуумнинг электрик хос-сасини характерлайди.

(8-1) формула бўйича A нуқтада майдон кучланганлиги

$$\epsilon_A = \frac{1}{8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot (0,2)^2} = 4500 \text{ В/м} = 4,5 \text{ кВ/м},$$

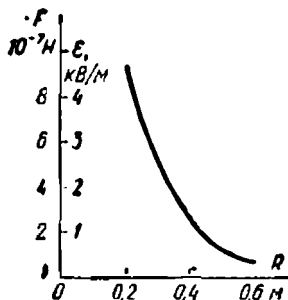
чунки 1000 в лът (В) 1 киловольт (кВ) га тенг.

B нуқта учун (8-1) формуланинг $R_B = 2R_A$ масофадан бошқа ҳамма катталикларининг қиймати A нуқтаники каби қолади, шунинг учун

$$\epsilon_B = \frac{\epsilon_A}{4} = \frac{4,5}{4} = 1,125 \text{ кВ/м}.$$

Мас ҳолда B нуқта учун

$$\epsilon_B = \frac{\epsilon_A}{9} = \frac{4,5}{9} = 0,5 \text{ кВ/м}.$$



8-1- расм. Майдон кучланганлиги ва синаладиган зарядга таъсир этувчи кучларнинг масофага боғланиш графиги.

Майдон кучланганлигининг масофага боғланиш графиги 8-1- расмда ясалган.

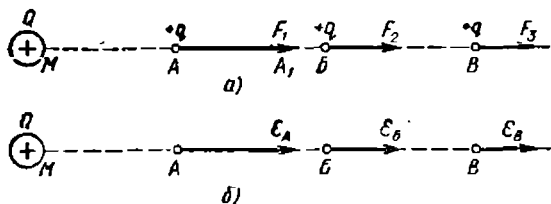
2. Синалаётган зарядга майдон кучларини таъсирини аниқлаш. Q мусбат заряднинг электр майдони A нуқтада жойлаштирилган нуқтавий зарядни (8-2- расм, a) $F_1 = \epsilon_A q = 4500 \cdot 2 \cdot 10^{-10} = 9 \cdot 10^{-7}$ Н куч билан итариб чиқаришга интилади, бунда 1 Н = 0,102 кгк. q зарядни B ва B нуқталарга жойлаштириб (8-2- расм, a) унга таъсир қиладиган майдон кучларини толамиз:

$$F_2 = \epsilon_B q = 1125 \cdot 2 \cdot 10^{-10} = 2,25 \cdot 10^{-7} \text{ Н};$$

$$F_3 = \epsilon_C q = 500 \cdot 2 \cdot 10^{-10} = 10^{-7} \text{ Н}.$$

Майдоннинг турли нуқталарида (A , B ва B) q зарядга таъсир этувчи куч шу нуқталардаги ϵ_A , ϵ_B ва ϵ_C майдон кучланганлигига пропорционал бўлгани учун $\epsilon(R)$ боғланиш графиги (8-1- расм) бошқа масштабда кучнинг $F(R)$ масофага боғланишини ифодалайди.

3. Нуқтавий заряд майдонининг тасвири. Майдон кучланганлиги йўналиши майдоннинг берилган нуқтасида мусбат нуқтавий зарядга таъсир этувчи куч векторининг йўналиши билан бир хил бўлган вектордир. Шунинг учун F_1 , F_2 ва F_3 кучларининг (8-2-расм, а) ва \mathcal{E}_A , \mathcal{E}_B ва \mathcal{E}_B майдон кучланганликларининг (8-2-расм, б) векторлари бир хил йўналган бўлади.



8-2-расм. Майдоннинг турли нуқталарида зарядга таъсир этувчи кучлар векторлари (а); шу нуқталарда майдон кучланганлик векторлари (б).

Майдон кучланганлигининг ясалган векторлари битта $MAVB$ тўғри чизиқда жойлашади, шу чизиқ кучланганлик векторининг чизиқларидан бири ёки майдон куч чизиғи бўлади.

Зарядланган шарча майдонининг сферик симметриклигини назарда тутиб, шарча радиусларининг йўналишларида майдон кучланганлигининг бошқа чизиқларини ҳам яшаш мумкин. Ҳамма кучланганлик чизиқлари мусбат заряддан бошланади.

4. Диэлектрикда майдон кучланганлигини аниқлаш. Диэлектрикда майдон кучланганлиги вакуумдагига нисбатан камаяди, бу нарса тажриба йўли билан аниқланиши мумкин бўлган диэлектрикнинг нисбий диэлектрик сингидирувчанлиги деб юритиладиган электр характеристикаси ϵ ёрдамида ҳисобга олинади. Масаланинг шarti бўйича минерал мой учун $\epsilon = 2,15$ ва диэлектрикда майдон кучланганлиги

$$\mathcal{E}'_A = \frac{\mathcal{E}_A}{\epsilon} = \frac{4,5}{2,15} = 2,1 \text{ кВ/м}$$

ва шунга ўхшаш $\mathcal{E}'_B = 0,535 \text{ кВ/м}$; $\mathcal{E}'_B = 0,233 \text{ кВ/м}$.

Диэлектрикнинг ихтиёрий нуқтасида майдон кучланганлиги:

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon \cdot 4\pi R^2} = \frac{Q}{\epsilon_2 \cdot 4\pi R^2}, \quad (8-2)$$

бу ерда $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$ — муҳитнинг (материалнинг, (диэлектрикнинг) абсолют диэлектрик сингдирувчанлиги дейилади.

Олинган натижалар иккита муҳим хулоса чиқаришга имкон беради:

1) Нисбий диэлектрик сингдирувчанлик (мавҳум катталик) берилган муҳитда вакуумга нисбатан зарядларнинг майдон кучланганлигининг нисбий камайишини характерлайди; вакуум учун $\epsilon = 1$, исталган диэлектрик учун $\epsilon > 1$.

2) Абсолют диэлектрик сингдирувчанлик $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$ диэлектрикнинг электрик хоссаларига ҳам ва ҳисоблашда қабул қилинадиган ўлчов бирликларига ҳам боғлиқ бўлади.

5. Потенциалларни ва кучланишларни аниқлаш. Потенциаллари тенг бўлган чизиқларни ясаш. 1-3-§ да кўрсатилганидек, қандайдир бир нуқтанинг потенциалини нолга тенг деб қабул қилиш мумкин.

Ҳисоблашларни осонлаштириш учун идиш ва заряд майдонини чексиз деб ҳисоблаймиз ва чексиз узоқликдаги нуқтанинг потенциалини нолга тенг деб қабул қиламиз. Бундай шароитда Q заряд майдонининг исталган нуқтаси учун потенциал

$$\varphi = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0 \pi R}. \quad (8-3)$$

(8-3) формула олдин кўрилган майдон кучланганлиги формуласи (8-2) дан R нинг даражаси билан фарқ қилади, шунинг учун

$$\varphi = \mathcal{E} R. \quad (8-4)$$

Сўнги ифодани қўллаб, вакуумда A , B ва B нуқталарнинг потенциалларини ҳисоблаймиз:

$$\varphi_A = \mathcal{E}_A R_A = 4500 \cdot 0,2 = 900 \text{ В};$$

$$\varphi_B = \mathcal{E}_B R_B = 1125 \cdot 0,4 = 450 \text{ В};$$

$$\varphi_B = \mathcal{E}_B R_B = 500 \cdot 0,6 = 300 \text{ В}.$$

Потенциалнинг тақсимланишини аниқлаш учун потенциаллари бир хил қийматга фарқ қиладиган нуқталарни топish фойдалидир. Шунинг учун потенциаллари, масалан, 300 В га фарқ қиладиган бир нечта нуқталарни топамиз.

Бизга маълумки B ва A нуқталарнинг потенциаллари

мос ҳолда: $\varphi_B = 300$ В, $\varphi_A = 900$ га тенг. Қўшимча равишда Γ ва D нуқталарни топамиз, улар учун $\varphi_\Gamma = 600$ В ва $\varphi_D = 1200$ В.

(8-3) формула бўйича вакуумда $\varphi_\Gamma = 600$ га қуйидаги массага тўғри келади:

$$R_\Gamma = \frac{Q}{\epsilon_0 4\pi \varphi_\Gamma} = \frac{36 \cdot 2}{10 \cdot 4\pi \cdot 600} = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см.}$$

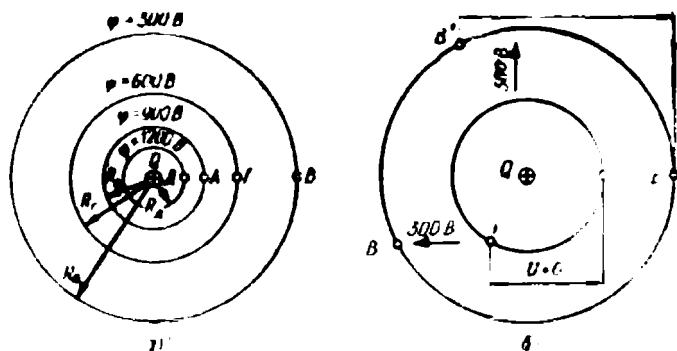
$$\varphi_D = 2 \varphi_\Gamma$$

потенциалга қуйидаги массага тўғри келади:

$$R_D = R_\Gamma / 2 = 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см.}$$

Зарядланган шарча ва нуқтавий заряд Q майдоннинг сферик симметриклигини ҳисобга олиб, радиуслари R_B , R_Γ , R_A ва R_D бўлган потенциаллари тенг шарсимон сирт ясаш мумкин, буларнинг текисликдаги сояси потенциаллари тенг бўлган чизиқлар тасвирини (8-3-расм) ҳосил қилади. Бу нуқталарнинг потенциаллари берилган 300 В га фарқ килади.

Майдоннинг исталган икки нуқтаси орасидаги кучланиш потенциаллар фарқи сифатида аниқланади. Потенциаллари тенг линия $\varphi_B = 300$ В (B , B' , B'' , ...) билан по-



8-3- расм. Тенг потенциалли чизиқлар (а) нуқтавий заряднинг электр майдон нуқталари орасидаги кучланишлар (б).

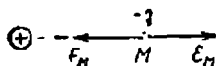
тенциаллари тенг линия $\varphi = 600$ (Γ, Γ, \dots) нинг ихтиёрӣ нуқталари орасида кучланиш бир қийматга эга: $U_{\Gamma B} = \varphi_{\Gamma} - \varphi_B = 600 - 300 = 300$ В. Потенциаллари тенг айна бир линиянинг ихтиёрӣ нуқталари (масалан, B'' ва B ёки Γ' ва Γ) орасидаги кучланиш нолга тенг.

Д нуқта (8-3-расм) билан чексиз узоқликдаги нуқта орасидаги кучланиш $U_{D\infty} = \varphi_D - \varphi_{\infty} = 1200 - 0 = 1200$ В. Γ нуқтадан ўтадиган потенциаллари тенг линия учун φ_{Γ} потенциал $\varphi_{\Gamma} = 0$ деб қабул қилинса, $\varphi_A = 300$ В, $\varphi_D = 600$ В, $\varphi_B = -300$ В ва $\varphi_{\infty} = -600$ В ни оламиз, майдоннинг ихтиёрӣ нуқталари орасидаги кучланиш эса аввалгича қолади, Шунинг учун кучланишни ҳисоблаб, майдоннинг ихтиёрӣ нуқтасининг потенциални нолга тенг деб олиш мумкин; одатда, амалда ер сиртида бўлган нуқтанинг потенциални нолга тенг деб олинади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Q заряд ишорасининг ўзгариши ϵ ва φ нинг қийматларига қандай таъсир қилади? Q заряднинг абсолют қийматига боғлиқ бўлган майдон кучланганлигининг абсолют қиймати аввалгича қолади; кучланганлик векторларининг йўналиши, жумладан δ , ϵ_B ва ϵ_A (8-2-расм, б) тескарисига ўзгаради, чунки бу ҳолда A , B ва B нуқталарга жойлаштирилган синалаётган мусбат заряд $-Q$ зарядга тортилади. Агар олдингидек чексиз узоқликдаги нуқтанинг потенциални нолга тенг деб олинса, ҳамма нуқталарнинг потенциаллари манфӣй бўлади.

2. Майдон кучланганлиги ва зарядга таъсир этувчи куч ҳар хил йўналишга эга бўлиши мумкинми? Агар, масалан, M нуқтага (8-4-расм) синаладиган манфӣй заряд $-q$ киритилса, F_M куч ва майдон кучланганлиги ϵ_M тескари томонга йўналади. Худди мана шу натижани кутиш керак эди, чунки таърифга биноан ϵ_M векторининг йўналиши мусбат зарядга таъсир этувчи куч йўналиши билан бир хил бўлади.



8-4-расм. Синаладиган манфӣй зарядга таъсир этувчи куч.

3. Потенциалнинг ўзгариши майдон кучланганлиги ва майдоннинг икки нуқтаси

орасидаги масофа билан қандай боғланган? Майдоннинг потенциаллари φ_1 ва φ_2 ҳамда тегишлича кучланганликлари \mathcal{E}_1 ва \mathcal{E}_2 бўлган икки нуктаси учун потенциалнинг ўзгаришини $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \mathcal{E}_1 R_1 - \mathcal{E}_2 R_2$ билан белгилаб ва бу масофани жуда кичик деб олиб, ΔR оралиғида майдон кучланганлигини ўзгармас дейиш мумкин, яъни $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}$. У ҳолда $\Delta\varphi = \mathcal{E} \Delta R$.

4. Зарядланган металл шар сиртида майдон кучланганлигини қандай ҳисоблаш керак? Зарядланган шар учун унинг симметриклиги ва сиртида зарядларнинг бир текис тақсимланиши сабабли нуқтавий заряднинг майдон кучланганлиги формуласидан фойдаланиш мумкин.

Радиуси $R_{ш}$ ва заряди Q бўлган шар сиртида майдон кучланганлиги $\mathcal{E} = Q/4\pi e \epsilon_0 R_{ш}^2$, бу ерда e — шарни қуршаган муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги.

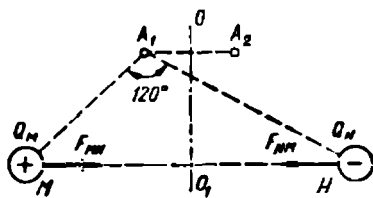
Шар радиусини унинг марказидан ташқарида ётган майдон нуқтасигача бўлган масофа билан алмаштириб, бу формула билан шардан ташқарида бўлган исталган нуқтада майдон кучланганлигини топиш мумкин.

8-2. БИР НЕЧТА НУҚТАВИЙ ЗАРЯДЛАРНИНГ ЭЛЕКТР МАЙДОНИ

Масаланинг шарти

Иккита нуқтавий заряд $+Q_m = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл ва $-Q_n = -2 \cdot 10^{-9}$ Кл (8-5-расм) минерал мойда жойлаштирилган ($\epsilon = 2,2$).

Агар $MA_1 = 10$ см = 0,1 м; $HA_1 = 15$ см = 0,15 м; $\angle MA_1H = 120^\circ$ ва OO_1 чизиқ MN чизиқнинг ўртасидан тикланган перпендикуляр бўлса, OO_1 ўққа нисбатан симметрик жойлашган A_1 ва A_2 нуқталарда майдон кучланганлиги ва потенциаллар, шунингдек, $+Q_m$ ва $-Q_n$ зарядларнинг ўзаро таъсир кучлари ҳисоблансин.

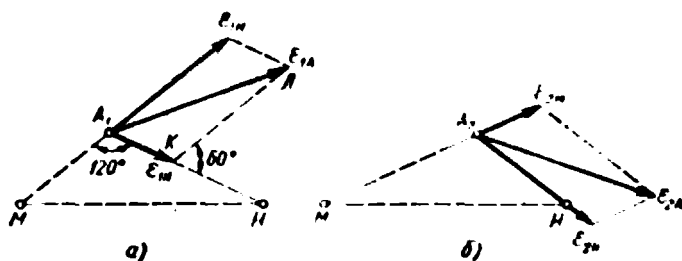


8-5-расм. 8-2-§ масала шартига

Масаланинг ечилиши

1. A_1 ва A_2 нуқталарда майдон кучланганлигини ҳисоблашда устлаш усулини қўллаш. Устлаш усули бўйича бирор нуқтадаги майдон кучланган-

лиги ҳар бир заряд томонидан алоҳида ҳосил қилинадиган кучланганликларнинг геометрик (вектор) йиғиндиси билан аниқланади. Бизнинг ҳолда бу демак, A_1 нуқта учун олдин фақат $+Q_M$ заряд ($-Q_N$ бўлмаганда) сўнгра, аксинча, фақат $-Q_N$ ($+Q_M$ бўлмаганда) заряд ҳосил қиладиган майдон кучланганликларини топиш керак.



8-6-расм. Иккита A_1 ва A_2 зарядларнинг йиғинди майдон кучланганлиги векторини қуриш.

Юқорида кўрсатилганларга амал қилиб, A_1 нуқтада $+Q_M$ заряднинг майдон кучланганлигини оламиз:

$$E_{1M} = \frac{Q_M}{4\pi(MA_1)^2 \epsilon \epsilon_0} = \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 36 \pi}{4\pi(0,1)^2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 820 \text{ В/м,}$$

у M нуқтадан йўналган E_{1M} вектор (8-3-расм) билан тасвирланади; чунки Q_M — мусбат заряд;

A_1 нуқтада $-Q_N$ заряднинг майдон кучланганлиги:

$$E_{1N} = \frac{Q_N}{4\pi(NA_1)^2 \epsilon \epsilon_0} = E_{1M} \left(\frac{MA_1}{NA_1} \right)^2 = 820 \left(\frac{0,1}{0,15} \right)^2 = 365 \text{ В/м,}$$

бу N нуқтага йўналган E_{1N} вектор (8-6-расм, а) билан тасвирланади, чунки Q_N манфий заряд.

Иккала, $+Q_M$ ва $-Q_N$ зарядлар учун A_1 нуқтада майдон кучланганлиги томонлари E_{1M} ва E_{1N} бўлган параллелограммнинг диагонали сифатида ясалган йиғинди вектор билан аниқланади.

$A_1 K L$ учбурчаклик учун (8-6-расм, а) косинуслар теоремасини қўллаб қуйидагини оламиз:

$$E_{1A}^2 = E_{1M}^2 + E_{1N}^2 + 2E_{1M}E_{1N} \cos 60^\circ = \sqrt{820^2 + 365^2 + 2 \cdot 820 \cdot 365 \cdot 0,5} = 1050 \text{ В/м.}$$

Косинуслар теоремаси бўйича ҳисоблаш нисбатан кўпроқ вақт олгани учун, баъзан, график усулдан фойдаланиш осонроқ.

Ҳақиқатан ҳам, \mathcal{E}_{1M} ва \mathcal{E}_{1H} векторлар (8-6-расм)

$M_g = 40 \text{ В (М·мм)}$ масштабда қурилгани учун

$$\mathcal{E}_{1A} = (A_1 \mathcal{L}) M_g \approx 26 \cdot 40 = 1050 \text{ В м.}$$

Кўриб чиқилган усул билан исталган нуқтада, шу ҳисобдан A_2 нуқтада ҳам (8-5-расм) майдон кучланганлигини ҳисоблаш мумкин. Лекин берилган ҳолда ҳисоблашнинг ҳаммасини қайтариш талаб қилинмайди. A_1 ва A_2 нуқталарнинг симметрик жойлашганлигини ва зарядларнинг абсолют қийматларини ҳисобга олиб, тўғридан-тўғри қуйидагини ёзамиз:

$$\mathcal{E}_{1A} = \mathcal{E}_{1M} = 820 \text{ В м ва } \mathcal{E}_{2H} = \mathcal{E}_{1H} = 365 \text{ В/м}$$

(8-6-расм). Шунинг учун A_1 ва A_2 нуқталарда майдон кучланганлиги сон жиҳатидан тенг ($\mathcal{E}_{1A} = \mathcal{E}_{2A}$), лекин турлича йўналишга эгадирлар.

Бирор нуқтадаги майдон кучланганлиги ҳақида фикр юритиш учун фақат унинг қийматини эмас, балки векторининг йўналишини ҳам билиш лозим.

2. Потенциалларни ҳисоблашда устлаш усулини қўллаш. Бир нечта зарядлар электр майдонининг исталган нуқтасининг потенциали берилган нуқтада ҳар бир заряд алоҳида ҳосил қилган потенциалларнинг алгебраик йиғиндисига тенг.

Потенциалларнинг алгебраик йиғиндисини қандай тушуниш керак?

Турли ишорали зарядлар ҳосил қилган потенциалларни алгебраик қўшишда потенциалларнинг алгебраик ишорасини ҳисобга олиш керак. Масалан, бизнинг ҳолда A_1 нуқтада $+Q_M$ заряд $\varphi_{1M} = \mathcal{E}_{1M}(MA) = 820 \cdot 0,1 = 82 \text{ В}$ потенциални, $-Q_H$ заряди эса $\varphi_{1H} = -\mathcal{E}_{1H}(HA) = 365 \cdot 0,15 = -54,7 \text{ В}$ потенциални ҳосил қилади.

Иккала заряднинг бирликдаги майдони учун қуйидаги потенциални оламиз:

$$\varphi_{A1} = \varphi_{1M} + \varphi_{1H} = 82 - 54,7 = 27,3 \text{ В.}$$

A_1 ва A_2 нуқталарнинг симметриклигини назарда тутиб, A_2 нуқтада $+Q_M$ заряди $\varphi_{2M} = \varphi_{1H} = 54,7 \text{ В}$ потенциални,

— Q_n заряди эса $\varphi_{2n} = -\varphi_{1m} = -82$ В потенциални ҳосил қилишини толамиз.

Иккала заряд биргалликда таъсир қилганида A_2 нуқтада потенциал

$$\varphi_{A_2} = \varphi_{2m} + \varphi_{2n} = 54,7 - 82 = -27,3 \text{ В.}$$

3. Зарядларнинг ўзаро таъсир кучларини ҳисоблаш. Энг олдин MA, H учбурчаклигидан (8-5-расм) косинуслар теоремаси бўйича зарядлар орасидаги масофани аниқлаймиз:

$$MH = \sqrt{(MA_1)^2 + (HA_1)^2 + 2(MA_1)(HA_1)\cos 60^\circ} = \\ = \sqrt{0,1^2 + 0,15^2 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,5} = 0,218 \text{ м} = 21,8 \text{ см.}$$

Сўнгра Кулон қонуни бўйича зарядларнинг ўзаро таъсир кучини ҳисоблаймиз:

$$F = \frac{Q_m Q_n}{4\pi \epsilon_0 (MH)^2} = \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 36 \pi}{4\pi \cdot 2,2 \cdot 10^{-9} (0,218)^2} = 3,48 \cdot 10^{-7} \text{ Н.}$$

+ Q_m зарядга таъсир қилувчи куч (8-5-расм) $F_{mн}$ билан ифодаланган, бу демэк, куч + Q_m зарядга таъсир этади, лекин бу куч — Q_m зарядидан вужудга келган демакдир. Мос ҳолда Q_n зарядга таъсир қилувчи куч F_{nm} билан ифодаланган. Шубҳасизки, $F_{mн} = F_{nm} = F$.

Масалага қўшимча саволлар

1. Кучланганлик чизиқларининг «боши» ва «охири» бўладими? Майдон кучланганлиги чизиқларига йўналиш шартли равишда берилади. Кучланганлик чизиқлари мусбат зарядлардан бошланади ва манфий зарядларда тамом бўлади деб ҳисобланади. Якка мусбат заряд майдон учун чизиқлар «охири» чексизликда бўлади. Якка манфий заряд чизиқларининг «боши» чексизликда бўлади.

Демак, кучланганлик чизиқлари, масалан, потенциаллари тенг булган чизиқлардан боши ва охирига эга бўлиши билан фарқ қилади, яъни улар туташмаган.

2. Зарядни майдон чегарасидан чиқариб юбориш учун қандай иш бажариш керак? + Q_m зарядни майдон чегарасидан чиқариб юбориш учун электр майдон кучини (зарядларнинг ўзаро тортишиш кучини) енгишга тўғри келади.

Талаб қилинадиган кўчиришни бошқа заряд (— Q_n) ҳосил қиладиган электр майдонидан битта (+ Q_m) зарядни

чиқариб юбориш деб қараш мумкин. Бунда майдон кучлари

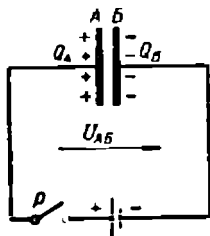
$A = q_m Q_m$ иш бажарадн, бу ерда $q_m = \frac{-Q_m}{4\pi\epsilon\epsilon_0(MH)}$ — M нуқтада — Q_m заряд ҳосил қилган потенциал.

Бизнинг берилганларда $q_m = -37,7$ В ва $A = -7,55 \cdot 10^{-8}$ Жоуль (Ж). Ишнинг ифодаси A даги манфий ишора $+Q_m$ зарядни чиқариб юборишда $-Q_m$ заряднинг майдон кучларига қарши иш бажариши лозимлигини билдиради (1 Ж — 1 Н кучнинг 1 м масофадаги иши).

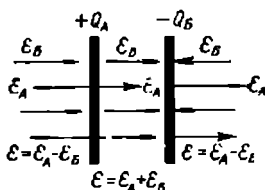
8-3. БИР ЖИНСЛИ ЭЛЕКТР МАЙДОНИ

Масаланинг шarti

Иккита юлқа ясси параллел металл A ва B пластинкаларга (электродларга) рубильник P ни ёпиб, энергия манбаидан $U_{AB} = 600$ В кучланиш берилди (8-7-расм). Пластинкалар орасидаги масофа $d = 20$ мм $= 0,002$ м, ҳар



8-7-расм. Иккита пластинкалар заряднинг схемаси.



8-8-расм. Турли ишорали зарядлар билан зарядланган иккита ясси пластинкалар майдонининг кучланганлиги.

бирининг юзи $S = 4,25 \cdot 4,25$ см² $= 4,25 \cdot 4,25 \cdot 10^{-4}$ м. Зарядланган пластинкалар майдонининг кучланганлиги, уларнинг ҳар биридаги заряд ҳисоблансин ва пластинкалар орасидаги ҳавода ($\epsilon = 1$) потенциалнинг ўзгариш графиги чизилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Иккита ясси параллел пластинкаларнинг электр майдони. Рубильник P ёпилганда (8-7-расм) манбанинг мусбат қисмасига уланган A пластинкада $+Q_A$

заряд, манбанинг манфий қисмасига уланган B пластинкада — Q_B заряд йиғилади, бунда $Q_A = Q_B = Q$.

Зарядланиш процесси тамом бўлганда пластинка сирти бўйлаб зарядларнинг кўчиши содир бўлмайди.

Бу пластинкаларнинг (A ва B) ҳар бир нуқтаси тегиш-лича бир хил потенциалга эгаллигини билдиради, яъни пластинкаларнинг ҳар бири потенциаллари тенг бўлган сиртлардир. Ўтказгич металл пластинкалар нуқталарининг потенциаллари ҳар хил бўлса, зарядлар потенциали катта нуқталардан потенциали кичик нуқталарга кўчади. Шунинг учун 8-8 расмда Q_A ва Q_B зарядларнинг магнит кучланганлик векторлари \mathcal{E}_A ва \mathcal{E}_B потенциаллари тенг сиртларга — A пластинкага ва B пластинкага перпендикуляр йўналган. Пластинкалар фақат зарядларнинг ишоралари билангина фарқ қилганликлари учун B пластинка сиртидаги Q_B заряднинг майдон кучланганлиги \mathcal{E}_B , A пластинка сиртидаги Q_A заряннинг майдон кучланганлиги \mathcal{E}_A га сон жиҳатидан тенг, лекин \mathcal{E}_B вектор \mathcal{E}_A векторга қарама-қарши йўналган.

Улар яқинида ҳудди шундай \mathcal{E}_A ва \mathcal{E}_B майдон кучланганликлари ҳосил бўлади (пластинкаларнинг чизиқли ўлчамларига нисбатан кичик масофаларда). Агар ҳар бир пластинканинг узунлиги 4,25 см га тенглиги ҳисобга олинса, унда, масалан, A ва B пластинкаларнинг чап ва ўнг томонида 0,2 см ва ундач кичик масофада ҳар бир (Q_A ва Q_B) заряднинг электр майдонини *бир жинсли* деб ҳисоблаш мумкин. Бу ҳар бир нуқтада \mathcal{E}_A ва \mathcal{E}_B кучланганлик векторларининг қийматлари ва йўналишлари *бир хил демакдир* (пластинкалар четларининг таъсири ҳали амалда билинмайди).

8-8-расмдан кўрииб турибдики:

биринчидан, ташқи фазода (A пластинкадан чапда ва B пластинкадан ўнгда) \mathcal{E}_A ва \mathcal{E}_B векторлар бир-бирига қарама-қарши йўналган, шунинг учун ихтиёрний нуқтада майдон кучланганлиги $\mathcal{E} = \mathcal{E}_A - \mathcal{E}_B = 0$, яъни электр майдони йўқ (пластинка четларида майдоннинг бузилишини ҳисобга олмаймиз);

иккинчидан, A ва B пластинкалар орасида \mathcal{E}_A ва \mathcal{E}_B векторларнинг йўналиши бир хил ва майдон кучланганлиги:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_A + \mathcal{E}_B = 2\mathcal{E}_A = 2\mathcal{E}_B \quad (8-5)$$

2. Майдон кучланганлигини ва пластинка зарядини ҳисоблаш. Пластинкалар орасидаги бир жинсли майдоннинг кучланганлиги ва уларга берилган кучланиш U_{AB} — оддий боғланиш билан боғланган. $U_{AB} = \mathcal{E} d$, бу ерда d — пластинкалар орасидаги масофа.

Бизнинг ҳолда

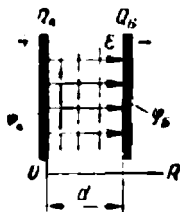
$$\mathcal{E} = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{600}{0,002} = 3 \cdot 10^5 \text{ В/м} = 300 \text{ кВ м.}$$

Заряд юзада бир текис тақсимланган деб ҳисоблаб (пластинкалар четида майдон бузилишини ҳисобга олмай), унинг майдон кучланганлигига ва пластинкалар юзасига пропорционаллигини топамиз (бу Остроградский ва Гаусс теоремаларидан келиб чиқади):

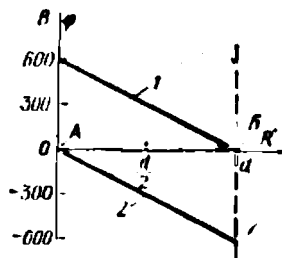
$$Q = \mathcal{E} S \epsilon \epsilon_0 = 3 \cdot 10^5 \cdot 4,25 \cdot 4,25 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \frac{10^{-9}}{36 \pi} = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

3. Пластинкалар орасидаги фазода потенциалнинг ўзгариши. Олдин кўрилганидек (8-1 §, 3-қўшимча савол), агар кўрилайтган қисм чегарасида кучланганлик \mathcal{E} ни ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин бўлса, кучланганлик чизигининг ΔR қисми бўйлаб потенциалнинг ўзгариши $\Delta \phi = \mathcal{E} \Delta R$ бўлади.

Берилган масалада пластинкалар орасидаги майдон кучланганлиги майдон нуқталарининг ҳар бирида (8-9-расм), яъни $R=0$ дан $R=d$ чегарасида бир хил қийматга эга. Шунинг учун $\Delta \phi = \mathcal{E} \Delta R$ ифода кучланганлик чизигининг



8-9- расм. Иккита ясси пластинкаларнинг кучланганлик чизиклари ва бир жинсли потенциаллар тенг сиртлари.



8-10- расм. Пластинкалар орасидаги фазода потенциалнинг ўзгариши.

икки нуқтаси орасидаги масофа хар қанақа бўлганида ҳам тўғридир (албатта, пластинкалар орасида).

Потенциали ноль бўлган нуқтанинг ихтиёрий танланиши мумкинлигини ҳисобга олиб, B пластинканинг нуқталаридан бирининг, бу демак, бутун металл пластинканинг потенциаллини $\varphi_B = 0$ деб қабул қиламиз. Унда

$$\Delta \varphi_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \varphi_A = \varepsilon R_{AB} = \varepsilon d = 600 \text{ В}$$

ва $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 600 \text{ В}$, худди шундай натижани кутиш лозим эди. $\varphi(R)$ графиги (8-10-расмда) I тўғри чизиқ билан тасвирланган. Агар $\varphi_A = 0$ деб танланса, унда

$$\Delta \varphi_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = -\varphi_B = \varepsilon d = 600 \text{ В}$$

ва $\varphi_B = 600 \text{ В}$ (8-10-расм, 2-тўғри чизиқ). Худди шундай $\varphi_B = \varphi_A - U_{AB} = -600 \text{ В}$.

Масалага қўшимча саволлар

1. P билъник P узиб қўйилса (8-7-расм), пластинкалар орасида электр майдони йўқоладими? Агар пластинкаларни қуршаган муҳит (бизнинг ҳолда ҳаво) абсолют изолятор деб ҳисобланса, пластинкалардаги зарядлар ва улар орасидаги майдон кучланганлиги олдинги қийматларини сақлаб қолади. Бу шароитда энергия манбаи фақат A ва B пластинкаларини дастлабки зарядлаш учунгина керак бўлади.

Ҳақиқатда эса, хар қандай муҳит қандайдир ўтказувчанликка эга бўлади. Шунинг учун Q_A ва Q_B зарядлар секин-аста бир-бирини нейтраллайти, электр майдони эса камая боради.

2. Диэлектрикнинг мустаҳкамлик запаси қандай? Ҳаво майдон кучланганлиги $\varepsilon_0 = 3000 \text{ В/мм}$ бўлганида бузилади (изоляторлик хусусиятини йўқотади, ўтказгичга айланади), кўриляётган масалада эса $\varepsilon = 300 \text{ В/мм}$.

Шундай қилиб, мустаҳкамлик запаси

$$k = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon} = \frac{3000}{1000} = 10.$$

3. Пластинкалар орасидаги масофани икки марта камайтириш электр майдони характеристикасига қандай таъсир қилади? Бу саволга жавоб бериш учун мумкин бўладиган икки ҳолни фарқлаш керак.

Агар манба уланган ҳолда (P рубильниги ёпиқ) масофа камайтирилса, пластинкалар орасидаги U_{AB} кучланиш ўзгармайди. Бу ҳолда майдон кучланганлиги $\mathcal{E} = \frac{U_{AB}}{d}$ ва заряд $Q = S \mathcal{E} \epsilon \epsilon_0$ масофа d га тескари пропорционал ўзгаради ва берилган шартларда 2 марта кўпаяди.

Агар манба уланмаган ҳолда (рубильник P очиқ) масофа камайса, пластинкалардаги зарядлар ўзгармай қолади. Бу ҳолда майдон кучланганлиги $\mathcal{E} = \frac{Q}{S \epsilon \epsilon_0}$ ўзгармайди, пластинкалар орасидаги $U_{AB} = \mathcal{E} d$ кучланиш d га пропорционал камаяди, яъни бизнинг ҳолда 2 марта камаяди.

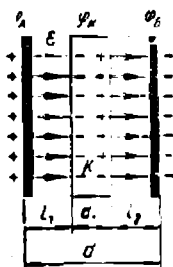
Агар турли ишоралар билан зарядланган A ва B пластинкаларнинг электр майдони кучлари таъсирида яқинлашиши мумкинлиги ҳисобга олинса, манба уланмаганда кучланишнинг камайиши тушунарли бўлади. Пластинкалар яқинлашганда майдоннинг энергияси энергиянинг бошқа турига айланиб камаяди. Масалан, манбадан энергия билан таъминланмагани учун (чунки манба узиб қўйилган) у пластинкалар яқинлашувини тўхтатадиган қурилманинг механикавий энергиясига айланиши мумкин ва натижада энергия камаяди. Пластинкалар потенциалларининг айирмаси ёки кучланиши энергияга пропорционал ва майдон энергияси камайиши билан камаяди.

4. Пластинкалар орасидаги фазони $\mathcal{E} = 6$ бўлган диэлектрик билан тўлдириш майдон кучланганлигига қандай таъсир қилади? Бу саволга жавоб бера туриб, яна мумкин бўлган икки ҳолни кўриб чиқиш лозим бўлади. Рубильник P ёпиқ бўлганда (8-7-расм) пластинкалар орасида майдон кучланганлиги

$\mathcal{E} = \frac{U_{AB}}{d}$ ўзгармайди, чунки U_{AB} ва d ўзгармас, пластинкалар заряди $Q = \mathcal{E} S \epsilon \epsilon_0$ эса $\epsilon = 6$ марта кўпаяди (қўшимча заряд манбадан келади).

Рубильник P очиқ ҳолда бўлганда пластинкаларда заряд ўзгармайди, демак, майдон кучланганлиги $\mathcal{E} = \frac{Q}{S \epsilon \epsilon_0}$ 6 марта камаяди.

5. Электродлар орасига жойлаштирилган ўтказгич пластинка (8-11-расм) майдон характеристикасига қандай таъсир қилади?



8-11-расм. Бир жинсли майдонда с.м.

Ўтказгич ичида йиғинди майдон кучланганлиги нолга тенг бўлиши керак:

$$\epsilon_A = \epsilon_K - \epsilon = 0$$

бу ерда ϵ — электродлардаги Q_A ва Q_K зарядлар майдонининг кучланганлиги;

ϵ_K — ўтказгичда индукцияланган зарядлар майдонининг кучланганлиги.

Шунинг учун ўтказгичнинг ичида (8-11- расм) кучланганлик чизиқтарининг узилиши рўй беради.

l_1 қисми учун (8-11- расм) потенциаллар айирмаси $\varphi_A - \varphi_K = \epsilon l_1$ га тенг, l_2 қисми учун эса потенциаллар айирмаси $\varphi_K - \varphi_B = \epsilon l_2$.

Тенгламаларнинг чап ва ўнг қисмларини қўшиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\varphi_A - \varphi_B = \epsilon (l_1 + l_2)$$

ёки

$$\varphi_A - \varphi_B = \epsilon (d - d_1).$$

Демак, электродлар орасидаги фазога K ўтказгич пластинкани киритиш электродларни d_1 га яқинлаштириш билан баробар; шунинг учун 3-қўшимча саволда олинган ҳулосаларни бу масалага тўла татбиқ этса булади.

6. Асбоблар электр майдони таъсиридан қандай сақланади? Агар бирор асбобнинг ишини ташқи электр майдони бузадиган бўлса, уни металл қутичага (экранга) жойланади. Экран ичида майдон кучланганлиги нолга тенг.

Экранлар кўпинча яхлит эмас, балки тўр кўринишида тайёрланади, масалан, бино ичига момақалди роқ разрядларида вужудга келадиган атмосфера электр майдонининг киришидан сақлаш мақсадида деворлар ичига металл тўрлар ўрнатилади.

8-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

8-1-§ га масалалар

125. Вакуумда жойлашган нуқтавий заряддан 20 мм масофада майдон кучланганлиги 300 кв/м. Заряд аниқлансин.

126. Нуқтавий заряд Q ҳавода R масофада майдон кучланганлиги ϵ ни ҳосил қилади. Дистилланган сувда ($\epsilon = 80$) худди шундай масофада шу майдон кучланганлигини қандай заряд ҳосил қилади?

127. Нуқтавий заряддан $R = 0,5$ м масофада потенциал 6 кВ га тенг. Майдон кучланганлиги ва заряддан $2R, 3R$ ва $4R$ масофада жойлашган нуқталарнинг потенциали аниқлансин. Майдон кучланганлиги ва потенциалнинг ўзгариш графиги ясалсин.

128. Олдинги масала учун кучланганлик чизиқлари ва потенциали тенг чизиқлар билан тасвирланган майдон тасвири масштабада ясалсин, ясашни заряд ҳавода ($\epsilon = 1$) жойлашган деб, фараз қилиб бажарилсин.

129. Синаладиган нуқтавий заряд $q = 5 \cdot 10^{-7}$ Кл мойда турган бошқа нуқтавий заряд $Q = 10^{-5}$ Кл электр майдонининг A нуқта-сига киритилган A нуқтада Q заряднинг майдон кучланганлиги ϵ нинг қиймати ва йўналиши ҳамда агар заряддан A нуқтагача масофа 40 см бўлса, синалаётган зарядга таъсир қилувчи F куч аниқлансин.

130. Агар синалаётган заряднинг ишораси ўзгартирилса, олдинги масала шартларида ϵ ва F ўзгарадими?

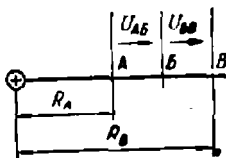
131. Нуқтавий заряд $Q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл учун чексиз узоқдаги нуқтада потенциални нолга тенг деб ҳисоблаб 45 В дан 0 гача ҳар 9 В да потенциалларни тенг бўлган сиргларнинг радиуслари ҳисоблансин ва сиртлар ясалсин.

132. Олдинги масаладаги шартларда заряддан 2 м нарида бўлган нуқтанинг потенциали нолга тенг деб олиб, ясалган тенг потенциалли сиртлар потенциалларининг янги қийматлари ҳисоблансин.

133. Нуқтавий заряднинг электр майдониди заряддан мос ҳолда 30 ва 60 см масофадаги A ва B нуқталар орасида кучланиш $U_{AB} = 75$ В. Агар заряд ҳавода жойлашган бўлса, заряд аниқлансин.

134. Агар қисмларнинг кучланишлари $U_{AB} = U_{BB}$, A ва B нуқталар эса заряддан R_A ва R_B масофада бўлса, B нуқта нуқтавий заряд кучланганлик чизигининг AB қисминин қандай нисбатда бўлади?

135. Радиуси $R_{ш} = 42,5$ см металл шар ҳавода турибди ва $Q = 10$ мк. Кл (мик-рокулон) $= 10 \cdot 10^{-6}$ Кл зарядга эга. $R = 0$; $R = R_{ш}$; $R = 2R_{ш}$; $R = 4R_{ш}$ масофаларда (Шар марказидан) майдон кучланганлиги ва потенциал ҳисоблансин. Олинган маълумотлар асосида $\epsilon(R)$ ва $\phi(R)$ боғланишлар қурилсин.



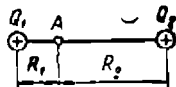
8-2-§ ГА МАСАЛАЛАР

136. Иккита нуқтавий мусбат заряд Q_1 ва Q_2 ҳавода бир-биридан 10 мм масофада турибди. Уларнинг ўзаро таъсир кучи $F = 0,72 \cdot 10^{-3}$ Н.

Агар $Q_2 = 2Q_1$ бўлса, зарядлар аниқлансин ва уларнинг ҳар бирига таъсир этувчи куч векторлари ясалсин.

137. Олдинги масала шартларида ҳар бир заряднинг (алоҳида-алоҳида) бошқа заряд жойлашган нуқтадаги майдон кучланганлигининг қиймати ва йўналиши аниқлансин.

138. Агар зарядлар орасидаги масофа 40 см га тенг ва улар минерал мойда ($\epsilon = 2,2$) жойлашган бўлса, $Q_1 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Кл ва $Q_2 = 10^{-6}$ Кл нуқтавий зарядлар орасининг марказида жойлашган нуқтада майдон кучланганлиги ва потенциал ҳисоблансин.



139. A нуқтадаги икки Q_1 ва Q_2 нуқтавий зарядларнинг майдон кучланганлиги нолга тенг

8-12- расм. 134- масалага.

8-13- расм. 139- масалага.

(8-13-расм). Агар $R_2/R_1 = 3$ бўлса, Q_2/Q_1 нисбат аниқлансин.

140. Учта нуқтавий заряд $Q_1 = Q_3 = -10^{-7}$ Кл ва $Q_2 = +5 \cdot 10^{-8}$ Кл вакуумда ва бир тўғри чизиқда жойлашган. Q_2 заряд ўртада Q_1 ва Q_3 зарядлардан баробар 0,1 м масофада жойлашган. Ҳар бир зарядга таъсир этувчи куч аниқлансин.

141. Олдинги масала шартларида зарядларни боғловчи чизиққа перпендикуляр булган чизиқдаги нуқтада турган (агар перпендикуляр чизиқ Q_2 заряди жойлашган нуқтадан чиқарилган бўлса), Q_2 заряддан 0,1 м масофада майдон кучланганлиги график йўл билан аниқлансин.

142. Радиуслари 15 ва 10 см бўлган иккита металл шар ҳавода бир-бирдан радиусларидан анча катта бўлган масофада жойлашган ва бир хил мусбат зарядга эга. Агар шарлар орасидаги кучланиш 5,1 кВ ни ташкил қилса, шарнинг заряди ҳисоблансин. Ҳар бир шарнинг сиртида электр майдони хусусий зарядлар билан ҳосил қилинади, деб қабул қилинсин.

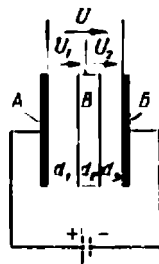
8-3-§ ГА МАСАЛАЛАР

143. Ясси металл пластинкалар орасидаги кучланиш 240 В; улар орасидаги масофа 3 мм, юзи 12 см². Агар пластинкалар вакуумда жойлашган бўлса, ҳар бир пластинкадаги заряд ҳисоблансин.

144. Ясси металл пластинкаларнинг ҳар бирида $15,3 \cdot 10^{-9}$ Кл заряд ҳосил қилиш учун уларга қандай кучланиш бериш керак? Пластинкалар орасидаги фазо 2 мм қалинликдаги слюда ($\epsilon = 6$) билан тўлдирилган. Ҳар бир пластинканинг юзи 18 см².

145. Ясси металл пластинкалар орасидаги фазо электр мустаҳкамлиги $\epsilon_{\text{мус}} = 15 \cdot 10^{-3}$ В/мм бўлган парафинланган қоғоз тўлдирилган. Пластинкалар орасидаги масофа 0,15 мм. Мустаҳкамлик запаси 2,25 бўлганда пластинкаларга берилиши мумкин бўлган максимал (йўл қўпилади) кучланиш ҳисоблансин.

146. Ясси металл пластинкаларга $U = 1000$ В кучланиш берилган (8-14-расм). Пластинкалар орасида тўғри тўртбурчаклик контур $АВВГА$ бўйича $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл заряд ҳаракатланади. Агар пластинкалар орасидаги масофа 2 мм бўлса, зарядга таъсир этувчи куч ва контурнинг ҳар бир тўғри чизиқли тўртта қисмида унинг ҳаракатланишидаги иш, шунингдек, бутун контур бўйича йиғинди иш ҳисоблансин.



8-14- расм. 146- масалага.

8-15- расм. 147- масалага.

147. Ясси ўтказгич пластинкалар орасидаги фазога металл лист B киритилган (8-15-расм), Агар $d_1 = 2$ мм, $d_2 = d_3 = 1$ мм ва A ва B пластинкалар орасидаги кучланиш 240 В га тенг бўлса, майдон кучланганлиги, A ва B потенциаллар (B пластинкасининг потенциалини нолга тенг деб қабул қилиб), шунингдек, U_1 ва U_2 кучланишлар ҳисоблансин.

148. Пластинкалар зарядлангандан сўнг (8-7-расм) энергия манбан узиб қўйилган ва пластинкалар орасидаги масофа $0,5$ дан 1 мм гача ўзгартирилган. Агар конденсатор майдонининг кучланганлиги 320 В/мм бўлса, масофа ўзгартирилгунча ва ўзгартирилгандан сўнг пластинкалар орасидаги кучланиш ҳисоблансин.

8-5. 8-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

125. $1,33 \cdot 10^{-8}$ Кл.

126. 80 Q.

127.

R , м	0,5	1,0	1,5	2,0
E , кВ/м	12,0	3,0	1,35	0,75
φ , кВ	6,0	3,0	2,0	1,5

128. Кучланганлик векторининг оқими $37,68$ кВ/м.

129. $\mathcal{E} = 256$ кВ/м; $F = 0,128$ Н; \mathcal{E} ва F Q зарядига йўналган.

130. Фақат кучнинг йўналишини ўзгаради.

131. $0,1$ м; $0,5$ м; $0,67$ м; $1,0$ м; $2,0$ м.

132. Ҳамма потенциаллар 9 В га камаяди.

133. $5 \cdot 10^{-9}$ Кл.

134. $AB : BB - R_A : R_B$

135.

R , м	0	0,425	0,85	1,70
E , кВ/м	0	500	125	31,25
φ , кВ	212,5	212,5	106,25	53,125

136. $Q_1 = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл.

137. 60 В/мм; 180 В/мм.

138. $0,5 \cdot 10^5$ В/м; $3 \cdot 10^4$ В.

139. $Q_2 : Q_1 = 9$.

140. $22,5 \cdot 10^{-4}$ Н; 0 ; $22,5 \cdot 10^{-4}$ Н.

146. Исталган жойда куч $F = 10^{-3}$ Н. AG ва BV қисмларда иш ишолга тенг, AB қисмда $-2 \cdot 10^{-6}$ Ж ва BG қисмда $-2 \cdot 10^{-6}$ Ж. Йиғинди иш нолга тенг.

147. $\mathcal{E} = 80 \cdot 10^3$ В/м; $\varphi_A = 160$ В; $\varphi_B = -80$ В; $U_1 = 160$ В; $U_2 = 80$ В.

148. 160 В; 320 В.

141. 18 кВ/м.

142. $1,7 \cdot 10^{-7}$ Кл.

143. $85 \cdot 10^{-11}$ Кл.

144. 320 В.

145. 1000 В.

ЭЛЕКТР СИҒИМИ

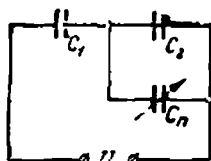
9-1. КОНДЕНСАТОРЛАР УЛАНИШНИНГ УМУМИЙ СИҒИМИНИ ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шarti

Ўзгарувчан сиғимли конденсатор $C_2 = 10 \div 500$ пФ (пикофарада, $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$) сиғимлари $C_1 = 675$ пФ ва $C_3 = 40$ пФ бўлган занжирга (9-1-расм) уланган. Шундай улашдаги умумий сиғимнинг ўзгариш чегаралари ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

Конденсаторларнинг кўриляётган уланишида (9-1-расм) фақат C_2 сиғим минимал $C_{2\text{мин}} = 10$ пФ қийматидан максимал $C_{2\text{макс}} = 500$ пФ қийматига ўзгаради.



9-1-расм. Конденсаторларни кетма-кет ва параллел уланиши.

Параллел уланган C_2 ва C_3 конденсаторларнинг умумий сиғими тегишлича

$$C_{\text{мин}} = C_2 + C_{3\text{мин}} = 40 + 10 = 50 \text{ пФ дан}$$

$$C_{\text{макс}} = C_2 + C_{3\text{макс}} = 40 + 500 = 540 \text{ пФ гача ўзгаради.}$$

Параллел уланган C_2 ва C_3 сиғимларни C_1 сиғим билан кетма-кет уланган битта C' сиғим билан алмаштириб, бундай уланишнинг умумий C сиғимини аниқлаймиз, бу сиғим

$$C_{\text{мин}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{мин}}'}{C_1 + C_{\text{мин}}'} = \frac{675 \cdot 50}{675 + 50} = 46,5 \text{ пФ дан}$$

$$C_{\text{макс}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{макс}}'}{C_1 + C_{\text{макс}}'} = \frac{675 \cdot 540}{675 + 540} = 300 \text{ пФ гача ўзгаради.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Қандай ҳолларда параллел ски кетма-кет уланган сиғимнинг таъсирини ҳисобга олмас-

лик мумкин? Катта сифимли конденсатор кичик сифимли конденсатор билан параллел уланса, кейингиси бундай ула-нишининг умумий сифимига сезиларли таъсир қилмайди. Конденсаторларни кетма-кет улашда катта сифимли кон-денсаторнинг нисбатан кичик сифимли конденсаторга таъсирини амалда ҳисобга олмаслик мумкин. Масалан, бизнинг ҳолда, тахминий ҳисоблаш учун C_2 нинг C_{\max} га ва C_1 нинг C_{\min} га таъсирини ҳисобга олмаслик мумкин.

Параллел уланган конденсаторларнинг умумий сифими кетма-кет улашдаги умумий қаршилик каби, ва аксинча, кетма-кет улашда умумий сифим параллел улашдаги уму-лий қаршилик каби аниқланишини таъкидлаб ўтамиз.

2. Электротехника аппаратларида қандай ҳолларда конденсаторларни параллел улаш қўлланилади? Биринчидан, катта сифимлар (юз ва минг-ларча микрофарада) ҳосил қилиш учун. Бундай ҳолларда жуда кўп параллел уланган конденсаторлардан батареялар тузишга тўғри келади (бу ерда катта сифимга эга бўлган электролитик конденсаторлар ишлатиш мумкин бўлмаган ҳоллар назарда тутилади). Иккинчидан, ростлаш йўли билан талаб қилинган сифим қийматини юқори аниқликда олиш учун. Масалан, $C = 1000$ пФ сифим олишни хоҳласак ва хатоси 5% ли конденса-торга эга бўлсак, $C_1 = 900$ пФ ўзгармас сифимли конденса-торни $C_2 = 50 \div 150$ пФ ўзгарувчан сифимли конденсатор билан параллел улаш лозим бўлади. Агар C сифим битта қийматга эга бўлса, C_2 конденсаторни ўзгармас сифимли конденсаторлардан танлаб олиш мумкин.

3. Конденсаторларни 9-1-расмдагидек улаш амалда қаерда қўлланилади? Конденсаторларни бундай улаш радиотехника ва электр ўлчаш аппаратларида, масалан, кўпинча сифимни берилган чегарада ростлаш талаб қилинганда, мавжуд ўзгарувчан сифимли (тайёр) конденса-тор бу талабни қондира олмаганда қўлланилади.

9-2. ЯССИ КОНДЕНСАТОР

Масаланинг шарти

Агар конденсаторнинг сифими $C = 3800$ пФ $= 3,8 \cdot 10^9$ ф; иш кучланиши $U = 600$ В ва мустаҳкамлик запаси $k = 2,5$ бўлса, парафинланган қоғозли ($\epsilon = 4,3$; $\epsilon_{\max} = 15 \cdot 10^{-6}$ В м) ясси конденсатор учун пластинкалар орасидаги масофа d ва уларнинг юзи S аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Пластинкалар орасидаги масофани аниқлаш. Бир жинсли электр майдони учун (8-3-§ га қаранг)

$$U = \mathcal{E} d$$

бўлишини назарда тутиб, қуйидагини оламиз:

$$d = \frac{U_{\text{ак}}}{\mathcal{E}_{\text{ак}}} = \frac{UR}{\mathcal{E}_{\text{ак}}} = \frac{600 \cdot 2,5}{15 \cdot 10^6} = 10^{-4} \text{ м} = 0,1 \text{ мм.}$$

Демак, ясси конденсатор пластинкалари орасидаги d масофа иш қўчланиши, конденсаторнинг мустаҳкамлик запаси ва фойдаланилган диэлектрикнинг хоссалари билан аниқланади.

2. Пластинкаларнинг юзини ҳисоблаш. Ясси конденсатор учун сифим формуласи:

$$C = \epsilon \epsilon_0 S' d \quad (9-1)$$

дан битта пластинканинг юзини аниқлаймиз:

$$S = \frac{Cd}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{3,8 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-4} \cdot 36 \pi}{4 \cdot 3 \cdot 10^{-9}} = 0,01 \text{ м}^2.$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Конденсаторлар, одатда, қандай мустаҳкамлик запаслари билан ишлайди? Амалда конденсаторлар, кўпинча, мустаҳкамлик запаси $k = 2 \div 3$ ва баъзи бир ҳолларда $k = 1,5 \div 2$ ёки $k = 3 - 10$ бўлганда ишлайди. Мустаҳкамлик запасини оширишга (зарур бўлмаганда) урinish керак эмас, чунки бу нарса конденсаторнинг қимматлашувига ва унинг ўлчамларининг катталашувига олиб келади.

2. Агар диэлектрик сифатида слюда ($\epsilon = 6,45$; $\mathcal{E}_{\text{ак}} = 75 \cdot 10^6$ В/м) олинса, берилган масаладаги конденсаторнинг ўлчамлари (d ва S) қандай ўзгаради? Масала шартида берилган сифимнинг иш қўчланиши ва мустаҳкамлик запасининг қийматларини сақлаб, янги конденсатор учун пластинкалар орасидаги масофани m марта камайтириш мумкин, бу ерда

$$m = \frac{\delta_{\text{як слюда}}}{\delta_{\text{як қоғоз}}} = \frac{75 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 10^{-6}} = 5.$$

Олдинги сифимни сақлаш учун пластинкаларнинг $S = Cd' \epsilon \epsilon_0$ юзини d/ϵ нисбат неча марта камайган бўлса, шунча марта, яъни 7,5 марта камайтириш керак.

3. Агар қоғоз $d_1 = 0,025 \text{ мм} = 0,025 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ҳаво оралиғини ҳосил қилиб, пластинкаларга зич ёпишиб турмаса, конденсаторнинг сифими ва мустаҳкамлик запаси қандай ўзгаради? Бу ҳолда икки қатламли диэлектрик конденсатор ҳосил бўлади. Қоғоз қатламининг сифими

$$C_k = \epsilon_k \epsilon_0 \frac{S}{d_k} = 4,3 \frac{10^{-9}}{36 \pi} \frac{0,01}{0,075 \cdot 10^{-3}} \approx 5 \cdot 10^{-9} \text{ ф};$$

ҳаво қатламининг сифими

$$C_x = \epsilon_0 \frac{S}{d_x} = \frac{10^{-9}}{36 \pi} \frac{0,01}{0,025 \cdot 10^{-3}} \approx 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ ф}.$$

Икки қатламли диэлектрик конденсаторни кетма-кет уланган иккита конденсатор деб қараш мумкин; унинг умумий сифими

$$C = \frac{C_k C_x}{C_k + C_x} = \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot 3,5 \cdot 10^{-9}}{(5 + 3,5) \cdot 10^{-9}} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ ф}.$$

Қоғоз қатламининг кучланиши U_k ва ҳаво қатламининг кучланиши U_x нинг C_k ва C_x сифимларга тесқари пропорционаллигини назарда тутиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$U_x = U_k \frac{C_k}{C_x} = U_k \frac{5,0}{3,5} = 1,43 U_k.$$

Бошқа тарафдан, кетма-кет улаш учун

$$U_k + U_x = U = 600 \text{ В}.$$

Икки теңламанни биргаликда ечиб, $U_k = 247 \text{ В}$, $U_x = 353 \text{ В}$ ни топамиз.

Ҳар бир қатламнинг электр майдони бир жинсли бўлгани учун кучланганликлар қуйидагича бўлади:

$$\epsilon_n = \frac{U_n}{d_n} = \frac{247}{0,075 \cdot 10^{-3}} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ В/м},$$

$$\epsilon_{\text{як}} = \frac{U_{\text{як}}}{d_{\text{як}}} = \frac{353}{0,025 \cdot 10^{-3}} = 14,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}.$$

Ҳаво оралиғи қатламининг майдон кучланганлиги қоғоздаги майдон кучланганлигидан анчагина катта бўлар экан. Шунинг учун мустаҳкамлик запаси k ҳаво қатламини аннқлайди, ҳаво қатлами учун

$$\epsilon_{\text{як}} = 30 \cdot 10^6 \text{ В/м}.$$

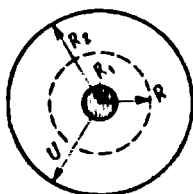
Берилган шартларда $k = 30 \cdot 10^6 / 14,5 \cdot 10^6 = 2$, яъни камайдн.

Демак, конденсаторлар тайёрланаётганида диэлектрикнинг пластинкаларга зич ёпишиб туришига эришиш керак, чунки ҳаво оралиғи конденсаторнинг мустаҳкамлик запасини кескин камайтириши мумкин.

9-3. ЦИЛИНДРИК КОНДЕНСАТОР

Масаланинг шarti

СРГ маркали бир симли, резина изоляцияли (9-2-расм) кабелнинг мис сими $R_1 = 2,25 \text{ мм} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ радиусга эга. Агар мустаҳкамлик запаси $k = 3$ бўлганда, сим билан қўрғошин қобиқ орасига $U = 10 \text{ кВ} = 10^4 \text{ В}$ кучланиш берилиши мумкин бўлса, резина изоляцияга кийгизилган қўрғошин қобиқнинг радиуси, шунингдек, кабелнинг 1 м узунлигига тўғри келадиган сизим аниқлансин. Резина изоляция учун $\epsilon = 4$ ва $\epsilon_{\text{як}} = 18 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ деб қабул қилинсин.



9-2-расм. Кабель тузилишининг схемаси.

Масаланинг ечилиши

1. Қўрғошин қобиқнинг радиусини ҳисоблаш. Кабелни цилиндрик конденсатор деб ҳисобласак, бу кабель учун унинг ўқидан R масофадаги бирор нуқтада майдон кучланганлиги

$$\epsilon_n = \frac{U}{R \ln(R_2/R_1)}. \quad (9-2)$$

(9-2) формуладан сим томирнинг сиртида ($R = R_1$) кучланганлик E_R энг катта қийматга эга эканлиги келиб чиқади, яъни

$$E_{\text{макс}} = \frac{U}{R_1 \ln(R_2/R_1)}$$

Олинган ифодадаги $E_{\text{макс}}$ ўрнига $E_{\text{макс}} = 18 \cdot 10^6$ В/м қийматни ва U кучланиш ўрнига тегиш кучланиши $U_2 = U \cdot k = 10^4 \cdot 3 = 30000$ В ни қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$18 \cdot 10^6 = \frac{30000}{R_1 \ln R_2/R_1},$$

бундан

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{30000}{18 \cdot 10^6 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}} = 0,74 \quad \text{ёки} \quad \frac{R_2}{R_1} = 2,1$$

ва

$$R_2 = 2,1 R_1 = 2,1 \cdot 2,25 = 4,72 \text{ мм.}$$

2. Кабелнинг сигимини ҳисоблаш. Кабель учун ёки цилиндрик конденсатор учун сигим

$$C = \frac{2\pi l \epsilon \epsilon_0}{\ln(R_2/R_1)} \quad (9-3)$$

$\ln \frac{R_2}{R_1} = 0,74$ эканлигини ҳисобга олиб, 1 м узунликдаги сигимни ҳосил қиламиз:

$$C_0 = \frac{2\pi \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^{-9}}{36\pi \cdot 0,74} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/м} = 3000 \text{ пФ/м.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Резина қобиқ қўрғошин қобиқ чегарасида қандай мустаҳкамлик запасига эга? Кучланганлик учун формулада $R = R_2$ деб қабул қилсак,

$$E_{R2} = \frac{U}{R_2 \ln(R_2/R_1)} = \frac{10000}{4,72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,74} = 2,9 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

Мустаҳкамлик запаси

$$k = E_{\text{МК}}/E_{R2} = 18/2,9 = 6,2.$$

2. Агар қоғоз изоляция

$$\epsilon = 2,5; \quad E_R = 14 \cdot 10^6 \text{ В/м}$$

ишлатилса, кабелнинг сифими ва мустаҳкамлик запаси қандай ўзгаради? Резина изоляцияни қоғоз билан алмаштириш конденсатор сифимини ўзгартиради, бу сифим диэлектрик сингдирувчанликка тескари пропорционалдир:

$$C'_o = C_o \frac{\epsilon_{\text{қоғоз}}}{\epsilon_{\text{резина}}} = 3000 \frac{2.5}{4.0} = 1870 \text{ пФ/м.}$$

Мис томир сиртида майдон кучланганлиги

$$\delta_{R1} = \epsilon_{\text{макс}} = \frac{U}{R_1 \ln(R_2/R_1)} = \frac{10000}{2.25 \cdot 10^{-3} \cdot 0.74} = 6 \cdot 10^9 \text{ В/м.}$$

Шундай қилиб, қоғоз изоляциянинг мустаҳкамлик запаси

$$k = \frac{\epsilon_{\text{йк}}}{\epsilon_{\text{макс}}} = \frac{14 \cdot 10^9}{6 \cdot 10^9} \approx 2.34.$$

3. Агар изоляцияни икки қатламли—олдин қалинлиги 1,15 мм резина қатлами ва сўнгра қоғоз (қўрғошинли қобиққа ёпиштириб) қилинса, кабелнинг сифими қандай ўзгаради? Резина қатламнинг ташқи радиуси

$$R' = R_1 + 1,15 = 2,25 + 1,15 = 3,4 \text{ мм}$$

ва

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \ln \frac{3,4}{2,25} = \ln 1,51 = 0,412.$$

Резина қатламнинг қалинлиги камайгани учун қатламнинг сифими

$$\ln R_2/R_1 > \ln R'/R_1$$

қанча катта бўлса, шунча марта ортади, яъни

$$C_p = C_o \frac{\ln(R'/R_1)}{\ln(R_2/R_1)} = 3000 \frac{0.74}{0.412} = 5400 \text{ пФ/м.}$$

Қоғоз қатлами учун шунга ўхшаш

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \ln \frac{4.72}{3.4} = \ln 1.39 = 0.329;$$

ва бу қатламнинг сифими

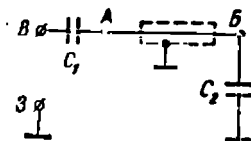
$$C_k = C_o \frac{\ln(R_2/R_1)}{\ln(R_2/R')} = 1870 \frac{0.74}{0.329} = 4200 \text{ пФ/м}$$

Иккала қатлам изоляциясининг сифими кетма-кет уланганлигини назарда тутиб, кабелнинг умумий сифимини топамиз:

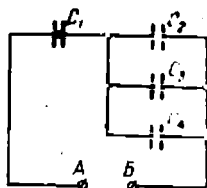
$$C = \frac{C_p \cdot C_k}{C_p + C_k} = \frac{5400 \cdot 4200}{5400 + 4200} = 2370 \text{ пФ/м.}$$

9-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

149. Сифими 0,1 мкФ ли конденсаторга бошқа конденсатор кетма-кет уланган. Уланишнинг умумий сифими 0,06 мкФ. Иккинчи конденсаторнинг сифими ҳисоблансин.



9-3- расм. 151- масалага.



9-4- расм. 152-масалага.

150. Сифимлари $C_1 = 900 \text{ пФ} \pm 10\%$ ва $C_2 = 200 \text{ пФ} \pm 5\%$ бўлган конденсаторлар параллел уланган. Сифимлардаги хатоликлар ҳисоби олиниб, уланишнинг умумий сифимининг максимал ва минимал қийматлари ҳисоблансин.

151. Асбобнинг В ва З кириш қисмалари (9-3-расм) мос ҳолда сифими $C = 800 \text{ пФ}$ конденсаторга ва асбобнинг металл корпусига уланган. Асбобнинг C_1 ва C_2 конденсаторлари АБ ўтказгич билан ўзаро уланган. АБ ўтказгич экранда жойлашган ва экран ҳам корпусга уланган. Агар АБ ўтказгичнинг экранга нисбатан сифими 150 пФ ва $C_3 = 50 \text{ пФ}$ бўлса, асбобнинг кириш сифими (В ва З қисмаларига нисбатан) ҳисоблансин.

152. Агар

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 1$$

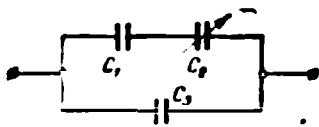
мкФ бўлса, конденсаторларнинг уланишнинг (9-4-расм) умумий сифими ҳисоблансин.

153. Агар $C_1 = 600 \text{ пФ}$, $C_2 = 26,4 \text{ пФ}$ бўлса, ўзароувчан сифим C_3 эса 30—600 пФ чегарасида ростланса, уланишнинг (9-5-расм) умумий сифимининг ўзгариш чегаралари аниқлансин.

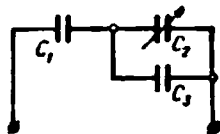
154. C_2 конденсаторда (9-6-расм) сифим 15—315 пФ чегарасида ўзгаради. C_1 ва C_3 сифимлар қанча бўлганда уланишнинг умумий сифими 43,7—175 пФ чегарасида ўзгаради?

155. Конденсаторлар уланишнинг (9-4-расм) А ва Б қисмаларига 20 В кучланиш берилган. Агар $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 0,5 \text{ мкФ}$; $C_3 = 1 \text{ мкФ}$ ва $C_4 = 1,5 \text{ мкФ}$ бўлса, конденсаторнинг зарядлари ва уларнинг кучланишлари ҳисоблансин.

156. Олдинги масалада олинган занжирнинг А ва Б қисмаларига манба улангандан кейин умумий занжирда кулометр кўрсатадиган заряд аниқлансин.

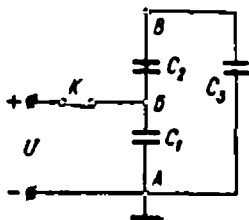


9-5- расм. 153- масалага.



9-6- расм. 154- масалага.

157. K калит ёпилгандан сўнг (9-7-расм) манба занжирга $4,4 \cdot 10^{-4}$ Кл заряд берган ва C_2 конденсатор $1,2$ кВ кучланишгача зарядланган.



9-7- расм. 157- масалага.

Агар $C_1 = 10^4$ пФ ва $2C_2 = 3C_3$ бўлса, A нуқтанинг потенциалини нолга тенг деб, B ва A нуқталарнинг потенциаллари, шунингдек, C_2 ва C_1 сифимлар топилсин.

158. Агар C_2 ва C_3 конденсаторларнинг изоляция қаршилликларининг нисбати $1:9$ га тенг бўлса, олдинги масаладаги шартларда занжирда потенциалларнинг тақсимланиши аниқлансин.

159. $C = 100 \div 500$ пФ бўлган ўзгарувчан сифимли конденсаторнинг сифими максимал бўлганда кучланиши 20 В лн манбадан зарядланган. Сўнгга конденсатор

манбадан узилган ва ҳаракатланувчи пластинани бурниб минимал сифим ўрнатилган. Узнб қўйилган конденсаторнинг кучланиши ҳамда сифими максимал ва минимал бўлганда электр майдон энергияси ҳисоблансин.

160. Бир хил U иш кучланишига мўлжалланган иккита конденсатор кетма-кет уланган. Агар $C_1 = 2C_2$ бўлса, уларнинг улаишига бериладиган иш кучланиши U процент ҳисобнда ҳисоблансин.

161. Ясси конденсаторнинг сифими 1450 пФ, иш кучланиши 600 В ва ҳар бир пластинканинг юзи 4 см². Агар диэлектрик сифатида слюда ($\epsilon = 6$; $\epsilon_{\text{як}} = 88 \cdot 10^6$ КВ/м) ишлатилса, пластинкалар орасидаги масса ва конденсаторнинг мустаҳкамлик запаси ҳисоблансин.

162. Агар слюда парафинланган қоғозга ($\epsilon = 4$; $\epsilon_{\text{як}} = 20 \cdot 10^6$ КВ/м) алмаштирилса, олдинги масаладаги конденсаторнинг сифими ва унинг иш кучланиши қандай ўзгаради?

163. Изоляцияси парафинланган қоғозли ($\epsilon = 4,7$) ва пластинкаларининг юзи $S = 60$ см² бир хил бўлган иккита ясси конденсатор кетма-кет уланган. Агар пластинкалар орасидаги массафалар $d_1 = 0,1$ мм ва $d_2 = 0,15$ мм бўлса, улаишининг умумий сифими топилсин.

164. Пластинкаларининг юзлари S_1 ва S_2 , пластинкаларининг орасидаги масса d_1 ва d_2 бўлган бир хил диэлектрикли иккита кетма-кет уланган ясси конденсаторнинг умумий сифими учун ифода тузилсин.

165. Пластинкаларининг юзлари бир хил бўлган иккита конденсатор мос ҳолда ϵ_1 ва ϵ_2 диэлектрик сингдирувачанликка ва пластинкалар орасида d_1 ва d_2 массафага эга.

Агар $\epsilon_1/\epsilon_2 = 2$ ва $d_1/d_2 = 0,25$ бўлса, конденсаторлар сифимларининг нисбати аниқлансин.

166. Агар ички цилиндрининг ташқи диаметри 40 мм ва ташқи цилиндрининг ички диаметри 60 мм бўлса, ҳаво қатлами билан ажратилган, узунлиги 100 см бўлган иккита коаксиал цилиндрининг сифими ҳисоблансин.

167. Кабелнинг диаметри 16 мм бўлган мис томирини 25 кВ кучланишга изоляциялаш керак. Томирга ўраладиган қоғоз изоляциянинг ($\epsilon = 4$, $\delta_{ак} = 18$ кВ/(м) қалинлиги топилсин.

168. Икки радиуси $R_1 = 6$ мм ва ташқи радиуси $R_2 = 9$ мм ли цилиндрлик конденсатор диэлектрик сингдирувачликларни $\epsilon_1 = 4$ ва $\epsilon_2 = 5$ бўлган икки қатламли диэлектрикка эга. Икки қатлам чегарасининг радиуси $R = 7$ мм. Агар конденсаторларга $U = 18,5$ кВ кучланиш берилган бўлса, ҳар бир қатлам изоляциясида майдоннинг максимал кучланганлиги ҳисоблансин.

169. Кўрсатирилган бир симли кабелнинг томир ва қобини резина изоляция билан ажратилган. Кабелга $U = 10$ кВ кучланиш берилган, симнинг кесими 16 мм². Резина изоляциянинг қалинлиги қандай булганда унда электр майдонинишг кучлапганлиги $6 \cdot 10^4$ В/м дан ошмайди?

9-5. 9- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР.

149. 0,15 мкФ.

150. 1200 пФ; 1000 пФ.

151. 160 пФ.

152. 0,75 мкФ.

153. 55—326 пФ.

154. $C_1 = 350$ пФ, $C_2 = 35$ пФ.

155. $Q_1 = 24 \cdot 10^{-8}$ Кл; $Q_2 = 24$ мкКл; $Q_3 = 4$ мкКл; $Q_4 = 8$ мкКл; $Q_5 = 12$ мкКл; $U_1 = 12$ В; $U_2 = U_3 = U_4 = 8$ В.

156. $24 \cdot 10^{-6}$ Кл.

157. $\Phi_E = 2$ кВ; $\Phi_B = 1,2$ кВ; $C_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ пФ; $C_2 = 2 \cdot 10^4$ пФ.

158. $\Phi_B = 2$ кВ; $\Phi_E = 1,8$ кВ.

159. 100 В; 10^{-7} Ж; $5 \cdot 10^{-7}$ Ж.

160. 150 %.

161. 0,015 мм; 2,2.

162. Сигим 1,5 марта, иш кучланиши эса 4,4 марта камаяди.

163. 1000 пФ.

164.

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S_1 S_2}{S_1 d_1 + d_2 S_2}$$

165. $C_1/C_2 = 8$

166. 139 пФ.

167. 1,52 мм.

168. $8,9 \cdot 10^4$ В/м ва $6 \cdot 10^4$ В/м.

169. 2,5 мм га яқин.

Ў Н И Н Ч И Б О Б

ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ТАРМОҚЛАНМАГАН ЗАНЖИРИ

10-1. СИНУСОИДАЛ КАТТАЛИКЛАРНИНГ ТАСВИРЛАНИШИ, ВЕКТОРЛАР ДИАГРАММАСИ ВА ТЎЛҚИНСИМОН ДИАГРАММАЛАР

Масаланинг шарти

Иккита кетма-кет уланган 50 Гц частотали синусоидал ток генераторларида фазаси бўйича $\Psi_{12} = 60^\circ$ бурчакка силжи-

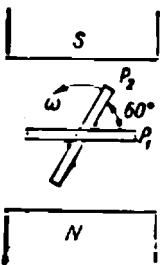
ган, лекин максимал қийматлари бир хил $E_{1m} = E_{2m} = 160$ В бўлган э. ю. к. ҳосил қилинади.

Генераторларнинг e_1 ва e_2 э. ю. к. лари ҳамда йнғинди э. ю. к. нинг тўлқинсимон ва вектор диаграммалари қурилсин. E_1 , E_2 ва E э. ю. к. ларнинг эффектив қийматлари ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Талаб қилинаётган э. ю. к. ларнинг олиниши. 7-2-§ да кўрсатилганидек, бир жинсли магнит майдонида ω бурчак тезлик билан айланаётган тўғри тўртбурчаклик рамкада вақтнинг ҳар бир пайтида $e = E_m \sin \omega t$ э. ю. к. ҳосил бўлади, бу ерда E_m — максимал (амплитуда) қиймати, e — оний қиймати.

Агар битта рамкани фазода 60° бурчакка силжиган ва биқр боғланган иккита тўғри тўртбурчаклик P_1 ва P_2 (10-1-рasm) рамкалар билан алмаштирилса, рамкаларда ҳосил бўладиган э. ю. к. ларнинг (мос ҳолда e_1 ва e_2) ноль, максимал ва оралиқ ҳамма қийматлар фазаси бўйича 60° бурчакка силжиган ҳолда ўтади.



10-1-рasm. Фазалари бўйича 60° бурчакка силжиган э. ю. к. ларни олиш.

Рамкалар 10-1-рasmда кўрсатилган вазиятидан айлана бошлайди деб қабул қилиб, рамкаларда э. ю. к. ларнинг $e_1 = E_{1m} \sin \omega t$ ва $e_2 = E_{2m} \sin (\omega t + 60^\circ)$ оний қийматларини оламиз.

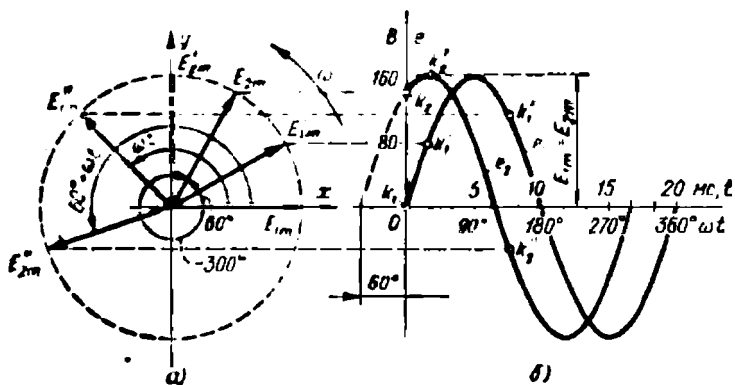
Ҳавола қилинаётган масалада кўрилатган рамкалар, генератор бўлиб ишлаши мумкин.

2. Тўлқинсимон диаграммани ясаш. Синусоидал катталиқлар тўлқинсимон диаграммада (10-2-рasm, б) графиклар билан тасвирланади; уларни ясаш учун синусоида қандай бир хил қиймат билан аниқланишини билиб олиш керак.

Э. ю. к. нинг оний қиймати ифодасидан синусоида амплитуда бошланғич фаза ва қуйидаги частота билан аниқланишини кўрамиз:

$$e_1 = E_{1m} \sin \omega t = 160 \sin 2\pi \cdot 50t \text{ В;}$$

$$e_2 = E_{2m} \sin (\omega t + 60^\circ) = 160 \sin (2\pi 50t + 60^\circ) \text{ В,}$$



10-2- расм. Э.ю.к. нинг вектор (а) ва тўлқин (б) диаграммалари.

Ҳақиқатан ҳам, амплитуда, бошланғич фаза ва частотани билиб, синусоидал ўзгарадиган катталикини ёзиш ва исталган вақт пайтида унинг қийматини топиш мумкин. Масалан, бошланғич вақт пайтида ($t = 0$ ва $\omega t = 0$);

$$e_1 = 160 \sin 0 = 0;$$

$$e_2 = 160 \sin 60^\circ = 139 \text{ В.}$$

яъни e_1 э. ю. к. нинг графиги координата бошидан ўтади, e_2 э. ю. к. нинг графиги эса 139 В дан бошланади (10-2-расм, б даги k_1 ва k_2 нукталар).

Э. ю. к. лар биринчи марта мусбат максимал қийматларига эришадиган вақтнинг пайти t ни (ёки ωt) топамиз. e_1 ва e_2 э. ю. к. лари ифодаларидан:

$\sin \omega t = 1$ ёки $\omega t = 90^\circ = \pi/2$ бўлганда $e_1 = E_{1m} = 160 \text{ В}$;

$$t = \frac{\pi/2}{\omega} = \frac{\pi}{2 \cdot 2\pi f} = \frac{1}{4 \cdot 50} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 5 \text{ мс};$$

$\sin(\omega t + 60^\circ) = 1$ бўлганда $e_2 = E_{2m} = 160 \text{ В}$

ёки $\omega t + 60^\circ = 90^\circ$, $\omega t = 30^\circ = \pi/6$;

$$t = \frac{\pi}{6\omega} = \frac{5}{3} \cdot 10^{-3} \text{ с} = \frac{5}{3} \text{ мс.}$$

Навбатдаги мусбат максимал қийматлар даврлари бутун сонга тенг бўлган вақт оралиқлари $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 20 \text{ мс}$ да олинади. Масалан, э. ю. к. e_1 нинг навбатдаги мусбат максимуми

$t = 5 + 20 = 25$ мс ёки $\omega t = \pi/2 - 2\pi = 90^\circ - 360^\circ = 450^\circ$ да бўлади.

Э. ю. к нинг манфий максимумлари мусбат максимумларидан кейин ярим давр $\frac{T}{2} = 10$ мс га тенг вақт оралиғида келади. Масалан, e_2 э. ю. к. нинг биринчи манфий максимуми $t = \frac{5}{3} + 10$ мс вақт пайтида ёки $\omega t = \pi/6 + \pi = 30^\circ - 180^\circ = 210^\circ$ да олинади.

e_2 э. ю. к. учун яна у биринчи марта нолга тенг бўладиган вақт пайтини топамиз, $e_2 = 0$. Бу $\sin(\omega t - 60^\circ) = 0$ бўлганда, яъни $\omega t + 60^\circ = 180^\circ$ ёки $\omega t = 120^\circ = 2\pi/3$; $t \approx 6,7$ мс да бўлади.

Агар $(\omega t - 60^\circ) = 0$ деб фараз қилсак, $\omega t = -60^\circ = -\frac{\pi}{3}$ ни оламиз. Бу манфий вақт пайти $t = -10/3$ мс га, яъни рамка айлана бошланишигача танланган вақт пайтига мос келади.

Ҳар бир синусоида учун бир қатор оний қийматларни ҳисоблаб, e_1 ва e_2 э. ю. к. ларнинг 10-2-расм, б да кўрсатилган графикларини яшаш мумкин.

3. Вектор диаграммани қуриш. $E_{1м}$ ва $E_{2м}$ э. ю. к. амплитудаларининг векторлари (10-2-расм, а) уларнинг y ўқига проекциялари вақтнинг бошланғич ($t = 0$) пайтида e_1 , e_2 э. ю. к. графикларининг ординаталарига шу вақт (10-2-расм, б) пайтида тенг бўладиган қилиб кўрилади. Ҳақиқатан ҳам, $t = 0$ пайт учун $E_{2м}$ векторнинг y ўқига проекцияси $E_{2м} \sin 60^\circ$ га, $E_{1м}$ векторнинг проекцияси эса нолга тенг.

Бироқ, вектор диаграммадан фақат бошланғич оний қийматнигина эмас, балки e_1 ва e_2 э. ю. к. ларнинг ҳамма кейинги оний қийматларини ҳам олиш мумкин.

$E_{1м}$ ва $E_{2м}$ векторларни соат стрелкати йўналишида тескари томонга, масалан, 30° бурчакка бурамиз (10-2-расм, а да $E_{1м}$ ва $E_{2м}$ векторлар пунктир билан кўрсатилган). Янги вазиятда биринчи векторнинг y ўқига проекцияси ёки $E_{1м} \sin 30^\circ = 160 \cdot 0,5 = 80$ В k_1 нуқтанинг ординатасига тенг (10-2-расм, б), иккинчи векторнинг проекцияси $E_{2м} = \sin 90^\circ = E_{2м} = 160$ В k_2 нуқтанинг ординатасига тенг, яъни бу проекциялар $\omega t = 30^\circ$ бўлганда э. ю. к. ларнинг ординаталарига мос келади. Э. ю. к. векторларини буришни давом эттириб, y ўқида e_1 ва e_2 э. ю. к. лар графиги кейинги нуқталарининг ординаталарига тенг бўлган проекцияларни оламиз.

E_{1m} ва E_{2m} векторларини вақтинг бошланғич пайти $t = 0$ дан, соат стрелкаси ҳаракатига қарши йўналишда ω бурчак тезлик билан айлантира бошлаймиз. Унда вақтнинг истатган пайти t да, уларнинг (E'_{1m} ва E''_{1m}) вазияти E_{1m} учун ωt бурчак билан ва E_{2m} вектори учун $60^\circ + \omega t$ бурчак билан аниқланади. 10-2-расм, а дан бу пайтда векторларнинг y ўқида проекциялари $E_{1m} \sin \omega t$ ва $E_{2m} \sin \omega t + 60^\circ e_1$ ва e_2 э. ю. к. лари графикларнинг мос ордипаталарига (10-2-расм, б да k'_1 ва k'_2 нуқталарга) тенглиги келиб чиқади.

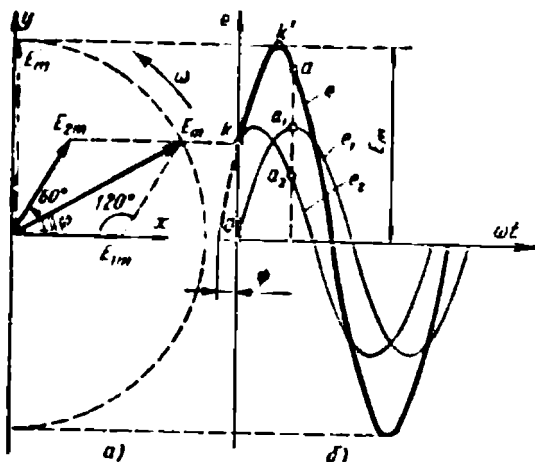
Демак, E_{1m} ва E_{2m} векторларни ω бурчак тезлик билан соат стрелкаси ҳаракати йўналишига тескари томонга буриб, вақтнинг ҳар бир пайтида y ўқида e_1 ва e_2 э. ю. к. ларнинг оний қийматларига тенг булган проекцияларини олиш мумкин.

4. Генераторларнинг йиғинди э. ю. к. ларининг графиги ва векторини ясаш. Кетма-кет уланган ўзгармас ток генераторларининг иш режимлари ҳақидаги масала анча соддадир. Шунинг учун, дастлаб, ўзгарувчан ток занжирлари учун кетма-кет улашнинг илгари ўрганилган қонунлари қўлланилиши мумкинлигини аниқлаймиз. Буни катталикларнинг фақат оний қийматлари кўрилаётгандагина қилиш мумкин. Ҳақиқатан ҳам, вақтнинг ҳар бир пайтида йиғинди э. ю. к. ҳар бир генератор э. ю. к. ларининг алгебраик йиғиндисига тенг. Бу e_1 ва e_2 э. ю. к. ларининг графикларидаги мос нуқталарнинг ординаталарини қўшиб (10-2-расм, б дан 10-3-расм, б га кўчирилган), йиғинди э. ю. к. $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$ (10-3-расм, б), графигини қуриш ҳуқуқини беради. Масалан, а нуқтанинг ординатаси (10-3-расм, б) вақтнинг айнан бир пайти t ёки ωt учун e_1 ва e_2 э. ю. к. графикларидаги a_1 ва a_2 нуқталар ординаталарининг йиғиндисига тенг.

Олинган e э. ю. к. графигига E_{1m} ва E_{2m} векторларни геометрик қўшиб ясалган E_m вектор мос келади (10-3-расм, а). e э. ю. к. графигининг ва E_m векторнинг мос келиши, масалан, e э. ю. к. нинг бошланғич (k нуқта) ва максимал (k' нуқта) қийматларининг айланувчи E_m векторнинг y ўқидаги проекцияларига мос келиши билан тасдиқланади.

Демак, алгебраик қўшиладиган оний қийматлардан фаркли ўлароқ, максимал қийматларнинг векторлари геометрик қўшилади.

5. Э. ю. к. нинг эффектив қийматларини



10-3-расм. Ик-
кита э.ю.к. ни
қўшни.

ҳисоблаш. Синусоидал ўзгарадиган катталикларнинг эффектив қийматлари максимал (амплитуда) қийматларидан $\sqrt{2}$ марта кичикдир, шунинг учун

$$E_1 = E_2 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot 160 = 113 \text{ В.}$$

Ингинди э. ю. к. нинг эффектив қийматини аниқлаш учун, дастлаб унинг максимал қиймати E_m ни ҳособлаймиз. Буни қандай ҳисоблаш керак?

Умумий ҳолда қийшиқ бурчакли учбурчакликлардан бири учун (10-3-расм, а) косинуслар теоремасидан фойдаланиш мумкин. Қўрилаётган масалада аниқланаётган амплитуда E_m тенг томонли учбурчакликнинг 120° ли бурчаги каршисидаги томонига теиг ва шунинг учун $E_m = \sqrt{3} \cdot E_{1m} = \sqrt{3} \cdot 160 = 277 \text{ В}$, $E = 0,707 E_m = 0,707 \cdot 277 = 196 \text{ В}$.

Вектор диаграммаларни амплитудалар учун эмас, балки эффектив қийматлар учун қуриш қабул килинган ва бу шарт келгусида сақланиб қолади. Ечилаётган масаланинг векторлар диаграммасида (10-3-расм, а), улар эффектив қийматларни ифодалашини учун, ҳамма векторлар масштабини $\sqrt{2}$ марта ўзгартриш кифоядир.

Масалага қўшимча саволлар

1. Рамкалар дастлабки вазиятининг (10-1-расм) ўзгариши занжирнинг режимига қандай

таъсир этади? $P_1 - P_2$ рамкаларни мусбат йўналишида (соат стрелкаси ҳаракати йўналишининг тескарисига) масалан, чорак айланага бурдик, деб фараз қиламиз ва уларнинг янги вазияти айлананинг бошланиш пайтига мос келади, деб қабул қиламиз. Бу ҳолда э. ю. к. ларнинг бошланғич фазалари 90° га катталашади ва оний қийматларни қуйидагича ёзиш керак булади:

$$e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + 90^\circ);$$

$$e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + 150^\circ).$$

Кўрсатилган ўзгартиришлар вектор диаграммани (10-3-расм, а) соат стрелкаси ҳаракати йўналишига тескари йўналишида 90° буришига ва тўлқинсимон диаграммада координаталар бошини $t=0$ пайтда e_1 ва e_2 э. ю. к. лари $E_{1m} \sin 90^\circ = E_{1m}$ ва $E_{2m} \sin 150^\circ$ га тенг бўладиган қилиб суришга олиб келади.

Синусоидал катталиклар орасидаги фаза силжиши (бизнинг ҳолда 60°), шунингдек максимал ва эффектив қийматлари олдингидек қолади.

2. Нима учун айланувчи векторлар диаграммада уларнинг бошланғич вазиятларида тасвирланади? Диаграммалар (10-2, 10-3-расмлар) частотаси бир хил $f = 50$ Гц бўлган синусоидал катталиклар учун қурилганлиги сабабли, бир хил бурчак частота $\omega = 2\pi f$ (314 рад/с) билан айланадиган векторлар орасида фазаларнинг силжишлари ўзгармас сақланиб қолади ва диаграммани инсталланган вақт пайти учун чизиш мумкин. Бироқ, векторларни уларнинг бошланғич вазиятларида жойлаштириб, вектор диаграммада, агар зарур бўлса, фақат эффектив қийматларини ёки амплитуда қийматларини ва фаза силжишларининггина эмас, балки бошланғич фазаларни ҳам белгилаш мумкин.

3. Айнан бир бошланғич фазани ҳам мусбат, ҳам манфий бурчак билан ифодалаш мумкинми? Мусбат бурчаклар абсцисса ўқидан соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналишида, манфийлари эса унинг ҳаракати йўналишида ҳисобланади. Шунинг учун, масалан, 60° бурчакни— 300° га тенг деб ҳисоблаш мумкин (10-2-расм, а).

4. Йиғинди э. ю. к. нинг оний қиймати $e = E_m \sin(\omega t - \Psi)$ (10-3-расм) қандай ёзилади? Масалада э. ю. к. нинг максимал $E = 277$ В қиймати ҳисобланган. E_m векторнинг бошланғич фазаси Ψ ни, агар у ромб диаго-

нали бўйича йўналганлигини ҳисобга олинса, осонгина аниқлаш мумкин ва шунинг учун $\Psi = 0,5 \cdot 60^\circ = 30^\circ$. Умумий ҳолда бу бурчакни қуйидаги формула бўйича аниқлаш мумкин:

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{E_{1m} \sin \Psi_1 + E_{2m} \sin \Psi_2}{E_{1m} \cos \Psi_1 + E_{2m} \cos \Psi_2}$$

бу ерда Ψ_1 ва Ψ_2 —қўшиляётган e_1 ва e_2 э. ю. к. ларнинг бошланғич фазалари.

Берилган масалада $\Psi_1 = 0$; $\Psi_2 = 60^\circ$, шунинг учун

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{160 \cdot 0 - 160 \cdot 0,866}{160 - 160 \cdot 0,5} = \frac{160 \cdot 0,866}{240} = 0,57.$$

Демак,

$$e = 277 \sin(\omega t + 30^\circ) = 277 \sin(314 + \pi \cdot 6) \text{ В.}$$

5. Ўзгарувчан ток генераторларини кетма-кет улаш қўлланиладими? Йиғинди э. ю. к. e (10-3-расм) айрим генераторлар э. ю. к. лари e_1 ва e_2 ларнинг фақат амплитудасигагина эмас, балки улар орасидаги фаза силжиш $\Psi_{1,2}$ га ҳам боғлиқдир. Фазалар мос тушганда ($\Psi_{1,2} = 0$) йиғинди э. ю. к. ларнинг амплитудаси

$$E_m = E_{1m} + E_{2m} = 160 + 160 = 320 \text{ В,}$$

қарама-қарши фазада уланганда

$$(\Psi_{1,2} = 180^\circ) E_m = E_{1m} - E_{2m} = 0$$

ни оламиз.

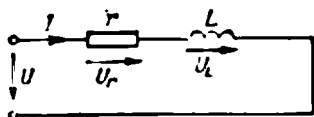
Шунинг учун ўзгарувчан ток генераторларини кетма-кет улашдан уларни фазалари жиҳатидан ҳам тўғри келтириш лозим бўлганлиги сабабли фойдаланилмайди.

10-2. АКТИВ ҚАРШИЛИКЛИ ВА ИНДУКТИВЛИКЛИ ЗАНЖИР

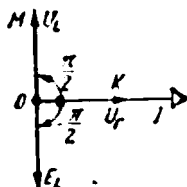
Масаланинг шarti

Актив қаршилиги $r = 30 \text{ Ом}$ ва индуктивлиги $L = 127 \text{ мГ} = 0,127 \text{ Г}$ бўлган занжир кучланиш $U = 220 \text{ В}$ ва частотаси $f = 50 \text{ Гц}$ бўлган ўзгарувчан (синусоидал) ток тармоғига кетма-кет уланган (10-4-расм).

Занжирдаги I ток, унинг қисмларидаги U_r ва U_L кучланишлар ҳамма (актив, реактив ва тўла) қувватлар ҳисоблансин, шунингдек, векторлар диаграммаси, қаршилиқлар кучланиши ва қувватлар учбурчаклиги қурилсин.



10-4- расм. r ва L параметрлари кетма-кет уланган занжир.



10-5- расм. r ва L параметрлари кетма-кет уланган занжир учун вектор диаграмма.

Масаланинг ечилиши

1. Актив қаршилик ва индуктивликнинг хоссалари. Берилган масаланинг шarti учун актив қаршиликнинг иккита хоссасини таъкидлаб ўтиш муҳим: биринчидан, r қаршилик ток частотасининг ўзгаришига боғлиқ эмас, ва иккинчидан, қаршиликдаги U_r кучланишнинг фаза-си I ток билан бир фазада бўлади (10-5- расм).

Шу хоссалар туфайли r қаршилик учун Ом қонуни кучланиш ва токнинг оний қийматлари учун ҳам $u_r = ri$, эффектив қийматлари $U_r = rI$ ёки максимал қийматлар учун ҳам $U_{r,m} = rI_m$ кўринишида ёзилиши мумкин.

Индуктивликнинг хоссалари бошқачадир.

Ўзгарувчан ок индуктивликда занжирда токнинг ўзгаришига халақит берадиган (қаршилик кўрсатадиган) e_L э. ю. к. ҳосил қилади (Ленц қонуни) ва индуктив қаршиликнинг вужудга келиш сабаби ана шундадир. Синусоидал ток учун индуктив қаршилик $x_L = \omega L = 2\pi fL$ эканлиги маълум.

Шундай қилиб, индуктив қаршилик x_L актив қаршиликдан фарқли улуроқ частота f га боғлиқ бўлади.

Индуктивлик актив қаршиликдан, шунингдек, ток билан кучланиш орасидаги фазалар айрмаси билан ҳам фарқ қилади. Маълумки, э. ю. к. E_L индуктивликда фаза бўйича I токдан $\pi/2$ бурчакка кейинда бўлади (10-5- расм). Бу э. ю. к. ни индуктивликдаги U_L кучланиш мувозанатлайди. Шунинг учун U_L кучланиш E_L э. ю. к. га тенг, лекин ишораси бўйича унга тескари, яъни U_L вектори $\vec{U}_L = -\vec{E}_L$ (10-5- расм).

Бундай хусусиятларнинг натижаси сифатида Ом қонуни-ни индуктивлик токи ва кучланишининг фақат эффектив ва

максимал қийматлари учун ёзиш мумкин, яъни $U_L = x_L I$ ёки $U_{Lm} = x_L I$ ва уни уларнинг оний қийматлари учун қўллаб бўлмайди ($U_L \neq x_L i$).

2. Кучланишлар учбурчаклиги. Занжир қисмаларидаги кучланиш $\vec{U} = \vec{U}_2 - U_L$ вектор билан аниқланади. Векторларнинг бу йиғиндисини учбурчаклик қондасига кўра қурамиз. Шу мақсадда \vec{U}_L векторни ўзига параллел қилиб O нуқтадан K нуқтага (10-6-расм) кўчираемиз, O ва M нуқталарни бирлаштирамиз. OKM учбурчаклигининг томонлари занжир қисмларидаги ва қисмаларидаги кучланишлар (U_r , U_L ва U) ни ифодалайди.

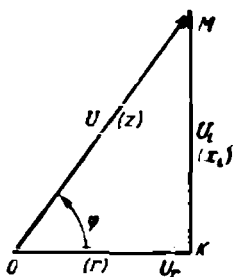
10-6-расмдаги кучланишлар учбурчаклигидан

$$U = \sqrt{U_r^2 + U_L^2} = \sqrt{(rI)^2 + (x_L I)^2} = I \sqrt{r^2 + x_L^2},$$

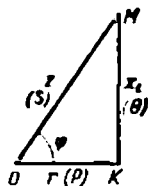
бундан занжирнинг тўла қаршилиги

$$z = U/I = \sqrt{r^2 + x_L^2}.$$

Олинган формула актив қаршилик ва индуктивлик кетма-кет уланган занжир учун Ом қонунини ифодалайди.



10-6-расм. 10-4-расмдаги занжир учун кучланишлар учбурчаги.



10-7-расм. 10-4-расмдаги занжир учун қаршиликлар ва қувватлар учбурчаги.

3. Қаршиликларни ҳисоблаш. Қаршиликлар учбурчаклиги. Актив қаршилик $r = 30$ Ом берилган. Индуктив қаршилик

$$x_L = \omega L = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,127 = 40 \text{ Ом}.$$

Тўла қаршилик

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом}.$$

Аниқланган қаршиликлар 10-7- расмда қурилган тўғри бурчакли учбурчакликнинг томонлари орасидаги нисбатлар билан боғланган. Бизнинг берилганларда қаршиликлар учбурчаклиги ОКМ (10-7- расм) томонлари қуйидаги нисбатга эга:

$$r : x_L : z = 30 : 40 : 50 = 3 : 4 : 5$$

4. Ток ва кучланишларни ҳисоблаш. Кўриб чиқиладиган занжирда ток

$$I = \frac{U}{z} = 220/50 = 4,4 \text{ А,}$$

унинг қисмларидаги кучланишлар эса

$$U_r = rI = 30 \cdot 4,4 = 132 \text{ В;}$$

$$U_L = x_L I = 40 \cdot 4,4 = 176 \text{ В.}$$

5. Ток ва кучланиш орасидаги фазалар айирмасини ҳисоблаш. Кучланишлар учбурчаклигидан (10-6- расм)

$$\operatorname{tg} \varphi = U_L / U_r = x_L I / rI$$

ёки

$$\cos \varphi = U_r / U = rI / zI = r/z.$$

Топилган ифодаларни 10-7- расмдаги қаршиликлар учбурчаклигидан ҳам олиш мумкин.

Бизнинг берилганларда $\cos \varphi = r/z = 0,6$ ва $\operatorname{tg} \varphi = x_L / r = 1,33$, бундан $\varphi = 53^\circ$.

Шундай қилиб, актив қаршилик r ва x_L индуктивликдан иборат тармоқланмаган занжирда занжир қисмаларидаги кучланиш фаза бўйича токдан x_L / r нисбатга боғлиқ бўлган φ бурчагига олдинда бўлади.

6. Қувватларни ҳисоблаш. Қувватлар учбурчаклиги. Ўртача ёки актив қувват

$$P = UI \cos \varphi = 220 \cdot 4,4 \cdot 0,6 = 581 \text{ Вт.}$$

$$U \cos \varphi = U_r$$

бўлгани учун (10-6- расм)

$$P = U \cos \varphi I = U_r I = IrI = I^2 r.$$

Ўзгарувчан токда актив қаршилик r билан боғланган актив қувватдан ташқари қуйидаги катталиклардан фойдаланилади: реактив қувват $Q = UI \sin \varphi = x_L I^2$ ва тўла қув-

ват $S = UI = IZ$, бизнинг ҳолда $Q = 220 \cdot 4,4 \cdot 0,8 = 774$ вар ва $S = 220 \cdot 4,4 = 986$ В·А (вольт-ампер).

Актив P , реактив Q ва тўла S қувват r , x_L ва z қаршиликларга пропорционал, бу эса қаршиликлар учбурчаклигини (10-7-расм) бошқа масштабда қувватлар учбурчаклигини (қавсда ифодаланган) сифатида қарашга имкон беради.

Масалага қўшимча саволлар

1. Агар токнинг бошланғич фазаси нолга тенг деб қабул қилинса, манба кучланиши ва занжирдаги ток оний қийматларининг тенгламалари қандай ёзилади? Талаб қилинаётган тенгламалар умумий ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$u = U_m \sin(\omega t - \psi_u);$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Бизнинг берилганларда

$$U_m = U \sqrt{2} = 220 \sqrt{2} \approx 310 \text{ В};$$

$$I_m = I \sqrt{2} = 4,4 \sqrt{2} \approx 6,2 \text{ А ва}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Бундан ташқари $\psi_i = 0$ берилган. Бунда фазалар айирмаси $\varphi = \psi_u - \psi_i = \psi_u$ ёки $\psi_u = \varphi = 53^\circ$.

Ўзил-кесил қуйидагиларни оламиз:

$$U = 310 \sin(314t + 53^\circ) \text{ В};$$

$$i = 6,2 \sin 314t \text{ А.}$$

2. 10-7-расмдаги қаршиликлар учбурчаклиги билан 10-6-расмда кучланишлар учбурчаклиги орасида ўзаро боғланиш борми? Бу саволга жавоб бериш учун 10-4-расмдаги занжирнинг ҳар бир кучланиши унинг мос қаршиликларига пропорционаллигини эсга оламиз, чунки $U_r = rI$, $U_L = x_L I$ ва $U = zI$. Шунинг учун ОКМ учбурчаклиги (10-6-расм) кучланишлар учун ҳам қаршиликлар учун ҳам ишлатилиши мумкин (10-6-расмда қаршиликлар қавсда ифодаланган). Маълумки, бунда кучланиш ва қаршиликларни ўлчаш учун учбурчаклик томонлари масштабини хар хил олиш талаб қилинади. Агар ОКМ учбурчаклик (10-6-расм) томонларининг узунлиги 25,32 ва 40 мм

танланса, у ҳолда кучланишлар масштаби $M_U = 132 \cdot 25 = 5,28$ В/мм ни ва қаршиликлар масштаби $M_Z = 30 \cdot 25 = 1,2$ Ом/мм ни олаемиз; булар бир-бирдан $\frac{M_U}{M_Z} = \frac{5,28}{1,2} = 4,4$, яъни 1 марта фарқ қилади.

3. Ток ва кучланишларнинг оний ва эффе-
тив қийматлари учун Кирхгоф қонунларини
қўллашда фарқ борми? Синусoidal токларнинг ва
кучланишларнинг оний қийматлари учун Кирхгоф қонунлари
ўзгармас токдаги каби қўлланилади, шунинг учун бизнинг
ҳолда $u = u_r - u_L$. Лекин ток ва кучланишларнинг эффе-
тив ёки максимал қийматлари учун Кирхгоф қонуни бўйича
тенгламаларни, геометрик қўшиш усулини қўллаб, вектор
шаклида тузиш керак, яъни 104-расмдаги занжир учун
 $U = \bar{U}_r + \bar{U}_L$ ёки $\bar{U}_m = \bar{U}_{rm} + \bar{U}_{Lm}$.

4. Актив қаршилиги йўқ индуктив ғалтак
ва индуктивлиги йўқ реостатлар бўладими?
I ток ўтганда илашган оқими ψ бўлган ҳар қандай ўтказув-
чан контур (ёки ғалтак) $L = \psi / i$ индуктивликка эга бўлади.

Кўп ўрамли (ўрамлари бир йўналишда ўралган) ғалтак-
нинг индуктивлиги L айниқса у магнит сингдирувчанлиги
катта бўлган магнит ўтказгичга эга бўлса, ҳалқа шаклида
буралган бир симшикага қараганда анча катта бўлади. Бун-
дай ғалтак учун индуктив қаршилик актив қаршиликка нис-
батан кўп марта (айниқса, катта частоталарда) катта бўла-
дики, баъзан, актив қаршиликни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.
Бунда ғалтак фақат индуктивлик билан характерланади.

Реостатлар уларнинг тузилишига боғлиқ индуктивликка
эга бўлади. Сувли ва симсиз реостатлар учун индуктивлик
 L жуда кичик, лекин кўп ўрамли ғалтаксимон реостатлар
учун сезиларли қийматга эга бўлади.

Демак, идеал ғалтаклар (x_L) ва реостатлар (r) бул-
майди. Лекин қурилмаларни мос ҳолда $x_L \gg r$ ва $r \gg x_L$
қилиб тайёрлаб, идеал шароитларга яқинлашиш мумкин.

5. Индуктивлик ғалтагининг актив қарши-
лиги қандай аниқланади? Ҳисоблашнинг усуллари-
дан бири ғалтакни ўзгармас ток занжирига улашдир. Бунда
частота $f = 0$ ва $x_L = 2\pi fL = 0$, ғалтақнинг тўла қарши-
лиги $z = r = \frac{U}{I}$, бу ерда U ва I — ғалтақнинг кучланиши
ва унинг токи. Ҳақиқатан эса, актив қаршилик частотанинг
ортиши билан сирт эффе-
ктив натижасида катталашади. Час-

тота 50 Гц бўлганда қаршиликнинг катталашуви кўндаланг кесим қатта бўлган симларда сезиларлидир.

6. Трансформаторни ўзгармас ток тармоғига улаш мумкинми? Трансформатор катта индуктив қаршиликка (номинал частотада) ва кичкина актив қаршиликка эга, шунинг учун ўзгарувчан токда унинг тўла қаршилиги, ўзгармас токдагига қараганда анчагина каттадир (олдинги саволга қаранг). Бу ҳолда, агар трансформатор (ёки индуктив қаршилик катта ва актив қаршилик кичик бўлган ҳар қандай бошқа қурилма) ўзгарувчан ток тармоғи ўрнига ўзгармас ток тармоғига уланса, унда занжирда номинал қийматидан анча катта бўлган ток ўта бошлайди, бунга эса йўл қўйиб бўлмайди.

10-3. РЕЗИСТОР ВА ИНДУКТИВЛИК ҒАЛТАГИДАН ТУЗИЛГАН ЗАНЖИР

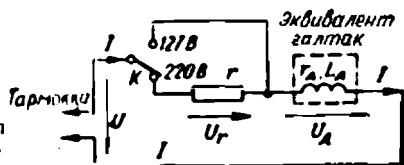
Масаланинг шarti

Электр бритванинг (Харьков типдаги) двигатели кучланиш 220 В ли ($f = 50$ Гц) ўзгарувчан ток тармоғига кетма-кет уланган r резистор («ўчирувчи») орқали қўшилади. Шу двигатель кучланиши $U = 127$ В ли ўзгарувчан ток тармоғига тўғридан-тўғри («ўчирувчи» резисторсиз) уланади. Бунда актив қувват $P_d = 8$ Вт, $\cos \varphi_d = 0,85$ ($\varphi_d = 31^\circ 50'$).

Электр бритванинг эквивалент электр схемаси тузилсин, схеманинг параметрлари, шунингдек, занжирдаги ток ва унинг қисмларидаги кучланишлар ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Эквивалент электр схема. Электр двигателнинг ишлаш принципи, олдин кўрсатилганидек (7- боб), магнит майдони ва токли симларнинг ўзаро таъсирига асосланган. Шунинг учун у эквивалент параметрлари r_R ва L_R бўлган



10-8-расм. Қиймати икки хил кучланиш билан таъминланадиган двигатель схемаси (тармоққа, эквивалент ғалтак).

актив-индуктив истеъмолчи ҳисобланади (10-8- расм). Масаланинг шартига биноан тармоқ кучланишни K калит (10-8- расм) билан 127 В (юқориги вазият) ва 220 В (пастки вазият) га қайта улаш мўлжалланган.

Қўриляётган занжирнинг олдингиси (10-2- §) билан ўхшашлиги борми? Агар K калит (10-8- расм) 127 В вазиятига қўйилган бўлса, унда занжир актив қаршилиги r_d ва индуктивлиги L_d бўлган галтақдан иборат бўлади, яъни бу олдингига ўхшаш, унинг параметрларини кўриб ўтилган усуллар билан ҳисоблан мумкин.

2. Двигателнинг эквивалент параметрларини ҳисоблаш. Двигатель 127 В ли тармоқдан таъминланган режимда унинг занжиридаги ток

$$I = \frac{P_d}{U \cos \varphi_d} = \frac{8}{127 \cdot 0,85} = 0,074 \text{ А} = 74 \text{ мА.}$$

Эквивалент актив қаршилиқ

$$r_d = \frac{P_d}{I^2} = \frac{8}{(0,074)^2} = 1460 \text{ Ом.}$$

Шунга ўхшаш занжир учун ясалган қаршилиқлар учбурчаклигидан (10-7- расм)

$$x_d = r_d \operatorname{tg} \varphi_d$$

ёки бизнинг ҳолда

$$x_d = r_d \operatorname{tg} 31^\circ 50' = 1460 \cdot 0,62 = 906 \text{ Ом.}$$

Двигателнинг тўла эквивалент қаршилиғи

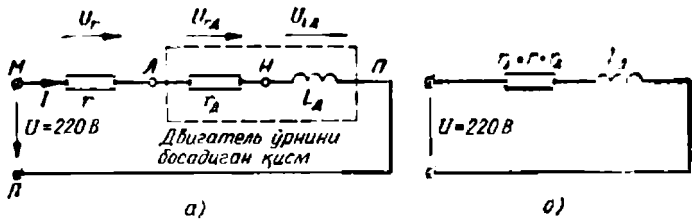
$$z_d = \sqrt{r_d^2 + x_d^2} = \frac{r_d}{\cos \varphi_d} = \frac{1460}{0,85} = 1720 \text{ Ом}$$

ёки у Ом қонуни бўйича

$$z_d = \frac{U'}{I} = \frac{127}{0,074} = 1720 \text{ Ом.}$$

3. Қўшимча қаршилиқ r ни ҳисоблаш. Бу қаршилиқ 220 В ли тармоқдан таъминланиш режимда параметрлари r_d ва L_d бўлган, кўриб чиқилаётган галтақ билан кетма-кет уланади (K калит 10-8- расмда кўрсатилган шизитда).

Бу янги занжирни унинг бир қисмида фақат актив қаршилиқ, бошқасида фақат индуктивлик бўлган (10-4- расмга ўхшаш) кўринишга келтириш мумкинми?



10-9- расм. 10-8- расмда кўрсатилган схемага эквивалент схемалар. а, б (двигатель ўрнидаги қисми).

Бунинг учун галтакнинг актив қаршилиги ва индуктивлигини алоҳида ажратиб кўрсатиш етарлидир (10-9- расм, а), сўнгра 10-4- расмдаги занжирга айнан ўхшаш эквивалент схема (10-9- расм) тузиш керак.

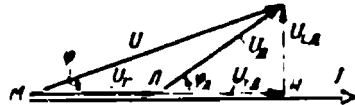
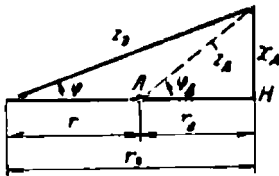
Параметрлари r_s ва L_d бўлган занжир (10-9- расм, б) учун 10-7- расмдаги учбурчакликка ўхшаш қаршилиқлар учбурчаклигини қурамиз (10-11- расм). МПН учбурчаклигида (10-1- расм) бизни номаълум r_s катталиги қизиқтиради, бироқ уни аниқлаш учун берилганлар етарли эмас, бизга фақат битта x_d катталигигина маълум ва шу сабабли учбурчакликнинг яна битта параметрини топишимиз керак.

Таъминлашнинг иккала режимида ҳам двигателнинг токи бир хил бўлишлигини ҳисобга олиб, занжирнинг янги эквивалент қаршилигини ҳисоблаймиз (10-9- расм):

$$z_s = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,074} = 2980 \text{ Ом.}$$

Сўнгра қаршилиқлар учбурчаклигидан қуйидагини топамиз: (10-10- расм)

$$r_s = \sqrt{z_s^2 - x_d^2} = \sqrt{2980^2 - 906^2} = 2840 \text{ Ом.}$$



10-10- расм. 10-8- расмдаги занжир учун қаршилиқлар учбурчаклиги.

10-11- расм. 10-8- расмдаги занжир учун векторлар диаграммаси.

Аниқлапаетган қўшимча қаршилик

$$r = r_2 - r_1 = 2840 - 1460 = 1380 \text{ Ом.}$$

MH (r_2) чизиқни r ва r_1 га пропорционал бўлган икки қисмга бўлиб, L нуқтани (10-10- расм) ҳамда занжирнинг LHP қисми учун, яъни двигателга эквивалент булган индуктив ғалтак учун (10-9- расм, а) LHP қаршиликлар уч-бурчаклигини оламиз.

4. Кучланишларни ҳисоблаш. Ўзгарувчан ток занжирларида кучланишларни ҳисоблашда векторлар диаграммасидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Уни 220 В ли тармоқдан таъминланганда дастлабки занжир (10-8- расм) учун қураамиз.

Аввалгидек (10-5- расм) токнинг бошланғич фазасини нолга тенг деб, I ток вектори (10-11- расм) билан бир фазада бўлган кучланиш векторини қураамиз (10-8- расм). U_D кучланишнинг вектори (10-8- расм) ток векторидан фаза бўйича маълум бўлган $\varphi_D = 31^\circ 50'$ бурчагига олдинда бўлади.

Занжир қисмаларидаги кучланиш (10-11- расмда U вектори) занжир қисмаларидаги U_r ва U_D кучланишларнинг геометрик (вектор) йиғиндисига тенг. 10-11- расмда пунктир билан кўрсатилган U_{rD} ва U_{LD} векторлар (шу масаладаги 3- қўшимча саволга қаранг) мос ҳолда ғалтакнинг актив ва индуктив қаршиликларидаги кучланишларни ифодалайди (10-9- расм, а).

10-11- расмда кўрсатилган кучланишларни ҳисоблаймиз:

$$U_r = I_r = 0,074 \cdot 1380 = 102 \text{ В.}$$

$$U_{rD} = I_r = 0,074 \cdot 1460 = 108 \text{ В;}$$

$$U_{LD} = Ix_D = 0,074 \cdot 906 = 67 \text{ В;}$$

$$U_D = Iz_D = 0,074 \cdot 1720 = 127 \text{ В.}$$

Ҳисоблашни текшириш учун векторлар диаграммасидан (10-11- расм) келиб чиқадиган баъзи муносабатлардан фойдаланиш мумкин:

$$U = \sqrt{(U_r + U_{rD})^2 + (U_{LD})^2} = \sqrt{(102 + 108)^2 + (67)^2} = 220 \text{ В,}$$

шунингдек,

$$U_D = \sqrt{U_{rD}^2 + U_{LD}^2} = \sqrt{108^2 + 67^2} = 127 \text{ В.}$$

1. Кетма-кет уланган занжирнинг вектор диаграммаси қуришни нима учун ток векторидан бошлаш керак? Тармоқланмаган занжирнинг ҳамма қисмларида ток бир хил қийматга эга, бу эса умумий ток I нинг векторини қуришга имкон беради ва унга нисбатан қисмлардаги кучланишлар уларнинг фаза силжишларига мос қилиб қурилади.

2. Қаршилик (10-10- расм) ва кучланиш (10-11- расм) диаграммаларидаги ҳамда занжир схемасидаги нуқталарнинг белгиланиши ўзаро қандан боғланган? 10-9- расм, *a* даги принципиал схемада ва кўриляётган диаграммаларда мос нуқталар бир хилда белгиланган (M, L, H, N), бу эса занжирнинг исталган қисмида ўзаро боғланишни ва унга мос қаршилик ҳамда кучланишни аниқлашни осонлаштиради. Масалан, занжирнинг MN қисмига (10-9- расм, *a*) 10-10- расмдаги r_c қаршилик ва 10-11- расмдаги $U_r + U_{r_d}$ кучланиш мос келади, занжирнинг LN қисмига эса z_d қаршилик ва U_d кучланиш мос келади.

3. U_{r_d} ва U_{L_d} кучланишлар (10-11- расм) айрим ҳолда мавжудми? Бу кучланишларнинг ҳар бири фақат эквивалент занжирда (10-9- расм, *a*) алоҳида мавжуд бўлиши мумкин, уларни масалан, мос қисмларда вольтметр билан ўлчаш мумкин. Бироқ дастлабки схемада (10-8- расм) двигателдаги кабн, уларни фақат ҳисоблаш мумкин, аммо ўлчаш мумкин эмас, чунки актив ва индуктив қаршиликлар ажратилмаган ва двигателнинг қисмларидаги йнғинди кучланишдангина иборатдир.

4. Двигателдаги кучланишни камайтириш учун актив қаршилик ўрнида қўшимча реактив қаршиликдан фойдаланиш мумкинми? Бизнинг шартларда двигателдаги кучланишни камайтириш учун қўшимча актив қаршиликдан фойдаланиш сарфланадиган энергиянинг тахминан икки марта ошишига олиб келади, чунки $r = 1380$ Ом қиймати бўйича $r_d = 1460$ Ом га яқин, энергия сарфи эса фақат занжирнинг актив қаршилигига боғлиқ.

Шу нуқтаи назардан ўзгарувчан токда кучланишни пасайтириш (бўлиш) учун реактив элементлар (келгусида 10-5- § да кўриладиган индуктив ғалтак ёки конденсаторлар) дан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир, бу элементлар, агар уларнинг актив қаршиликлари ҳисобга олинмаса, электр энергияси истеъмол қилмайди.

Лекин 50 Гц частотада реактив элементлардан фойдаланиш уларнинг ўлчамлари катта бўлганлиги сабабли қийинлашади. Ҳақиқатан ҳам, бизнинг ҳолда, масалан, $L = \frac{\mu L}{2\pi f}$ индуктивлик (қиймати бир неча генри) қуввати 8 Вт атрофида бўлган r қаршиликка нисбатан ўлчамлари, ва айниқса, массаси анча катта бўлар эди.

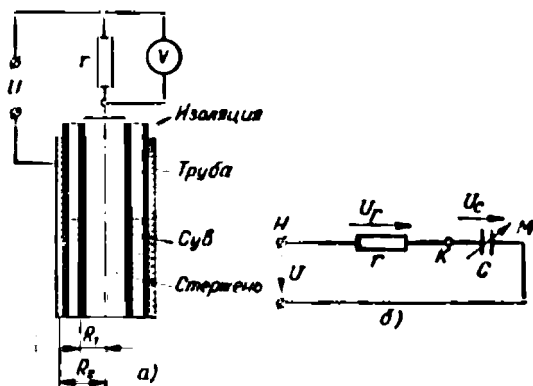
Бундан ташқари «Харьков» электробритваси ўзгарувчан ҳамда ўзгармас ток тармоғидан таъминланишга мўлжалланган, иккинчи ҳол учун эса фақат қўшимча актив қаршиликни қўллаш мумкин.

10-4. АКТИВ ҚАРШИЛИКДАН ВА СИҒИМДАН ИБОРАТ ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

Автоматика қурилмаларида суюқликнинг сатҳини контрол қилиб туриш учун металл стерженлардан ва трубадан тузилган сиғимли датчиклар ишлатилади. Металл стерженлар ва труба суюқликдан (трубани тўлдирган) изоляция қатлами билан ажратилган.

Труба, стержень ва уларни ажратадиган суюқлик (диэлектрик) сиғими суюқлик сатҳининг ортиши билан ортадиган цилиндрик конденсаторни ҳосил қилади, чунки суюқликнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ ҳавоникига қараганда кўп марта катта.



10-12- расм. Сиғимли датчик билан суюқлик баяландлик даражасини контрол килиш схемаси (а) ва эквивалент схема (б).

Сигимнинг ва мос ҳолда занжирдаги ток I нинг ўзгариши (10-12- расм, а) шкаласи суюқлик сатҳи қийматлари билан даражаланган вольтметр билан қайд қилинади. Занжир кучланиши $U = 120$ В ва частотаси $f = 400$ Гц бўлган ўзгарувчан ток манбаидан таъминланади.

Агар ўлчамлари $R_1 = 10$ мм; $R_2 = 20$ мм бўлган датчикда дистилланган сув ($\epsilon = 80$) бўлса, суюқлик сатҳи максимал $l = 20$ см бўлганда $U_s = 30$ В кучланишни таъминлайдиган r қаршилик аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Электр схема ва унинг параметрлари. Датчик ўзгарувчан сигимли цилиндрик конденсатор сифатида тайёрланганлигини ҳисобга олиб, электр схемани (10-12- расм, б) тузамиз.

С сигимни (10-12- расм) цилиндрик конденсаторнинг сигими формуласидан аниқлаш мумкин (9-4 га қаранг). Лекин олдин датчик конструкциясида кўрсатилган (10-12- расм, а) ҳамма диэлектрикларнинг таъсирини ҳисобга олиш ёки олмаслигини аниқлаш керак. Ҳисобга олиш шарт эмас экан. Сувни металлдан ажратиб турадиган изоляция қатлами жуда юпқа қалинликка эга (сув қатлами қалинлигига қараганда) ва амалий мақсадлар учун етарли аниқликда уни ҳисобга олмаслик мумкин. Шунингдек, труба^{нинг} сув билан тўлдирилмаган қисмининг сигимини ҳам ҳисобга олмаслик мумкин, чунки ҳавонинг диэлектрик сингдирувчанлиги сувникига қараганда 80 марта кичик.

Бу ҳолда сув билан тўлдирилган труба қисмининг чегараларида бир қатламли цилиндрик конденсаторга эга бўламиз, бунинг учун

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\epsilon \cdot 2 \pi l}{\ln(R_2/R_1)} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{80 \cdot 2 \pi l}{\ln(20/10)} = 64,2 \cdot 10^{-12} l,$$

бу ерда l — метр, C — фарада ҳисобида.

Олинган ифодадан сигим суюқлик сатҳига пропорционал-лиги кўриниб турипти. Олинган ифодага, масалан, 5, 10, 15 ва 20 см га тенг қийматларни қўйиб, уларга мос сигимларни аниқлаймиз

$$C_5 = 321 \text{ пФ} \quad C_{10} = 642 \text{ пФ} \quad C_{15} = 963 \text{ пФ} \quad C_{20} = 1284 \text{ пФ}.$$

2. Вектор диаграмма. 10-12- расм, б да кўрсатилган электр занжир олдинги занжир билан умумий бир хоссага эга. У икки хил актив ва реактив қаршиликдан иборат,

лекин аввалгидек индуктивлик эмас, балки сизим қаршиликдир. Масалани ечиш усули иккала ҳолда ҳам бир хил, фақат индуктивликдаги кучланишдаги кабл токдан 90° бурчакка олдинда бўлмайди, балки сизимлардаги кучланиш токдан фаза жиҳатидан шундай бурчакка кейинда қолишни ҳисобга олиш керак бўлади.

Вектор диаграммани занжир учун умумий бўлган катталик — I токдан бошлаб қурамыз. Ихтиёрий йўналишда, масалан, x ўқи йўналишида ток I (10-13-расм) ва u билан бир фазада бўладиган актив қаршиликдаги кучланиш U , векторини чизамиз. Сизимдаги U_c кучланиш токдан фазаси жиҳатидан 90° бурчак кейинда бўлади. Умумий U кучланиш U_r ва U_c кучланишларнинг вектор йиғиндисига тенг.

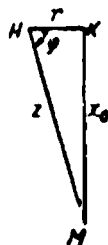
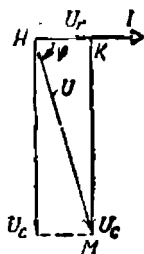
Олинган кучланишлар учбурчаклиги HKM дан (10-13-расм) иккита маълум кучланиш бўйича исталган кучланишни аниқлаш мумкин. Масалан, бизнинг ҳолда суюқлик сатҳининг максимал режимда $U_r = 30$ В, шунинг учун ҳам

$$U_c = \sqrt{U^2 - U_r^2} = \sqrt{(120)^2 - (30)^2} = 116,2 \text{ В.}$$

3. Қаршиликларни ҳисоблаш. Қаршиликлар учбурчаклиги. Занжирнинг ҳар бир қисмидаги кучланиш токнинг шу қисм қаршилигига кўпайтмасига тенг. Шунинг учун қаршиликлар учбурчаклиги (10-14-расм) кучланишлар учбурчаклигига ўхшашдир (10-13 ва 10-14-расмларда учбурчакликларнинг мос нуқталари бир хилда белгиланган). Олинган учбурчаклик (10-14-расм) 10-17-расмда кўрилган учбурчакликдан йўналиши билан фарқ қилади, унда реактив қаршиликни ифодаловчи чизиқ эндиғисиде сизим қаршилик $x_c = U_c/I$ ни ифода қилади.

Датчикнинг сизими максимал бўлган режим учун (C_{20}):

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C_{20}} = \frac{1}{2\pi \cdot 400 \cdot 1284 \cdot 10^{-12}} = 309 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 309 \text{ кОм}$$



10-13-расм. 10-13-расм, б даги занжир учун векторлар диаграммаси.

10-14-расм, 10-12-б даги занжир учун қаршиликлар учбурчаги.

ва занжирда ток

$$I = \frac{U_c}{x_c} = \frac{116.2}{309 \cdot 10^3} = 376 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 376 \text{ мкА.}$$

Шу режим учун талаб қилинадиган кучланиш $U_r = 30 \text{ В}$ қаршилиқ қўйидагича бўлганда таъминланади

$$r = \frac{U_r}{I} = \frac{30}{376 \cdot 10^{-6}} = 79,8 \cdot 10^3 \text{ Ом} \approx 80 \text{ кОм.}$$

Бунда занжирнинг тўла қаршилиги

$$z = \sqrt{r^2 + x_c^2} = \sqrt{(80)^2 + (309)^2} \approx 319 \text{ кОм.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Кўрилаётган занжирни (10-12-расм) ўзгармас ток манбаидан таъминлаш мумкинми? Сигим қаршилиқ

$$x_c = 1/\omega C = 1/2\pi fC$$

частота камайиши билан орта боради ва $f = 0$ бўлганда (ўзгармас ток) чексиз катта бўлади. Бу ҳайрон қоларли эмас, чунки фақат сигими билан характерланадиган идеал конденсатор орқали ўзгармас ток ўтмайди, бу занжирни узиб қўйиш демакдир.

Шунинг учун ўзгармас ток тармоғидан таъминланганда суюқликнинг сатҳидан қатъи назар, вольтметр бир хил $U_r = rI = 0$ қийматни кўрсатади.

2. U кучланишнинг ва r қаршилиқнинг но-стабиллиги ўлчашга қандай хатолик киритади? Занжир чизиқли бўлгани сабабли унинг параметрлари (r , x_c ва z) U кучланишга боғлиқ эмас.

Бу ҳолда вольтметр билан ўлчанаётган кучланиш $U_r = I \cdot r = \frac{U}{z} r = U \frac{r}{z}$ га нисбатан пропорционал ўзгаради.

r нинг ўзгариши (ишлаб чиқаришда йўл қўйиладиган) бизнинг ҳолда ($r \ll x_c$) тўла қаршилиқ $Z = \sqrt{r^2 + x_c^2}$ ва токнинг $I = U/z$ қийматларига амалда таъсир қилмайди, би-роқ ток ўзгармас бўлганда $U_r = Ir$ кучланиш r га пропорционал ўзгаради.

Демак, кўрилаётган масалада ўлчашдаги хатолик U ёки r катталикларнинг хатолигига тенг.

3. Кўрилаётган масалада нима учун sanoat частотаси 50 Гц ўрнига частотаси 400 Гц

бўлган энергия манбаи танланган? Частотаси 50 Гц ли манбаи қўллаш (масалан, саноат электр тармоғи) албатта қулай. Лекин бизнинг ҳолда бу $x_C = 1/2\pi fC$ нинг 8 марта катталашуви ва бусиз ҳам катта қаршилиқни яна 8 марта оширишга олиб келади, бу эса ўз навбатида ички қаршилиғи жуда ҳам катта бўлган вольтметр улашни талаб қилади.

Бундан ташқари, кўрилаётган сифим датчиклари кўпинча 400 Гц частота тармоғи мавжуд қурилмаларда (масалан, сам-лётларда) ўрнатилади.

10-5. r, L ВА C ДАН ТУЗИЛГАН ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

$r = 4$ Ом, $L = 6,37$ мГ = $6,37 \cdot 10^{-3}$ Г, $C = 159$ мкФ = $159 \cdot 10^{-6}$ Ф бўлган электр занжири (10-15-расм) частотаси $f = 200$ Гц ва кучланиши $U = 120$ В ли синусоидал ток генераторидан таъминланади. Занжирдаги ток, занжир қисмаларидаги ток ва кучланиш орасидаги фазалар силжиши, ҳамма қисмларнинг кучланиши ва қуввати, шунингдек, занжирнинг актив, реактив ва тўла қуввати ҳособлансин.

Масаланинг ечилиши

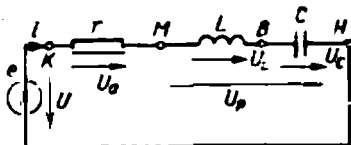
1. Қаршилиқларни ва фазалар силжишини ҳисоблаш. Кўрилаётган занжир актив қаршилиқ билан бирга реактив қаршилиқларнинг иккала хилига ҳам эга: индуктив

$$x_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 6,37 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ Ом}$$

ва сифим

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 159 \cdot 10^{-6}} = 5 \text{ Ом.}$$

Қаршилиқлар диаграммаси-да (10-16-расм, а) x_L ва x_C қаршилиқларни тасвирловчи MP ва ML кесмалар бир-бирига қарама-қарши йўналиши керак. Уларнинг айирмаси, яъни занжирнинг реактив қаршилиғи $x = x_L - x_C = 8 - 5 = 3$ Ом, индуктив сифим қаршилиқлар-



10-15-расм. Параметрлари r, L, C бўлган, урта қисми кетма-кет уланган занжир.

нинг, яъни занжир MH қисмининг йиғинди қаршилиги бўлади (10-15-расм) ва график равишда MH (10-16-расм) кесма билан ифодаланади.

r ва x ўзаро перпендикуляр кесмалар (KM ва MH) билан кўрсатилганлиги сабабли, занжирнинг тўла қаршилиги

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{r^2 + x^2} = 5 \text{ Ом.}$$

Параметрлари r , L , C бўлган тармоқланмаган занжирда фазалар силжиши

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} = \frac{4}{5} = 0,8$$

ёки

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{r} = \frac{3}{4} = 0,75$$

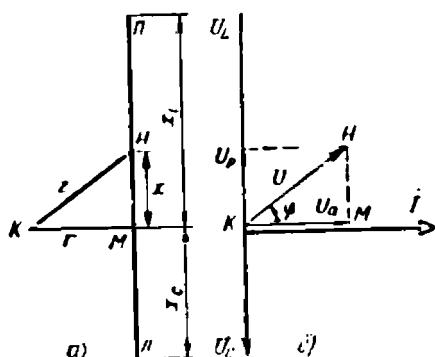
билан аниқланади.

Иккала ҳолда $\varphi \approx 37^\circ$ ни оламиз. Қелтирилган формулалар фазалар силжиши энергия истеъмолчисининг хусусиятлари билан, яъни унинг схемаси ва параметрлари билан аниқланишини таъкидлайди.

2. Ток ва кучланишларни ҳисоблаш. Занжирда ток $I = \frac{U}{z} = 120,5 = 24 \text{ А}$ ҳамма қисмларда бир хил.

Қисмлардаги (10-16-расм, b га қаранг) кучланиш пайвишлари:

$U_a = U_r = rI = 4 \cdot 24 = 96 \text{ В}$ ва ток билан бир фазада бўлади.



10-16-расм. 10-15-расмда кўрсатилган занжир учун $x_L > x_C$ бўлганда қаршиликлар диаграммаси (а) ва векторлар диаграммаси (б).

$U_L = x_L I = 8 \cdot 24 = 192$ В ва токдан 90° бурчак олдинда бўлади.

$U_C = x_C I = 5 \cdot 24 = 120$ В ва токдан 90° бурчак кейинда бўлади.

Умумий кучланишни олиш учун занжир қисмларидан урта кучланиш (U_a , U_L ва U_C) векторларини қўшиш керак. Уларни исталган кетма-кетликда қўшиш мумкинми?

Қўшишнинг кетма-кетлиги натижага таъсир қилмайди, лекин олдин бир тўғри чизиқ бўйича (11-16-расм) йўналган U_L ва U_C векторларни қўшиш қулай ва олинган U_p векторга U_a векторни қўшиш керак. Бундай қўшишда ҳисоблаш иши осонлашади. U_L ва U_C векторларини қўшиб, U_L ва U_C кучланишларнинг айирмасига тенг бўлган занжирнинг реактив кучланиш вектори U_p ни олампиз, чунки бу кучланишлар бир-бирига нисбатан фазаси бўйича 180° бурчакка силжиган:

$$U_L - U_C = 192 - 120 = 72 \text{ В.}$$

Бошқа томондан

$$U_p = U_L - U_C = x_L I - x_C I = (x_L - x_C) I = x I = 3 \cdot 24 = 72 \text{ В}$$

Бу ерда, ҳисобланган U_p катталиги занжирда мавжудми деган савол туғилиши мумкин.

Буни занжирнинг M ва N нуқталарига вольтметр улаб (10-15-расм) ўлчаш мумкин (амалда, албатта, фақат ғалтакнинг индуктив қаршилликка нисбатан актив қаршиликни ҳисобга олмаслик мумкин бўлган занжирларда). Бунда занжирнинг кўрилатган қисмига кирувчи индуктивликдаги ва сифимдаги кучланишлар (192 ва 120 В), бизнинг ҳолда U_p (72 В) дан катталигини қайд қилиш қизиқарли, KMN кучланишлар учбурчаклиги (10-16-расм, б) томонларининг қуйидаги нисбатига эга:

$$U_a : U_p : U = 192 : 72 : 120 = 4 : 3 : 5.$$

KMN қаршиликлар учбурчаклигининг (10-16-расм, а) томонлари ҳам шундай нисбатда бўлади. Демак, бу учбурчакликлар ўхшашдир.

Кучланишлар учбурчаклигидан бажарилган ҳисоблашларни текшириш осон:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = \sqrt{96^2 + 72^2} = 120 \text{ В.}$$

3. Қувватларни ҳисоблаш. Актив қаршилик r (10-15-расм) қуйидаги актив қувватга эга

$$P_r = rI^2 = 4 \cdot 24^2 = 2304 \text{ Вт,}$$

унинг реактив қуввати эса нолга тенг.

Индуктивлик ғалтаги L ва конденсатор C да актив қаршилик нолга тенг, шунинг учун бу элементларда актив қувватлар бўлмайди. Энди фақат уларнинг реактив қувватларини ҳисоблашгина қолади, улар мос ҳолда қуйидагига тенг:

$$Q_L = x_L I^2 = 8 \cdot 24^2 = 4608 \text{ вар;}$$

$$Q_C = x_C I^2 = 5 \cdot 24^2 = 2880 \text{ вар.}$$

Реактив қаршилик $x = x_L - x_C$ билан характерланадиган MN қисми (10-15-расм) қуйидаги реактив қувватга эга бўлади:

$$Q = xI^2 = x_L I^2 - x_C I^2 = Q_L - Q_C = 4608 - 2880 = 1728 \text{ вар.}$$

Шундай қилиб, занжирнинг реактив қуввати индуктив ва сизим реактив қувватларининг айирмасига тенг экан.

Занжирнинг тўла қуввати

$$S = zI^2 = 5 \cdot 24^2 = 2880 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Қандай ҳолда занжирнинг реактив қаршилиги ваток билан кучланиш орасидаги фазалар силжиши манфий ишорага эга бўлади? Агар $x_L < x_C$ бўлса, занжирнинг реактив қаршилиги $x = x_L - x_C < 0$, яъни манфий ишорага эга бўлади. Бунда фазалар силжиши ҳам

$$\varphi = \arctg(x'/r) < 0,$$

яъни манфий ишорага эга бўлади.

Агар занжирда фақат сизим қаршилик x_C бўлса, унда реактив қаршилик $x = -x_C$.

2. Занжирнинг тўла қаршилиги манфий ишорага эга бўлиши мумкинми? Тўла қаршилик $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ $x > 0$ бўлганда ҳам, $x < 0$ бўлганда ҳам мусбат катталикни ифодалайди. Шундай қилиб, z манфий ишорага эга бўлиши мумкин эмас.

3. Индуктивлик L ва сифим C ни битта эквивалент индуктивлик билан алмаштириш мумкинми? Кўриладиган масалада $x_L > x_C$ ва шунинг учун занжирнинг реактив қаршилиги $x = x_L - x_C = 3$ Ом индуктивлик характерига эгадир. Бу демак, x нинг топилган қиймати индуктивлик L ва сифим C ни битта индуктивлик билан алмаштириш натижасида олиш мумкин:

$$L_0 = \frac{x}{\omega} = \frac{3}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{3}{2 \cdot 3,14 \cdot 200} = 0,0024 \text{ Г} = 2,4 \text{ мГ}.$$

Актив қаршилик $r = 4$ Ом ва топилган эквивалент индуктивлик $L_0 = 2,4$ мГ дан тузилган эквивалент схемада I ток, U_A ва U_p кучланишлар ҳамда фаза силжиши φ аввалгидек қолади.

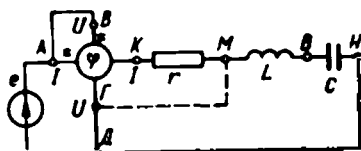
4. Таъминловчи манбанинг частотаси ўзгарганда битта эквивалент индуктивликли эквивалент электр схема тўғрими? Занжирнинг масала шарида берилган r , L , C параметрлари кучланиш ёки ток частотасига боғлиқ эмас, яъни турли частоталарда улар ўзларининг қийматларини сақлайди. Олдинги саволда кўрилган эквивалент L_0 индуктивлик

$$L_0 = \frac{x}{\omega} = \frac{x_L - x_C}{\omega} = \frac{\omega L - 1/\omega C}{\omega} = L - \frac{1}{\omega^2 C}$$

ω частотага боғлиқдир. Шунинг учун L нинг юқорида олинган қийматидан таъминловчи манба кучланишининг фақат берилган частотаси учун фойдаланиш мумкин.

5. Фазалар силжиш бурчагини қандай ўлчаш мумкин? Фазалар бўйича силжиш бурчаги φ ни ўлчаш учун махсус фазометр дейиладиган (10-17-расм) асбоб қўлланилади. Фазометр тузилиши жиҳатидан ваттметрга ўхшаш ва иккита АК ток ва ВГ кучланиш чулғамига эга. Асбобнинг корпусида чулғамлар қисмлари I ва U билан ифодаланади (10-17-расм).

10-17-расмда кўрсатилган уланиш схемасида ВГ чулғами занжирнинг АД қисмларига уланган ва фазометр кучланиш U ва ток I орасидаги фазалар силжиши, бизнинг ҳолда 37° га тенг бўлганини кўрсатади.



10-17-расм. Фазометрнинг уланиш схемаси.

Кучланиш ва тоқ орасидаги фазалар силжиши кўпинча учта асбобнинг: ваттметр, вольтметр ва амперметрнинг кўрсатишлари бўйича ҳисобланади. Агар 10-17-расмдаги фазометр ваттметр билан алмаштирилса, унда ваттметр занжирнинг қувватини ўлчайди:

$$P = UI \cos \varphi.$$

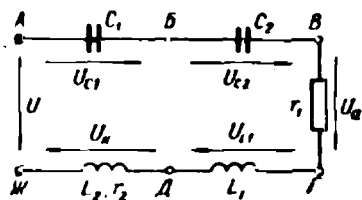
Кучланиш U ва тоқ I ни аниқлаб, $\cos \varphi$ ни ва φ бурчагини ҳисоблаш мумкин.

6. Агар $\Gamma Д$ сим $\Gamma М$ сим билан алмаштирилса, фазометр (10-17-расм) нимани кўрсатади? Агар Γ қисма $Д$ нуқтадан ажратилса ва $М$ нуқтага уланса (10-17-расмда пунктир), у ҳолда фазометр нолни кўрсатади, чунки актив қаршиликдаги кучланиш U_a ва занжирнинг тоқи I бир фазада бўлади.

10-6. БИР НЕЧА АКТИВ ВА РЕАКТИВ ЭЛЕМЕНТЛАРДАН ИБОРАТ ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

10-18-расмда кўрсатилган занжир сиғимлари $C_1 = 1,6$ мкФ $= 1,6 \cdot 10^{-6}$ Ф ва $C_2 = 0,4$ мкФ $= 0,4 \cdot 10^{-6}$ Ф бўлган



10-18-расм. Тармоқланмаган занжирнинг ўзгарувчан токнинг умумий холи.

иккита конденсатордан, актив қаршилиги $r_1 = 500$ Ом бўлган реостатдан ва индуктивликлари

$$L_1 = 69 \text{ мГ} = 0,069 \text{ Г} \text{ ва} \\ L_2 = 0,11 \text{ Г}$$

бўлган иккита ғалтакдан иборат. Биринчи ғалтакнинг актив қаршилиги кичик бўлганлиги сабабли нолга тенг

деб олинган, иккинчи ғалтакники эса $r_2 = 100$ Ом. A ва $Ж$ қисмаларга $f = 400$ Гц частотали $U = 100$ В кучланиш берилган.

Занжирдаги тоқ, қисмлардаги кучланиш пасайишлари, ҳар бир элементнинг актив ва реактив қувватлари аниқлансин ва қувватлар баланси тузилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Занжир қаршиликларини аниқлаш. Аввалги масалаларда (10-2, 10-3, 10-4-§ лар) занжирни ҳисоблаш илгари маълум бўлган усуллар билан эквивалент актив

ва реактив қаршиликларни аниқлашга келтирилар эди. Шубҳасизки, шу йўл билан кўрилатган занжирни ҳам битта актив, битта сизим ва битта индуктив қаршиликли занжирга келтириш мумкин.

Конденсаторларнинг сизим қаршиликлари:

$$x_{C_1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 250 \text{ Ом};$$

$$x_{C_2} = x_{C_1} \frac{C_1}{C_2} = 250 \frac{1,6}{0,4} = 1000 \text{ Ом}.$$

Ғалтакларнинг индуктив қаршиликлари:

$$x_{L_1} = 2\pi f L_1 = 2512 \cdot 0,069 = 175 \text{ Ом};$$

$$x_{L_2} = x_{L_1} \frac{L_2}{L_1} = 175 \frac{0,11}{0,069} = 275 \text{ Ом}.$$

Умумий актив қаршилик:

$$r = r_1 + r_2 = 500 + 100 = 600 \text{ Ом}.$$

Умумий индуктив қаршилик:

$$x_L = x_{L_1} + x_{L_2} = 175 + 275 = 450 \text{ Ом}.$$

Умумий сизим қаршилик:

$$x_C = x_{C_1} + x_{C_2} = 250 + 1000 = 1250 \text{ Ом}.$$

Бутун занжирнинг реактив қаршилиги:

$$x = x_L - x_C = 450 - 1250 = -800 \text{ Ом}.$$

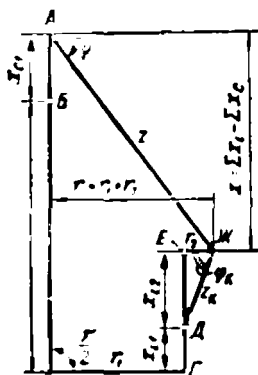
Тўла қаршиликлар: иккинчи ғалтакники

$$z_x = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{100^2 + 275^2} = 292 \text{ Ом}.$$

ва бутун занжирники:

$$z_x = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{600^2 + (-800)^2} = 1000 \text{ Ом}.$$

2. Қаршиликлар кўп бурчаклигини қуриш. Олинган маълумотлар қаршиликлар диаграммасини (кўп бурчаклигини) қуришга имкон беради (10-19-расм). Бунинг учун A нуқтадан $M_1 = 28 \text{ Ом/мм}$ масштабда пастга томон x_{C_1} ва x_{C_2} сизим қаршиликларни (AB ва BC чизиқлар), сўнгра $+\pi/2$ бурчак остида r_1 қаршиликни (BI чизиқ), I нуқтадан эса юқорига x_{L_1} ва x_{L_2} ларни (GD ва DE чизиқлар) ва, ниҳоят, r_2 ($EЖ$ чизиқ) ни қўямиз. Туташтирувчи $AЖ$ томон занжирнинг тўла қаршилиги z бўлади.



10-19-расм. 10-18-расмда кўрсатилган занжир учун қаршиликлар кўпбурчаги.

Олинган кўпбурчакликнинг томонлари (10-19-расм) схемада (10-18-расм) мос қаршиликлар қандай кетма-кетликда жойлашган бўлса, бир-бирдан кейин худди шундай кетма-кетликда жойлашади.

Қурилишнинг тўғрилигига, масалан, z қаршиликни қаршиликлар кўпбурчаклигидан график усулда аниқлаб ишонч ҳосил қилиш мумкин: $z = M$, $AЖ = 28 \cdot 36 \approx 1000$ Ом; Шундай натижа аввал аналитик йўл билан олинган эди.

3. Ток ва кучланишларни ҳисоблаш. Занжирдаги ток $I = U/z = 100/1000 = 0,1$ А.

Занжир элементларида (10-18-расм) кучланиш пасайишлари:

$$U_{C_1} = I x_{C_1} = 0,1 \cdot 250 = 25 \text{ В};$$

$$U_{C_2} = I x_{C_2} = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ В};$$

$$U_a = I r_1 = 0,1 \cdot 500 = 50 \text{ В};$$

$$U_{L_1} = I x_{L_1} = 0,1 \cdot 175 \approx 17,5 \text{ В};$$

$$U_k = I z_k = 0,1 \cdot 292 \approx 29,2 \text{ В}.$$

10-19-расмда чизилган кўпбурчакликдаги қаршиликларни уларга мос кучланишлар билан алмаштириб, кучланишларнинг векторлар диаграммасини олиш мумкин. Бунда кучланишлар масштаби

$$M_U = M_z I = 28 \cdot 0,1 = 2,8 \text{ В/мм}.$$

Кўпбурчакликдан (10-19-расм), масалан, занжир қисмларидаги кучланишни топамиз:

$$U = M_U AЖ = 2,8 \cdot 36 = 100 \text{ В},$$

бу эса берилган қиймат билан бир хилдир.

4. Қувватларни ҳисоблаш. Индуктив қаршилиги L , бўлган ғалтакда ва иккала конденсаторда актив қаршилик нолга тенг, шунинг учун бу элементларда актив қувват

бўлмайди. Уларнинг реактив қувватларинигина ҳисоблаш қолади, улар мос ҳолда қуйидагига тенг:

$$Q_{L_1} = IU_{L_1} = 0,1 \cdot 17,5 = 1,75 \text{ вар};$$

$$Q_{C_1} = IU_{C_1} = 0,1 \cdot 25 = 2,5 \text{ вар};$$

$$Q_{C_2} = IU_{C_2} = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ вар}.$$

r_1 қаршилик актив қувватга эга:

$$P_1 = IU_a = 0,1 \cdot 50 = 5,0 \text{ Вт},$$

унинг реактив қуввати эса нолга тенг.

Иккинчи галтак актив ва реактив қувватга эга:

$$P_2 = I^2 r_2 = (0,1)^2 \cdot 100 = 1 \text{ Вт};$$

$$Q_{L_2} = I^2 x_{L_2} = (0,1)^2 \cdot 275 = 2,75 \text{ вар}.$$

Занжирнинг актив қуввати:

$$P = P_1 + P_2 = 5,0 + 1,0 = 6 \text{ Вт}$$

ёки

$$P = UI \cos \varphi = U \cdot i \frac{r}{z} = 100 \cdot 0,1 \cdot \frac{600}{1000} = 6 \text{ Вт}.$$

Демак, занжирнинг актив қуввати унинг ҳамма қисмларининг актив қувватлари йиғиндисига тенг экан.

Занжирнинг реактив қуввати:

$$Q = (Q_{L_1} + Q_{L_2}) - (Q_{C_1} + Q_{C_2}) = (1,75 + 2,75) - (2,5 + 10) = -8 \text{ вар}$$

ёки

$$Q = UI \sin \varphi = UI \frac{x}{z} = 100 \cdot 0,1 \frac{-800}{1000} = -8 \text{ вар}.$$

Занжирнинг реактив қуввати индуктив қисмларининг реактив қуввати ва сифим қисмларининг реактив қувватлари айирмасига тенг.

Қувватлар диаграммаси (кўпбурчаклиги) сифатида қувватлар масштабидаги (10-19-расм) кўпбурчаклик қабул қилиниши мумкин:

$$M_5 = M_2 I^2 = 28(0,1)^2 = 0,28 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{мм}.$$

Актив ва индуктив қувватларнинг масштаби ҳам сон жиҳатидан худди шундай бўлади.

10-19-расмдаги кўпбурчаликдан график йўл билан занжирнинг тўла қувватини аниқлаймиз:

$$S = M_s AJ = 0,28 \cdot 36 \approx 10 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Масаладаги берилганлардан тўғридан-тўғри эквивалент r , L ва C ларни аниқлаш мумкинми? Юқорида занжирнинг умумий актив қаршилиги $r = 600$ Ом ҳисобланган эди.

Кетма-кет уланганда умумий индуктивлик

$L = L_1 + L_2 = 0,069 + 0,11 = 0,179$ Г, умумий сифим эса

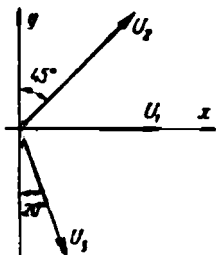
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,4 \cdot 1,6}{0,4 + 1,6} = 0,32 \text{ мкФ}.$$

r , L ва C ларнинг олишган эквивалент қийматлари 10-15-расмда кўрсатилганга ўхшаш, ҳисоблаш йўли олдинги масалада кўриб ўтилган схема тузишга имкон беради.

2. Занжирнинг умумий реактив қаршилиги қандай бўлади (индуктивми ёки сифимми)? Кўрилатган занжирда $x_L < x_C$ ва шунинг учун занжирнинг реактив қаршилиги $x = x_L - x_C = -800$ Ом сифимли бўлиб, қуйидаги сифим билан таъминланиши мумкин:

$$C_s = \frac{1}{\omega |x|} = \frac{1}{2512 \cdot 800} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,47 \text{ мкФ}.$$

3. Кўрилатган занжирнинг эквивалент схемаси қандай элементларга эга бўлиши керак? Занжирнинг тўла актив қаршилиги $r = 600$ Ом ва эквивалент сифим $C_s = 0,47$ мкФ эканлигини ҳисобга олиб, r ва C_s ларни кетма-кет улаб, кўрилатган занжир учун эквивалент схема тузиш мумкин.



10-20-расм. 174-ма саволага.

10-7. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

10-1-§ ГА MASАЛALAP

170. Агар i_1 ва i_2 икки токни ифодаловчи векторлар диаграммасида мос ҳолда y ўқининг мусбат йўналишида ва x ўқининг манфий йўналишида жойлашган бўлса, уларнинг оний қийматлари (умумий ҳолда) ёзилсин.

171. Номинал кучланишларнинг қийматп бир хил $U_1 = U_2 = 220$ В бўлган, бир-бирига нисбатан фаза бўйича 90° га снлжнган иккита ўзгарувчан ток ($f = 50$ Гц) генераторлари кетма-кет уланган. Уларнинг бирида кучланишнинг бошланғич фазасини полга тенг деб, иккала генератор қисмаларидаги кучланишларнинг оний қийматлари нфодаси тузилсин. Бошқа мумкин бўлган ҳоллар ҳам кўриб чиқилсин.

172. Учта токнинг оний қийматлари берилган:

$$i_1 = 12 \sin(\omega t - 60^\circ) \text{ A}; i_2 = 8 \sin(\omega t - 150^\circ) \text{ A}; i_3 = 10 \cos(\omega t + 30^\circ) \text{ A}.$$

Токларнинг вектор диаграммаси, i_2 ва i_3 тоklar учун эса—оний қийматларнинг графиклари (тўлқинсимон диаграмма) ясалсин.

173. Олдинги масала шартлари асосида $i = i_1 + i_2 + i_3$ токнинг максимал қиймати ҳисоблансин ва унинг оний қиймати нфодаси ёзилсин.

174. Агар эффе́ктив қийматлар $U_1 = 110$ В, $U_2 = 125$ В ва $U_3 = 150$ В бўлса, вектор диаграммаси (10-20-расм) бўйича u_1 , u_2 , u_3 кучланишларнинг оний қийматлари ёзилсин.

175. Олдинги масала шартларида u_1 , u_2 , u_3 — занжирнинг кетма-кет уланган қисмларидаги кучланишлардир. Занжирнинг умумий кучланиши график усулда ҳисоблансин ва унинг оний қиймати ёзилсин.

176. 10-20-расмдаги вектор диаграммани кейинда қолиш томонига (соат стрелкаси ҳаракати йўналишида) 90° бурчакка сурилди. Агар $U_1 = 70$ В; $U_2 = 100$ В; $U_3 = 50$ В бўлса, кучланишларнинг оний қийматлари ёзилсин ва янги вектор диаграмма қурилсин.

177. Синусондал катталиклар фаза бўйича π бурчагига снлжнган. Агар частота 400 Гц га тенг бўлса, уларнинг энг яқин мусбат максимал қийматларини қандай вақт оралиғи ажратади?

178. Нима учун проигрателнинг двигатели, кўпинча, кўп сонли дўнғлар (шартли кўтларни) бўлган диск кўринишида тайёрланади. Ўзгарувчан ток тармоғидан ($f = 50$ Гц) таъминланувчи двигатель 78 айл/мин частота билан айланиши учун бундай дўнғлардан неча бўлиши керак?

10-2—10-5-§ ЛАРГА МАСАЛАЛАР

179. Индуктивлиги $L_k = 1,6$ Г ва актив қаршилиги $r_k = 400$ Ом бўлган ғалтак кучланиши $U = 280$ В, частотаси $f = 40$ Гц ли ўзгарувчан ток маъбадан таъминланади. Занжирдаги ток, қувват коэффициенти, актив, реактив ва тўла қувватлар аниқлансин; вектор диаграммаси, қаршиликлар учбурчаклиги ва қувватлар учбурчаклиги қурилсин.

180. r актив ва x_L индуктив қаршиликли тармоқланмаган занжирда кучланишнинг оний қиймати уларнинг биринчисида $U_1 = 80 \sin(\omega t - 120^\circ)$ В. Агар $x_L = 1,5 r$ бўлса, u_L кучланишнинг оний қиймати топилсин ва ҳамма кучланишларнинг, шу жумладан занжир қисмаларида кучланишнинг ҳам вектор диаграммаси қурилсин.

181. Занжир қисмаларидаги кучланишнинг ва занжирдаги токнинг оний қийматлари маълум:

$$u = 220 \sqrt{2} \sin \omega t \text{ В}, i = 2,2 \sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ) \text{ А}.$$

Аналитик ва график усулда актив қувват P аниқлансин.

182. Галтақнинг актив қаршилиги r_k ва индуктивлиги L_k ни аниқлаш учун уни кучланиши $U = 220$ В ли ўзгарувчан ток тармоғиша уланди ва галтақдаги ток $I = 3,67$ А қувват $P = 485$ Вт ўлчанади. Агар $f = 50$ Гц бўлса, r_k ва L_k ҳисоблансин.

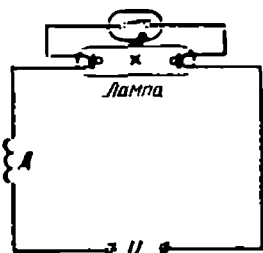
183. Қуввати $P_n = 40$ Вт ли люминесцент лампа дроссель орқали ўзгарувчан ток ($U = 220$ В, $f = 50$ Гц) тармоғига уланади (10-21- расм). Иш режимида занжирдан $I = 0,41$ А ток ўтади, бутун занжирнинг қувват коэффициенти 0,6 га тенг. Лампадаги ва дросселдаги кучланиш, дросселнинг актив ва индуктив қаршилиги, шунингдек, қувват коэффициенти ҳисоблансин.

184. Қўзғалмас асинхрон двигателъ чулғамининг занжирига, юргизиш токни 670 А гача чегаралаш учун, реактор (индуктив галтак) вақтнинг бошлангич momentiда кетма-кет уланган. Двигателнинг чулғами $r_n = 0,045$ Ом актив қаршиликка ва $x_n = 0,15$ Ом индуктив қаршиликка эга. Чулғамда ва реакторда умумий кучланиш $U = 220$ В. Агар унинг актив қаршилигини ҳисобга олмаслик мумкин бўлса, реакторнинг қаршилиги ҳисоблансин.

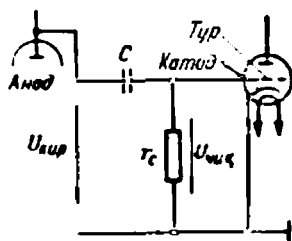
185. Кетма-кет уланган резистор $r = 800$ Ом ва конденсатор $C = 0,4$ мкФ занжир қисмаларига частотаси $f = 400$ Гц бўлган синусоидал $U = 120$ В кучланиш берилган. Занжирдаги ток, $\cos \varphi$, актив қаршиликдаги ва сифмдаги кучланишлар аниқлансин, вектор диаграмма ва қаршилиқлар учбурчаклиги қурилсин.

186. Олдинги масаладаги занжир учун актив, реактив ва тўла қувватлар аниқлансин.

187. Резистор r ва конденсатор C кетма-кет уланган занжирда сифмдаги кучланиш $u_C = 100 \cos(\omega t - 90^\circ)$ В. Кучланишлар вектор диаграммаси қурилсин: агар $x_C = r$ бўлса, сифмдаги U_C , актив қаршиликдаги U_r ва занжир қисмаларидаги U кучланишларнинг векторлар диаграммаси қурилсин. U кучланишининг оний қиймати ёзилсин.



10-21- расм. 183- масала-
га.

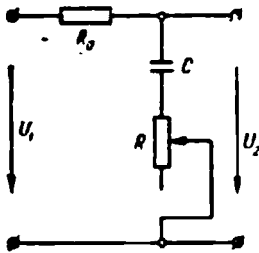


10-22- расм. 186- масала-
га.

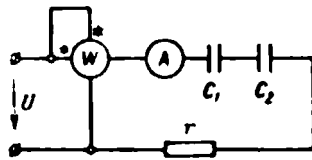
188. Кучайтиргичнинг бир лампасдан башкасига кучланишни ўтказиш учун (масалан, радиоприёмникларда, 10—22- расм) «Қаскадлар-аро алоқа» дейиладиган электр занжири қўлланилади. Агар

$$C = 0,01 \text{ мкФ}, r_c = 318 \text{ кОм}, U_{\text{кпр}} = 80 \text{ В}$$

бўлса, кучайтириладиган частота (100 ва 5000 Гц) полосасининг четки қийматлари учун биринчи лампанинг аноди билан иккинчи лампанинг



10-23- расм. 190- масала-
га.



10-24- расм. 196- масала-
га.

тўри орасидаги қисмда мос ҳолда $U_{\text{кпр}}$ ва $U_{\text{чик}}$ кучланиш исрофи ва пасайиши аниқлансин.

189. Олдинги масала шартлари асосида вектор диаграммадан фойдаланиб кучланиш пасайиши ва кучланиш исрофи орасидаги каттагина фарқ тушунтирилсин.

190. Радиоприёмникларда ва электроприводларда товуш тембрини ўзгартириш учун юқори частота бўйича овозни ростлаш (коррекция) кўзда тутилади, бу кўпинча 10-23-расмдаги схема бўйича амалга оширилиб, бунда схемадаги R реостат ползунининг ҳолати ўзгартирилади. Кўрилаётган занжир учун:

а) синусоидал кучланиш U_1 нинг частотаси f ортганда (U_1 кучланишнинг амплитудаси ўзгармас) U_2 кучланиш қандай ўзгаради (кўпаядими ёки камаядими)? Нима учун кўрилаётган схема овозни юқори частота бўйича коррекциялаш схемаси дейилади?

б) ўзгарувчан қаршилик R қандай максатда ишлатилади?

в) умумий ҳолда $R = \infty$, $R = R'$ ва $R = R''$ (бу ерда $R'' < R'$) қийматлари учун U_2/U_1 нинг частотага боғлиқлиги графиги ясалсин.

191. Тармоқнинг ($U = 380$ В, $f = 50$ Гц) бузуқмаслигини текшириш мақсадида унга 220 В кучланишга мўлжалланган ва қуввати 150 Вт бўлган ёритиш лампасини конденсатор C орқали уланди. Конденсаторда сифим ва кучланиш қандай бўлганда лампа ёнишининг номинал режими таъминланади. Лампа учун олдинги режимни сақлаб сифини қандай актив қаршилик билан алмаштириш мумкин?

192. Ёритиш лампасида кучланишни камайтириш учун иккита схема қўлланилади; бирида лампа билан кетма-кет актив қаршилик уланган, бошқасида эса сифим худди шундай уланган. Схеманинг ҳар бирида ҳам лампа бир хил ёнади. Лампанинг равшанлигига қараб иккала схемага баҳо берилсин: а) қўшимча қаршилик (r ёки x_c) ни ўзгартириб, б) электр тармоғи кучланишини ўзгартириб.

193. Конденсатор орқали ўзгармас ток тармоғига уланган лампа ёнадими?

194. АДП маркали асинхрон двигателъ ўзгарувчан ток тармоғига ($U = 110$ В, $f = 50$ Гц) кетма-кет уланган $C = 6,5$ мкФ конденсатор орқали уланган. Двигателъ ва конденсатор занжирларида ток $I = 0,6$ А, бутун занжирнинг қувват коэффициентини 0,85. Двигателънинг эквивалент параметрлари аниқлансин.

195. Кўчланишлари $u_1 = 220 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В ва $u_2 = 220 \sin(\omega t + 120^\circ)$ В бўлган иккита кетма-кет уланган генератор актив қаршили

ги $r = 220$ Ом, индуктив қаршилиги $x_L = 440$ Ом ва сигим қаршилиги $x_C = 660$ Ом бўлган тармоқланмаган занжирни таъминлайди. Занжирдаги ток ва занжир қисмаларидаги ва айрим қисмлардаги максимал кучланиш аниқлансин. Вектор диаграмма қурилсин.

196. Ўлчов асбобларида қувват сарфланиши ҳисобга олинмаганда:

а) r қаршилиги қисқа туташганда (тешилганда);

б) C_2 конденсаторнинг пластинкалари тутшиб қолганда (тешилганда) 10-24- расмдаги схемада асбобларнинг кўрсатиши қандай ўзгаради (кўпаядими ёки камаядими)?

197. Манба кетма-кет уланган қаршилик $r = 10$ Ом, сигим $C = 150$ мкф

$$(U = 110 \text{ В}, f = 50 \text{ Гц})$$

ва индуктивлик $L = 50$ мГ ли занжирни таъминлайди. Занжирдаги ток, элементлардаги кучланишлар, шунингдек, актив, реактив ва тўла қувватлар аниқлансин. Вектор ва топографик диаграммалар, шунингдек, қаршиликлар ва қувватлар учбурчаклари қурилсин.

198. 10-25- расмдаги занжирда ток $I = 200$ А, қувват коэффициенти $0,85$ га тенг. Агар $r = 0,255$ Ом, $x_C = 10$ Ом бўлса,

$$U, U_a, U_C, U_L$$

кучланишлар аниқлансин.

199. 10-25- расмда кўрсатилган занжирда, кучланиш $U_{AB} = 80$ В, унинг бошланғич фазаси $\psi_{AB} = 30^\circ$. Агар $U_C = 40$ В ва токнинг бошланғич фазаси нолга тенг бўлса, U_a, U_L ва U_C кучланишларнинг оини қийматлари топилсин ва улар учун графиклар ясалсин, шунингдек, уларнинг таъсир этувчи қийматлари ҳисоблансин.

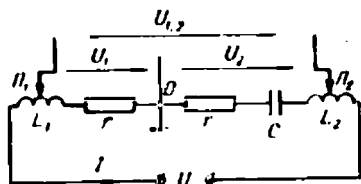
200. 10-25- расмдаги занжирда $U = 50$ В; $U_L = 40$ В; $U_a = 40$ В $r = 80$ Ом; $f = 200$ Гц. Занжирнинг берилган режимини таъминловчи индуктивлик ва сигимнинг икки қиймати аниқлансин.

201. Занжирнинг (10-25- расм) актив қуввати $P = 120$ Вт, унинг $\cos \varphi = 0,7$; сигимнинг реактив қуввати $Q_C = 200$ вар. Агар қисмалардаги кучланиш $U = 220$ В, частота эса $f = 50$ Гц бўлса, r қаршилиги ва L индуктивлиги ҳисоблансин.

202. Кучланиши $U = 180$ В ва частотаси $f = 500$ Гц бўлган манба 10-25- расмдаги занжирни таъминлайди. Бу занжирда тўла қувват S реактив қувват Q дан 2 марта катта. Агар занжирдаги ток $I = 50$ мА, сигимдаги кучланиш 120 В бўлса, актив қаршилик, индуктивлик ва сигим аниқлансин.

203. 10-25- расмдаги занжир қисмаларида кучланиш, ток ва актив қувват, мос ҳолда 120 В, $2,4$ А, 200 Вт га тенг. Индуктив қаршилик

x_L сигим қаршилиги x_C дан 2 марта катта. Частота $f = 50$ Гц бўлганда занжирнинг актив қаршилиги, индуктивлиги ва сигими ҳисоблансин.

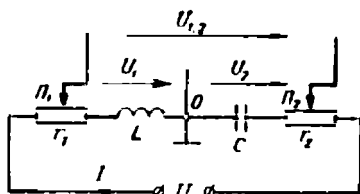


10-25- расм. 198- масалага

10-6- § ГА МАСАЛАЛАР

204. Кетма-кет уланган иккита индуктивлик галтагидан ($L_1 = 80$ мГ; $r_1 = 200$ Ом; $L_2 = 20$ мГ; $r_2 = 100$ Ом), иккита

конденсатордан ($C_1 = 0,4$ мкФ, $C_2 = 1,2$ мкФ ва резистордан ($r = 70$ Ом) тузилган занжир кучланиши $U = 115$ В ва частотаси $f = 400$ Гц бўлган ўзгарувчан ток манбаидан таъминланади. Занжирдаги ток, галтаклардаги ва конденсаторлардаги кучланишлар, занжирнинг актив, реактив ва тўла қувватлари аниқлансин. Актив ва реактив қувватлар баланси тузилсин. Вектор диаграммаси қурилсин.



10-26- расм. 209- масала.

205. Олдинги масала шартларидан фойдаланиб эквивалент параметрлар билан схема тузилсин ва унинг учун вектор диаграмма ва қаршиликлар кўпбурчаклиги қурилсин.

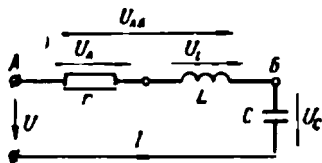
206. 204- масала шартларида занжирнинг иккита галтак ва C_1 сифимли қисмида кучланиш аниқлансин, занжирда улар бир қаторга қўйилсин. Шу қисм учун актив, реактив ва тўла қувватлар ҳисоблансин.

207. Иккита бир хил галтак ва $C = 100$ мкФ сифимли конденсатор кучланиши U ва частотаси $f = 50$ Гц бўлган манбага кетма-кет уланган. Занжирнинг умумий қуввати $P = 200$ Вт, токи $I = 4$ А, токнинг қисмалардаги кучланишга нисбатан фазалар силжиши 60° ни ташкил қилади. r_k қаршилик, галтакнинг индуктивлиги L ва кучланиш U аниқлансин.

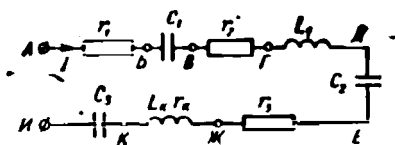
208. Иккита галтак ва конденсатор кетма-кет уланган занжирда галтаклардаги кучланишлар $U_1 = U_2 = 100$ В, конденсаторда эса $U_3 = 173$ В. U_1 кучланиши билан U_3 кучланиш орасидаги фазалар силжиши 160° ни ташкил қилади. Агар $C = 2$ мкФ ва $f = 50$ Гц бўлса, занжирнинг тўла қаршилиги ва унинг қисмаларидаги кучланиш аниқлансин.

209. Электроникада потенциали O бўлган умумий нуқтага нисбатан ўлчанган U_1 ва U_2 кучланишлар орасидаги $\psi_{1,2}$ фаза силжиш бурчагининг ўзгаришини таъминлайдиган схема (10-26- расм) қўлланилади: а) векторлар диаграммаси ёрдамида, реостатларнинг P_1 ва P_2 нинг ползунлари сурилганда, бурчакнинг ўзгариш кўрсатилсин; б) реостатлар ползунларининг исталган вазиятида $U_{1,2}$ кучланиш ва I ток фазаларининг бир хил бўлишини таъминловчи шарт ёзилсин ва бу режим векторлар диаграммасида кўрсатилсин; в) нима учун кичик бурчакларда (10° гача) кўрсатилган схема қўлланмаслиги аниқлансин.

210. 10-27- расмдаги схема потенциали O бўлган умумий нуқтага нисбатан ўлчанадиган U_1 ва U_2 кучланишлар орасидаги $\psi_{1,2}$ фаза-силжиш бурчагини ростлашни таъминлайди. Векторлар диаграммаси қурилсин ва ўзгарувчан индуктивликларнинг ($x_C > x_{L2}$ деб олинсин) ползунлари P_1 ва P_2 сурилганда $\psi_{1,2}$ нинг ўзгариши мумкин бўлган чегаралари кўрсатилсин. Фаза силжиш бурчагини ростлаш мумкинлиги нуқтан назаридан кўриб чиқилаётган схемани олдинги (10-26- расм) схема билан солиштирилсин.



10-27- расм. 210- масалага.



10-28- расм. Намунали контрол масалага.

нинг актив ва индуктив қаршиликлари, шунингдек, ток частотаси $f = 100$ Гц бўлса, занжирни таъминловчи манбаининг кучланиши аниқлансин.

212 Олдинги масала шартларида, манба кучланиши билан ғалтак кучланиши орасидаги фаза силжишининг $\pm 5^\circ$ га ростлаш учун, сизим C ни қандай чегараларда ўзгартириш кераклиги аниқлансин.

10-9. НАМУНАЛИ КОНТРОЛ МАСАЛА

10-28- расмдаги занжир учун ток $I = 0,1$ А ва ҳамма қаршиликлар маълум: $r_1 = \omega L_1 = 60$ Ом; $r_2 = 1/\omega C_1 = 80$ Ом; $r_3 = 1/\omega C_2 = 100$ Ом; $r_k = \omega L_k = 60$ Ом ва $1/\omega C_3 = 140$ Ом. Токнинг синусоидал частотаси $f = 50$ Гц.

10-1-жадвалда топшириқнинг ҳар бир вариантыга доир кўрсатилган занжир қисми учун тўла қаршилик Z , кучланиш U , фазалар силжиши (кучланиш U ва ток I орасидан силжиш), шунингдек, токнинг берилган (10-1-жадвал) бошланғич фазаси ψ_i дан фойдаланиб, топилган кучланишнинг γ оғий қийматларининг тенгламаси ёзилсин.

10-1-жадвал

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
занжир қисми	АБ	БГ	ВД	ГЕ	ДЖ	ЕК	ЖК	ЖИ	АГ	ВЕ	ГЖ	ЕИ
Токнинг бошланғич фазаси ψ_i (градусларда)	23	60	-17	30	15	30	-15	-17	60	-10	-20	20

10-9. 10- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

170. $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + 90^\circ)$;

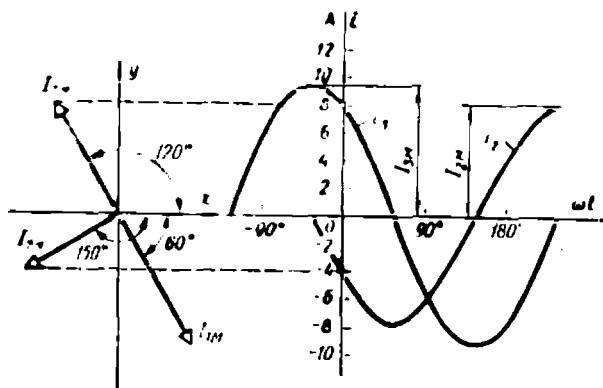
$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t \pm 180^\circ)$.

171. $440 \sin(314t + 45^\circ)$ В.

172. 10-29- расмга қаранг.

173. $8,25 \sin(\omega t - 136^\circ)$ А.

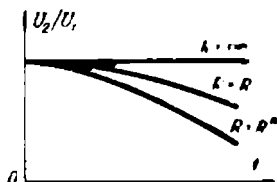
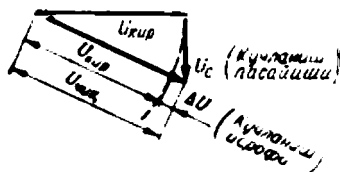
174. $110\sqrt{2} \sin \omega t$ В; $125\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ)$ В; $150\sqrt{2} \sin(\omega t - 70^\circ)$ В.



10-29- расм. 172- масалага жавоб.

175. $357 \sin(\omega t - 14^\circ) \text{ В}$.
 176. $99 \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ В}$; $141 \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ В}$; $70,5 \sin(\omega t - 160^\circ) \text{ В}$.
 177. 1,25 мс.
 178. 77.
 179. 0,5 А; 0,707; 99 Вт; 99 вар; 140 В·А.
 180. $120 \sin(\omega t - 30^\circ) \text{ В}$.
 181. 420 Вт.
 182. 36 Ом; 0,153 Г.
 183. 97,8 В; 179 В; 83,4 Ом; 430 Ом; 0,19.
 184. 0,175 Ом.
 185. 94 мА; 0,6; 75,2 В; 93,4 В.
 186. 6,8 Вт; -9,05 вар; 11,3 В·А.
 187. $141 \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ В}$.
 188. $f = 100 \text{ Гц}$ бўлганда 8,4 В; 35,8 В; $f = 5000 \text{ Гц}$ бўлганда; исроф буладиган кучланиш пасайиши 0,8 В; кучланишни ҳисобга олмаслик мумкин.
 189. 10-30- расмга қаранг.
 190. а) камаяди; б) юқори частотали кучланишларнинг пасайиш даражасини ўзгартиради; в) 10-31- расмга қаранг.
 191. 7 мкФ; 310 В; 235 Ом.
 192. а) Сигнали схемада яхшироқ (таъсири кам); б) схемалар тенг қийматли.
 193. Ўўқ.
 196. а) Ваттметр кўрсатиши нолгача камаяди; амперметр кўрсатиши ортади; б) иккала асбобнинг кўрсатиши ортади.
 197. 9,65 А; 96,5 В; 151,5 В; 205 В; 931 Вт; 516 вар; 1060 В·А
 198. 60 В; 51 В; 2000 В; 2032 В.
 199. 97,5 sin ωt В; 56,5 sin(ωt + 90°) В; 69 В; 40 В.
 204. 0,1 А; 28,5 В; 5,1 В; 100 В; 33 В; 2,8 Вт; -10,78 вар, 11,2 В·А;

$$P_{r1} + P_{r2} + P_r = 2 + 0,1 + 0,7 = 2,8 \text{ Вт} = P;$$



10-30- расм. 189- масалага жавоб

10-31- расм- 190-масалага жавоб.

$$(Q_{L1} + Q_{L2}) - (Q_{1C} + Q_{2C}) = (2,0 + 0,50) - (9,96 + 3,32) = -10,78 \text{ вар} = Q.$$

205. Актив қаршилик 280 Ом; сифим 0,36 мкФ.

206. 77 В; 2,1 Вт; 7,4 вар; 7,7 В А.

207. 6,25 Ом; 85 ёки 16 мГ; 100 В.

208. 1,34 кОм; 146 В.

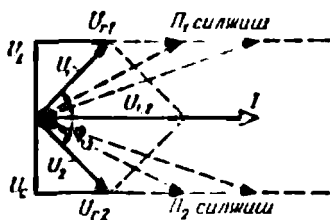
209. а) 10-32- расмга қаранг; б) $x_L = x_C$; в) r_1 ва r_2 ларнинг катта ўзгариши $\psi_{1,2}$ бурчагига кам таъсир қилади.

210. 10-33- расмга қаранг. Бу схемани $\psi_{1,2}$ бурчакнинг кичик қийматларида қўллаш мумкин.

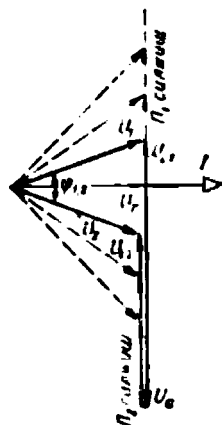
Намунали контрол масалага жавоблар (10-8-§)

10-2- жадавал.

№ вар	Z, Ом	U В	φ	u, В
1	100	10	-53°	$10\sqrt{2} \sin(314t - 30^\circ)$
2	113	11,3	-45°	$16 \sin(314t + 15^\circ)$
3	100	10	37°	$10\sqrt{2} \sin(314t + 20^\circ)$
4	40	4	-90°	$4\sqrt{2} \sin(314t - 60^\circ)$
5	141	14,1	-45°	$20 \sin(314t - 30^\circ)$
6	171	17,1	20°30'	$17,1\sqrt{2} \sin(314t + 50^\circ 30')$
7	84,7	8,47	45°	$12 \sin(314t + 30^\circ)$
8	100	10	-53°	$10\sqrt{2} \sin(314t - 70^\circ)$
9	161	16,1	-30°	$16,1\sqrt{2} \sin(314t + 30^\circ)$
10	89,5	8,95	-26°30'	$8,95\sqrt{2} \sin(314t - 26^\circ 30')$
11	108	10,8	-21°50'	$10,8\sqrt{2} \sin(314t - 41^\circ 50')$
12	179	17,9	-26°30'	$17,9\sqrt{2} \sin(314t - 6^\circ 30')$



10-32- расм. 209- масалага жавоб. (P_1 нинг сурилши, P_2 нинг сурилши)



10-33- расм. 210- масалага жавоб. (P_2 нинг сурилши, P_1 нинг сурилши)

ЎН БИРИНЧИ БОБ

ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИРИ

11-1. ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИРНИ ҲИСОБЛАШ УЧУН ВЕКТОРЛАР ДИАГРАММАСИНИ ҚУЛЛАШ

Масаланинг шарти.

Тармоқланган занжир (11-1- расм) параметрларни

$$r_1 = 80 \text{ Ом}; r_2 = 260 \text{ Ом}, L = 0,19 \text{ Г ва} \\ C = 21,2 \text{ мкФ} = 21,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

бўлган параллел шохобчалардан (расмда пунктир билан кўрсатилган I_3 токли шохобча ҳисобга олинмайди) тузилган. Занжир $U = 120 \text{ В}$ ва $f = 50 \text{ Гц}$ бўлган синусоидал кучланиш генераторидан таъминланади.

I_1 ва I_2 шохобча тоқлари, I токи, шунингдек, занжирнинг актив ва реактив қувватлари аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

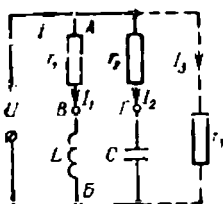
1. Масаланинг хусусияти. Энг аввал бу масалада қандай каттали-ларнинг киймати бизга маълум усуллар билан ҳисобланиши мумкинлигини аниқлаб оламиз. Шубҳасизки, $АВБ$ ва $АГБ$ (11-1- расм) параллел шохобчаларнинг

хар бири шохобча: қисмаларида (A ва B нукталар) кучланиши берилган тармоқланмаган занжирдир. Шунинг учун

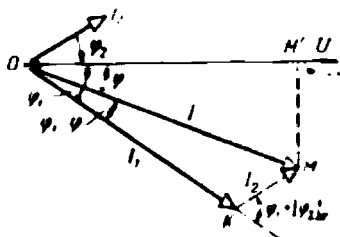
$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L)^2}}$$

$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{\sqrt{r_2^2 + (1/\omega C)^2}}$$

Умумий I ток бошқа усулда топилади. Уни ҳисоблаш учун янги усуллар талаб қилинади. Умумий I ток шохобча тоқлари I_1 ва I_2 ларнинг геометрик йиғиндисига тенг



11-1- расм. Актив ва реактив қаршиликлардан тuzилган қисмларга эга бир нечта шохобчаларни параллел уланиши.



11-2- расм. 11-1- расмдаги иккита шохобчали занжир учун векторлар диаграммаси.

бўлгани учун векторлар диаграммасини қўллашга асосланиб, геометрик ечиш усулини қўллаш мумкин. Ечишнинг алгебранг усули ҳам мавжуд (кейинги масалага қarang).

2. Векторлар диаграммаси. Тармоқланмаган занжирлар учун кўрсатиб ўтилганидек, векторлар диаграммасини қуришни занжирнинг ҳамма қисми учун бир хил бўлган ток векторидан бошлаш қулайдир. 11-1- расмдаги занжир учун ҳам қандайдир умумий катталикни топиш маъқул. Шубҳасизки, бундай катталиқ занжир қисмаларидаги кучланиш бўлади ва шунга кўра векторлар диаграммасини U векторни x ўқи бўйича қўйиб қуришни соғлаймиз (11-2- расм). Актив-индуктив қаршиликли шохобчада I_1 токи фаза бўйича U кучланишдан φ_1 бурчагига кейинда қолади, актив-сигим қаршиликли шохобчада эса I_2 токи фаза бўйича U кучланишдан φ_2 бурчагига олдинда бўлади. Умумий

ток I (11-2- расм) I_1 ва I_2 тоқларнинг геометрик йиғиндиси сифатида қурилган.

3. Тоқларни ҳисоблаш. Шохобча тоқлари тўғри-сида юқорида гапирилган эди. Бизнинг ҳолда

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L)^2}} = \frac{120}{\sqrt{80^2 + (314 \cdot 0,19)^2}} = 1,2 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{r_2^2 + (1/\omega C)^2}} = \frac{120}{\sqrt{260^2 + \left(\frac{1}{314 \cdot 21,2 \cdot 10^{-6}}\right)^2}} = 0,4 \text{ А}.$$

Бу тоқлар кучланишга нисбатан фаза бўйича ҳунидаги бурчакларга силжиган (ишораси ҳисобга олинмаган);

$$\varphi_1 = \arccos \frac{r_1}{z_1} = \arccos \frac{80}{100} = 37^\circ;$$

$$|\varphi_2| = \arccos \frac{r_2}{z_2} = \arccos \frac{260}{300} = 30^\circ.$$

Умумий ток I ни ва унинг фаза бўйича силжиш бурчаги φ ни $ОКМ$ учбурчаклигидан (11-2- расм) косинуслар теоремаси бўйича толамиз:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 - 2I_1 \cdot I_2 \cos \angle ОКМ},$$

лекин

$$\angle ОКМ = 180^\circ - (\varphi_1 + |\varphi_2|),$$

$$\cos [180^\circ - \varphi_1 + |\varphi_2|] = -\cos(\varphi_1 + |\varphi_2|),$$

шунинг учун

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cos(\varphi_1 + |\varphi_2|)}$$

$$= \sqrt{(1,2)^2 + (0,4)^2 + 2 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 0,39} = 1,4 \text{ А}.$$

Синуслар теоремаси бўйича $ОКМ$ учбурчаклиги учун

$$\frac{I}{\sin(\varphi_1 + |\varphi_2|)} = \frac{I_2}{\sin(\varphi_1 - \varphi)}.$$

бундан

$$\sin(\varphi_1 - \varphi) = \frac{I_2}{I} \sin 67^\circ = \frac{0,4}{1,4} \cdot 0,92 = 0,264$$

ёки

$$\varphi = \varphi_1 - 15^\circ 20' = 21^\circ 40'.$$

Олинган I ва φ қийматларни график йўл билан ҳам топиш мумкин. 11-2- расмдаги диаграмма $M_1 = 0,34$ А см масштабида қурилганлигини ҳисобга олиб қуйидагига эга бўламыз: ток $I = OM \cdot M_1 = 4,1 \cdot 0,34 = 1,4$ А,

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{MM'}{M'O} = \operatorname{arctg} \frac{14}{37} = 22^\circ.$$

4. Қувватларни ҳисоблаш. Бутун занжирнинг актив қуввати

$$P = UI \cos \varphi = 120 \cdot 1,4 \cos 22^\circ = 157 \text{ Вт},$$

бу қувват шохобчалар қувватларидан иборат:

$$P_1 = I_1^2 r_1 = (1,2)^2 \cdot 80 = 115 \text{ Вт};$$

$$P_2 = I_2^2 r_2 = (0,4)^2 \cdot 260 = 42 \text{ Вт}.$$

(ҳақиқатан ҳам,

$$P_1 + P_2 = 115 + 42 = 157 \text{ Вт} = P).$$

Бутун занжирнинг реактив қуввати

$$Q = UI \sin \varphi = 120 \cdot 1,4 \sin 22^\circ = 62 \text{ вар}$$

шохобчаларнинг реактив қувватларининг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1 = 120 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 86 \text{ вар};$$

$$Q_2 = UI_2 \sin \varphi_2 = 120 \cdot 0,4 \cdot (-0,5) = -24 \text{ вар},$$

бу ерда биринчи шохобчанинг тўла қаршилиги индуктив ($\varphi_1 > 0$), иккинчи шохобчаники эса сизим характерга эга ёқанлиги ($\varphi_2 < 0$) назарда тутилган:

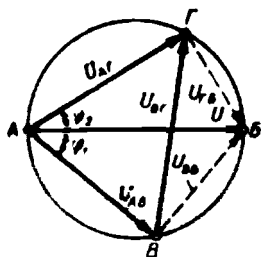
$$Q = Q_1 + Q_2 = 86 - 24 = 62 \text{ вар}.$$

Масалага қўшимча саволлар

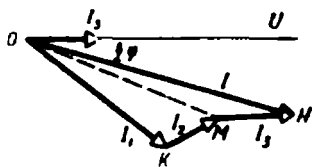
1. B ва Γ нуқталар (11-2- расм) орасидаги $U_{B\Gamma}$ кучланиш қандай ҳисобланади? Буни, масалан, $AB\Gamma A$ контур учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама тузиб топиш мумкин. Бунда тоқлар ва кучланишларнинг таъсир этувчи қийматлари учун вектор тенгламасини тузиш эсдан чиқмаслиги лозим.

Бизнинг ҳолда, контурни айланиб чиқиш йўналишини ссат стрелкаси ҳаракатининг йўналишига тескари олиб:

$$U_{AB} + \bar{U}_{BB} - \bar{U}_{B\Gamma} - \bar{U}_{\Gamma A} = 0$$



11-3-расм. 11-1-§, 1-кў-
шимча саволга.



11-4-расм. 11-1-расмдаги учта
параллел шохобчали занжир
учун векторлар диаграммаси.

ёки $\vec{U}_{BS} - \vec{U}_{GS} = \vec{U}_{BG}$ бўлгани учун B ва Γ нуқталар орасидаги кучланиш $\vec{U}_{BG} = \vec{U}_{AG} - \vec{U}_{AB}$, яъни аниқланаётган вектор r_1 ва r_2 қаршиликларда кучланишлар пасайишларининг геометрик айирмаси сифатида аниқланади.

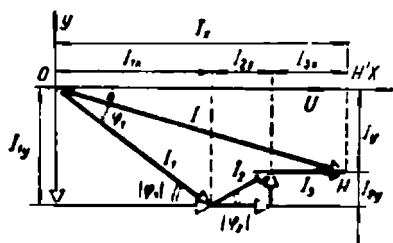
11-3-расмдаги $M_U = 4,0$ В·мм масштабда қурилган диаграммадан $U_{AG} = I_2 r_2 = 0,4 \cdot 260 = 104$ В ва I_3 ток билан бир фазада бўлишини ҳамда $U_{AB} = I_1 r_1 = 1,2 \cdot 80 = 96$ В ва I_1 ток билан бир фазада бўлишини назарда тутиб, қўлидагини топамиз:

$$U_{BG} = BG \cdot M_U = 28 \cdot 4 = 112 \text{ В.}$$

Равшанки, U_{BG} кучланишни маълум бўлган φ_1 | $|\varphi_2|$ бурчак ва учбурчакликнинг AG ва AB томонлари бўйича аналитик йўл билан ҳам ҳисоблаш мумкин.

2. Агар занжирда иккитадан ортиқ шохобчалар бўлса, умумий ток ва унинг фазаси қандай аниқланади? $r_3 = 250$ Ом қаршиликдан тузилган учинчи шохобчани ҳисобга олиб 11-1-расмда пунктир билан кўрсатилган занжирни кўриб чиқамиз.

Янги шохобча олдинги икки шохобча режимига (берилган U кучланишда) ҳеч қандай таъсир қилмайди ва шунинг учун I_1 ва I_2 тоқлар олдингидек қолаверади. ток $I_1 = U/r_3 = 120/250 = 0,48$ А ва у 11-4-расмдаги вектор диаграммада йўналиши жиҳатидан U кучланиш вектори билан бир фазада бўлади. I_1 , I_2 ва I_3 тоқларнинг геометрик йигиндига тенг бўлган I умумий ток $OKMN$ тоқлар кўпбурчаклигини туташтирувчи ON томонга мос келади. У $M_1 = 0,41$ А/см масштабда қурилган, шунинг учун умумий токни диа-



11-5- расм. Шохобчалар токлари векторларининг x ва y ўқларидаги проекциялари орқали умумий токни аниқлаш.

граммадан тўғридан-тўғри аниқлаш мумкин: $I = OH \cdot M_1 = 4,5 \cdot 0,41 = 1,85$ А.

Умумий токни аналитик йўл билан ҳам ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун ҳар бир ток векторининг x ва y ўқларидаги проекцияларини топамиз (11-5- расм). Умумий ток I нинг x ўқига проекцияси (OH' кесма) шохобчалар токлари проекцияларининг йиғиндисига тенг ёки

$$I_x = I_{1x} + I_{2x} + I_{3x} = I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + I_3 \cos 0 = 1,2 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,86 + 0,48 \cdot 1 = 1,78 \text{ А.}$$

Умумий токнинг y ўқига проекцияси (11-5- расмда $H'H$ кесма).

$$I_y = I_{1y} - I_{2y} + I_{3y} = I_1 \sin \varphi_1 - I_2 \sin \varphi_2 + 0 = 1,2 \cdot 0,6 - 0,4 \cdot 0,5 = 0,52 \text{ А.}$$

OHH' учбурчакликдан:

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{1,78^2 + 0,52^2} = 1,85 \text{ А;}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_y}{I_x} = \frac{0,52}{1,78} = 0,292 \text{ ёки } \varphi = 16^\circ 5' \text{ га эга бўламиз.}$$

Агар тоklar кўпбурчаклигини OKM ва OMH учбурчакликларга бўлиб (11-4- расм) ва кетма-кет OM ва OH томонларни ҳисобласак, кўриб чиқилган ҳолда проекциялар усулини қўлламаслик мумкин эди, лекин бу йўл анча мураккабдир.

3. Берилган масалада тоklar векторларининг x ва y ўқларга проекцияларини уларнинг актив ва реактив ташкил этувчилари сифатида қараш мумкинми? Баъзан шохобча токни иккита— актив ва реактив ташкил этувчиларга ажратилади, булардан биринчиси кучланиш билан бир фазада, иккинчиси эса 90° бурчакка силжиган бўлади. I_{1x} ва I_{1y} (11-5- расм) векторларни мос ҳолда актив ва реактив ташкил этувчилардек

ҳисоблаш мумкин, яъни $I_{1x} = I_{1a}$, $I_{1y} = I_{1p}$. Уларнинг геометрик йиғиндиси

$$\sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} = I_1.$$

Диаграммадан ҳамма шохобча тоқларининг актив ташкил этувчилари йўналиши бўйича кучланиш билан мос тушилиш, реактивлари эса ундан 90° кейинда қолиши (тўла қаршилиги индуктив характерда бўлган шохобчаларда) ёки ундан 90° олдинда кетиши (тўла қаршилиги синим характерда бўлган шохобчаларда) кўриниб турипти.

x ва y ўқларида ток векторлари проекцияларининг уларнинг актив ва реактив ташкил этувчилари билан мос келиши фақат U кучланиш вектори x ўқининг мусбат йўналиши бўйлаб йўналган ҳолдагина олинади.

4. 11-1- расмда кўрилган занжир учун қандай эквивалент схема тузиш мумкин? Тўла қаршилиги $z = U/I = 120/1,4 = 86 \text{ Ом}$ бўлган бутун занжирнинг актив қисми $r_{\Sigma} = z \cos \varphi = 86 \cos 21^\circ 40' = 80 \text{ Ом}$ ва индуктив қисми $x_{L\Sigma} = z \sin \varphi = 86 \sin 21^\circ 40' = 31,5 \text{ Ом}$.

Шунинг учун 11-1- расмдаги тармоқланган занжирни $r_{\Sigma} = 80 \text{ Ом}$ ва $x_{L\Sigma} = 31,5 \text{ Ом}$ қаршилиқлар кетма-кет улашган эквивалент схема билан кўрсатиш мумкин.

11-2. ЗАНЖИРНИ ЎТКАЗУВЧАНЛИҚЛАР УСУЛИ БИЛАН ҲИСОБЛАШ

Масаланинг шarti

Олдинги масала (11-1- §) ўтказувчанликлар усули билан ечилсин.

Масаланинг ечилиши

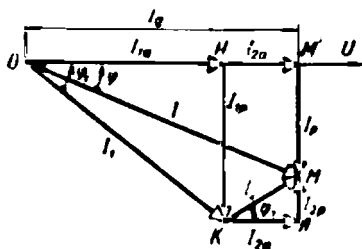
1. Тоқларнинг актив ва реактив ташкил этувчилари. Тоқлар учбурчакликлари. 11-1- расмда кўрилатган занжирдаги ҳамма тоқларни актив ва реактив ташкил этувчилардан тузилган деб қараш мумкин (11-1- §, 3- қўшимча саволга қаранг). Бунинг учун I_1 ва I_2 (11-2- расм) ток векторларини U вектор билан мос тушадиган ва унга перпендикуляр бўлган (11-6- расм) ташкил этувчиларга ажратиш лозим.

Ҳар бир шохобчанинг тоқи ва занжирнинг умумий тоқи ўзининг актив ва реактив ташкил этувчилари билан бирга

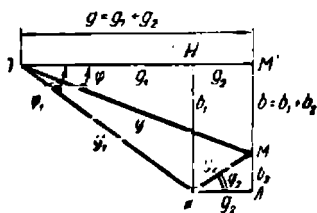
тоқлар учбурчагини ҳосил қилади. Бизнинг ҳолда улар учта: $ОКН$, $КМЛ$ ва $ОММ'$.

2. Ўтказувчанликларни ҳисоблаш. Ўтказувчанликлар учбурчаклиги. Ҳар бир ток ёки унинг ташкил этувчисини унга мос ўтказувчанликни умумий кучла-ниш U га кўпайтмаси билан ифодалаш мумкин:

$$I = Uy; I_a = Ug; I_p = Ub,$$



11-6-расм. Тоқларни актив ва реак-тин ташкил этувчиларга ажратиш.



11-7-расм. 11-6-расмдаги тоқлар диаграммасига мос булган ўтказувчанликлар диаграммаси.

бу ерда y — тўла ўтказувчанлик;
 g — актив ўтказувчанлик;
 b — реактив ўтказувчанлик.

Келтирилган боғланишлар умумий ток учун ҳам, шохобчалар тоқлари учун ҳам тўғридир. Шунинг учун ҳамма тоқлар уларга мос ўтказувчанликларга пропорционалдир ва тоқлар учбурчаклиги (11-6- расм) бошқа масштабда (U марта кичиклаштирилган) ўтказувчанликлар учбурчаклигини ҳосил қилади.

11-1- § да берилганлар бўйича ўтказувчанликларни ҳисоблаймиз. Шохобчаларнинг актив ўтказувчанлиги:

$$g_1 = \frac{r_1}{z_1^2} = \frac{81}{100^2} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{r_2}{z_2^2} = \frac{260}{311^2} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ См.}$$

Бутун занжирнинг актив ўтказувчанлиги шохобчалар актив ўтказувчанликлари йингидисига тенг (11-7- расм) ёки бизнинг ҳолда

$$g = g_1 + g_2 = (8 + 2,9) \cdot 10^{-3} = 10,9 \cdot 10^{-3} \text{ См.}$$

Шохобчаларнинг реактив ўтказувчанлиги:

$$b_1 = \frac{x_1}{z_1^2} = \frac{x_L}{z_1^2} = \frac{60}{(100)^2} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ См.}$$

$$b_2 = \frac{x_2}{z_2^2} = \frac{-x_C}{z_2^2} = \frac{-150}{(300)^2} = -1,7 \cdot 10^{-3} \text{ См.}$$

11-7- расмда сифимли шохобчанинг реактив b , ўтказувчанлиги L нуқтадан юқори томонга қўйилган ML кесма билан ифодаланади, индуктив шохобчанинг реактив ўтказувчанлиги b_1 ни ифодалайдиган NK кесма N нуқтадан пастига қўйилган (қаршилиқлар учбурчаклигини куришда реактив қаршилиқлар қарама-қарши йўналишда қўйилган). Бутун занжирнинг реактив ўтказувчанлиги ($M'M$ кесма, 11-7- расм):

$$b = b_1 + b_2 = 6 \cdot 10^{-2} - 1,7 \cdot 10^{-3} = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ См.}$$

Бутун занжирнинг тўла ўтказувчанлиги (OM кесма, 11-7- расм)

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{(10,9 \cdot 10^{-3})^2 + (4,3 \cdot 10^{-2})^2} = 11,7 \cdot 10^{-2} \text{ См.}$$

Занжирнинг тўла қаршилиги:

$$z = \frac{1}{y} = \frac{1}{11,7 \cdot 10^{-2}} = 86 \text{ Ом.}$$

3. Ток ва қувватларни ҳисоблаш. Занжирнинг умумий токи:

$$I = Uy = 120 \cdot 11,7 \cdot 10^{-2} = 1,4 \text{ А.}$$

Актив ва реактив қувватлар:

$$P = U^2 g = (120)^2 \cdot 10,9 \cdot 10^{-3} = 157 \text{ Вт;}$$

$$Q = U^2 b = (120)^2 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} = 62 \text{ вар.}$$

Кутилганидек, масала икки усулда ечилганда натижалар бир хил чиқди.

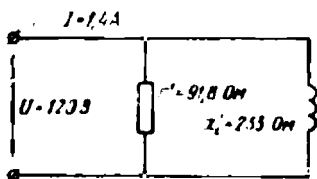
Масалага қўшимча саволлар

1. Ҳар бир шохобчада актив ва реактив тоқларнинг ўзи борми? Актив ва реактив ташкил этувчиларни бир шохобчанинг иккита мустақил тоқлари деб қараш мумкин эмас. Занжирнинг тармоқланмаган қисмида амалда фақат битта тоқнинг ўзи бўлади, уни актив ва реак-

тив таъкил этувчиларга ажратиш эса ҳисоблаш учун қулай бўлган шартли усулдир.

2. Фақат актив қаршилиги r бўлган шохобчанинг актив ва реактив ўтказувчанлиги қандай аниқланади? Актив ўтказувчанлик $g = r/z^2 = r/r^2 = 1/r$, реактив ўтказувчанлик $b = x/z^2 = 0$.

3. Ўтказувчанликлар усулида ҳисоблашда масалани график ясашларсиз ечиш мумкинми? Ўтказувчанликлар усулининг афзаллиги шундаки, бу усул ҳамма тоқларни график ясашларсиз (ўтказувчанлик ёки ток диаграммлари) ҳисоблашга имкон беради, бу диаграммалар масалада фақат уни ойдинлаштириш учун келтирилар эди. Лекин, бошқа томондан, кўпчилик масалаларни айниқса, фаза силжишларни ёки кучланишларнинг тақсимланишини аниқлаш лозим бўлган масалаларни, 11-1- § да кўрсатилганидек, вектор диаграммалар воситасида ечиш осон ва кўрсатилмайдир.



11-8- расм. 11-1- расмда кўрсатилган занжирга эквивалент занжир.

4. 11-1- расм бўйича занжир учун қандай эквивалент схемалар тузиш мумкин? Бутун занжирнинг маълум актив g ва реактив b ўтказувчанликларни асосида иккита параллел шохобчадан иборат эквивалент схема тузиш мумкин (11-8- расм). Шохобчалар қаршиликлари:

$$g = \frac{1}{r} = \frac{1}{10,9 \cdot 10^{-3}} = 91,8 \text{ Ом};$$

$$x' = \frac{1}{b} = \frac{1}{4,3 \cdot 10^{-3}} = 233 \text{ Ом} = x_L.$$

Занжир учун кетма-кет уланган актив r , ва индуктив x_L қаршиликларидан тузилган бошқа эквивалент схемачи ҳам тузиш мумкин (11-1- § даги 4- қўшимча саволга қаранг).

Шундай қилиб, ўтказувчанликлар усулини қўлаб, параллел уланган қаршиликларни кетма-кет уланган қаршиликлар орқали ва аксинча қайта ҳисоблаш мумкин.

11-3. ҚУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИНИ ЯХШИЛАШ

Масаланинг шarti

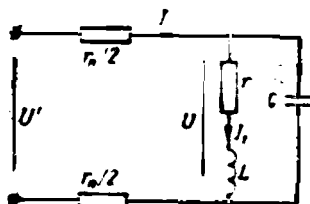
$U = 380$ В кучланиш ва $f = 50$ Гц частотада ишлайдиган, умумий қуввати $P = 45,6$ кВт бўлган электр двигател-

лар ўрнатилган ишлаб чиқариш объектига электр энергия симларининг қаршилиги $r_c = 0,05$ Ом бўлган икки симлик линия орқали берилади. Қувват коэффициенти $\cos \varphi_1 = 0,6$ дан $\cos \varphi_2 = 0,95$ гача яхшилаш учун объектда конденсаторлар қурилмаси монтаж қилинган (U кучланиш ўзгармас).

$\cos \varphi$ нинг кўрсатилган қийматлари учун линия токи, объектнинг тўла қуввати, симларда исроф бўладиган қувват ва конденсатор қурилмасининг сифими ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Эквивалент электр схема. Масалада кўриладиган объектда актив-индуктив нагрузка ҳосил қиладиган электр двигателлар ишлатилмоқда. Эквивалент схемада (11-9-



11-9- расм. Қисмаларига C конденсатор уланган двигателнинг эквивалент электр схемаси.

расм) бундай истеъмолчиларни кетма-кет уланган актив қаршилиқ r ва индуктивлик L кўринишида тасвирлаш мумкин.

Конденсатор қурилмаси узиб қўйилганда (C сифими уланмаган) $I = I_1$ га эга бўламиз ва шунинг учун

$$P = UI \cos \varphi_1 = UI_1 \cos \varphi_1,$$

бундан

$$I_1 = \frac{P}{U \cos \varphi_1};$$

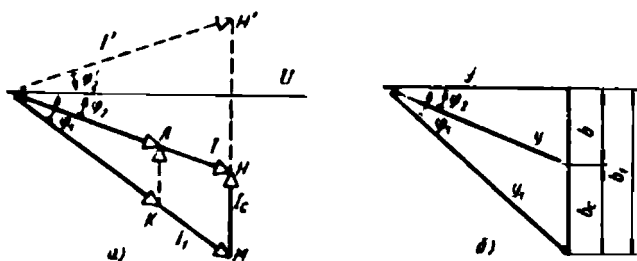
$$z_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{U^2}{P} \cos \varphi_1 = \frac{380^2}{45,6 \cdot 10^3} 0,6 = 1,9 \text{ Ом}.$$

Шундай қилиб, $r_1 = 1,90$ Ом — бу энергия истеъмолчилари сифатидаги ҳамма двигателларнинг эквивалент қаршилиги ёки r , L шохобчанинг тўла қаршилиги (11-9- расм).

2. Векторлар диаграммаси. Аввал кўрилган занжирлардаги каби векторлар диаграммаси қуришни U вектордан уни x ўқи бўйича қўйиб бошлаймиз (11-10 расм, а). I_1 ток U кучланишдан фаза бўйича φ_1 бурчакка кейинда қолади, I_c ток эса ундан 90° бурчакка олдинда кетади. Умумий I ток I_1 ва I_c тоқларнинг геометрик йиғиндиси сифатида қурилган.

Шубҳасизки, конденсаторлар уланиши натижасида реактив ташкил этувчисининг I_C га камайиши сабабли I_1 ток I гача камаяди (11-10- расм).

3. Конденсатор қурилмасининг сифimini аниқлаш. Токлар учбурчаклигига (11-10- расм, а) ўхшаш қурилган ўтказувчанликлар учбурчаклигидан (11-10- расм,



11-10- расм. Конденсатор уланганда 11-10- расмдаги занжирда умумий токнинг реактив ташкил этувчисининг узгарishi.

б) маълумки, сифimini улаш актив ўтказувчанликка таъсир қилмайди:

$$g = y_1 \cos \varphi_1 = \frac{1}{z_1} \cos \varphi_1 = 0,526 \cdot 0,6 = 0,315 \text{ См},$$

лекин бутун занжирнинг реактив ўтказувчанлиги қуйидаги

$$b_1 = y_1 \sin \varphi_1 = 0,526 \cdot 0,8 = 0,422 \text{ См}$$

қийматдан

$$b - y \sin \varphi_2 \text{ ёки } b = g \operatorname{tg} \varphi_2 = 0,315 \cdot 0,33 = 0,104 \text{ См}$$

қийматгача ўзгартиради.

Конденсаторларнинг сифimini ўтказувчанлиги

$$b_C = b_1 - b = 0,422 - 0,104 = 0,318 \text{ См}$$

ва сифimini

$$C = b_C / \omega = 0,318 / 314 = 0,00101 \text{ Ф} = 1010 \text{ МкФ}.$$

4. Умумий токни ҳисоблаш. C конденсаторлар улангунча умумий ток

$$I = I_1 = Uy_1 = 380 \cdot 0,526 = 200 \text{ А}.$$

Конденсаторлар улангандан кейин умумий ток

$$I = Uy = 380 \sqrt{g^2 + b^2} = 380 \sqrt{0,515^2 + 0,104^2} = 126 \text{ А}.$$

Шундай қилиб, умумий ток 1,5 мартадан кўпроқ ка-
маяди.

5. Занжирнинг тўла қувватини ҳисоблаш.
Конденсаторлар улангунча, яъни $\cos \varphi$ яхшилангунча, тўла
қувват

$$S_1 = UI_1 = 380 \cdot 200 = 76 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

конденсаторлар улангандан сўнг қуйидаги қийматгача ка-
маяди:

$$S = UI_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} = S_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} = 76 \cdot 0,63 = 47,8 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Демак, $\cos \varphi$ нинг катталаниши занжирнинг тўла
қувватини камайишига олиб келади.

6. Симларда исроф бўладиган қувватни ҳи-
соблаш. $\cos \varphi$ яхшилангунча симларда исроф бўладиган
қувват

$$P_{c1} = I_1^2 r_n = 200^2 \cdot 0,05 = 2000 \text{ Вт} = 2 \text{ кВт}$$

ва нагрузка актив қувватининг (фойдали қувватнинг)
 $\frac{P_{n1}}{P} 100 = \frac{2}{45,6} 100 = 4,4\%$ ни ташкил қилади.

Конденсаторлар улангандан сўнг исроф бўладиган қувват
тоқлар нисбатининг квадрати $I^2/I_1^2 = 0,63^2 = 0,397$ га про-
порционал камаёди ва

$$P_n = 2 \cdot 0,397 = 0,794 \text{ кВт}$$

ни ёки нагрузка актив қувватининг $4,4 \cdot 0,397 = 1,74\%$ ни
ташкил қилади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Кўриб ўтилган объектни таъминловчи
генератор қандай номинал параметрларга эга
бўлиши керак? Генераторлар номинал ток I_n , кучланиш
 U_n ва тўла қувват $S_n = U_n I_n$ билан характерланганлиги
учун объектнинг $\cos \varphi$ си катталаштирилмагунча уни таъмин-
лаш учун (агар линияда кучланиш исрофгарчилиги ҳисобга
олинмаса) қуйидаги генератор талаб қилинар эди:

$$U_n = U = 380 \text{ В}, I_n = I_1 = 200 \text{ А} \text{ ва } S_n = S_1 = 76 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Агар шундай генератор тайёрланган ва ўрнатилган
бўлса, $\cos \varphi$ катталашгандан сўнг унда резерв $S' = S_n - S =$
 $= 76 - 47,8 = 28,2 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ қувват ҳосил бўлар ва бу қув-

ватдан бошқа истеъмолчиларни таъминлаш мумкин бўлар эди. Бундай ҳулосага генераторнинг актив қуввати $P = S_n \cos \varphi$ қувват коэффициентига пропорционал ҳолда ўзгаришини ҳисобга олиб ҳам келиш мумкин.

Демак, косф нинг оширилиши генераторларнинг (электр станцияларнинг) ўрнатилган қувватларидан фойдаланиши яхшилади.

2. Объектнинг актив қувватининг ўзгариши косф ни яхшилаш учун зарур бўлган сизимга қандай таъсир қилади? Амалий шароитларда айрим двигателлар баъзан ишламайди, бу эса объект қувватининг камайишига олиб келади.

Агар $\cos \varphi_1$ ва $\cos \varphi_2$ аввалгидек танланган деб фараз қилсак (бу эса асбоб-ускуналарнинг берилган ўртача зарузкасида бўлиши мумкин), унда $I_1 = P/U \cos \varphi_1$ ва $I = P/U \cos \varphi_2$ тоқлар, шунингдек, уларнинг геометрик айирмаси I_C (11-10-расм, а) актив қувват P га пропорционал ўзгаради. Бу OMH ва OQL учбурчакликларнинг ўхшашлигидан ҳам кўришиб турибди, бунда сўнгги учбурчаклик P нинг кичик қуввати учун қурилган.

$b_C = \omega C = I_C/U$ тенгликни ҳисобга олсак, бундан $C = I_C/\omega U$, кўриладиётган шароитда зарур бўлган C сизим P га пропорционал бўлишини аниқлаш осон. Шунинг учун амалда объектнинг қуввати камайганда конденсаторларнинг бир қисмини узиб қўйиш кўзда тутилади.

3. Сизимнинг масала шартини қаноатлантирадиган бошқа қиймати борми? Умумий ток I кучланиш U дан берилган φ_2 бурчакка кейинда қолиши мумкин (11-10-расм, а), лекин кучланишдан худди шундай бурчакка олдинда бўлиши ҳам мумкин (11-10-расм, а да пунктир чизиқ билан кўрсатилган). Бунда $I' = I$ ва $\varphi_2 = -\varphi_2$, яъни қувват коэффициенти бир хил. Нима учун $\varphi_2 > 0$ бўлган режим танланган? Бундай режим кичик сизим тоқини талаб қилади (11-10-расм, а да MH ўрнига MH' кесма), бунга эса кичкина сизим C билан эришилади ва бу билан қурилма соддалашади.

11-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

213. Актив қаршилик $r = 440$ Ом ва индуктивлик $L = 1,4$ Г параллел уланган занжир кучланиши 220 В ва частотаси $f = 50$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғидан таъминланади. Шоҳобчалар тоқлари

ва умумий ток, шунингдек, занжирнинг актив, реактив ва тўла қувватни аниқлайсин.

214. Актив қаршилик $r = 440$ Ом, индуктивлик $L = 0,35$ Г ва снгим $C = 2,86$ мкФ кучланиш 220 В, частотаси 200 Гц бўлган ўзгарувчан ток манбага параллел уланган. Шохобчалар тоқлари ва занжирнинг умумий тоқни икки усулда: график усулда вектор диаграмма-сидан ва ўтказувчанликлар усулида аниқлайсин.

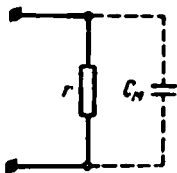
215. Параметрлари $r_k = 60$ Ом, $L_k = 33,4$ мГ бўлган индуктивлик гаптак ва параллел уланган қаршилиги $r = 500$ Ом бўлган резистор кучланиш 100 В ва частотаси 400 Гц бўлган ўзгарувчан ток манбадан таъминланади. Шохобчалар тоқлари ва манбанинг тоқни ҳисобла-син.

216. Кучланиши 120 В бўлган ўзгарувчан ток манбаи иккита параллел шохобчани таъминлайди: актив ва снгим қаршилик $r = x_C = 10$ Ом га, иккинчиси — индуктив қаршилик $x_L = 10$ Ом га эга. Занжир-нинг ҳамма тоқлари вектор диаграммаси ердамида аниқлансин. Нати-жалар ўтказувчанликлар усули билан текширилсин, биринчи шохоб-ча ва бутун занжир учун ўтказувчанликлар учбурчакликлари қурил-син.

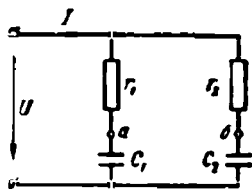
217. Радиотехника қурилмаларида актив қаршилик баъзан шундай танланадики, бунда схеманинг деталлари орасида мавжуд бўлган снгим C_M (монтаж снгими) улаишнинг (11-11-расм) эквивалент қар-шилигини кўпи билан 10% камайтиради. Агар $C_M = 20$ пФ, частота $f = 100$ кГц бўлса, кўрсатилган шартларда r аниқлансин.

218. 11-12-расмдаги занжирнинг параметрлари маълум $r_1 = 542$ Ом, $r_2 = 416$ Ом; $C_1 = 0,51$ мкФ; $C_2 = 0,22$ мкФ; $U = 10$ В; $f = 1000$ Гц. Умумий ток I , актив қаршиликларда ва снгимларда кучланиш па-сайиши, шунингдек, a ва b нукталар орасидаги кучланиш аниқлансин. Ҳамма кучланишларнинг топографик диаграммаси қурилсин.

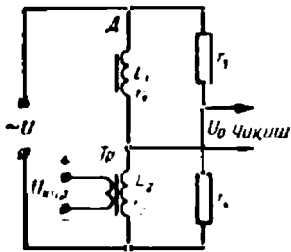
219. Индуктивлиги $L_1 = 8$ Г бўлган дроссель D , трансформатор-нинг иккиламчи чулғами ва $r_3 = r_4 = 5,1$ Ом иккита қаршиликдан иборат кўприк схема (11-13-расм) оддий магнит кучайтиргични ташкил қилади. Трансформаторнинг бирламчи чулғамга узгармас ток манбадан $U_{кнр}$ кучланиш берилади. Ўзгармас ток трансформаторининг маг-нит ўтказгичда ўзгармас магнит оқими ҳосил қилади (ундаги мавжуд ўзгарувчан магнит оқимига қўшимча равишда), бу эса L_2 индуктивли-ки камайтиради. Манба узиб қўйилганда $U_{кнр} = 0$, индуктивлик $L_2 = = L_1 U_{кнр} = 0,1$ В бўлганда L_2 индуктивлиги 3 Г га камаяди. Агар кўприк диагонали ўзгарувчан ток тартоғига ($U = 220$ В, $f = 50$ Гц) уланса, дроссель ва трансформатор чулғамларининг актив қаршилиги $r_1 = r_2 = 500$ Ом бўлса, $k = U_a/U_{кнр}$ коэффициент аниқлансин.



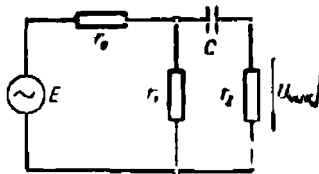
11-11- расм. 217- масалага.



11-12- расм. 218- масалага.



11-13- расм. 219- масалага.



11-14- расм. 220- масалага.

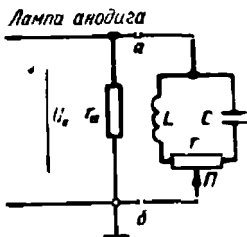
220. Қаршилликлардан тузилган паст частотали кучайтиргичнинг каскади паст частота учун ($f = 100 \div 500$ Гц) 11-14- расмда кўрсатилган эквивалент схемага эга. Талаб қилнади: а) агар $r_0 = 40$ кОм; $r_1 = 120$ кОм; $z_2 = 520$ кОм; $C = 0,002$ мкФ бўлса, кўрсатилган диапазондаги четки частоталар учун $U_{\text{чик}}/E$ нисбат ҳисоблансин;

б) частоталар диапазонида схеманинг параметрларидан қайси бири $U_{\text{чик}}/E$ нисбатнинг ўзгаришига анча кучли таъсир қилади;

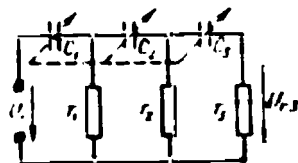
в) частота ўзгарганда $U_{\text{чик}}/E$ нисбатнинг минимал ўзгаришини таъминлайдиган қаршилликлар нисбати кўрсатилсин.

221. Кучайтиргичлар (электр проигратель, радиоприёмниклар ва бошқалар) да токни коррекциялаш (товуш тембрини ўзгартиришда) учун тўла қаршиллик z_{Σ} частота f га боғлиқ равишда ва реостат ползуни l нинг вазиятига қараб ўзгарадиган ab контурдан (11-15- расм) фойдаланилади. Бунда параллел уланган контурнинг эквивалент қаршиллиги ва r_a қаршиллик ҳамда шу эквивалент қаршилликдаги L_{Σ} кучланиш ўзгаради. Агар $L = 20$ Г; $C = 2500$ пФ; $r_1 = 500$ кОм бўлса, ползуни l нинг ўртача ва икки четки вазиятларида частоталар 100 ва 6000 Гц (четки частоталар электр проигрателлари учун) бўлганда z_{Σ} нинг қиймати аниқлансин.

222. Қуввати 10 кВт ли двигатель учун $U = 220$ В ва $\cos\phi = 0,8$ бўлганда унинг эквивалент электр схемаси икки вариантда тузилсин: а) актив қаршиллик ва индуктивлик кетма-кет уланганда; б) улар параллел уланганда.



11-15- расм. 221- масалага.



11-16- расм. 222- масалага.

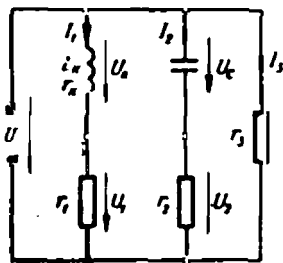
223. Параллел уланган актив r ва индуктив x_L қаршиликли занжир учун $P/Q = 3/4$ бўлганда r/x_L нисбат топилсин, бу ерда P ва Q мос ҳолда бутун занжирнинг актив ва индуктив ҳувватидир.

224. Ўзгарувчан ток манбаига актив r ва индуктив $x_L = 2,16$ Ом қаршилик параллел уланган. Агар умумий ток индуктив шохобчанинг токидан 2 марта катта бўлса, r қаршилик аниқлансин.

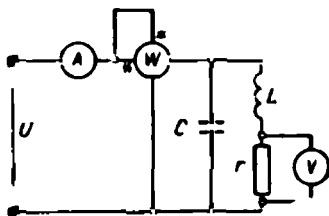
225. Актив қаршилик $r = 50$ Ом, сифим қаршилик $x_C = 20$ Ом, индуктив қаршилик x_L параллел уланган ва ўзгарувчан ток манбаидан таъминланади. Манба кучланиши билан занжирнинг умумий токи орасидаги фаза сўлжишининг сон жиҳатдан 35° га тенг бўлган иккинчи қиймати аниқлансин.

226. Лампали генераторларда U_1 ва U_{r3} кучланишлар орасида 180° фаза сўлжишини таъминлайдиган занжир (11-16-расм) ишлатилади. C_1 , C_2 ва C_3 сифимларни курсатилган шартларни таъминлайдиган қилиб турли частоталарда ўзгартрилади. $C_1 - r_1$; $C_2 - r_2$; $C_3 - r_3$ қисмларни бир-биридан мустақил деб олиб, яъни иккинчи қисмининг тўла қаршилиги $Z_2 \gg r_1$ ва учинчи қисмининг тўла қаршилиги $Z_3 \gg r_2$ ва қисмларнинг ҳар бири 60° фаза сўлжишини ҳосил қилади деб: а) кучланишларнинг топографик диаграммаси (масштабда) қурилсин; б) топографик диаграммадан кучланишнинг камайиши (U_1/U_{r3}) аниқлансин.

227. 11-17-расмдаги занжир учун U_1 векторини x уқининг мусбат йўналишида жойлаштириб, тоқлар ва кучланишлар векторлари диаграммаси сифатли қурилсин.



11-17-расм.
227-масалага.



11-18-расм.
229-масалага.

228. Актив қаршилик r , индуктивлик L ва сифим C параллел уланган занжирдаги тоқлар мос ҳолда 120, 150 ва 40 А га тенг. Агар қисмлардаги кучланиш $U = 220$ В бўлса, умумий ток, бутун занжир учун қувват коэффициентини, шунингдек актив, реактив ва тўла қувват ҳисоблансин.

229. 11-18-расмдаги занжирда вольтметр, амперметр ва ваттметр мос ҳолда 60 В; 4,25 А ва 180 Вт ни кўрсатмоқда. Агар индуктив қаршилик $x_L = 22,4$ Ом, тоқнинг частотаси $f = 400$ Гц бўлса, занжир қисмларидаги кучланиш, сифимдаги ток, шунингдек, актив қаршилик r ва сифим C ҳисоблансин.

230. Частотаси $f = 50$ Гц бўлган ўзгарувчан ток манбаига иккита шохобча уланган; биринчиси $r = 2$ Ом актив қаршиликка ва L индук-

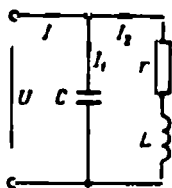
тивликка, иккинчиси, фақат сизим C га эга. Биринчи шохобчанинг қувват коэффициентини $0,707$, бутун занжириники $0,9$. L ва C аниқлансин.

231. Двигателнинг $\cos \varphi$ сини $0,87$ гача ошириш учун унинг қисмаларига $C = 800$ мкФ сизимли конденсатор уланган. Агар двигатель 50 Гц частота ва $U = 500$ В кучланишда ишласа ҳамда 110 кВт актив қувватга эга бўлса, конденсаторсиз двигателнинг қувват коэффициентини аниқлансин.

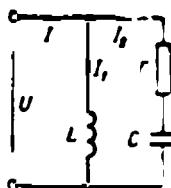
232. Электр жиҳозларининг актив қуввати $P = 250$ кВт бўлган ишлаб чиқариш объекти кучланиши 500 В, частотаси 50 Гц бўлган маҳаллий генератордан таъминланади. $\cos \varphi$ ни $0,7$ дан $0,9$ гача ошириш учун объектида ўрнатилган конденсаторлар группасининг сизими ва агар объект қуввати 2 марта камайса, манбадан узиб қўйилиши зарур бўлган конденсаторлар бир қисмининг сизими аниқлансин.

11-5. НАМУНАЛИ КОНТРОЛ МАСАЛА

а) 1; 3; 5; 7- вариантлар. Топшириқнинг (11-1-жадвал) ҳар бир варианты учун берилган занжир схемаси, унинг қисмларидаги кучланиш ва ҳамма қаршилиқлар бўйича бутун занжирнинг актив, реактив ҳамда тула утказувчанлиги ва унинг умумий токи ҳисоблансин.



11-19-расм. Намунали контрол масалала (1; 2 вариантлар).

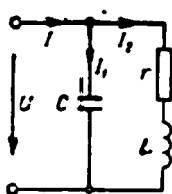


11-20-расм. Намунали контрол масалала (3; 4 вариантлар).

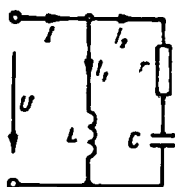
11-1-жадвал

Вариант №	№-расм бўйича занжир	Кучланиш, В	Занжир қаршилиқлари, Ом
1	11-19	20	$r = 6; \omega L_1 = 8; \omega L_2 = 10$
3	11-20	12	$r = 8; 1/\omega C_1 = 6; 1/\omega C_2 = 10$
5	11-21	20	$r = 4; \omega L = 3; 1/\omega C = 5$
7	11-22	10	$r = 3; \omega L = 5; 1/\omega C = 4$

б) 2; 4; 6; 8- вариантлар. Топшириқнинг (11-2-жадвал) ҳар бир варианты учун берилган занжир схемаси, унинг қисмларидаги кучланиш U тоқларининг актив ва реактив ташкил этувчилари $I_{1a}, I_{1p}, I_{2a}, I_{2p}$ бўйича шохобчаларининг актив, реактив ва тула утказувчанлиқлари; шунингдек, занжирнинг умумий токи ҳисоблансин.



11-21- расм. Намунали контрол масалага (5; 6 вариантлар).



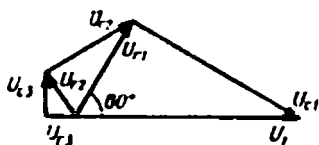
11-22- расм. Намунали контрол масалага (7; 8 вариантлар).

11-2-жадвал

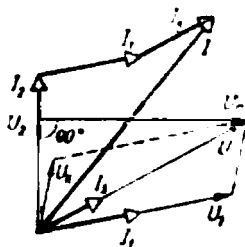
Вариант №	№-расм бўйича занжир	$U, В$	$I_{L, А}$	$I_{r, А}$	$I_{C, А}$	$I_{D, А}$
2	11-19	20	1,2	1,6	0	2
4	11-20	12	0,96	0,72	0	1,2
6	11-21	20	0	4	3,2	2,4
8	11-22	10	0	2	1,2	1,6

11-6. 11-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

213. 0,5 А; 0,5 А; 0,707 А; 110 Вт; 110 вар; 155,5 В·А.
 214. 0,5 А; 0,5 А; 0,79 А; 0,58 А.
 215. 0,97 А; 0,2 А; 1,1 А.
 216. 8,5 А; 12,0 А; 8,5 А.
 217. $r < 36,5 \text{ кОм}$.
 218. 26 мА; 8,65 В; 5,0 В; 5,0В; 8,65 В; 5,0 В.
 219. 440.
 220. а) 0,43; 0,69; б) сизим С; в) $x_C \ll r_2$.
 221. $f = 100 \text{ Гц}$ бўлганда; 214 кОм; 12,7 кОм; 400 кОм; $f = 6000 \text{ Гц}$ бўлганда; 222 кОм; 420 кОм; 10,75 кОм.
 222. Кетма-кет схема; 31 Ом; 74 мГ. Параллел схема: 48,5 Ом; 205,5 мГ.
 223. 4·3
 224. 1,25 Ом.
 225. 27,8 Ом; 15,6 Ом.
 226. а) 11-23-расмга қаранг, б) тахминан 8 марта.
 227. 11-24-схемага қаранг.
 228. 163 А; 0,74; 26,6 кВт; 24,3 квар; 36 кВ·А



11-23- расм.
226- масалага жавоб.



11-24- расм.
227- масалага жавоб.

229. 90 В; 6 А; 20 Ом; 26,4

230. 6,4 мГ; 415 мкФ.

231. 0,67.

232. 1700 мкФ; 850 мкФ.

Намунали контрол масалага вариантлар бўйича жавоблар

- $g = 0,06 \text{ См}; b = 0,18 \text{ См}; y = 0,19 \text{ См}; I = 3,8 \text{ А}.$
- $g_1 = 0,06 \text{ См}; b_1 = 0,08 \text{ См}; y_1 = 0,1 \text{ См}; g_2 = 0, b_2 = 0,1 \text{ См}; y_2 = 0,1 \text{ См}; I = 3,8 \text{ А}.$
- $g = 0,08 \text{ См}; b = 0,16 \text{ См}; y = 18 \text{ См}; I = 2,16 \text{ А}.$
- $g_1 = 0,08 \text{ См}; b_1 = 0,06 \text{ См}, y_1 = 0,1 \text{ См}, g_2 = 0,08 \text{ См}; b_2 = 0,1 \text{ См}; y_2 = 0,1 \text{ См}; I = 2,16 \text{ А}.$
- $g = 0,16 \text{ См}; b = -0,08 \text{ См}; y = 0,18 \text{ См}; I = 3,58 \text{ А}.$
- $g_1 = 0; b_1 = 0,2 \text{ См}; y_1 = 0,2 \text{ См}; g_2 = 0,16 \text{ См}; b_2 = 0,12 \text{ См}; y_2 = 0,2 \text{ См}. I = 3,58 \text{ А}.$
- $g = 0,12 \text{ См}, b = 0,04 \text{ См}; y = 0,126 \text{ См}; I = 1,26 \text{ А}.$
- $g_1 = 0; b_1 = 0,2 \text{ См}; y_1 = 0,2 \text{ См}; g_2 = 0,12 \text{ См}; b_2 = 0,16 \text{ См}. y_2 = 0,2 \text{ См}; I = 1,26 \text{ А}.$

УН ИККИНЧИ БОБ

ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИДА РЕЗОНАНС

12-1. ЎЗГАРУВЧАН РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛАРИ БЎЛГАН ТАРМОҚЛАНМАГАН ЗАНЖИР. ЧАСТОТА ВА ФАЗА ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

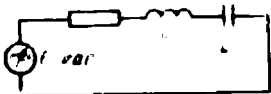
Масаланинг шarti

Элементлари $r = 600 \text{ Ом}; L = 1,195 \text{ Г}; C = 0,133 \text{ мкФ}$ бўлган кетма-кет уланган занжир (12-1-расм) синусоидал кучланиши $U = 60 \text{ В}$, частотаси 250 дан 700 Гц гача ўзгардиган генератордан таъминланади.

Актив, реактив ва тўла қаршиликларнинг, шунингдек, фазалар айирмасининг частотага боғланиш эгри чизикларини яшаш талаб қилинади.

Масаланинг счилиши

1. Масаланинг хусусияти. Бу масалада аввалгилардан (11-бобга қаранг) фарқли ўларок, электр занжири частоталар диапазонида ишлайди. Бунда занжирнинг индуктив $x_L = 2\pi fL$, сифим $x_C = 1/2\pi fC$, реактив $x = x_L - x_C$ ва тўла $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ қаршиликлари доимий бўлиб қолмай, балки улар частота билан бирга ўзгаради. Бу қаршиликларнинг частотага боғланиш частота характеристикалари дейилади.

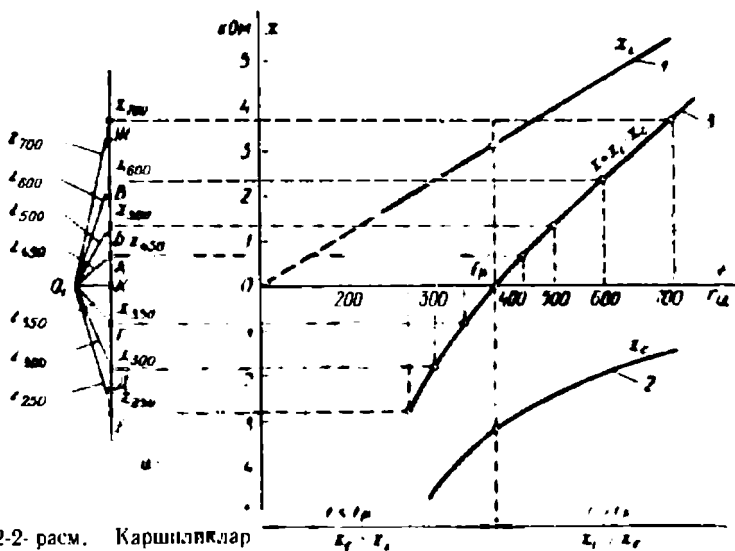


12-1-расм. Актив, индуктив ва сифим қаршиликлар кетма-кет уланган занжир.

Умумий кучланиш ва ток орасидаги фаза силжиши $\varphi = \arctg(x/r)$ ҳам частота билан бирга ўзгаради, $\varphi(f)$ боғланиш графиги эса фаза характеристикаси дейилади.

Бу масалада параметрлари r, L, C бўлган тармоқланмаган занжирнинг частота ва фаза характеристикалари ўрганилади.

Маълумки, берилган занжирда (12-1-расм) $x_L - x_C$ ёки $x = 0$ бўлганда фаза силжиши $\varphi = 0$ бўлади. Кўриб чиқи-



12-2-расм. Қаршиликлар учбурчаги (а) ва реактив қаршиликларнинг частотага боғланиши. (б).

лаётган занжир учун бу ҳол кейинги параграфда ўрганиладиган кучланишлар резонанси режимини аниқлайди.

2. Реактив қаршиликларнинг частотага боғланишларини аниқлаш. Индуктив қаршилик $x_L = 2\pi fL = 6,28 \cdot 1,195f = 7,5f$ Ом. x_L қаршилик частота f га тўғри пропорционаллигини ва графикда тўғри чизиқ билан тасвирланишини ҳисобга олиб, берилган диапазоннинг четки частоталари учун индуктив қаршилик $x'_L = 7,5 \cdot 250 = 1,87$ кОм ва $x'_L = 7,5 \cdot 700 = 5,25$ кОм ларни ҳисоблаймиз, булар асосида 12-2-расмда $M_x - 170$ Ом мм масштабда I тўғри чизиқ ясалган.

Сигим қаршилиги

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 0,133} \cdot \frac{1}{f} = 12 \cdot 10^5 \frac{1}{f} \text{ Ом.}$$

x_C частота f га тесқари пропорционал бўлгани учун $x_C(f)$ боғланиш графиги гипербола бўлади, бу гиперболани қуриш учун унинг бир нечта нуқталарининг қийматлари ҳисобланган (12-1-жадвал). Бу берилганлар асосида 2 эгри чизиқ ясалган.

Бутун занжирнинг реактив қаршилиги $x = x_L - x_C$ нинг частотага боғланиши (3 эгри чизиқ) тўғри чизиқ ва гиперболанинг ординаталарини график усулда қўшиб ясалган.

12-1-жадвал

$f, \text{Гц}$	250	300	400	500	600	700
$-x_C, \text{кОм}$	-4,8	-4,0	-3,0	-2,4	-2,0	-1,73

Олинган эгри чизиқлар қуйидаги хулосаларни чиқаришга имкон беради:

1. $f_p = 400$ Гц частотада индуктив ва сигим қаршиликлар тенг ($x_L = x_C$), занжирнинг реактив қаршилиги эса $x = x_L - x_C = 0$. Бу шарт кучланишлар резонанси режимга мос келади.

2. Резонанс частотадан паст частотада ($f < f_p$) занжирнинг тўла қаршчилиги z актив-сигим характерида бўлади. ($x < 0$)

3. Резонанс частотадан юқори частотада ($f > f_r$) занжирнинг тўла қаршилиги z актив-индуктив характерга эга бўлади.

3. Тўла қаршилиқнинг частотага боғланишини аниқлаш. $x_1(f)$ графиги ва актив қаршилиқ бўйича занжирнинг тўла қаршилигининг частотага боғланишини икки йўл билан аниқлаш мумкин:

1. 3 эгри чизиқ бўйича (12-2-расм) f нинг турли қийматлари учун x нинг бир нечта қийматларини аниқлаш ва $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ формула бўйича бир хил ҳисоблаш серияларини бажариш.

2. Частотанинг бир нечта қийматлари учун қаршилиқлар учбурчаклигини куриш ва z ни график усулда ҳисоблаш.

Бу икки йўлдан қайси бири танланади?

Умумий қондани бериш қийин, лекин бизнинг ҳолда иккинчи йўл қисқароқ. Ҳақиқатан ҳам, учбурчакликлар учун (12-2-расм) ҳам графиклар учун олинган масштабни қабул қилиб, занжирнинг актив қаршилиги учун $O_1K = r/M_r = 600/170 = 3,5$ мм чизигини оламиз. Бу чизиқ горизонтал йўналишда қўйилган ва ҳамма учбурчакликлар учун умумий катет ҳисобланади.

Бу ҳолда ҳар бир қаршилиқлар кўпбурчаклигининг бошқа томони $x(f)$ эгри чизигининг мос ординатасига тенг бўлади. 12-2-расмда O_1KA , O_1KB ва ҳоказо томонларнинг, учбурчакликлар учун KA (x_{450}), KB (x_{600}) ва ҳоказо томонларнинг қурилиши (пунктир линиялар билан) кўрсатилган, бу ерда x_{450} , x_{600} ва ҳоказолар — 450, 500 Гц ва ҳоказо частоталарга мос бўлган $x(f)$ эгри чизигининг ординаталаридир.

Занжирнинг тўла қаршилиги учбурчакликларнинг гипотенузалари билан аниқланади. Масалан, $z_{250} = M_z \cdot O_1E = 170 \cdot 17,7 = 3,05$ кОм. Бошқа частоталарда тўла қаршилиқ z нинг қийматлари 12-2-жадвалда келтирилган.

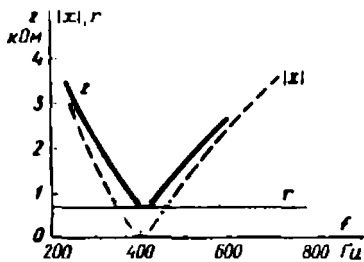
12-2-жадвал

f , Гц	250	300	350	400	450	500	600
z , кОм	3,05	2,0	1,12	0,6	0,9	1,5	2,5

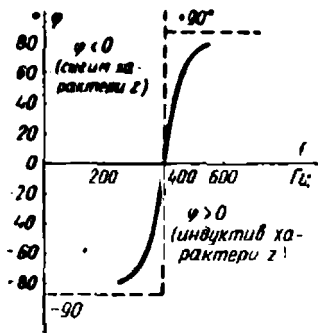
12-2-жадвалда берилганлар бўйича 12-3-расмда $z(f)$ эгри чизиги ясалган. Шу расмнинг ўзида, бу ерга 12-2-

расмдан кўчирилган, реактив қаршиликнинг абсолют қиймати $|x|$ нинг эгри чизиги (пунктирда), шунингдек r частотага боғлиқ бўлмаган ва f ўқиға параллел актив қаршиликнинг $r(f)$ боғланиши кўрсатилган.

4. φ бурчагининг частота f га боғланишини аниқлаш. Кучланиш ва ток орасидаги фазалар силжишини $\cos \varphi = r/z = 600/z$ ифода ёрдамида аниқлаш мумкин.



12-3- расм. Кетма-кет контур қаршиликларининг частотали характеристикалари.



12-4- расм. Кетма-кет контурнинг фаза характеристикаси.

12-2- жадвалдан танланган частота қийматлари учун z нинг қийматини қўйиб, $\cos \varphi$ ни ва φ бурчагини аниқлаймиз (12-3- жадвал).

$\varphi(f)$ боғланиш графиги ёки фаза характеристикаси 12-3- жадвалдаги берилганлар асосида 12-4- расмда ясалган.

12-3- жадвал

$f, \text{ Гц}$	250	300	350	400	450	500	600
φ	$-78^\circ 30'$	$-72^\circ 30'$	-58°	0°	$+49^\circ$	$+66^\circ$	$+76^\circ$

Масалага қўшимча саволлар

1. Таъминловчи манбанинг частотаси f нолдан чексизгача ўзгарганда реактив қаршиликнинг четки қийматлари қанақа бўлади? $f = 0$ бўлганда (ўзгармас ток) индуктив қаршилик $x_L = 2\pi fL = 0$,

сигим қаршилик $x_C = 1/2\pi fC = 1/0 = \infty$ ва реактив қаршилик $x = x_L - x_C = -x_C = -\infty$.

Агар $f = \infty$ деб олинса, у ҳолда $x_C = 1/\infty = 0$ ва $x = x_L - x_C = x_L = \infty$.

Индуктив қаршилик молдан чексизгача, сигим эса чексизликдан нолгача ўзгаргани учун, параметрлари r , L , C бўлган ҳар қандай кетма-кет занжирда $x_L = x_C$ бўлган режим, яъни резонанс режим бўлиши мумкин.

2. Агар $r = 0$ деб олинса, 12-1-расмдаги занжирнинг фаза характеристикаси қандай бўлади? Фазалар силжишини

$$\operatorname{tg} \varphi = x/r$$

билан аниқлаш мумкин, бунда $r = 0$ бўлганда $\operatorname{tg} \varphi = \infty$ ёки $\varphi = \pm 90^\circ$. Шундай қилиб, идеал кетма-кет контурда ($r = 0$) ток билан кучланиш орасида фазалар силжишининг иккита қиймати бўлиши мумкин: $+90^\circ$ ёки -90° . Бир қийматдан иккинчисига ўтиш резонанс частотада сакраб ўтиш билан амалга оширилади (12-4-расмда пунктир билан кўрсатилган).

12-2. КУЧЛАНИШЛАР РЕЗОНАНСИ РЕЖИМИ РЕЗОНАНС ЭГРИ ЧИЗИКЛАР

Масаланинг шарти

12-1-расмдаги занжир учун 12-1-§ да берилганлар асосида частотанинг, токнинг, сигим ва индуктивликдаги кучланишларнинг, шунингдек, сигимдаги кучланиш ва маиба кучланишнинг резонанс қийматининг нисбати ҳисоблансин; резонанс эгри чизиқлар ясалсин.

Масаланинг ечилиши

1. Резонанс частотани ҳисоблаш. 12-1-расмдаги кетма-кет контурда қуйида ўрнатилган частотада кучланишлар резонанс режими вужудга келиши мумкин:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,195 \cdot 0,133 \cdot 10^{-6}}} = 400 \text{ Гц.}$$

2. Резонанс режимида ток ва кучланишларни ҳисоблаш. Резонанс вақтида реактив қаршилик $x = 0$, тўла қаршилик эса

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = r = 600 \text{ Ом.}$$

Занжирдаги ток

$$I = U/r = 60/600 = 0,1 \text{ A.}$$

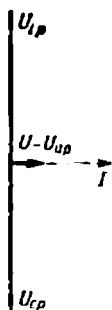
Олдинроқ (12-1- жадвал) резонанс частота $f = 400 \text{ Гц}$ учун сигим қаршилик қиймати $x_{Cp} = 3 \text{ кОм}$ олинган эди. Лекин резонанс вақтида сигим ва индуктив қаршиликлар тенг: $x_{Cp} = x_{Lp} = 3 \text{ кОм}$. Резонанс вақтида индуктивликда ва сигимда кучланишлар мос ҳолда

$$U_{Lp} = x_{Lp} I = x_{Cp} I = U_{Cp} = 3 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 300 \text{ В.}$$

Актив қаршиликда кучланиш (резонанс вақтида)

$$U_{ap} = rI = U = 60 \text{ В.}$$

12-5- расм. Кучланишлар резонанси моментига векторлар диаграммаси.



Бизнинг шароитда индуктивлик ёки сигимдаги кучланиш $U_{Lp} = U_{Cp}$ занжир қисмаларидаги кучланишдан

$$k_U = U_{Lp}/U = 300/60 = 5$$

марта катта бўлади.

3. Векторлар диаграммаси. 12-5- расмда векторлар диаграммаси

$$U_{Lp} = U_{Cp}$$

ни назарда тутиб, умумий кучланиш U индуктивликдаги U_{Lp} ёки сигимдаги кучланиш U_{Cp} дан $k_U = 5$ марта кичиклигини ҳисобга олиб қурилган.

Диаграммадан кўриниб турибдики, резонанс вақтида занжир қисмаларидаги кучланиш $U = U_{ap} = rI$ фазаси бўйича ток билан мос тушади: ($\varphi = 0$), реактив кучланиш эса $U_p = U_{Lp} - U_{Cp} = 0$.

4. Ток ва кучланишнинг частотага боғланишини аниқлаш. Занжирда ток $I = U/z = 60/z$, бу ерда тўла қаршилик z танланган ҳамма частоталар учун аввал ҳисобланган (12-2- жадвал). Токни ҳисоблаш натижалари асосида (12-4- жадвал) 12-6- расмда $I(f)$ боғланиш эгри чизиги ясалган (туташ чизик).

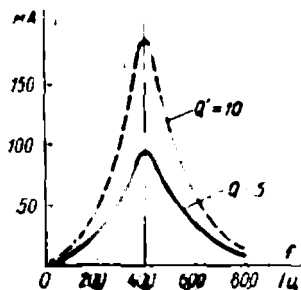
Токнинг (12-1- жадвал) ва сигим қаршилик x_C нинг (12-1- жадвал) маълум бўлган қийматлари бўйича

$$U_C = x_C \cdot I$$

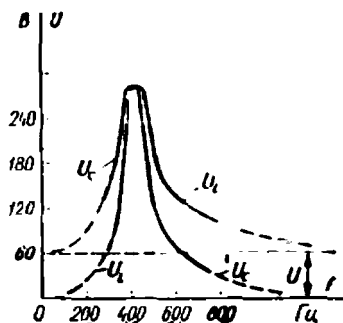
ли аниқлаш (12-5- жадвал) ва булар бўйича 12-7- расмда кўрсатилган $U_C(f)$ боғланиш графигини ясаш осон.

12-4- жадвал

$f, \text{Гц}$	250	300	350	400	450	500	600
$I, \text{мА}$	19	31,5	57	100	65	42	24



12-6- расм. Кетма-кет контурда токнинг резонанс эгри чизини.



12-7- расм. Кетма-кет контурда индуктивлик ва сигимдаги кучланишларнинг резонанс эгри чизилари.

Худди шунингдек, индуктивликдаги кучланишнинг частотага боғланиш эгри чизигини нуқталар бўйича қуриш мумкин. $U_L = x_L I$ бўлгани учун 12-4- жадвалдаги I ток қийматларини ва қаршиллик $x_L = \omega L = 7,5f$ (12-1- § га қаранг) бўйича U_L нинг қийматини топамиз (12-6- жадвал) ва 12-7- расмда кўрсатилган $U_L(f)$ боғланишини ясаймиз.

12-5- жадвал

$f, \text{Гц}$	250	300	350	400	450	500	600
$U_C, \text{В}$	91	126	197	300	173	101	48

12-7- расмдан кўриниб турибдики, $U_L(f)$ ва $U_C(f)$ боғланиш графиклари резонанс частота 400 Гц га нисбатан нонсимметрикдир.

12-6- жадвал

f , Гц	250	300	350	400	450	500	600
U_L , В	25,8	71	149	300	219	157	108

Масалага қўшимча саволлар

1. U_L ва U_C резонанс эгри чизиқларининг чегара қийматлари қандай бўлади? $f = 0$ частота учун индуктивликдаги ($U_L = 0$) ва сифимдаги ($U_C = U$) кучланиш олдин аниқланган.

Частотанинг бошқа чегара қиймати $f = \infty$ да қаршилик $x_L = \infty$ ва $x_C = 0$. Шунинг учун $f = 0$ бўлган режимга ўхшаб, бу ҳолда ($f = \infty$ бўлганда) $U_C = 0$ ва $U_L = U$ га эга бўламиз. Бу четки чегара қийматларга $U_L(f)$ ва $U_C(f)$ эгри чизиқлар (12-7- расмда пунктирда кўрсатилган) чегара қийматларига интилади.

2. Кучланишни кучайтириш коэффициенти k_U қандай қийматларга боғлиқ? Кетма-кет контур томонидан кучланишни кучайтириш коэффициенти

$$k_U = \frac{U_{\text{СР}}}{U} = \frac{x_{\text{СР}} I}{U} = \frac{x_L I}{U} = Q,$$

бу ерда Q — контурнинг аслиги.

Демак, контурнинг аслиги резонанс вақтида кетма-кет уланган контур томонидан кучланишни қай даражада кучайтирилишини аниқлайди.

3. Резонанс частотада U_L ва U_C графиклар (12-7- расм) максимал қийматларга эга бўладими? Резонанс частотада

$$U_L = U_C$$

максимал қийматларга эга бўлмайди. Уларнинг максимуми ($U_{L \text{ макс}}$ ва $U_{C \text{ макс}}$) резонанс частотага нисбатан силжиган бўлади. Контурнинг аслиги ортиши билан кўриб чиқила-

ётган силжнш камаяди ва Q катта бўлганда уни ҳисобга олмаслик мумкин.

4. Резонанс эгри чизиқлари $U_L(f)$, $U_C(f)$ нинг тиклиги қандай катталикларга боғлиқ? Кўриб чиқиладиган занжирда индуктивлик ва сифимдаги кучланиш $U_L = U_C = QU - 5U$ қисмалардаги кучланишдан Q (асллиги) марта ёки бизнинг ҳолда 5 марта катта бўлади.

Резонанс вақтида ихтиёрий реактив қаршиликлардан бири $x_L = x_C$ занжирнинг тўлқин қаршилиги z_r га тенг. Агар уни ўзгармас қолдириб, лекин актив қаршилик, масалан, 2 марта камайтирилса, унда контур асллиги $Q' = 2Q - 10$ ва м.с ҳолда $U_L = U_C = U \cdot 2Q = 60 \cdot 10 = 600$ В бўлади, яъни контур асллиги ва реактив кучланишлар 2 марта ортади. Ток $I' = \frac{U}{r/2} = \frac{60}{300} = 0,2$ А = 200 мА, 2 марта ортади.

12-6- расмда контурнинг кўриб чиқилган асллиги учун $Q' = 2Q = 10$ токнинг резонанс эгри чизиғи (пунктир чизик) ясалган.

Шундай қилиб, резонанс эгри чизиқларининг тиклиги контурнинг асллиги ортиши билан усиб боради.

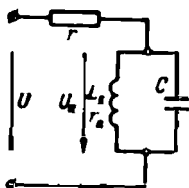
Шубҳасизки, $r > x_L$ бўлган занжирларда ($Q < 1$) резонанс ҳодисаси жуда кучсиз бўлади.

5. Занжирдаги резонанс режими қандай ошкор қилинади? Резонанс режимида занжирнинг тўла z қаршилиги r га тенг бўлган энг кичик қийматга, ток $I = U/r$ эса энг катта қийматга эга бўлади. Шунинг учун занжирга амперметр улаб ва f частотани, L индуктивликни ёки сифим C ни ўзгартириб, асбобнинг максимал кўрсатишига қараб резонанс режимиини ўрнатиш мумкин.

6. Агар 12-1- расмдаги занжир ток манбаидан таъминланса, резонанс эгри чизиқлари қандай кўринишга эга бўлади? Агар 12-1- расмдаги занжирда частотанинг берилган диапазонида ток ўзгармас деб ($I = \text{const}$) қабул қилинса, у ҳолда занжирнинг қисмларида кучланиш $U = z \cdot I = z \cdot \text{const}$ га пропорционал, яъни $U(f)$ боғланиш 12-3- расмдаги $z(f)$ га ўхшаш график билан тасвирланади. $U_L = x_L I = x_L \text{const}$ ва $U_C = x_C I = x_C \text{const}$ бўлганлиги учун $U_L(f)$ ва $U_C(f)$ боғланиш графиклари уларнинг қаршиликларининг частота характеристикалари $x_L(f)$ ва $x_C(f)$ га ўхшаш бўлади (12-2- расм), яъни $U_L(f)$ тўғри чизик билан тасвирланади, $U_C(f)$ эса гипербола билан тасвирланади.

Масаланинг шarti

Индуктивлиги $L_K = 2,5 \text{ мГ} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Г}$ бўлган гал-так $r_K = 1000 \text{ Ом}$ (12-8- расм) актив қаршилик ва $C = 120 \text{ пФ} = 120 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ сифим билан параллел резонанс контур ҳосил қилади. Контур кучланиши $U = 66 \text{ В}$ бўлган таъминловчи манбага $r = 210 \text{ кОм}$ қаршилик орқали уланган.



Манба кучланишининг резонанс режимини таъминловчи частотаси аниқлансин ва бу режимда контурнинг тўла қаршилиги, контурдаги кучланиш ва ҳамма тоқлар ҳисоблансин.

12-8- расм. Параллел резонанс контурга эга бўлган занжир.

Масаланинг ечилиши

1. Резонанс частотани ҳисоблаш. Кўриб чиқиляётган, иккита параллел уланган қисмга эга бўлган (индуктив ва сифим характерли) занжирда қисмларнинг (шоҳобчаларнинг) индуктив ва сифим ўтказувчанликлари тенг бўлганда ($b_L = b_C$) тоқлар резонанси режими вужудга келади.

Резонанс шarti ($b_L = b_C$) қуйидаги (резонанс) частотада таъминланади:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - r_1^2}{\frac{L}{C} - r_2^2}}$$

Резонанс частота f_p учун келтирилган ифодани икки қисмдан (f_0, A) иборат деб қараш мумкин. Улардан бири ($f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$) кетма-кет контурнинг аввалдан маълум бўлган резонанс частотасини ёки кучланишлар резонансини аниқлайди. Иккинчи қисми (A коэффициент) контурнинг r_1 ва r_2 актив қаршиликлари ҳосил қиладиган частота ўзгаришини ҳисобга олади (бизнинг шароитда индуктивлиги $r_1 = r_K$ бўлган шоҳобчанинг актив қаршилиги, сифимли шоҳобчаники $r_2 = 0$).

Бизнинг берилганларда

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 10^{-12}}} \\ = 290,4 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 290,4 \text{ кГц};$$

$$A = \sqrt{\frac{L_K/C - r_1^2}{L_K/C}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-3}/120 \cdot 10^{-12} - (1000)^2}{2,5 \cdot 10^{-3}/120 \cdot 10^{-12}}} = 0,976;$$

$$f_p = f_0 \cdot A = 290,4 \cdot 10^3 \cdot 0,976 = 284 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

ва мос ҳолда

$$\omega_p = 2\pi f_p = 6,28 \cdot 284 \cdot 10^3 = 178 \cdot 10^4 \text{ рад/с.}$$

Шундай қилиб, тоқлар резонансини олиш учун кўрилатган занжирни частотаси 284 кГц бўлган ток манбаидан таъминлаш керак.

2. Резонанс контурининг ўтказувчанликларини ҳисоблаш. Резонанс режимида параллел контур шохобчаларининг индуктив ва сиғим ўтказувчанликлари бир-бирига тенг:

$$b_L = b_C = \omega C = 178 \cdot 10^4 \cdot 120 \cdot 10^{-12} = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

$$\text{Бутун контурнинг реактив ўтказувчанлиги } b = b_L - b_C = 2,14 \cdot 10^{-4} - 2,14 \cdot 10^{-4} = 0.$$

Бизнинг ҳолда индуктив шохобчанинг актив ўтказувчанлиги g_L бутун контурнинг актив ўтказувчанлиги g га тенг, чунки иккинчи шохобчанинг актив қаршилиги $r_2 = 0$ ва шунинг учун

$$g = g_L = \frac{r_k}{r_k^2 + (\omega L_K)^2} = \frac{1000}{(1000)^2 + (178 \cdot 10^4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3})^2} \\ = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

Контурнинг тўла ўтказувчанлиги

$$g = \sqrt{g^2 + b^2} = g = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

Демак, тоқлар резонанси вақтида резонанс контурининг тўла ўтказувчанлиги актив ўтказувчанликка тенг.

3. Контурнинг тўла қаршилигини ҳисоблаш. Резонанс контурининг тўла қаршилиги z_k ни икки усул билан аниқлаймиз.

Биринчидан, аниқланган тўла ўтказувчанлик $y = 1/z_k$ бўйича, бундан $z_k = 1/y = 1/0,48 \cdot 10^{-4} = 20,8 \cdot 10^3 \text{ Ом} \approx 21 \text{ кОм.}$

Иккинчидан, аниқлиги контурнинг аслиги ўсиши билан ошадиган тахминий формула бўйича. Бу формула қуйидаги кўринишга эга:

$$z_k = \frac{r_1 r_2 + \rho_2}{r_1 + r_2}$$

бу ерда контурнинг тўлқин қаршилиги

$$\rho = \sqrt{L/C} = \sqrt{2,5 \cdot 10^{-3} / 120 \cdot 10^{-12}} = 4,55 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

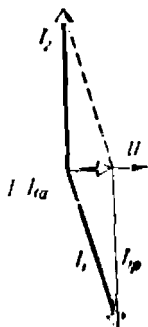
$$r_1 = r_k = 1000 \text{ Ом ва } r_2 = 0 \text{ ни ҳисобга олиб,}$$

$$z_k = \rho^2 / (r_1 + r_2) = (4,5 \cdot 10^3)^2 / 10^3 \approx 21 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 21 \text{ кОм ни}$$

олампиз. Иккала усулда олинган натижалар бир хилдир.

4. Контурдаги U_k кучланишни ҳисоблаш (12-8- расм). Контурнинг топилган қаршилиги z_k соф актив

қаршилликдир ва бу қаршилик z_k дан 10 марта катта бўлган бошқа актив қаршилик r билан кетма-кет уланган (12-8- расм). Шунинг учун контурдаги кучланиш.



$$U_k = \frac{U}{r - z_k} z_k = U \frac{21}{21 + 210} = \frac{U}{11} = \frac{66}{11} = 6 \text{ В.}$$

5. Тоқларни ҳисоблаш. Индуктивлик галтагида тоқнинг актив ва реактив ташкил этувчилари:

$$I_{1a} = U g_1 = 6,0 \cdot 0,48 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,284 \text{ мА;}$$

$$I_{1p} = U b_1 = 6,0 \cdot 2,14 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1,26 \text{ мА;}$$

12-9- расм. Занжирда (12-8- расм) тоқлар резонанс режими учун векторлар диаграммаси.

$$\text{шохобчанинг умумий тоқи } I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} = \sqrt{(0,284)^2 + (1,26)^2} = 1,29 \text{ мА.}$$

Иккинчи шохобчада

$$I_{2a} = U g_2 = U \cdot 0 = 0;$$

$$I_{2p} = U b_2 = U b_1 = I_{1p} = 1,26 \text{ мА}$$

ва шунинг учун $I_2 = 1,26 \text{ мА.}$

Занжир умумий тоқининг актив ва реактив ташкил этувчилари:

$$I_a = I_{1a} + I_{2a} = 0,284 \text{ мА;}$$

$$I_p = I_{1p} - I_{2p} = 1,26 - 1,26 = 0.$$

Занжирнинг умумий токи

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{0,284^2 + 0} = 0,284 \text{ мА.}$$

12-9- расмда олинган натижалар бўйича векторлар диаграммаси қурилган, унда тоқлар резонанси вақтида умумий токнинг кучланиш билан бир фазада бўлишига ва шохобчалар тоқининг актив ташкил этувчиларининг йиғиндисига тенглигига яна бир марта ишонч ҳосил қилиш мумкин (бизнинг ҳолда $I = I_{1a}$, чунки $I_{2a} = 0$).

Масалага қўшимча саволлар

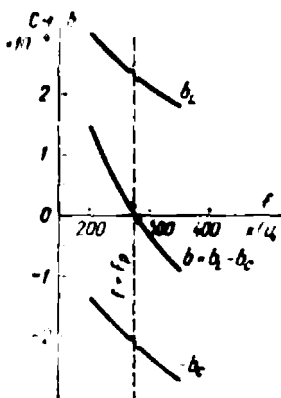
1. Резонанс контур ўтказувчанликларининг частота характеристикалари қандай олинади? Агар частотанинг бир неча қийматлари учун параллел контурнинг ўтказувчанликлари ҳисобланса (12-7-жадвал), у ҳолда 12-10- расмда келтирилган $b(f)$ боғланиш графикларини ясаш мумкин. Графиклардан, $f < f_p$ бўлганда занжирнинг реактив ўтказувчанлиги b мусбат, $f > f_p$ да эса манфий бўлиши келиб чиқади.

12-7- жадвал

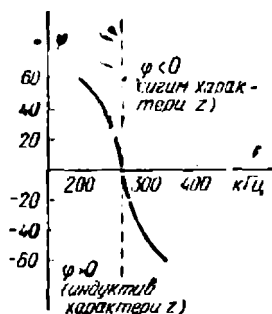
f , кГц	200	250	278	300	350
$b_L, 10^{-4}$ См	2,89	2,395	2,14	2,03	1,75
$b_C, 10^{-4}$ См	1,51	1,885	2,14	2,26	2,64
$b = (b_L - b_C), 10^{-4}$ См	1,38	0,51	0	-0,23	-0,89
$g, 10^{-4}$ См	0,922	0,611	0,48	0,428	0,322

2. Резонанс контурнинг фаза характеристикаси қандай кўринишга эга бўлади? Агар частотанинг бир неча қийматлари учун (12-8- жадвал) контурдаги U_k кучланиши билан умумий ток I орасидаги фазалар силжиши φ ҳисобланса, у ҳолда 12-11- расмда келтирилган $\varphi(f)$ боғланиш графикини ясаш мумкин.

Графикдан φ фазалар силжиши $f < f_p$ бўлганда мусбат қийматга ва $f > f_p$ бўлганда манфий қийматга эга бўлиши кўриниб турибди. Частота $\varphi(f)$ боғланишининг (фазавий характеристиканинг) тиклиги резонанс частотага яқин бўлганда энг катта бўлади.



12-10 расм. Параллел контур утказувчанликларининг частотага боғланиши.



12-11- расм. Параллел контурнинг фаза характеристикаси.

12-8- жадвал

f , кГц	200	250	278	300	350
φ	$56^{\circ}20'$	$10'$	$0'$	$-28^{\circ}15'$	$-70'$

Маълумки, $\varphi > 0$ (ёки $f < f_p$) бўлганда ток фазаси буйича кучланишдан кейинда бўлади ва резонанс контурнинг тўла қаршилиги z_k индуктив характерга эга бўлади, $\varphi < 0$ (ёки $f > f_p$) бўлганда эса ток фазаси буйича кучланишдан олдинда ва z_k сифим характерига эга бўлади.

Параллел контурда занжирнинг тўла қаршилиги резонанс частотадан ўтшида индуктивликдан сифимга ўзгаради

3. r қаршилик нима учун уланган (12-8-расмга қаранг) ва контур таъминланишининг қандай режими вужудга келади? Агар r ва z_k (контурнинг резонанс вақтидаги тўла қаршилиги) қаршиликлар учун $r \gg z_k$ бўлган нисбат вужудга келтирилса, у ҳолда 12-8-расмдаги занжирда умумий ток

$$I = U / (r + z_k) \approx U / r = \text{const},$$

чунки r га нисбатан z_k ни ҳисобга олмаслик мумкин.

Бу шароитда ($I = \text{const}$) резонанс контурни ток манбандан таъминланиш режимида бўлар экан. Таъминланишнинг бундай режими амалда кенг тарқалган. Масалан, электроникада параллел резонанс контурлар, кўпинча, электрон асбобларнинг (электрон лампалар, транзисторлар ва бошқалар) катта ички қаршиликлари билан кетма-кет уланади.

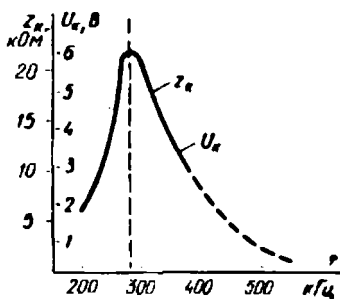
Ушбу масалادا $r = 10z_{к,р}$ танланган, бу эса ток манбаи билан таъминланиш режимига яқин. Бу режимнинг қулайлиги кейинги қўшимча саволда туташтирилган.

4. Контурда кучланишнинг резонанс эгри чизиги $U_{к}(f)$ қандай олинади? Контурнинг актив g ва реактив b ўтказувчанликларига эга бўлиб (12-7-жадвал), частотанинг ўша қийматлари учун тўла ўтказувчанлик $y = \sqrt{g^2 + b^2}$ ва контурнинг тўла қаршилиги $z_{к} = 1/y_{к}$ (12-9-жадвал) ни ҳисоблаш мумкин. Бу натижалар асосида 12-12-расмда частота характеристикаси $z_{к}(f)$ ясалган.

12-9-жадвал

f , кГц	200	250	278	300	350
$z_{к}$, кОм	6,0	12,5	21	20	10,5
$U_{к}$, В	1,7	3,55	6,0	5,7	3,0

Бизнинг шароит учун контурни ток манбандан таъминланади деб олиб, йўл қўйиши мумкин бўлган хатолик билан контурдаги кучланиш $U_{к} = Iz_{к} = \text{const} \cdot z_{к}$ ни оламиз деб фараз қилиш мумкин (олдинги қўшимча савол жавобига қаранг). Шундай қилиб, $z_{к}(f)$ (12-12-расм) боғланиш графиги бошқа масштабда $U_{к}(f)$ резонанс эгри чизигини ифодалайди. 12-9-жадвалда келтирилган ва 12-12-расмда $U_{к}$ нинг масш-



12-12-расм. Контур тўла қаршилигининг частотали характеристикаси ва (шунинг ўзи) контурда кучланишнинг резонанс эгри чизиги.

таби учун фойдаланилган U_k нинг қийматлари масалани ечишда топилган умумий токнинг қиймати $I = 0,284$ мА бўлганда олинган.

5. Параллел ва кетма-кет контурларнинг параметрлари бир хил бўлганда кучланишлар резонансининг частотаси қандай шартларда тоқлар резонансининг частотаси билан мос тушади? Тоқлар резонанс частотаси учун юқорида келтирилган ифода $f_p = f_0 A$ дан (бу ерда f_0 — кучланишлар резонанс частотаси) $A = 1$ бўлганда $f_p = f_0$ бўлиши келиб чиқади. Бу шарт агар $r_1 = r_2 = 0$ ёки $r_1 = r_2 = r$ деб қабул қилинса, уринлидир.

Олинган натижалар иккита муҳим хулоса чиқаришга имкон беради: биринчидан, тоқлар резонанси ўрнатиладиган частота бир вақтнинг ўзида индуктивликка, сиғимга ва актив қаршилиқларга боғлиқдир;

иккинчидан, агар индуктивлик L ва сиғим C дан тузилган иккита параллел шохобчали занжирда шохобчаларнинг актив қаршилиқлари ҳисобга олинмаслиги мумкин бўлса, у ҳолда тоқлар резонанси $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ ёки $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ да, яъни кучланишлар резонанси шартларида вужудга келади.

6. Параллел контурнинг параметрлари орасидаги нисбат қандай бўлганда унда резонанс режими бўлмайди? Тоқлар резонанси частотаси учун юқорида келтирилган ифодадаги A билан белгиланган радикал, агар радикал ишораси остидаги каср полдан кичик бўлса, мавҳум сон бўлади. Бу ҳол қуйидаги икки шарт бажарилганда бўлиши мумкин:

$$1) L/C - r_1^2 < 0 \quad \text{ва} \quad L/C - r_2^2 > 0$$

ёки

$$2) L/C - r_1^2 > 0 \quad \text{ва} \quad L/C - r_2^2 < 0.$$

Шундай қилиб, параллел контур шундай параметрларга эга бўлиши мумкинки (юқоридаги иккита шарт билан аниқланадиган), бу параметрларда резонанс режими бўлиши мумкин эмас.

7. Индуктивликнинг хусусий резонанси нима? Ҳар бир индуктив ғалтак ўрамлараро («хусусий») сиғимга эга бўлади. Бу сиғимнинг эквивалент қиймати C_0 ва ғалтакнинг L индуктивлиги хусусий резонанс частотаси

$f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC_0}$ бўлган параллел контур ҳосил қилади (агар ғалтакнинг актив қаршилиги ҳисобга олинмаса).

Ғалтак контурга C сифимли конденсатор билан параллел уланганда унинг хусусий C_0 сифими C билан қўшилиб, резонанс частотасини камайтиради:

$$f_k = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_0 + C)}}$$

Хусусий сифим f_0 дан катта бўлган резонанс частотали контур олишга имкон бермаганлиги учун амалий шароитларда ўрашнинг махсус хилларини қўллаб, ғалтакни секцияларга бўлиб ва бошқа чоралар билан C_0 сифимни камайтиришга интилинади.

Юқори частоталарда баъзан C_0 сифими ва монтаж сифими фақат ғалтаклардан иборат бўлган (қўшимча конденсаторларсиз) резонанс контур олиш учун кифоя қилади.

12-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

12-1- § ва 12-2- § га масалалар

233. r , L , C элементлари кетма-кет уланган тармоқланмаган занжир кучланиши $U = 110$ В ва частотаси $f = 200$ Гц бўлган манбадан таъминланади. Занжирда кучланишлар резонанси ўрнатилди. Агар $r = 50$ Ом; $L = 0,1$ Г бўлса, занжир токи, индуктивликда, сифимда ва актив қаршилиқда кучланиш пасайиши, шунингдек, сифим аниқлансин. Векторлар диаграммаси ва қаршилиқлар учбурчаклиги қурилсин.

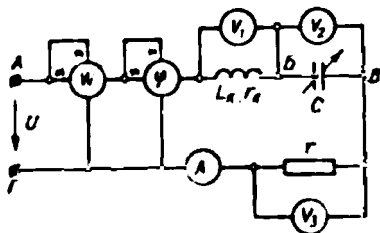
234. Олдинги масала шартларида, агар актив қаршилиқ 10 марта камайтирилса, индуктивликдаги ва сифимдаги кучланишлар резонанс режимида манбанинг кучланишидан неча марта катта бўлади?

235. Ғалтакнинг индуктивлиги L_k ни ўлчаш учун уни конденсатор ва амперметр билан бирга тармоқланмаган занжир ҳосил қилиб, паст частотали генератор қисмаларига уланган. Генератор частотасини ўзгартириб занжирни резонансга созланган. Агар резонанс частотаси $f_0 = 80$ Гц, $C = 2$ мкФ бўлса, индуктивлик L_k аниқлансин.

236. Олдинги масала шартларида, резонанс режимида генератор энг катта қувват бериши учун унинг ички қаршилиги қандай бўлиши керак? Контурнинг аслиги $Q = 23$.

237. Кетма-кет уланган ғалтак (L_k ва r_k) ва конденсатор C дан иборат занжир кучланиши $U = 12$ В ва частотаси $f = 200$ Гц бўлган манбадан таъминланади. Агар манбанинг қуввати 6 Вт дан ортмаслиги лозим бўлса, LC кўпайтманинг занжирда резонанс ҳосил бўладиган қиймати ва ғалтакнинг актив қаршилиги аниқлансин.

238. $L = 2$ Г ва $C = 5$ мкФ бўлган кетма-кет занжирда частота f_0 бўлганда резонанс ҳосил бўлади. Сўнгра генератор кучланишининг частотаси Δf га камайдн ва f_0 га тенг бўлиб қолди. Резонансини тик-



12-13- расм. 240- масалага.

учун галтакнинг реактив ёршилги x_L билан конденсаторнинг реактив қаршилги x_C орасидаги нисбат кўрсатилсин.

240. 12-13- расмдаги занжирда асбобларнинг кўрсатиши бўйича ўзгарувчан снгим C ўзгарганда резонанс режими қандай қайд қилинади. Икки ҳол кўриб чиқилсин: а) r_k ни ҳисобга олмаслик мумкин эмас; б) r_k ни ҳисобга олмаслик мумкин.

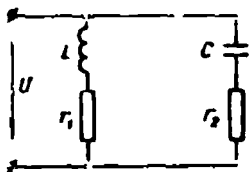
241. 12-13- расмдаги занжир резонансга созлангандан кейин бу занжир учун $r_k = 0$ деб олиш мумкин, занжирни таъминловчи генератор частотасини 2 марта оширдилар. Агар умумий кучланиш ўзгармас бўлса ва: а) контур асглиги етарлича катта ($Q > 10$); б) контур асглиги $Q = 1$ бўлса, асбобларнинг кўрсатишига бу қандан таъсир қилади?

242. Индуктивлик L ва ўзгарувчан снгим C ли тармоқланмаган занжир частоталар диапазони $f = 200 \div 600$ кГц бўлганда резонансга созланади. Агар снгимнинг минимал қиймати $C_{мин} = 50$ пФ бўлса, $C_{мин}$ ва L аниқласин.

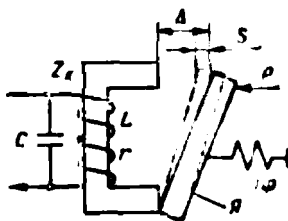
12-3- § ГА МАСАЛАЛАР

243. Агар $r_1 = r_2 = 1,4$ кОм; $L = 2$ Г; $C = 8$ мкФ бўлса, 12-14- расмдаги занжир учун резонанс частота f_p аниқласин. $f = f_p$ бўлганда тоқлар, шунингдек, бутун занжир ва шохобчаларнинг актив ва реактив қувватлари ҳисобласин, қувватлар баланси тузилсин ва векторлар диаграммаси қурилсин. Манбаининг кучланиши $U = 500$ В.

244. Агар $r_1 = r_2 = 0$ деб олинса, олдинги масала шартларида тоқлар резонанси қандай частотада содир бўлади?



12-14- расм. 243- масалага.



12-15- расм. 246- масалага.

245. Ҳар бири 6,3 Ом ли актив, индуктив ва снгим қаршилликларни қучланиши 127 В бўлган ўзгарувчан ток манбага параллел уланган. Шохобчалар токи, умумий ток ва занжирнинг тўла қаршилиги аниқлансин. Вектор диаграмма қурилсин. Агар манба қучланишининг частотаси 2 марта оширилса, занжирнинг тўла қаршилиги z қандай ўзгаради?

246. P босилишининг ортинги натижасида юзага келган жуда кичик силжиш $s = 0,3$ мм ни контрол қилиш учун N якорнинг кўчишини индуктивлик L нинг катталанишига (номагнит оралиқ Δ узунлигининг камайиши натижасида) ўзгартирадиган индуктив датчик қўлланилган: а) агар $C = 0,2$ мкФ, чулғамнинг актив қаршилиги $r = 200$ Ом, оралиқнинг максимал қиймати $\Delta_{\text{макс}} = 0,5$ мм бўлса, контурнинг резонанс частотасининг ўзгариш графиги $f_p(\Delta)$ қурилсин, $L(\Delta)$ боғланиш эса 12-10- жадвалда берилган; б) кўрсатилган типдаги датчикнинг фақат кичик силжиш s ларни контрол қилиш учун қўлланишини тўшинтиринг.

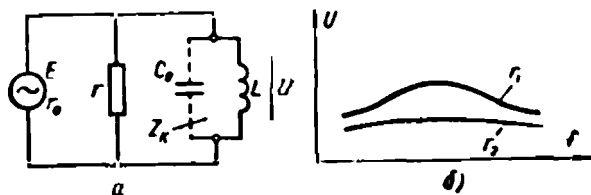
12-10- жадвал

Δ , мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
L , Г	0,4	0,3	0,24	0,20	0,172

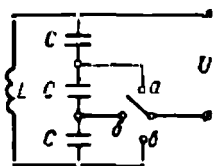
247. Агар контур қучланишининг частотаси $f = 800$ Гц бўлган манбага уланган бўлса, олдинги мисала шартларида контурнинг тўла қаршилигининг якор силжишига боғланиши, яъни $z_k(s)$ қурилсин.

248. Вольтметрлар, ўзгарувчан (ростланадиган) частотали синусоидал қучланиш генераторлари ва турли қаршилликли резисторлар мажмуд бўлган лабораторияда тайёрланган индуктивлик ғалтагининг хусусий резонанс частотасини ўлчаш талаб қилинди. Ўлчаш схемаси тузилсин ва ўлчаш усули кўрсатилсин.

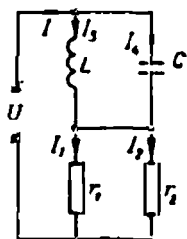
249. Бир қатор қурилмаларда (электрон қучайтиргичларда ва генераторларда) трансформатор ёки дросселнинг 12-16- расмда индуктивлик L сифатида кўрсатилган чулғамга актив қаршиллик r уланган. Э. ю. кучи E ва ички қаршилиги r_0 бўлган ўзгарувчан f частотали схемада r қаршилликнинг икки қиймати r_1 ва r_2 учун 12-16- расмда



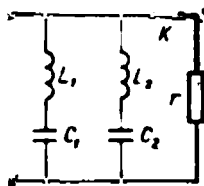
12-16- расм. 249- масалага.



12-17- расм.
250- масалага.



12-18- расм.
251- масалага.



12-19- расм.
252- масалага.

$U(f)$ боғламини келтирилган (чулғамнинг хусусий сифими C_0 ҳисобга олинади). Қуйидагилар аниқлансин: а) r_1 билан z_k орасидаги нисбат; б) r_0 , r ва z_k ларнинг қандай нисбатига $U(f)$ боғланиш графиги f ўқига параллел бўлган тўғри чизиққа яқин бўлади?

250. x_L ва x_C қандай нисбатда бўлганда 12-17-расмдаги контурнинг резонанс частотаси қайта улагичнинг уч (а, б, в) вазиятида бир хилда қолади? Контурнинг актив қаршилиги эътиборга олинмасин.

251. LC контур учун резонанс режимини қабул қилиб, 12-18-расмдаги занжирда ҳамма тоқлар (умумий ҳолда) аниқлансин. Ғалтакнинг ва конденсаторнинг актив қаршилиги ҳисобга олинмасин.

252. 12-19-расмдаги занжирда биринчи ва иккинчи шохобчалар мос ҳолда f_1 ва f_2 частоталарда кучланишлар резонанси режимига (Ҳар бири) созланган, бу ерда $f_1 < f_2$. Талаб қилинади:

а) бутун занжир учун тоқлар резонанси частотаси f_0 билан f_1 ва f_2 частоталари орасидаги нисбат ўрнатилсин;

б) кўрилатган занжирнинг тўла қаршилиги z нинг манба кучланишининг частотаси f га боғланиши, яъни $z(f)$ графиги z ҳол учун ясалсин: 1) K калит узилган; 2) K калит ёпилган. Биринчи ва иккинчи шохобчаларнинг актив қаршиликлари ҳисобга олинмасин.

253. Параметрлари $L_k = 127,5$ мҒ, $r_k = 6$ кОм бўлган индуктив ғалтакнинг хусусий сифими C_0 ни аниқлаш учун уни ва сифими $C = 1100$ пФ бўлган конденсатор параллел уланган ва паст частотали генераторга уланган. Бунда контур 10 кГц частотада резонансга эга бўлиш маълум бўлди. C_0 сифим ҳисоблансин.

254. Агар ҳар бир ғалтакнинг хусусий резонанс частотаси айрим ҳолда f_0 га, ғалтакларнинг индуктивлиги L_k ва хусусий сифимлари C_0 бўлса, иккита параллел уланган индуктив ғалтак томонидан ҳосил қилинган эквивалент контурнинг хусусий резонанс частотаси ва параметрлари аниқлансин. Ғалтакларнинг актив қаршиликлари ҳисобга олинмасин.

12-5. 12- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

233. 2,2 А; 276 В; 276 В; 1108 В; 6,35 мкФ.

234. Тахминан 25 марта.

235. 2 Г.

236. 42 Ом.

237. $6,4 \cdot 10^{-7}$ Г·Ф; 24 Ом.

238. 50,4 Гц; 46 Гц.

239. $2x_L > x_C$; $x_C > 2x_L$.

240. а) амперметр, ваттметр ва учинчи вольтметрнинг максимал кўрсатиши бўйича ва фазометрнинг ноль кўрсатиши бўйича;

б) қўшимча равишда биринчи ва иккинчи вольтметрлар кўрсатишининг тенглиги бўйича.

241. а) фақат фазометрнинг кўрсатиши ортади, бошқа асбобларники камаяди;

б) биринчи вольтметрнинг кўрсатиши 1,12 марта ва фазометрнинг кўрсатиши 61° гача ортади, амперметр ва учинчи вольтметрнинг кўрсатиши 1,8 марта ва ваттметрики 3,24 марта камаяди.

242. 1,41 мГ; 450 пФ.

243. 39,8 Гц; 0,34 А; 0,34 А; 0,64 А; 162 Вт; 162 Вт; 324 Вт; 57,8 вар; 57,8 вар; 0.

244. 39 Гц.

245. Ҳамма тоқлар 20 А дан; 6,3 Ом. 3,5 Ом гача камаяди.

246. а)

s , мм	0,0	0,1	0,2	0,3
f_p , Гц	858	798	727	650

б) Оралиқ (зазор) Δ нинг катта қийматларида унинг ўзгариши индуктивликка таъсир қилмайди.

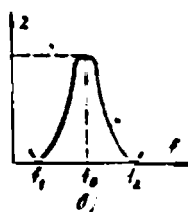
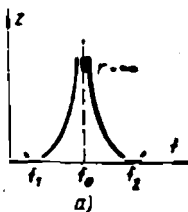
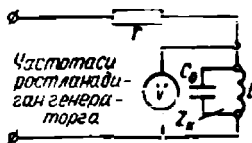
247.

s , мм	0,0	0,1	0,2	0,3
z_k , кОм	3,66	5,05	4,12	2,78

248. 12-20- расмга қаранг, унда $r \gg z_k$ ва $f = f_p$ бўлганда $U = U_{\max}$ га эга бўламиз.

249. а) $r_1 > z_k$.

б) $r_0 = 0$ ва ҳар қандай r ва z_k да ёки $r \ll z_k$ ва $r_0 \gg z_k$ бўлганда.



12-20- расм.
248- масалага жавоб.

12-21- расм.
252- масалага жавоб.

$$250. x_L = \omega L - 3x_C - 3/\omega C.$$

$$251. I = I_1 = I_2 = 0; I_3 = U/2 \pi jL; I_4 = U \pi fC.$$

$$252. a) f_1 < f_0 < f_2 \quad 12-21 \text{ расмга қаранг, а ва б.}$$

$$253. 170 \text{ нФ.}$$

$$254. f_0; L_K/2; 2C_0;$$

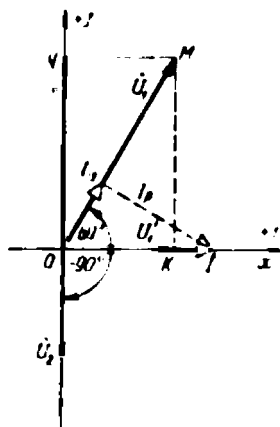
ЎН УЧИНЧИ БОБ

ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШДА КОМПЛЕКС СОНЛАРНИ ҚЎЛЛАШ

13- I. КОМПЛЕКС ТОҚЛАР, КУЧЛАНИШЛАР ВА ҚАРШИЛИҚЛАР

Масаланинг шarti

Агар $U_1 = 220 \text{ В}$, $U_2 = 127 \text{ В}$ ва $I = 2 \text{ А}$ маълум бўлса, векторлар диаграммаси 13-1- расмда кўрсатилган ўзгарувчан токнинг тармоқланмаган занжири учун ток ва кучланишлар комплекс сонлар билан уч кўринишда: алгебраик, тригонометрик ва кўрсаткичли шаклда ифода қилинсин.



Масаланинг ечилиши

Векторларнинг координатанинг ҳақиқий ва мавҳум ўқларига проекциялари. Агар координата ўқларида векторларнинг проекциялари маълум бўлса, векторларни қўшиш, (11-1- §) да кўрсатилганидек, оддий бажарилади. Бизнинг ҳолда U_1 ва U_2 кучланишлар учун:

$$U_1' = U_1 \cos 60^\circ = 220 \cdot 0,5 = 110 \text{ В;}$$

$$U_1'' = U_1 \sin 60^\circ = 220 \cdot 0,866 = 190,5 \text{ В;}$$

$$U_2' = 0 \text{ (x ўқига проекцияси);}$$

$$U_2'' = U_2 = 127 \text{ В.}$$

13-1- расм. Комплекс текникда векторлар диаграммаси.

Агар x ва y ўқларни мос ҳолда ҳақиқий ва мавҳум сонлар ўқи деб қабул қилинса, y ҳолда U_1 ва U_2 кучланишларни комплекс алгебраик кўринишда ёзиш мумкин:

$$U_1 = U_1' + jU_1'' = (110 + j 190,5) \text{ В;}$$

$$U_2 = 0 - jU_2'' = -j 127 \text{ В.}$$

Комплекслардан биринчиси (\vec{U}_1) вектор \vec{U}_1 билан, иккинчиси эса (U_1) вектор \vec{U}_2 билан тасвирланади.

Ҳақиқий сонлар ўқи бўйлаб жойлашган ток векторининг мавҳум сонлар ўқиға проекцияси нолга тенг ва шунинг учун $I = I + j0 = I = 2$ А.

2. Модулларни ва аргументларни аниқлаш
Комплекс катталиқ j_1 нинг модули деб юритиладиган векторнинг абсолют қиймати, масалан, U_1 ОКМ учбурчакликдан аниқланади (13-1- расм):

$$U_1 = \sqrt{(U_1')^2 + (U_1'')^2}.$$

Бизнинг ҳолда U_1 , U_2 модуллари ва I масаланинг шартига берилган.

Комплекс катталиқларнинг аргументлари деб юритиладиган векторларнинг бошланғич фазалари \dot{U}_1 , \dot{U}_2 ва \dot{I} учун мос ҳолда 60° , -90° , 0° га тенг (13-1- расм).

3. Қўрилаётган векторларни комплекс шаклда ёзишнинг уч шакли.

Комплекс сонларнинг ва катталиқларнинг ёзилиш шакллари ҳақидаги савол бошқа саволга олиб келади: векторни қандай усуллар билан бир қийматли аниқлаш мумкин?

Буни хусусий ва мавҳум ўқлардаги проекциялар билан қилиш мумкин эканлиги ва комплекс катталиқнинг алгебраик шаклининг олиниши юқорида кўрсатилган эди.

Агар \vec{U}_1 векторнинг ҳар бир проекцияси модуль ва аргумент орқали ифодаланса

$$U_1' = U_1 \cos 60^\circ; \quad U_1'' = U_1 \sin 60^\circ,$$

у ҳолда комплекс катталиқнинг тригонометрик шаклини олиш мумкин.

$$U_1 = U_1 \cos 60^\circ + jU_1 \sin 60^\circ = U_1 (\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ).$$

Маълумки (Эйлер теоремаси),

$$\cos \alpha + j \sin \alpha = e^{j\alpha},$$

шунинг учун ҳам

$$\vec{U}_1 = U_1 (\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) = U_1 e^{j60^\circ} = 220 e^{j60^\circ} \text{ В.}$$

Охирги ифодани комплекс катталиқнинг кўрсаткичли шаклда ёзилиши деб юритилади. Бу шаклда

$$U_2 = U_2 e^{-j90^\circ} = 127 e^{-j90^\circ} \text{ В;}$$

$$j = |e|^{j^\circ} = 2 \text{ А.}$$

Масалага кўшимча саволлар

1. Комплекс сонлар ва катталикларнинг турли шаклда ёзилиши нима учун керак? Кўрсаткичли шакл комплекс катталиклнинг абсолют қийматини (модул) ва унинг вектор йўналишини (аргументни) ифодалайди. Кўрсаткичли шаклнинг кўрғазмалилиги ана шундадир. Комплексо катталикларни кўпайтириш ва бўлишда (масалан, тўла қаршилиқни кучланишнинг токка нисбати сифатида аниқлашда) уни қўллаш қулайдир.

Бироқ кўрсаткичли шакл комплекс катталиклар ва сонларни кўшиш ва айриш учун ярамайди. Бундай ҳолларда алгебраик шаклдан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Тригонометрик шакл кўрсаткичли шаклни алгебраик шакл билан боғлайди ва бир шаклдан бошқа шаклга ўтишни кўрсатади. Алгебраик шаклдан кўрсаткичли шаклга ўтиш масалада кўрилади. Тескари ўтиш ҳам мумкин, масалан:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= 220e^{j60^\circ} = 220(\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) = 220 \cdot 0,5 + j 220 \cdot \\ &\quad \cdot 0,866 = (110 + j 190,5) \text{ В.} \end{aligned}$$

2. 13-1-расмда кўрсатилган тармоқланмаган занжир қисмларининг қаршилиқлари I токи, U_1 ва U_2 кучланишлари қандай аниқланади? Кучланиши U_1 ва токи I бўлган занжир қисми учун комплекс қаршилиқ

$$Z_1 = z_1 e^{j\varphi_1} = \frac{\dot{U}_1}{I} = \frac{220e^{j60^\circ}}{2} = 110e^{j60^\circ},$$

бу ерда $z_1 = 110$ — комплекс қаршилиқнинг модули ёки тўла қаршилиқ, $\varphi = 60^\circ$ эса унинг аргументи. Эйлер формуласига биноан ёйсақ,

$$Z_1 = 110(\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) = 55 + j 95,3 \text{ Ом.}$$

Кўрилатган занжир қисмининг актив қаршилиги

$$r_1 = z_1 \cos 60^\circ = 110 \cos 60^\circ.$$

Реактив қаршилиги (бизнинг ҳолда индуктив) эса

$$x_L = z_1 \sin 60^\circ = 110 \sin 60^\circ$$

бўлгани учун z_1 комплексининг ҳақиқий қисми актив қаршилиқ $r_1 = 55$ Ом ни, мавҳум қисми индуктив қаршилиқ $x_L = 95,3$ Ом ни ифодалайди, яъни $Z_1 = r_1 + jx_L$.

Занжирнинг кучланиши U_2 бўлган қисми учун комплекс қаршилиқ

$$Z_2 = z_2 / \cos \varphi_2 = \frac{\dot{U}_2}{i} = \frac{127 e^{j127^\circ}}{2} =$$

$$= 63,5 (\cos 90^\circ - j \sin 90^\circ) = -j 63,5 \text{ Ом},$$

бу ерда $z_2 = 63,5 \text{ Ом}$ ва $\varphi_2 = -90^\circ$

Кутилганидек, кучланиш фаза бўйича токдан 90° кейин-да бўладиган занжирнинг иккинчи қисмида актив қаршилиқ йўқ, унинг реактив қаршилиги сиғим характериға эга, шунинг учун

$$z_2 = x_C = 63,5 \text{ Ом} \text{ ва } Z_2 = -j x_C.$$

Шундай килиб, комплекс қаршилиқнинг ҳақиқий қисми занжир қисмининг актив қаршилигини, мавҳум қисми эса занжир қисмининг индуктив реактив қаршилигини (муқбат мавҳум сон) ёки сиғим (манфий мавҳум сон) дан иборат бўлиши мумкин булган реактив қаршилигини ифода қилади.

3. Занжир қисмаларидаги кучланиш қандай аниқланади? Кўрилатган занжир кучланишлари U_1 ва U_2 бўлган иккита кетма-кет уланган қисмлардан тузилган деб ҳисоблаб, унинг қисмаларида

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 110 + j190,5 - j127 = 110 + j63,5 \text{ В}$$

кучланишга эга бўлади; унинг модули:

$$U = \sqrt{110^2 + 63,5^2} = 127 \text{ В}.$$

4. Кучланишнинг оний қиймати унинг комплекс қиймати бўйича қандай ёзилади? Бунинг учун кучланишнинг максимал қийматини ҳамда унинг бошланғич фазасини билиш керак, агар комплекс қиймати берилган бўлса, унинг бошланғич фазасини топиш осон.

$\dot{U}_1 = 220 e^{j60^\circ}$ комплекс кучланиш учун максимал қиймат $U_{1m} = \sqrt{2} \cdot 220$ ва бошланғич фаза 60° . Шунинг учун

$$u_1 = 220 \sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ) = 345 \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ В}.$$

5. Комплекс ток ва кучланишларнинг ҳақиқий ҳамда мавҳум қисмларини уларнинг актив ва реактив ташкил этувчилари деб қа-

раш мумкинми? Бу саволда ўқувчилар кўпинча хатога йўл қўядилар.

Масалан, занжирнинг биринчи қисми учун токнинг актив ташкил этувчиси ток вектори I нинг кучланиш вектори U_1 даги проекциясига тенг ёки бизнинг ҳолда (13-1 расм):

$$I_a = I \cos 60^\circ = 2 \cdot 0.5 = 1 \text{ A,}$$

реактив ташкил этувчиси эса кучланиш векторига перпендикуляр чизиқдаги проекциясига тенг ёки

$$I_p = I \sin 60^\circ = 2 \cdot 0.866 = 1.72 \text{ A.}$$

Умумий ҳолда, I_a ва I_p шубҳасизки, комплекс сонларнинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари билан ҳеч қандай боғланмаган.

Берилган хусусий ҳолда (бизнинг масалада) U_1 кучланишнинг актив ва реактив ташкил этувчилари U_1 комплексининг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари билан мос тушади, чунки занжирда ток ҳақиқий катталиклар ўқида жойлашган.

13-2. ФАҚАТ ПАРАЛЛЕЛ ШОХОБЧАЛАРГА ЭГА БЎЛГАН ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

Параметрларининг қиймати 11-1-§ да келтирилган 11-1-расмдаги занжирда ҳамма тоklar комплекс сонлар усули билан ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Занжирнинг умумий қаршилигини ҳисоблаш. Аввал кўрсатилганидек (13-1-§, 2-қўшимча савол), актив, индуктив ва сифим қаршиликлар комплекс шаклда r , jx_L ва $-jx_C$ каби ёзилади. Маълум бўлган r_1 , r_2 , x_L ва x_C бўйича (11-1-§) AB ва $A'B'$ (11-1-расм) шохобчаларнинг комплекс қаршиликларини ёзамиз:

$$Z_1 = r_1 + jx_L = (80 + j60) = 100 e^{j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$Z_2 = r_2 - jx_C = (260 - j150) = 300 e^{-j31^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплекс умумий қаршилик

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{100 e^{j37^\circ} \cdot 300 e^{-j30^\circ}}{80 + j60 + 260 - j150} = \frac{3000 e^{j7^\circ}}{34 - j9} =$$

$$= \frac{3000 e^{j7^\circ}}{35,2 e^{-j14^\circ 40'}} = 86 e^{j21^\circ 40'} \text{ Ом.}$$

11-1-§ да олинган натижаларнинг ўзгиниси олинди (4-қўшимча савол).

2. Тоқларни ҳисоблаш. Занжир қисмларида берилган кучланиш векторини мусбат ҳақиқий сонлар ўқи йўналишида танлаймиз. Унда комплекс кучланиш

$$\dot{U} = U = 120 \text{ В.}$$

Комплекс умумий ток

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{120}{86 e^{j21^\circ 40'}} = 1,4 e^{-j21^\circ 40'} \text{ А.}$$

Шоҳобчаларнинг комплекс тоқлари:

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_1} = \frac{120}{100 e^{j37^\circ}} = 1,2 e^{-j37^\circ} \text{ А.}$$

$$\dot{i}_2 = \frac{\dot{U}}{Z_2} = \frac{120}{300 e^{-j30^\circ}} = 0,4 e^{j30^\circ} \text{ А.}$$

3. $U_{\text{ВГ}}$ кучланишни ҳисоблаш. АВГА контур учун (11-1-расмга қаранг) Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича

$$\dot{i}_1 r_1 + U_{\text{ВГ}} - \dot{i}_2 r_2 = 0,$$

бундан

$$\dot{U}_{\text{ВГ}} = \dot{i}_2 r_2 - \dot{i}_1 r_1 = 0,4 e^{j30^\circ} \cdot 260 - 1,2 e^{-j37^\circ} \cdot 80 =$$

$$= 104 (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) - 96 (\cos 37^\circ - j \sin 37^\circ) =$$

$$= 13,2 + j 109,6 = 112 e^{j83,1^\circ} \text{ В.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Нима учун умумий кучланиш вектори ҳақиқий сонлар ўқи бўйича йўналган? Агар \vec{U} векторнинг йўналиши ихтиёрий танланиши мумкинлиги ҳисобга олинса, бу савол қонунийдир. Бундай танлаш U

комплекс катталик учун оддий ифодани беради (мавҳум қисмга эга эмас).

2. Шохобча токи ёки қандайдир қисмнинг кучланиши берилган бўлса, занжирни ҳисоблаш тартиби қандай бўлади? Бу ҳолда ток ёки кучланиш векторини (берилган) ҳақиқий сонлар ўқи (x ўқи) бўйича йўналган деб олинади ва бу векторни берилган ток ёки кучланишнинг таъсир этувчи қийматига тенг (бошлангич фаза нолга тенг) комплекс сон билан ифодаланади.

3. Агар U кучланиш векторининг бошлангич йўналиши бошқача танланса, ҳисоблашда қандай ўзгаришлар бўлади? Агар, масалан, $U = jU$ деб қабул қилинса, яъни \vec{U} вектор u ўқининг мусбат йўналишида жойлаштирилса, у ҳолда ҳамма тоқлар j га кўпайтирилган бўлади. Бунда ҳамма комплексларнинг модуллари аввалгидек қолади, аргументлари эса 90° га ошади, яъни векторлар мусбат йўналишда 90° га бурилади. Векторлар диаграммаси (11-2-расмга қаранг) соат стрелкаси ҳаракати йўналишига 90° тескарига бурилади, чунки векторларнинг модуллари ва улар орасидаги фаза силжишлар аввалгидек қолади, бу эса векторлардан бирининг йўналишини ихтиёрий танлаш ҳуқуқини беради.

4. Кўриб чиқиладиган масалани шохобчаларнинг ўтказувчанликларини қўллаб қандай ечиш мумкин? Биринчи шохобчанинг комплекс ўтказувчанлиги

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{r_1 + jx_L} = \frac{r_1 - jx_L}{r_1^2 + x_L^2} = \frac{r_1}{r_1^2 + x_L^2} - j \frac{x_L}{r_1^2 + x_L^2}$$

Олинган ифодадан актив (ҳақиқий қисми) ва реактив (мавҳум қисми) ўтказувчанликларни белгилаш осон ёки

$$Y_1 = g_1 = jb_1.$$

Шу йўл билан иккинчи шохобчанинг комплекс ўтказувчанлигини олиш мумкин

$$Y_2 = g_2 - jb_2.$$

Бу масала учун актив ва реактив ўтказувчанликлар 11-2-§ да олинган эди, шунинг учун:

$$Y_1 = 8 \cdot 10^{-3} - j6 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$Y_2 = 2,9 \cdot 10^{-3} + j1,7 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Комплекс ўтказувчанликларни бевосита маълум комплекс қаршиликлар бўйича ҳам топиш мумкин:

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{100 e^{j37^\circ}} = 0,01 e^{-j37^\circ} = 0,01 \cos(-37^\circ) + j0,01 \sin(-37^\circ) = 8 \cdot 10^{-3} - j6 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{300 e^{-j30^\circ}} = 3,33 \cdot 10^{-3} e^{j30^\circ} = 2,9 \cdot 10^{-3} + j1,7 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Параллел уланиш учун бутун занжирнинг комплекс ўтказувчанлиги шохобчаларнинг комплекс ўтказувчанликларининг йиғиндисига тенг, унда

$$Y = Y_1 + Y_2 = 10,9 \cdot 10^{-3} - j4,3 \cdot 10^{-3} = 11,7 \cdot 10^{-3} e^{-j21^\circ 40'} \text{ См}.$$

Занжирнинг комплекс умумий токи

$$i = \dot{U}Y = 120 \cdot 11,7 \cdot 10^{-3} e^{-j21^\circ 40'} = 1,4 e^{-j21^\circ 40'} \text{ А}.$$

Ҳосил қилинган натижалар юқоридаги натижалар билан мос тушди.

5. Масалада олинган натижаларни қандай текшириш мумкин? Ўзгарувчан ток занжирларини ҳисоблашда комплекс сонларни қўллаб ҳисоблашларни Кирхгоф қонунлари асосида осон текшириш мумкин. Масалан, шохобчаларнинг комплекс токларининг йиғиндисини комплекс умумий токка тенглигини текшираемиз (биринчи қонун бўйича):

$$i_1 = 1,2 e^{-j37^\circ} = 1,2 (\cos 37^\circ - j \sin 37^\circ) = (0,96 - j0,72) \text{ А};$$

$$i_2 = 0,4 e^{j30^\circ} = 0,4 (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) = (0,35 + j0,2) \text{ А};$$

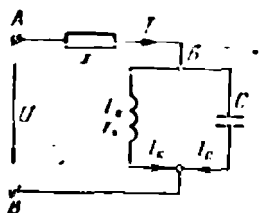
уларнинг йиғиндисини

$$i_1 + i_2 = 1,31 - j0,52 = 1,4 e^{-j21^\circ 40'} = i.$$

13.3. ПАРАЛЛЕЛ ВА КЕТМА-КЕТ ҚИСМЛАРИ БЎЛГАН ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

400 Гц частотада бутун занжир кучланишлар резонанс режимда бўлиши учун занжирнинг АБ қисмига уланидиган (13-2-расм) реактив қаршилик x нинг қиймати ва ха-



13-2-расм. 13-3-§ даги масала шартига.

рактари (индуктивлик ёки сизим характерида эканлиги) аниқлансин. Агар

$$L_k = 50 \text{ мГ} = 0,05 \text{ Г};$$

$$r_k = 25 \text{ Ом}; C = 0,8 \text{ мкФ} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

бўлса, юқоридagi шартларда, сизимда $I_c = 0,1 \text{ А}$ ток бўлишини таъминлайдиган занжир қисмаларидаги кучланиш U аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Занжирда кучланишлар резонанси ҳосил бўлишининг шартлари (13-2-расм). Талаб қилинаётган режим занжирда индуктив ва сизим қаршиликлари кетма-кет уланганда $x_L = x_C$ бўлганда ҳосил қилинади. Шунинг учун AB участкасининг (13-2-расм) талаб қилинаётган реактив қаршилиги ҳақида фақат $BВ$ қисмининг, яъни параллел контурининг реактив қаршилиги аниқлангандан кейингина хулоса чиқариш мумкин.

Ғалтакнинг комплекс қаршилиги

$$\begin{aligned} Z_k &= r_k + j\omega L_k = 25 + j2\pi 400 \cdot 0,05 = \\ &= (25 + j125) = 127,5 e^{j78^\circ 40'} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Сизимнинг реактив қаршилиги

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 400 \cdot 0,8} = 500 \text{ Ом.}$$

$BВ$ қисмининг комплекс қаршилиги

$$\begin{aligned} Z_{BВ} &= \frac{Z_k (-jx_C)}{Z_k - jx_C} = \frac{127,5 \cdot e^{j78^\circ 40'} \cdot 500 e^{-j90^\circ}}{25 + j125 - j500} = \\ &= \frac{63750 e^{-j11^\circ 20'}}{376 e^{-j86^\circ 30'}} = 170 e^{j75^\circ 10'} (44,3 + j164) \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Шундай қилиб, $BВ$ қисми (13-2-расм) актив қаршилик 44,3 Ом ($Z_{BВ}$ нинг ҳақиқий қисми) ва индуктив қаршилик

164 Ом (Z_B нинг мавҳум мусбат қисми) нинг кетма-кет уланishi билан ифодаланиши мумкин, бу нарса 13-3-расмда кўрсатилган. Энди, шубҳасизки, AB қисми $x_C = 164$ Ом бўлган сифим реактив қаршиликка (13-3-расм) эга булиши керак экан.

2. Занжир қисмларидаги кучланишни ҳисоблаш. C сифимдаги (13-2-расм) ток берилганлиги учун уни ҳақиқий ўқ бўйича йўналган деб олиш қулай (бошланғич фаза нолга тенг): $i_C = I_C = 0,1$ А. Параллел контурдаги комплекс кучланиш (13-2-расм):

$$\dot{U}_{\text{БВ}} = i_C (-jx'_C) = 0,1 (-j500) = -j50 = 50e^{-j90^\circ} \text{ В.}$$

Сўнгра индуктивлик ғалтагидаги комплекс ток

$$i_x = \frac{\dot{U}_{\text{БВ}}}{Z_x} = \frac{50e^{-j90^\circ}}{127,5e^{j75^\circ}} = 0,39e^{-j165^\circ} = -0,385 - j0,077 \text{ А} \quad (37)$$

ни ва комплекс умумий ток

$$i = i_C + i_x = 0,1 - 0,385 - j0,077 = (-0,285 - j0,077) \text{ А}$$

ни аниқлаймиз.

Занжир қисмларидаги комплекс кучланиш $\dot{U} = i Z_{\text{АВ}}$, бу ерда комплекс қаршилик (13-3-расм)

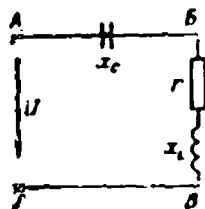
$$Z_{\text{АВ}} = r + jx_l - jx_C = 44,3 + j164 - j164 = 44,3 \text{ Ом.}$$

Шундай қилиб,

$$\dot{U} = i Z_{\text{АВ}} = (-0,285 - j0,077) \cdot 44,3 = (-12,6 - j3,4) \text{ В}$$

ва

$$U = \sqrt{12,6^2 + 3,4^2} \approx 13 \text{ В.}$$



13-3- расм. 13-2- расмда кўрсатилган схемага эквивалент схема.

Масалага қўшимча саволлар

1. Комплекс қувватлар балансини қандай бузиш керак? Занжирни комплекс усулда ҳисоблашда,

оқатда, комплекс токлар ва кучланишлар маълум булади, берилган масала ҳам худди шундай.

Бунда занжирнинг U кучланишли ва i токли ҳар қандай қисми учун комплекс қувват $\bar{S} = \dot{U} \dot{i}$ бўлади, бу ерда \dot{i} — кўриляётган қисмнинг туташ комплекс токи.

Агар \bar{S} катталикнинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари ҳисобланса, у ҳолда улардан биринчиси актив қувват P ни, иккинчиси эса реактив қувват Q ни ифодалашни келиб чиқади, яъни

$$\bar{S} = \dot{U} \dot{i} = P + jQ.$$

Бу формуладан 13-2-расмдаги занжирнинг қувватлар балансини тузишда фойдаланамиз.

Индуктивлик ғалтагининг комплекс қуввати

$$\begin{aligned} \bar{S}_k &= \dot{U}_{\text{БВ}} \dot{i}_k = 50 e^{-j90^\circ} \cdot 0,39 e^{j158^\circ 40'} = 19,5 e^{j78^\circ 40'} = \\ &= 19,5 (\cos 78^\circ 40' + j \sin 78^\circ 40') = 19,5 (0,19 + j 0,975) = \\ &= 3,85 + j 19,2 \text{ В} \cdot \text{А}, \end{aligned}$$

бундан индуктивлик ғалтаги учун

$$S_k = 19,5 \text{ В} \cdot \text{А}; P_k = 3,85 \text{ Вт}; Q_k = 19,2 \text{ вар.}$$

C сизим учун шунга ўхшаш

$$\begin{aligned} S_C &= U_{\text{БВ}} \dot{i}_C = 50 e^{-j90^\circ} \cdot 0,1 = -j 5 \text{ В} \cdot \text{А}, \\ S_C &= 5 \text{ В} \cdot \text{А}. P_C = 0 \text{ ва } Q_C = -5 \text{ вар.} \end{aligned}$$

Реактив қаршилиги x бўлган қисм учун олдин кучланишнинг топамиз

$$\dot{U}_x = jxI = -j 164 (0,285 - j 0,077) = -12,6 + j 47 \text{ Ом.}$$

Сўнгра комплекс қувватни топамиз

$$\bar{S}_x = U_x \dot{i} = (-12,6 + j 47) \cdot (-0,285 + j 0,077) = -j 14,3 \text{ В} \cdot \text{А},$$

бундан

$$S_x = 14,3 \text{ В} \cdot \text{А}; P_x = 0 \text{ ва } Q_x = -14,3 \text{ вар.}$$

Олинган маълумотлар асосида занжирнинг ҳамма пасив элементларининг умумий комплекс қуввати куйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \bar{S}_n &= \bar{S}_R + \bar{S}_C + S_x = 3,85 + j 19,2 - j 5 - j 14,3 \approx \\ &\approx 3,85 \text{ В} \cdot \text{А} \end{aligned}$$

Занжир резонанс режимда бўлгани учун занжирнинг реактив қуввати нолга тенг бўлиб чиқди.

Таъминлаш манбаининг комплекс қуввати

$$S_m = \dot{U}\dot{I} = (-12,6 + j 3,4)(-0,285 + j 0,077) = 3,85 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Демак, истеъмолчиларнинг ва энергия манбаининг комплекс қувватлари $S_n = S_m$, яъни қувватлар баланси мавжуд.

2. Реактив қувват қандай ҳолларда $Q > 0$ ва қандай ҳолларда $Q < 0$ бўлади? Олдинги қишимча саволда индуктивликнинг реактив қуввати мусбат сон билан, сигимники эса манфий сон билан ифодаланди. Бу ҳол тасодифийми? Йўқ, ундай эмас экан.

10-бобда реактив қувват $Q = xI^2$, реактив қаршилик эса $x = x_L - x_C$ лиги кўрсатилган эди.

Демак,

$$Q = (x_L - x_C)I^2 = x_L I^2 - x_C I^2 = Q_L - Q_C,$$

яъни индуктивлик учун $Q' = Q_L > 0$ сигим учун эса $Q'' = Q_C < 0$.

3. Агар занжирдаги эффе́ктив (комплекс бўлмаган) тоқлар маълум бўлса, комплекс қувватларни ҳисоблаш мумкинми? Агар масаланинг шarti бўйича тоқларнинг фақат эффе́ктив қийматлари аниқланадиган бўлса (ва, шубҳасизки, занжир параметрлари маълум), унда қувватларни олдингидек комплекс шаклда ҳисоблаш имкони бўлади ва кўп ҳолларда бу қулай экан. Бундай имконият комплекс қувватни $S = P + jQ$ кўринишида алгебраик шаклда ёзиш билан амалга оширилади.

Кўрилатган занжир учун (13-2-расм) ҳисоблашнинг бу йўлини кўрсатамиз.

Индуктивлик ғалтағининг қувватлари:

актив қувват

$$P_k = r_k I_k^2 = 25 (0,39)^2 = 3,85 \text{ Вт};$$

реактив қувват

$$Q_k = x_L I_k^2 = 125 (0,39)^2 = 19,2 \text{ вар},$$

буидан унинг комплекс қуввати

$$\bar{S}_K = P_K + jQ_K = 3,85 + j 19,2 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

С сизими учун шунга ўхшаш

$$P_C = 0; Q_C = x_C I_C^2 = 500 (0,1)^2 = 5 \text{ вар};$$

$$S_C = P_C - jQ_C = -j5 \text{ В} \cdot \text{А}$$

ва реактив элемент x учун:

$$P_x = 0; Q_x = x I^2 = 164 (0,295)^2 \approx 14,3 \text{ вар},$$

бу ерда I ток комплекс ток I нинг модули сифатида топилган, яъни

$$I = \sqrt{(0,285)^2 + (0,077)^2} = 0,295 \text{ А}.$$

Бунда

$$\bar{S}_x = P_x - jQ_x = -j 14,3 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Натижалар ҳосил қилинганлари билан бир хил бўлиб чиқди.

4. Занжирнинг тармоқланган қисмининг комплекс қуввати қандай ҳисобланади? Комплекс қувватнинг $\bar{S} = \dot{U} \dot{I}$ ифодаси қўлланилиши универсаллиги билан қулай, хусусан: ундан, биринчидан, занжирнинг актив ва пассив элементлари учун (1-қўшимча саволга қаранг), ва иккинчидан, бу элементлар ҳар қандай комбинациялаштирилган қисми учун фойдаланиш мумкин.

Мисол тариқасида 13-2-расмдаги занжир учун тармоқланган $BВ$ қисмининг комплекс қувватини ҳисоблаймиз.

$BВ$ қисмининг эквивалент қаршилигидан занжирнинг умумий токи

$$\dot{I} = -0,285 - j 0,007 \text{ А}$$

ўтаётганлиги учун бу қисмининг комплекс қуввати қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \bar{S}_{BВ} &= \dot{U} \dot{I} = 50e^{-j90^\circ} \cdot (-0,285 - j 0,077) = \\ &= -j 50 (-0,285 + j 0,077) = 3,85 + j 14,2 \text{ В} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Олинган натижани шу масаланинг 1-қўшимча саволдаги берилганлар билан солиштирамиз, унда

$$S_K + S_C = 3,85 + j 19,2 - j 5 = 3,85 + j 14,2 = \bar{S}_{BВ}$$

эканлиги келиб чиқади, бу эса ҳисоблашларнинг тўғрилигини тасдиқлайди.

13-4. ҲАРАО ИНДУКТИВЛИКЛИ ТАРМОҚЛАНГАН ЗАҶИР

Масаланинг шарти

Қисмаларидаги кучланиш $U = 220$ В бўлган занжирда (13-4-расм) қисмларнинг актив ва реактив қаршиликлари маълум:

$$\omega L_2 = 1/\omega C_2 = r_2 = 100 \text{ Ом}; \quad \omega L_1 = 80 \text{ Ом}; \quad r_1 = 60 \text{ Ом}.$$

Ҳарао индуктивлик қаршилиги $x_M = \omega M = 80$ Ом.

Ҳамма тоқлар аниқлансин ва топографик векторлар диаграммаси қурилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Занжир (13-4-расм) шохобчалари чиқишларидаги кучланиш. I_1 ток (13-4-расм) кетма-кет уланган r_1 ва L_1 дан иборат шохобча қисмларидан ўтиб, комплекс шаклда $I_1 r_1$ ва $I_1 j\omega L_1$ га тенг кучланишлар пасайиши ҳосил қилади. Бундан ташқари, L_2 галтақда бошқа шохобчанинг токи I_2 ҳосил қилган магнит оқими қисман L_1 галтақидан ўтади ва унда $E_{12} = I_2 \omega M = I_2 x_M$ ўарао индукция э.ю.к. ҳосил қилади. Бу э.ю.к. I_2 токдан фазаси жиҳатидан 90° кейинда бўлади, яъни комплекс шаклда $E_{12} = -j\omega M I_2$, бу эса L_1 индуктивликда қўшимча кучланиш пасайиши билан мувозанатлашади:

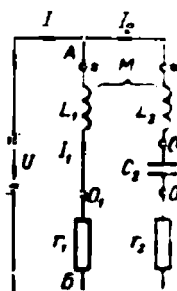
$$\dot{U}_{12} = j\omega M I_2.$$

Юқорида кўриб ўтилган ҳамма кучланиш пасайишларини ҳисобга олиб, биринчи шохобча қисмаларидаги кучланишни ёзамиз (13-4-расм):

$$U = \dot{I}_1 r_1 + \dot{I}_1 j\omega L_1 + \dot{I}_2 j\omega M. \quad (13-1)$$

(13-1) тенгламада

$$\dot{U}_{12} = \dot{I}_2 j\omega M$$



13-4-расм. Ҳарао индуктивлик билан боғланган икки параллел шохобча.

кучланиш мусбат ишора билан ёзилган, чунки индуктив боғланган L_1 ва L_2 ғалтаклар «тўғри» уланган, яъни уларнинг токлари (I_1 ва I_2) юлдузча билан белгиланган (13-4-расм) чиқишларга нисбатан бир хил йўналган.

Агар, масалан, L_1 ғалтакда (13-4-расм) юлдузча A нуқтада эмас, балки O_1 нуқтага қўйилса, унда индуктив боғланган L_1 ва L_2 ғалтаклар «қарама-қарши» уланган бўлар эди. У ҳолда (13-1) тенгламадаги қўшилувчи $i_2 j \omega M$ ни манфий ишора билан ёзиш керак бўларди.

Ғалтакда юлдузча ўрнининг ўзгартирилиши ғалтакнинг уланадиган «бош» ва «охирги» нуқталари алмаштирилади дегмакдир.

Бошқа шохобчага нисбатан (13-4-расм) шунга ўхшаш мулоҳаза юритиб ва у яна C_2 сифимга эга эканлигини ҳисобга олиб, қуйидаги кучланишни ҳосил қиламиз:

$$\dot{U} = \dot{I}_2 r_2 = \dot{I}_2 j \frac{1}{\omega C_2} + I_2 j \omega L_2 + \dot{I}_1 j \omega M. \quad (13-2)$$

2. Тоқларни ҳисоблаш. Ўзаро индуктивликни ҳисобга олмасдан шохобчаларнинг (13-4-расм) комплекс қаршилиқларини қуйидагича белгилаб

$$Z_1 = r_1 + j \omega L_1; \quad Z_2 = r_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right).$$

(13-1) ва (13-2) тенгламаларни биргаликда шохобчаларнинг тоқларига нисбатан ечамиз:

$$\dot{I}_1 = \dot{U} \frac{Z_2 - j \omega M}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2}; \quad (13-3)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U} \frac{Z_1 - j \omega M}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2}. \quad (13-4)$$

Масалада берилганларга кўра

$$Z_2 - j \omega M = 100 - j 80 = 128 e^{-j 39^\circ 39'} \text{ Ом}$$

$$Z_1 - j \omega M = 60 + j 80 - j 80 = 60 \text{ Ом};$$

$$Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2 = (60 + j 80) \cdot 100 + (80)^2 = 14750 e^{j 32^\circ 40'} \text{ Ом}^2$$

(13-3) ва (13-4) формулалар бўйича

$$\dot{I}_1 = 220 \frac{128 e^{-j 39^\circ 39'}}{14750 e^{j 32^\circ 40'}} = 1,91 e^{-j 71^\circ 10'} \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = 220 \frac{60}{14750 e^{j 32^\circ 40'}} = 0,895 e^{-j 32^\circ 40'} \text{ А}.$$

Олинган комплекс токларни яна алгебраик шаклда ифодалаймиз:

$$\sin 71^{\circ}10' = 0,95; \sin 32^{\circ}40' = 0,483;$$

$$\cos 71^{\circ}10' = 0,32 \text{ ва } \cos 32^{\circ}40' = 0,752.$$

Бўлгани учун

$$I_1 = 1,91 (\cos 71^{\circ}10' - j \sin 71^{\circ}10') = 0,611 - j 1,815 \text{ A};$$

$$I_2 = 0,895 (\cos 32^{\circ}40' - j \sin 32^{\circ}40') = 0,752 - j 0,483 \text{ A};$$

$$I = I_1 + I_2 = 1,363 - j 2,3 = 2,65e^{-j59^{\circ}30'} \text{ A}.$$

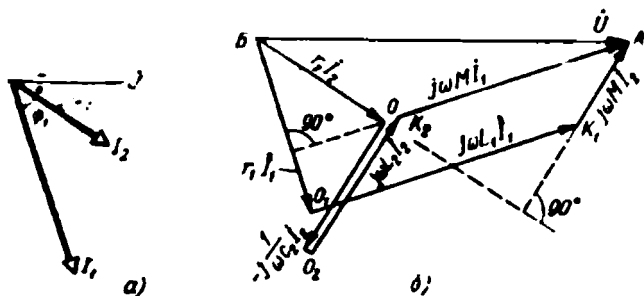
3. Токларнинг векторлар диаграммасини ва кучланишларнинг топографик диаграммасини қуриш. Умумий кучланиш вектори \dot{U} (13-5-расм, а ва б) ҳақиқий соқлар томонидан мусбат йўналишда қўйилган, чунки масалани ечишда

$$\dot{U} = U = 220 \text{ В}$$

деб қабул қилинган.

I_1 ва I_2 токларнинг векторлари (13-5-расм, а) фазалари бўйича \dot{U} кучланишдан $\psi_1 = 71^{\circ}10'$ ва $\psi_2 = 32^{\circ}40'$ бурчакларга кейинда қолади.

AO_1B шохобчанинг (13-4-расм) қисм кучланишларининг векторлари (13-1) тенглама асосида қурилган (13-5-расм, б). Бунда фазаси жиҳатидан I_1 ток билан бир хил бўлган актив қаршиликдаги кучланиш пасайиши $r_1 I_1$ фазаси бўйича



13-5-расм. 13-4 расмдаги заижир учун токларнинг вектор диаграммаси (а) ва кучланишларнинг топографик диаграммаси (б).

умумий кучланиш \dot{U}_1 дан $\psi_1 = 71^\circ 10'$ бурчакка кейинда қолади.

O_1A қисм кучланишининг вектори (13-4-расм) икки қўшилувчидан: O_1K_1 ва K_1A векторлардан ташкил топади (13-5-расм, б), улардан биринчиси \dot{I}_1 токдан, иккинчиси эса \dot{I}_2 токдан 90° олдинда бўлади. O_1K_1 ва K_1A векторларнинг кўрсатилган силжиш бурчакларини ҳам физик (индуктивликда кучланиш токдан 90° олдинда бўлади), ҳам математик йўл билан (j кўпайтувчи векторни мусбат йўналишда 90° га буради) тушунтириш мумкин, масалан, $j\omega MI_2$ вектор \dot{I}_2 токдан 90° бурчакка олдинда бўлади.

Бошқа шохобча (13-4-расм, BOO_2A) учун ҳам шунга ўхшаш (13-2) тенглама бўйича 13-5-расм, б да ҳамма кучланиш пасайишларининг векторлари қурилган; буни экинчи жирдаги нуқталар ва векторлар диаграммасидаги нуқталарнинг бир хил белгиланишидан кузатиш осон.

13.5. МУРАККАБ ЗАНЖИР

Масаланинг шarti

Э. ю. к. лари $E_1 = 118 \text{ В}$ ва $E_2 = 124 \text{ В}$ бўлган иккита параллел уланган генераторнинг (13-6-расм) фазалари бир хил ва $Z = 0,5 + j0,3 \text{ Ом}$ актив-индуктив қаршиликли ташқи занжирни таъминлайди. Генераторларнинг ички қаршиликлари соф индуктив:

$$Z_{01} = Z_{02} = Z_0 = j0,05 \text{ Ом.}$$

Занжирнинг ҳамма тоқларини (13-6-расм) ҳамда қаршилик Z_0 нинг қийматлари

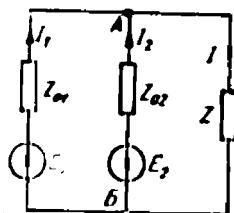
$$2Z, Z, Z/2 \text{ ва } Z/4$$

га тенг бўлганда ташқи занжирдаги токни аниқлаш талаб қилинади.

Масаланинг ечилиши

1. Ҳисоблаш усулини танлаш. Комплекс сонларни қўллаш ўзгармас токнинг мураккаб занжирларини ҳисоблашнинг исалган усулларида (4-бобга қараи.) фйдаланишга имкон беради.

Берилган занжир иккита тугунга эгаллигини ҳисобга олиб, масаланинг биринчи саволига жавоб сифатида икки тугун усулини қўллаймиз. Маълумки, мураккаб занжир қисмларидан бирида қисм қаршилигининг бир нечта қийматлари учун (масаланинг иккинчи саволи) токни аниқлашни эквивалент генератор усулида бажариш мақсадга мувофиқ.



2. Шохобчаларнинг ўтказувчанликларини ҳисоблаш. Шохобчаларнинг комплекс ўтказувчанликлари:

13-6-расм. 13-5-§ да-
ги масала шартига.

$$Y_1 = Y_2 = 1/Z_0 - 1/j0,05 = -j20 \text{ См,}$$

$$Y_3 = \frac{1}{Z} = \frac{1}{0,5 + j0,3} = \frac{0,5 - j0,3}{0,34} = (1,47 - j0,88) \text{ См.}$$

3. Тугунлар орасидаги кучланишни ва шохобчалар тоқларини ҳисоблаш. Комплекс тугун кучланиши

$$\begin{aligned} U_{AB} &= \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3} = \frac{118(-j20) + 124(-j20)}{-j20 - j20 + 1,47 - j0,88} = \\ &= \frac{-j4840}{1,47 - j40,88} = (118,25 - j4,25) \text{ В.} \end{aligned}$$

Шохобчаларнинг комплекс тоқлари

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= (\dot{E}_1 - U_{AB}) Y_1 = (118 - 118,25 + j4,25)(-j20) = \\ &= 84,8 + j5,0 = 85e^{j3^{\circ}21'} \text{ А;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= (\dot{E}_2 - U_{AB}) Y_2 = (124 - 118,25 + j4,25)(-j20) = \\ &= 84,8 - j115,0 = 142e^{-j53^{\circ}30'} \text{ А;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 84,8 + j5,0 + 84,8 - j115,0 = \\ &= 169,6 - j110,0 = 202,5e^{-j33^{\circ}} \text{ А.} \end{aligned}$$

4. Ташқи занжир қаршилигининг қийматлари турлича бўлганда унинг токни ҳисоблаш. Эквивалент генератор усули бўйича ток

$$I = \frac{\dot{E}_2}{Z_3 + Z} \quad (13-5)$$

бу ерда \dot{E}_s ва Z_s — эквивалент генераторнинг э. ю. кучи ва ички қаршилиги; $Z = Z_{ю}$ — ўзгарувчан нагрузка (юк) қаршилиги. Э. ю. к. E_s бизнинг шартларда ташқи занжир узилиб қолган ($Z_{ю} = \infty$; $I = 0$) шароитда A ва B нуқталар орасидаги (13-6-расм) кучланиш сифатида аниқланади.

Қаршилиги $Z = Z_{ю}$ бўлган қисм узилганда (13-6-расм) бир контурли, икки E_1 ва E_2 э. ю. к. ли занжир қолади. Бу занжир учун токни I' га тенг деб олиб, эквивалент генератор э. ю. кучига тенг бўлган, A ва B нуқталар орасидаги кучланишни аниқлаймиз:

$$\dot{U}'_{AB} = \dot{E}_s - \dot{E}_1 - I' Z_{01} = \dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{Z_{01} + Z_{02}} Z_{01},$$

бундан

$$\dot{E}_s = \frac{\dot{E}_1 + \dot{E}_2}{2},$$

чунки

$$Z_{01} = Z_{02} = Z_0.$$

Эквивалент генераторнинг ички қаршилиги Z_s A ва B нуқталарга nisbatan параллел уланган (13-6-расм) иккита бир хил $Z_{01} = Z_{02}$ қаршиликлардан ташкил топади ва шунинг учун $Z_s = Z_0/2$.

E_s ва Z_s нинг топилган қийматларини (13-5) тенгламага қўйиб, нагрузка исталган қаршилиги $Z_{ю}$ да қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$I = \frac{\dot{E}_1 + \dot{E}_2}{Z_0 + 2Z_{ю}} = \frac{118 + 124}{j0,05 + 2Z_{ю}} = \frac{242}{j0,05 + 2Z_{ю}}.$$

Хусусан, $Z_{ю} = Z$ бўлганда

$$I_{(Z)} = \frac{242}{j0,05 + 2(0,5 + j0,3)} = \frac{242}{1,33e^{j33}} = 202,5e^{-j33} \text{ A.}$$

I нинг ҳосил қилинган қиймати олдинги топилгани билан бир хил ва бу натижалар тўғрилигини текширишга хизмат қилиши мумкин.

Нагрузка қаршилиги $Z_{ю}$ нинг қийматлари $2Z$; $0,5Z$ ва $0,25Z$ бўлганда токларни шунга ўхшаш йўл билан топамиз; хусусан: $102,5e^{-j33}$, $397e^{-j33}$ ва $757e^{-j33}$ А.

Масалага қўшимча савол

Қувватлар баланси ёрдамида ҳисоблашлар қандай текширилади? Биринчи генераторнинг комплекс қуввати

$$S_1 = \dot{E}_1 \dot{I} = 118 \cdot 85,0 e^{-j3^\circ 20'} = 10020(\cos 3^\circ 20' - j \sin 3^\circ 20') = \\ = (10000 - j 580) \text{ В} \cdot \text{А} = (10,0 - j 0,58) \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

бундан биринчи генератор учун

$$S_1 = 10,02 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \quad P_1 = 10,0 \text{ кВт}; \quad Q = -0,58 \text{ квар.}$$

Иккинчи генератор учун шунга ўхшаш

$$S_2 = \dot{E}_2 \dot{I} = 124 \cdot 142 e^{j53^\circ 30'} = 17600 e^{j53^\circ 30'} = \\ = (10500 + j 14200) \text{ В} \cdot \text{А},$$

бундан

$$S_2 = 17,60 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \quad P_2 = 10,5 \text{ кВт}; \quad Q_2 = 14,2 \text{ квар.}$$

Иккала генераторнинг актив қуввати

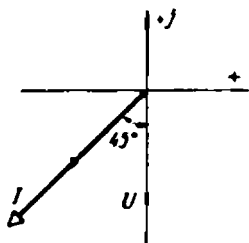
$$P_1 + P_2 = 10,0 + 10,5 = 20,5 \text{ кВт.}$$

13-6. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

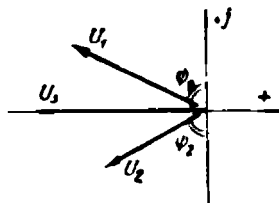
13-1- § га масалалар

255. Агар эффектив қийматлари тегишлича 2А ва 127 В бўлса, 13-7- расмдаги векторлар диаграммаси бўйича комплекс ток ва кучланиш тузилсин.

266. Занжирда ток — 130 мА комплекс билан ифодаланади. Занжир қисмаларида комплекс кучланиш 120 В модулга ва π аргументга эга. Ток ва кучланишнинг оний қийматлари ёзилсин; векторлар диаграммаси қурилсин.



13-7- расм. 255- масалага.



13-8- расм. 260- масалага.

257. Олдинги масаладаги ток ва кучланишнинг комплекс қийматлари тегишлича j ва $-j$ га кўнйайтирилсин. Ҳосил қилинган янги комплекс катталиклар учун векторлар диаграммаси қурилсин.

258. $\dot{U}_1 = (110 + j190)$ В, $\dot{U}_2 = -220$ В ва $\dot{U}_3 = (110 - j190)$ В учун кучланишлар векторлари қурилсин. Кучланишлар орасидаги фаза силжишлари ҳисоблансин.

259. Электр занжирини иккита шохобча токларнинг оний қийматлари $i_1 = 12 \sin(\omega t - 30^\circ)$ ва $i_2 = 8 \sin(\omega t + 30^\circ)$. Икки шохобчанинг комплекс умумий токни уч шаклда (алгебраик, тригонометрик ва кўрсаткичли) ифодалансин.

260. Кучланишлари $U_1 = 100$ В, $U_2 = 80$ ва $U_3 = 120$ В бўлган учта кетма-кет уланган қисмлардан иборат тармоқланмаган занжир учун (векторлар диаграммаси 13-8-расмда), агар $\psi_1 = 60^\circ$ ва $\psi_2 = 50^\circ$ бўлса, \dot{U}_1 , \dot{U}_2 ва \dot{U}_3 комплекслар ифодалансин. Занжир қисмларидаги кучланишнинг оний қиймати ёзилсин ва диаграммда унинг вектори \dot{U} қурилсин.

261. $\dot{U}_3 = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$ бўлиши учун олдинги масала шартларида \dot{U}_2 кучланиш қандай бўлиши керак?

262. Занжирда токнинг актив ва реактив ташкил этувчилари бир хил ва 14,1 А га тенг. Занжир қисмларидаги кучланиш фазаси бўйича токдан кейинда қолади ва $\dot{U} = Ue^{-j45^\circ}$ комплекс билан ифодаланади. Комплекс токнинг ифодаси тузилсин.

263. Занжир қисмларидаги кучланиш 63,5 В актив ва 109,2 В реактив ташкил этувчиларга эга. Занжирда токнинг бошланғич фазаси 120° . Агар кучланиш токдан фазаси бўйича олдинда бўлса, комплекс кучланишнинг ифодаси тузилсин.

264. Олдинги масаланинг шартларида кучланишнинг актив ва реактив ташкил этувчилари тегишлича комплекс кучланишнинг ҳақиқий ва маъҳум қисмларини ифодалаши учун токнинг бошланғич фазасини қандай ўзгартириш керак?

265. Занжирдаги ток ва унинг қисмларидаги кучланиш тегишлича $(-0,684 + j1,88)$ А ва $(60 + j103,4)$ В билан ифодаланади. Ток ва кучланишнинг эффектив қийматлари, занжирнинг актив ва реактив қаршиликлари ҳисоблансин. Занжирнинг қаршиликлари комплекс шаклда ифодалансин.

266. Агар галтанинг комплекс қаршилиги $Z_K = 240,8e^{j51,30^\circ}$ Ом бўлса, частота 50 Гц бўлганда унинг актив қаршилиги ва индуктивлиги ҳисоблансин.

267. Занжирнинг комплекс қаршилиги $Z = \left(\frac{5}{4 + j3} + j2 \right)$ Ом.

Частота 100 кГц бўлганда занжирнинг эквивалент схемаси тузилсин.

268. Занжирнинг тўла қаршилиги $(5 - j6)$ Ом ни ташкил қилади. Занжирнинг актив қаршилиги сон жиҳатидан реактив қаршиликка тенг бўлиши учун унга қандай қаршилик улаш керак?

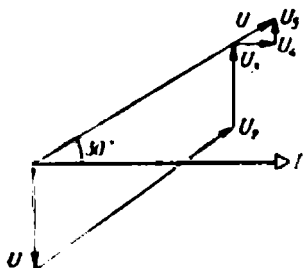
269. $r = 10$ Ом; $x_L = 25$ Ом; $x_C = 15$ Ом қаршиликлар кетма-кет уланган занжирда комплекс ток $\dot{I} = -12$ А маъҳум. Ҳар қайси қаршиликдаги ва занжирнинг чиқишларидаги комплекс кучланишлар ҳисоблансин; векторлар диаграммаси қурилсин.

270. Олдинги масаладаги занжир учун комплекс қувват ҳисоблансин.

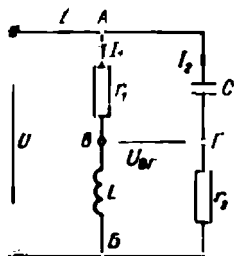
271. Ҳар қайсиининг қаршилиги 100 Ом га тенг учта қаршилик кетма-кет уланган. Бу қаршиликлардаги кучланишлар фазаси бўйича 20; 40 ва 70° га олдинда келади. Занжирнинг тўла қаршилиги ва қувват коэффициентни ҳисоблансин

272. Иккита бир хил ғалтак ва конденсатор кетма-кет уланган занжирда ток $I=8$, қисмалардаги кучланиш $U=110$ В, актив қувват $P=530$ Вт маълум. Агар синг қаршилик ҳар қайси ғалтакнинг индуктив қаршилигига тенг бўлса, ғалтак ва конденсатор қаршиликларини учун, шунингдек, тўла қувват учун комплекс ифодалар тузилсин.

273. Занжирнинг айрим қисмлари ва занжир қаршиликлари учун топографик диаграмма бўйича (13-9- расм) комплекс ифодалар тузилсин: диаграммада $U=220$ В; $U_1=80$ В; $U_2=62$ В; $U_3=25$ В; $U_4=18$ В; $I=1$ А.



13-9- расм. 273- масалага.



13-10- расм. 281- масалага.

274. Занжирда кучланишлар резонанси режими ҳосил қилини учун олдинги масалада қурилган занжирга кетма-кет уланиши лозим бўлган қаршиликнинг комплекс қиймати аниқлансин.

13-2- § ГА МАСАЛАЛАР

275. Актив қаршилик $r=30$ Ом, индуктив қаршилик $x_L=40$ Ом ва синг $x_C=25$ Ом параллел уланган. Эквивалент кетма-кет уланиш схемасининг актив ва реактив қаршиликларини ҳисоблансин.

276. Агар занжир чиқишларидаги кучланиш $\dot{U}=120e^{j36^\circ}$ В бўлса, олдинги масаладаги занжир учун шохобчалар токи ва умумий ток ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

277. Ҳар бири 200 Ом дан бўлган актив, индуктив ва синг қаршиликлар 120 В ли кучланиш манбаига параллел уланган. Манбанинг токи ҳисоблансин.

278. Актив ва индуктив нагрузкали истеъмолчилар группаси кучланиши 220 В бўлган ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Истеъмолчиларнинг умумий токи 66 А, уларнинг актив қуввати 9 кВт.

Қувват коэффициентини 0,95 гача яхшилаш учун истеъмолчиларга конденсатор қурилмаси параллел уланган. Конденсатор қурилмасининг реактив қуввати аниқлансин ва тармоқнинг комплекс кучланишини

ҳақиқий мусбат сон деб олинб, истеъмолчилар токи учун, сизгим токи учун ва тармоқнинг умумий токи учун комплекс ифодалар тузилсин.

279. Комплекс ифодалари $Z_1 = (100 + j60)$ Ом, $Z_2 = (40 - j60)$ Ом ва $Z_3 = 120$ Ом бўлган учта қаршилик параллел уланган. Занжир қисмаларидаги кучланиш $\dot{U} = 120$ В. Шохобчаларнинг комплекс тоқлари, занжирнинг умумий токи, шунингдек, тўла қувват аниқлансин. Ҳамма тоқлар ва кучланишнинг векторлари қурилсин.

280. Кучланишлар резонанси режими ҳосил бўлиши учун олдинги масаладаги занжирнинг тармоқланмаган қисмига қандай қаршилик улаш керак.

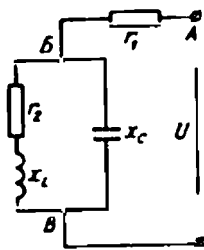
281. 13-10- расмдаги занжирда шохобчаларнинг тоқлари маълум: $I_1 = 0,8$ А; $I_2 = 0,6$ А. I_1 ток фазаси бўйича I_2 токдан 50° бурчакка орқада қолади. Агар $r_1 = 25$ Ом, $x_L = 15$ Ом бўлса, U ва $U_{ВГ}$ кучланишлар ҳисоблансин.

282. 13-11- расмдаги занжир учун $x_L = x_C = x$ шарти билан умумий кўринишда комплекс қаршилик тузилсин.

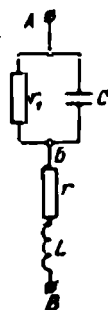
13-4—13-5-§ ЛАРГА МАСАЛАЛАР

283. Агар $r_2 = x_L = 500$ Ом; $x_C = 1000$ Ом; $r_1 = 200$ Ом; $U = 120$ В бўлса, 13-11- расмдаги занжирда ҳамма тоқлар, шунингдек, AB ва $ВВ$ қисмалардаги кучланишлар ҳисоблансин.

284. Агар r_1 қаршилигидан $1,4$ А ток ўтса ва занжирнинг параметрлари: $C = 3$ мкФ; $L = 0,2$ Г; $r_1 = 100$ Ом; $r = 20$ Ом; $f = 160$ Гц бўлса, AB ва $ВВ$ қисмалардаги (13-12- расм), шунингдек, занжирнинг AB қисмаларидаги кучланишлар ҳисоблансин.



13-11- расм.
28-3 масалага.

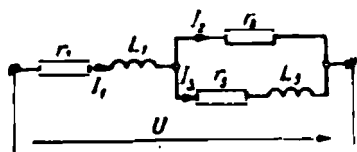


13-12- расм.
284- масалага.

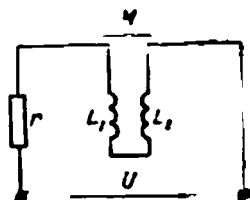
285. Олдинги масалада шохобча токи ўрнида умумий ток маълум (1,46 А) деб олинсин ва занжир қисмаларидаги кучланиш аниқлансин.

286. 13-13- расмдаги занжир учун r_2 қаршиликнинг қандай қий-матда U кучланиши билан ток I_3 орасида ω частотада силжиш бур-чаги 90° га тенг бўлиши умумий кўринишда топилсин.

287. Агар $r = 30$ Ом; $L_1 = 0,1$ Г; $L_2 = 0,03$ Г; $M = 0,053$ Г; $U = 220$ В; $f = 50$ Гц бўлса, индуктив ғалтакларнинг тўғри ва қарама-



13-13- расм.
286- масалага.

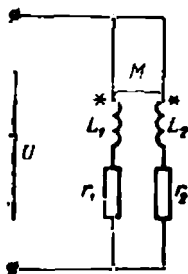


13-14- расм.
287- масалага.

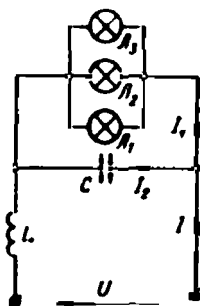
қарши уланишларида 13-14- расмда кўрсатилган занжирдаги ток ҳисоблансин.

288. Агар $U = 220$ В; $I = 50$ Гц; $L_1 = 0,2$ Г; $L_2 = 0,4$ Г; $M = 0,1$ Г; $r_1 = 20$ Ом; $r_2 = 30$ Ом бўлса, 13-15- расмдаги занжир учун ҳамма тоқлар ҳисоблансин.

289. Бушера схемасида (13-16- расм) уланган лампаларнинг турли совида I_2 токнинг ўзгармаслигини таъминлаш мумкин. Бунинг учун Кирхгоф қонунларини қўллаб, ω , L ва C лар орасидаги зарурий нисбат келтириб чиқарилсин.



13-15- расм.
288- масалага.



13-16- расм.
289- масалага.

290. Ички қаршилликлари $Z_{01} = Z_{02} = j0,2$ Ом ва э. ю. к. лари $E_1 = 120$ В, $E_2 = 126$ В бўлган иккита параллел уланган генератор умумий юкка эга. Истеъмолчининг комплекс қаршилиги $Z = (2 + j)$ Ом. Истеъмолчи ва генераторларнинг комплекс тоқлари аниқлапсин.

291. Агар э. ю. к. $E_2 = jE_1$ бўлса, олдинги масала шартларида комплекс тоқлар аниқлансин.

13-7. 13- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

255. $2e^{-j135^\circ}$ A; $127e^{-j90^\circ}$ B.
256. $30\sqrt{2}\sin(\omega t - 90^\circ)$ mA; $120\sqrt{2}\sin(\omega t - 180^\circ)$ B.
257. 30 mA. 120 B.
258. 120° .
259. $12,3e^{-j6^\circ30'} = 12,3 \cos(-6^\circ30') + j12,3 \sin(-6^\circ30') = 12,25 - j1,4$.
260. $(-86,6 + j50)$ B; $(-61,2 - j51,5)$ B; -120 B; $376 \sin(\omega t - 180^\circ)$ B.
261. $60e^{-j121^\circ}$ B.
262. 20 A.
263. -127 B.
264. Ноллача камайтириш керак.
265. 2 A; 120 B; 38,3 Ом; -46 Ом; $60e^{-j50}$ Ом.
266. 150 Ом; 0,6 Г.
267. 0,8 Ом; 2,23 мГ.
268. Актив ёки индуктив 1 Ом ё бўлмаса индуктив 11 Ом.
269. -120 B; $-j300$ B; $j180$ B; $(-120 - j120)$ B.
270. $(1440 + j1440)$ B·A.
271. 285 Ом; 0,72.
272. $(4,14 + j11)$ Ом; $-j11$ Ом; $(530 + j700)$ B·A.
273. $-j80$ Ом; $(165 + j110)$ Ом; $j62$ Ом; 25 Ом; $j18$ Ом; $(190 + j110)$ Ом.
274. $-j110$ Ом.
275. 24,8 Ом; $-11,5$ Ом.
276. 4 A; $3e^{-j60^\circ}$ A; $4,8e^{j120^\circ}$ A; $4,4e^{j24^\circ10'}$ A.
277. 0,6 A.
278. $-5,8$ Ом; $66e^{-j51^\circ10'}$ A; $j37,9$ A; $43e^{-j18^\circ10'}$ A.
279. $(0,883 - j0,53)$ A; $(0,924 + j1,38)$ A; 1 A; $(2,8 + j0,85)$ A; $(336 + j102)$ B·A.
280. Индуктив 11,9 Ом.
281. 23 B; 12,8 B.
282. $\frac{r_1 r_2 - x^2}{r_1 + r_2} + j \frac{r_2 x - r_1 x}{r_1 + r_2}$
283. 0,1 A; 0,14 A; 0,1 A; 20 B; 100 B.
284. 140 B; 290 B; 300 B.
285. 310 B.
286. $r_2 = \frac{\omega^2 L_1 L_2 - r_1 r_2}{r_1 + r_2}$.
287. 2,7 B; 7 A.
288. 2,83 A; 1,07 A; 3,87 A.
289. $\omega^2 LC = 1$.
290. $53e^{-j28^\circ}$ A; $23,7e^{-j6^\circ}$ A; $36,2e^{-j49^\circ15'}$ A.
291. $37e^{j14^\circ25'}$ A; $418e^{-j135^\circ}$ A; $453e^{j42^\circ}$ A.

ҮН ТҮРТҮНЧИ БОБ

УЧ ФАЗАЛИ ЗАНЖИР

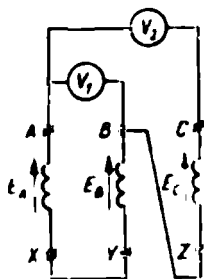
14-1. Э. Ю. КУЧНИНГ УЧ ФАЗАЛИ СИСТЕМАСИ. УЧ ФАЗАЛИ ГЕНЕРАТОРЛАР ЧУЛҒАМЛАРИНИНГ УЛАНИШИ

Масаланинг шarti

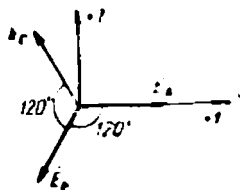
Фаза э. ю. кучи 38 В бўлган симметрик уч фазали генератор чулғамларининг 14-1-расмда берилган уланиши учун V_1 ва V_2 вольтметрларнинг кўрсатиши аниқлансин ва ҳамма э. ю. к. лар, шунингдек, ўлчанаётган кучланишларнинг векторлар диаграммаси қурилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Уч фазали э. ю. к системасининг ҳосил қилиниши ва унинг хусусиятлари. Бир хил частотали бир-бирга нисбатан фазаси бўйича силжиган учта синусоидал э. ю. к. лар тўплами уч фазали э. ю. к. системаси деб аталади. Агар ҳамма э. ю. к. ларнинг амплитудалари бир хил ва ўзаро бир хил фазавий бурчакка (120°)



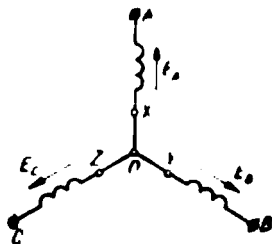
14-1-расм. 14-1-§ да-
ги масала шartiга.



14-2-расм. Симметрик
уч фазали генератор-
нинг комплекс фаза
э. ю. к. лари.

силжиган бўлса, унда уч фазали э. ю. к. лар системаси симметрик система дейилади.

Уч фазали симметрик э. ю. к. лар системаси уч фазали генераторлар ёрдамида ҳосил қилинади. Бу генераторларда ўрамлар сони бир хил бўлган ва генераторнинг корлу-



14-3- расм. Генераторнинг чулғамларини юлдуз шаклида улаш.



14-4- расм. Генератор чулғамларини учбурчак шаклида улаш.

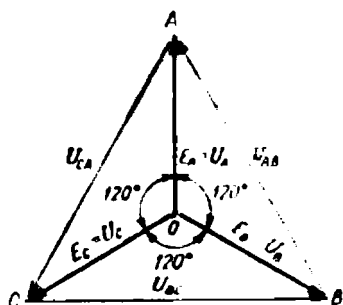
сига уларда қийматлари бир хил ва тенг бурчакка (120° га) сурилган э. ю. к. лар ҳосил бўладиган қилиб жойлаштирилган учта чулғам бўлади. E_A (A фазанинг э. ю. к. и), E_B (B фазанинг э. ю. к. и) ва E_C (C фазанинг э. ю. к. и) билан белгиланган бу э. ю. к. лар векторлар диаграммасида (14-2- расм) учта комплекс э. ю. к. кўринишида тасвирланган, бунда модуллар $E_A = E_B = E_C$.

Генераторнинг чулғамлари, одатда, ё юлдуз (14-3- расм), ёки учбурчаклик (14-4- расм) шаклида уланади. Уланишнинг ҳар бир шаклида биргина қоидага риоя қилинади: э. ю. к. ҳар бир чулғамни охиридан (X , Y , Z нуқталари) уларнинг бошларига (A , B , C нуқталарга) қараб йўналган деб олинади.

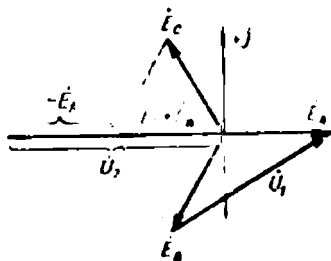
Агар генератор чулғамларининг ички қаршиликлари эътиборга олинмаса, унда фаза э. ю. к. лари тегишлича фаза кучланишларига тенг бўлади.

Векторлар диаграммасидан (14-5- расм) тегишли фазни кучланишларининг геометрик айирмасидан иборат бўлган ва улардан $\sqrt{3}$ марта (120° бурчак қаршисида ётган тенг ёнли учбурчакликнинг томонлари бўлгани учун) фарқ қиладиган линия кучланишлари $U_{AB} = U_A - U_B$, $U_{BC} = U_B - U_C$ ва $U_{CA} = U_C - U_A$ ҳам векторларнинг симметрик системасини ташкил қилади.

Уч фазали занжирлар кўриладиганида *уч фазали векторлар симметрик система йиғиндисининг муҳим хусусия-*



14-5- расм. Симметрик уч фаза-ли генераторнинг чизқли ва фаза кучланишлари.



14-6- расм. 14-1- расмдаги занжирнинг вектор диаграммаси.

ти, яъни бу йиғиндининг нолега тенг бўлиши эътиборга олинади. Масалан, 14-2- расмдан фойдаланиб:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_B = \dot{I}_C = E_A e^{j\omega t} + E_B e^{-j120^\circ} + E_C e^{j120^\circ}$$

га эга бўламиз. $E_A = E_B = E_C = E_\phi$ (фазанинг э. ю. к. н) ни ҳисобга олиб ҳамда бурниш кўпайтувчиси $e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + \pm j \sin 120^\circ$ ни ўзгартириш учун Эйлер теоремасидан фойдаланиб $E_A + E_B + E_C = 0$ га эга бўламиз

Комплекс э. ю. к. E_A, E_B, E_C ларни (14-2- расм) геометрик қўшишни бажариб ҳам шу натижани олиш мумкин, чунки бунда томонларни E_ϕ га тенг бўлган тенг томонли учбурчаклик берк бўлади.

2. Кучланишларни ҳисоблаш. Берилган занжир (14-1- расм) A ва C нуқталарнинг орасида узилган учбурчаклик шаклида уланишдан иборатдир (вольтметрларнинг қаршилиги чексиз катта қабул қилинади).

Кирхгофнинг иккинчи қонунига кура

$$-\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = U_{CA} = \dot{U}_2,$$

бу ерда $U_2 = V_2$ вольтметр ўлчайдиган кучланиш.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \text{ ёки } \dot{E}_B + \dot{E}_C = -\dot{E}_A.$$

бўлгани учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни нфодасидаги йиғинди $\dot{E}_B + \dot{E}_C = -2\dot{E}_A$ ни алмаштириб, $U_2 = -2\dot{E}_A$ ни

оламиз, иккинчи вольтметрнинг кўрсатиши эса $U_2 = 2E_\phi = 2 \cdot 38 = 76$ В. V_1 вольтметр комплекс қиймати $U_{AB} = -\dot{E}_A - \dot{E}_B$ бўлган линия кучланишини ўлчайди. Бу кучланиш линия кучланишидир ва у (олдин исботланганидек) фаза кучланишидан $\sqrt{3}$ марта катта, яъни вольтметрнинг кўрсатиши

$$U_1 = \sqrt{3} E_\phi = \sqrt{3} \cdot 38 = 66 \text{ В.}$$

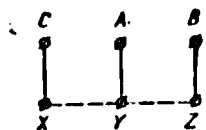
3. Векторлар диаграммасини қуриш. 14-6-расмда бизга маълум бўлган уч фазали симметрик э. ю. к. лар системаси E_A , E_B , E_C келтирилган (14-2-расмга қаранг). «Параллелограмм қондаси» бўйича йигинди вектор $E_B + E_C$ қурилган, унга $-E_A$ вектори қўшилган. Натижада номаълум кучланиш $U_2 = -E_A + E_B + E_C$ га эга бўламыз. Линия кучланишининг вектори \dot{U}_1 бизга маълум (14-5-расм) қоида бўйича қурилган (14-6-расм).

Масалага қўшимча саволлар

1. Генератор чулғамларини учбурчаклик шаклида улашнинг йўл қўйилиши қандай асосланади? Учбурчаклик шаклида улаш (14-4-расм) ҳамма чулғамларнинг бош ва охири қисмаларининг кетма-кет келишига риоя қилиниб бажарилган. Бунда контур э. ю. к. ларининг йигиндиси

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0,$$

ва контруда ток бўлмайди, яъни ташқи юк бўлмаганда генератор салт ишлаш режимида бўлади.



14-7-расм. Уч фазали генератор қисмалари схемаси ва уларнинг юлдуз шаклида (пункт) ва учбурчак шаклида (туташ чизик) улаш коммутацияси.

2. Учбурчаклик шаклида генератор чулғамларининг бош ва охириларини алмаштириш мумкинми? Занжирни (14-1-расм) анализ қилишнинг кўрсатишича, бунни қилиш мумкин эмас, чунки генератор чулғамлари контурида э. ю. к. ташқи юк бўлмаганда нолга тенг бўлмай қолади. Бизнинг ҳолда (14-1-расм) у икки марта ортиқ фаза э. ю. к. ига тенг бўлади, бу эса ге-

нераторда катта сатт ишлаш токи ҳосил бўлишига, унинг ўта юкланишига олиб келади ва ишдан чиқиши ҳам мумкин.

3. Нима учун генератор чулгамларининг бош ва охирлари 14-7-расм бўйича ташқи платага чиқарилади? Бунда юлдуз шаклида (пунктир билан кўрсатилган иккита горизонтал туташтиргич) ёки учбурчаклик шаклида (туташ чизиклар билан кўрсатилган учта туташтиргич) улашни амалга ошириш осон бўлади. Айтилганларнинг тўғрилигига 14-3 ва 14-4-расмларга қараб ишонч ҳосил қилиш осон.

14-2. ТҮРТ СИМЛИ ЗАНЖИР

Масаланинг шарти

Линия кучланишн 380 В бўлган уч фазали ток тармоғидан ишчилар посёлкасининг уй-рўзгор асбоблари таъминланади. Ҳамма истеъмолчилар тўрт симли схема бўйича юлдуз шаклида уланган бўлиб, уч группага тақсимланган.

Агар A фазага уланган истеъмолчиларнинг қуввати $3,52$ кВт $= 3,52 \cdot 10^3$ Вт, B фазаники — $2,64$ кВт $= 2,64 \cdot 10^3$ Вт, C фазаники — $3,96$ кВт $= 3,96 \cdot 10^3$ Вт бўлса, тармоқнинг ҳамма симларидаги тоқлар ва унинг умумий қуввати аниқлансин.

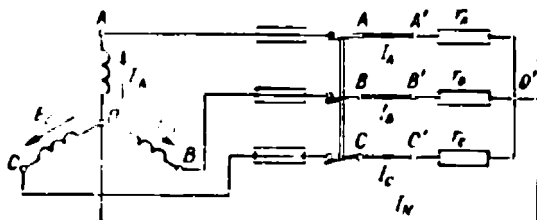
Масаланинг ечилиши

1. Занжирнинг принципал схемасини тузиш. Кўпчилик уй-рўзгор электр асбоблари (ёртиш лампалари, қиздириш плиткалари ва бошқалар) актив нагрузкадан иборат ($\cos \varphi = 1$), уларни r_A , r_B ва r_C эквивалент қаршиликлари билан (14-8-расм) кўрсатиш мумкин; булар масаланинг шартлари бўйича тўрт симли тармоққа уланган, яъни таъминловчи генератор билан (подстанция билан) учта линия сими (AA' , BB' , CC') ва OO' нейтрал сим оққали уланган.

14-8-расмда чап томонда учта фаза чулгамлари A , B , C юлдуз шаклида уланган генератор шартли равишда кўрсатилган, яъни истеъмолчиларнинг қаршиликлари ҳам худди шундай уланган, бу эса тўрт симли системанинг зарурий шартидир. Таъминловчи генераторнинг рубильнигидаги A , B ва C қисқичларини (14-8-расм) ушнинг фаза чулгамлари-

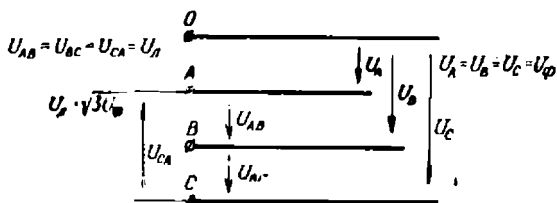
нинг боши деб қараш мумкин, шунинг учун улар ҳам ўша ҳарфлар билан белгиланган. Чулғамларнинг охирилари ўзаро уланган ва O нейтрал нуқтани ҳосил қилади.

Линия кучланишларининг берилган эффе́ктив қийматлари $U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}=U_A=380$ В да фаза кучланишлари $U_A=U_B=U_C=U_\phi=380/\sqrt{3}=220$ В га тенг.



14-8-расм. 14-2-§ даги масала шартига.

Шундай қилиб, тўрт симли уч фазаги занжир чиқишларида (14-9-расм) симметрик кучланишларнинг иккита системаси — фаза ва ундан 3 марта фарқ қиладиган линия кучланишлари бўлади.



14-9-расм. Тўрт симлик системанинг чиниқли ва фаза кучланишлари.

2. Истеъмолчилар фазаларида кучланиш ва тоқларнинг тақсимланиши. AA' , BB' , CC' ва OO' симларда (14-8-расм) кучланиш пасайишини ҳисобга олмай, кўрилаётган занжирда истеъмолчиларнинг фаза кучланишларини генераторнинг фаза кучланишларига тенг деб олиш мумкин: $U_A=U'_A$, $U_B=U'_B$ ва $U_C=U'_C$. Бунда, шубҳасизки, манбанинг ва истеъмолчининг кучланиши деб ажратишга зарурат йўқ — булар бир хил кучланишлардир.

14-8- расмда кўрсатилишича I_A, I_B, I_C тоқлар линия сим- ларидан ва истеъмолчиларнинг r_A, r_B ва r_C қаршилликлари- дан ўтади, шунинг учун улар бир вақтда линия ва фаза тоқларидир. Нейтрал симдаги I_N тоқи I_A, I_B ва I_C фаза (линия) тоқларининг геометрик йиғиндисига тенг.

3. Фаза тоқларини ҳисоблаш. Берилган истеъмолчилар учун $\cos \varphi = 1$ дегини ҳисобга олиб, қўйидаги- ларни оламиз:

$$I_A = \frac{P_A}{U_{\phi}} = \frac{3520}{220} = 16 \text{ A};$$

$$I_B = \frac{P_B}{U_{\phi}} = \frac{2640}{220} = 12 \text{ A};$$

$$I_C = \frac{P_C}{U_{\phi}} = \frac{3960}{220} = 18 \text{ A}.$$

Фазалари бўйича кучланишлар билан устма-уст туша- диган I_A, I_B ва I_C тоқларни олиб қўйиб, фаза тоқлари ва кучланишларининг векторлар диаграммасини ҳосил қиламиз (14-10- расм).

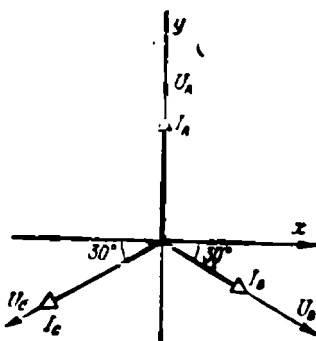
4. Нейтрал симдаги токни ҳисоблаш. Нейтрал симдаги ток Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича аниқ- ланади: ўзгарувчан ток занжир- ларида буни комплекс тоқлар учун қўллаш анча осон.

Векторлар диаграммаси асо- сида (14-10- расм) комплекс фаза тоқларини ёзамиз:

$$I_A = jI_A - I_A e^{-j150^\circ};$$

$$I_B = I_B e^{-j30^\circ} = 12(\cos 30^\circ - j \sin 30^\circ) = (10,4 - j6) \text{ A};$$

$$I_C = I_C e^{-j150^\circ} = 18(\cos 150^\circ - j \sin 150^\circ) = (-15,6 - j9) \text{ A}.$$



(уч фазали занжирларни ҳисоб- лашда, кўпинча, ҳақиқий ва мав- ҳум ўқларни бошқача ҳам тан-

14-10- расм. Юлдуз шаклида уланган уч фазали симметрик системанинг фаза (шунларнинг ўзи чизиқли) тоқлари.

ланади, жумладан: ҳақиқий ўқ юқорига вертикал йўналтирилади. Бунда ҳамма тоқлар ва кучланишларнинг фазалари -90° га ўзгаради, яъни

$$i_A = I_A e^{j0^\circ}; i_B = I_B e^{-j120^\circ} \text{ ва ҳ. к.}$$

Нейтрал симдаги комплекс ток

$$\begin{aligned} I_N &= I_A + I_B + I_C = j16 + 10,4 - j6 - 15,6 - j9 = \\ &= -5,2 + j1 = 5,29 e^{j169^\circ} \text{ А.} \end{aligned}$$

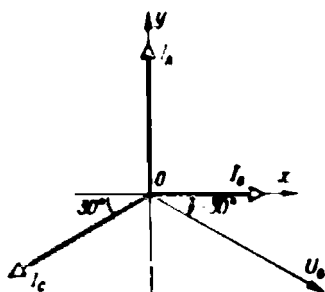
5. Умумий қувватни ҳисоблаш. Бутун занжирнинг актив қуввати

$$P = P_A + P_B + P_C = 3,52 + 2,64 + 3,96 = 10,12 \text{ кВт.}$$

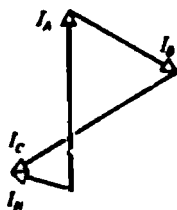
Масалага қўшимча саволлар

1. Агар В фазага актив-реактив истеъмолчи уланса, тоқлар қандай ўзгаради? В фазага r_B қаршилик ўрнига тўла қаршилиги $z_B = r_B$ бўлган актив-сигимли истеъмолчи ($\varphi = -30^\circ$) уланади, деб фараз қиламиз.

$z_B = r_B$ бўлганда ток $I_B = U_B / z_B = U_B / r_B = 12 \text{ А}$, яъни модули бўйича илгаригисича қолади, лекин фазаси бўйича U_B кучланишдан 30° (14-11-расм) олдинда бўлади, чунки z_B сигим характериға эга. Комплекс шаклда (14-11-расм)



14-11-расм. Ҳикита актив ва битта актив-сигим истеъмолчилари бўлган тўрт симлик система тоқларининг вектор диаграммаси.



14-12-расм. Фаза тоқларининг геометрик ёнғиндисига тенг булган нолинчи сим тоқи.

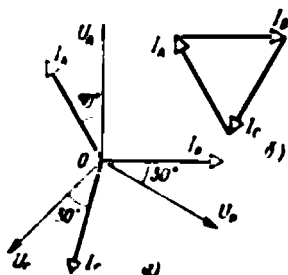
$i_B = I_B e^{j0^\circ} = 12$ А. Бошқа истеъмолчиларнинг токлари (I_A ва I_C модули ва фазаси бўйича илгаригисича қолади.

Бундай ҳолда нейтрал симдаги ток

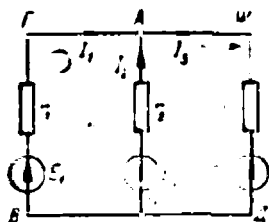
$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = j16 + 12 + (-15,6 - j9) = -3,6 + j7 = \\ &= 7,86 e^{j117^\circ 20'} \text{ А.} \end{aligned}$$

Ҳамма фаза тоқларининг қийматлари олдингидек бўлишига қарамай, нейтрал симда ток катталашар экан.

2. Нейтрал симдаги ток график усулда қандай аниқланади? Векторлар диаграммасини масштабда қуриб (14-12-расм), I_N тоқини фаза тоқларининг кўпбурчаклигини туташтирувчи вектор сифатида аниқлаш мумкин.



14-13-расм. Юлдуз шаклида уланган симметрик истеъмолчи учун вектор диаграмма.

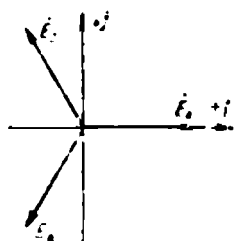


14-14-расм. О нейтрал сим бўлмаганда 14-8-расмда кўрсатилган схемага эквивалент схема.

3. Нейтрал симда ток бўлмаслиги мумкинми? Агар ҳамма фазаларга бир хил истеъмолчилар уланса, масалан, B фазасидагига ўхшаш (биринчи қўшимча савол), у ҳолда ҳамма тоқлар сон жиҳатидан 12 А тенг бўлади ва мос ҳолда фаза кучланишларидан 30° бурчакка (14-13-расм, а) олдинда бўлади. Бунда $I_N = 0$ бўлади (14-13-расм, б). Бундай нарузка ҳар бир фазада бир хил z ва φ симметрик нарузка дейилади.

Демак, симметрик истеъмолчи учун фазалардаги тоқлар қийматлари бўйича бир хил ва бир-бирига нисбатан тенг бурчакка (120°) силжийди. Уларнинг геометрик йиғиндиси нолга тенг.

4. Тасодифан нейтрал сим узилиб қолса, истеъмолчининг фазаларида кучланишлар қандай ўзгаради? Кўриб чиқиладиган занжир (14-8-расм) фақат икки тугунга (O ва O') эга ва нейтрал сим бўлмаганда бошқача кўринишда (14-14-расм) кўрсатилган. Бундай занжирни ҳисоблаш икки тугун усулида (4- бобга қаранг) бажарилиши мақсадга мувофиқдир; ўзгарувчан ток занжирларида бу усулни комплекс катталиклар учун қўллаш шарт бўлади.



14-13- расм. 14-8- §.
4- қушимча саволга.

O' ва O тугун нуқталар (14-14-расм), яъни генератор ва истеъмолчининг нейтрал нуқталари орасидаги кучланиш ёки нейтралнинг силжиши

$$\dot{U}_N = \dot{U}_{O'O} \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}.$$

E_A векторни ҳақиқий ўқ бўйича қўйиб (14-15- расм), комплекс фаза э. ю. к. ларни ифодалаймиз: $\dot{E}_A = U_A = 220$ В; $\dot{E}_B = \dot{U}_B = (-110 - j190)$ В; $\dot{E}_C = \dot{U}_C = (-110 + j190)$ В ва фазаларнинг соф актив ўтказувчанликларни ҳисоблаймиз: $Y_A = 1/r_A = 0,073$ См; $Y_B = 1/r_B = 0,55$ См; $Y_C = 1/r_C = 0,082$ См.

Нейтралнинг комплекс силжиши:

$$\begin{aligned} \dot{U}_N &= \frac{220 \cdot 0,073 + (-110 - j190) \cdot 0,55 + (-110 + j190) \cdot 0,082}{0,073 + 0,55 + 0,082} = \\ &= \frac{1,03 + j5,17}{0,21} = (4,9 + j24,6) \text{ В.} \end{aligned}$$

Истеъмолчиларнинг фаза кучланишлари

$$\begin{aligned} U_A &= \dot{E}_A - \dot{U}_N = 220 - 4,9 - j24,6 = 216,6 e^{-j6,35} \text{ В;} \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B - \dot{U}_N = -110 - j190 - 4,9 - j24,6 = 224 e^{-j118^\circ} \text{ В;} \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C - \dot{U}_N = -110 + j190 - 4,9 - j24,6 = 202 e^{j125^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

Шундай қилиб, r_B қаршилигида кучланиш ошади, r_C ва r_A қаршиликларида эса камаяди.

Демак, нагрузка носимметрик булганда нейтрал симнинг узилиб қолиши нейтралнинг силжишига ва истеъмолчилар фаза кучланишларининг узгарishiга олиб келади, бунинг булиши мумкин эмас. Шунинг учун нейтрал симга сақлагич қўйилмайди.

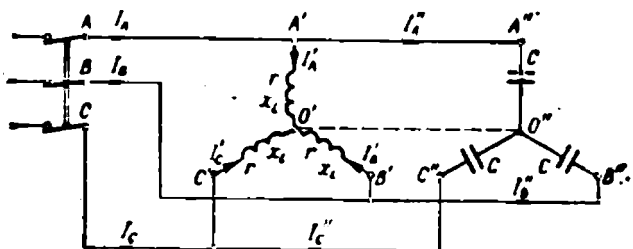
5. Тўрт симлик система қандай холларда қўлланади? Тўрт симлик система носимметрик нагрузкаларни таъминлаш учун керак: симметрик нагрузкада, юқорида кўриб чиқилганидек, нейтрал сим керак эмас.

Тўрт симлик система электр лампаларни, хонадон асбобларини ва носимметрик схемали айрим объектларни таъминлаш учун қўлланилади.

14-3. ИСТЕМОЛЧИЛАРИ ЮЛДУЗ ШАКЛИДА УЛАНГАН УЧ СИМЛИК ЗАНЖИР

Масаланинг шарти

Ҳар бир фазасининг эквивалент электр схемаси (14-16-расм) актив қаршилик $r = 0,6$ Ом ва индуктив қаршилик $x_L = 0,8$ Ом га эга бўлган уч фазали электр двигател кучланиши 380 В бўлган тармоқдан таъминланади. Двигателга ҳар бир фазанинг қувват коэффициентини 0,92 гача яхшилайдиган конденсаторлар батареяси (14-16-расм) уланган.



14-16- расм. Ҳар бир фазасига конденсатор уланган уч фазали электродвигателнинг эквивалент схемаси.

Двигателнинг фазаларидаги $I'_{A'}$, $I'_{B'}$, $I'_{C'}$ тоқлар, линия симларидаги I_A , I_B , I_C тоқлар аниқлансин; уларнинг вектор диаграммалари қурилсин. Занжирнинг актив ва тўла қувватлари ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Занжир схемасини асослаш. Бир хил қаршиликли двигателъ чулғамларига бир хил сизимли конденсаторлар уланганлиги учун истеъмолчи (двигателъ конденсаторлари билан) бутунлай симметрикдир ва нейтрал сим керак эмас (олдинги масалага қаранг, учинчи қўшимча символ).

2. Двигателъ фазаларидаги тоқларни ҳисоблаш. Юлдуз шаклида уланган симметрик истеъмолчи учун фазалардаги кучланиш $U_{\phi} = U_{\Delta} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$ В ва двигателъ чулғамларидаги тоқлар

$$I_A = I_B = I_C = I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{z} = \frac{220}{\sqrt{r^2 + x_L^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,6^2 + 0,8^2}} = 220 \text{ А,}$$

бу тоқлар мос фаза кучланишларига нисбатан фазалари бўйича $\varphi = \arccos r/z = \arccos 0,6 = 53^{\circ}$ бурчакка кейинда бўлади (14-17- расм).

3. Линия тоқларини ҳисоблаш. Фазаларнинг актив ўтказувчанлиги двигателъ чулғамининг актив ўтказувчанлигига тенг:

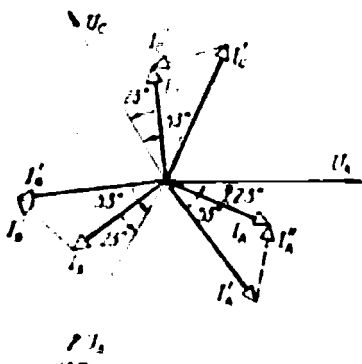
$$g_{\phi} = \frac{r}{r^2 + x_L^2} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ См,}$$

фазаларнинг реактив ўтказувчанлиги

$$b_{\phi} = g_{\phi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\phi} = 0,6 \operatorname{tg} 23^{\circ} = 0,25 \text{ См,}$$

чунки берилган $\cos \varphi_{\phi} = 0,92$ да бурчак $\varphi_{\phi} = 23^{\circ}$.

Тўла ўтказувчанлик



14-17- расм. 14-16- расмда кўрсатилган занжир учун вектор диаграмма.

$$y_{\phi} = \sqrt{g_{\phi}^2 + b_{\phi}^2} = \sqrt{0,6^2 + 0,25^2} = 0,65 \text{ См.}$$

Линия тоқлари

$$I_A = I_B = I_C = I_{\phi} = U y_{\phi} = 220 \cdot 0,65 = 143 \text{ А,}$$

бу тоқлар мос фаза кучланишларидан (14-17-расм) $\varphi_{\phi} = 23$ бурчакка кейинда бўлади.

Вектор диаграммада кўрсатилган I_A , I_B ва I_C тоқлар сигимли шохобчалардан ўтади, улар мос фаза кучланишларидан 90° бурчакка олдинда бўлади.

4. Қувватларни ҳисоблаш. Бутун занжирнинг актив қуввати

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = 3 \cdot 220 \cdot 143 \cdot 0,92 = 87,0 \text{ кВт}$$

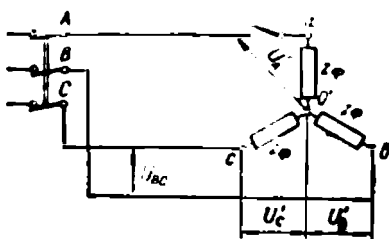
ёки

$$P = 3P_{\phi} = 3(I_{\phi})^2 r = 3(220)^2 \cdot 0,6 = 87,0 \text{ кВт.}$$

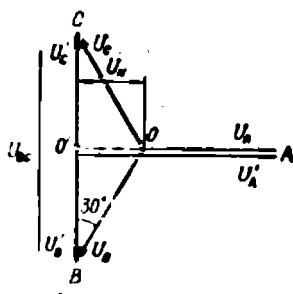
Масалага қўшимча саволлар

1. O' ва O'' нуқталар (14-16-расм) орасида сим бўлиши керакми? O' ва O'' нуқталарнинг потенциаллари бир хил, чунки двигателнинг чулғамлари ва C конденсаторлар иккита симметрик юлдуз ҳосил қилади, шунинг учун O' O'' симда ток йўқ ва сим керак эмас.

2. A фазада линия сими узилиб қолса, занжирда тоқлар ва кучланишлар қандай ўзгаради? Бундан режим фақат линия узилиб қолганда эмас, балки сақлагич куйиб қолган ҳолда ҳам вужудга келиши мумкин (14-18-расмда, шартли калит очилган ҳолда кўр-



14-18-расм. 14-3 §. 2-қўшимча саволга.



14-19-расм. 14-18-расмда кўрсатилган занжир учун вектор диаграмма.

сатилган; z_{ϕ} — двигатель чулғами ва конденсаторни ўз ичига олган — фазанинг тўла қаршилиги).

Бузилмаган икки фазага $U_{BC} = 380$ В линия кучланиши берилди, бу кучланиш икки тенг қисм U'_C ва U'_B га тақсимланади, чунки бу фазаларга бир хил r_B қаршилиқ уланган.

Шундай қилиб, вектор диаграммада (14-19- расм) O' нуқта (истеъмолчи нейтрал) \dot{U}_{BC} векторнинг ўртасида бўлади. OO' чизиғи 30 бурчак қаршисида ётган катет бўлгани учун унда нейтралнинг силжиши $U_N = U_{O'}. = U_B' \cdot 2 = = 220/2 = 110$ В.

Диаграммадан (14-19- расм, бу ерда U_A, U_B, U_C — генераторнинг фаза кучланишларидир, булар нагрузка ўзгарганда ўзгармай қолади деб ҳисоблаймиз) қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$U'_A = U_N + U_A = 110 + 220 = 330 \text{ В};$$

$$U'_B = U_{BC} / 2 = 380 / 2 = 190 \text{ В};$$

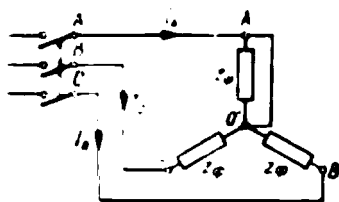
$$U'_C = U_{BC} / 2 = 380 / 2 = 190 \text{ В},$$

B ва C фазаларда

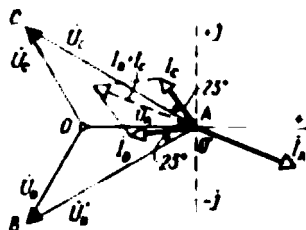
$$I_B = I_C = U_B' \cdot y_{\phi} = 190 \cdot 0,65 = 123,5 \text{ А}.$$

3. Агар A фазада қисқа туташиш юз берса, тоқлар ва кучланишлар қандай ўзгаради? O' нуқта (14-21- расм) A нуқта билан уланади. Бу ҳолда B ва C истеъмолчиларнинг (14-21- расм) фазаларида U'_C ва U'_B кучланишлар U'_{AC} ва U'_{BC} линия кучланишларига тенг бўлиб қолади, яъни $\sqrt{3}$ марта катталашади. Бизнинг ҳолда $U'_B = U'_C = 380$ В ни оламиз, линия тоқлари ҳам $\sqrt{3}$ марта катталашади, яъни $I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 143 = 248 \text{ А}$. I_B ва I_C векторлар (14-21- расм) фазалари бўйича тегишли кучланишлардан аввал ҳисобланган 23° бурчакка кейинда келадиган қилиб кўрсатилган, чунки кўриляётган икки фазанинг қаршилиқлари ўзгармаган.

U_A вектор ҳақиқий сонлар ўқининг мусбат йўналишида (14-21 расм) йўналганлигини ҳисобга олиб, комплекс ток-



14-20- расм. 14-3, 3-қўшимча саволга.



14-21- расм. 14-20- расмда кўрсатилган занжирнинг вектор диаграммаси.

ларни ёзамиз: $\dot{I}_B = 248 e^{-j117^\circ}$ ва $\dot{I}_C = 248 e^{j117^\circ}$ А. Токларнинг йўналишини ҳисобга олиб (14-21- расм)

$$\dot{I}_A = -(\dot{I}_B + \dot{I}_C)$$

га эга бўламиз ва ҳисоблангандан сўнг
га эга бўламиз ва ҳисоблангандан сўнг

$$I_A = 427 e^{-j23^\circ} \text{ А.}$$

4. Агар O' ва O нейтрал нуқталар сим билан уланса, фазаларнинг бирида конденсатор узиб қўйилса, истеъмолчининг фазаларида кучланишлар қандай ўзгаради? A фазада конденсатор узиб қўйилди ва истеъмолчи носимметрик бўлиб қолди деб фараз қиламиз. Бунда нейтралнинг генератор нейтрал нуқтасига нисбатан силжиши пайдо бўлади (бу 14-16- расмда кўрсатилмаган):

$$U_{O'O} = \dot{U}_{O'O} = \dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

бу ерда

$$\dot{E}_A = \dot{U}_A = 220 \text{ В;}$$

$$\dot{E}_B = \dot{U}_B = 220 e^{-j120^\circ} \text{ В;}$$

$$\dot{E}_C = \dot{U}_C = 220 e^{j120^\circ} \text{ В;}$$

$$Y_A = \frac{1}{r + jx_L} = \frac{1}{0,6 + j0,8} = (0,6 - j0,8) \text{ См;}$$

$$Y_B = Y_C = g_\phi - j b_\phi = (0,6 - j0,25) \text{ См.}$$

Шунинг учун

$$\begin{aligned} \dot{I}'_N &= \frac{220(0,6 - j0,8) + 220 e^{-j120^\circ} (0,6 + j0,25)}{1,8 - j1,3} + \\ &+ \frac{220 e^{j120^\circ} (0,6 - j0,25)}{1,8 - j1,3} = 31,5 - j43,6 = 54 e^{-j54^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

Бу ҳолда истеъмолчининг A фазасидаги кучланиш (14-расм)

$$\dot{U}'_A = E_A - \dot{U}_N = 220 - 31,5 + j43,6 = (188,5 + j43,6) \text{ В}$$

ёки

$$U_A = \sqrt{188,5^2 + 43,6^2} = 191 \text{ В.}$$

Бошқа фаза кучланишларини шунга ўхшаш аниқлаймиз:
 $U_B = 195 \text{ В}$ ва $U_C = 273 \text{ В}$.

5. Агар истеъмолчи юлдуз схемасидан учбурчаклик схемасига қайта уланса, линия токлари неча марта катталашади? Бу ҳолда (14-23-расм) истеъмолчи фазаларининг қаршилиги линия кучланиши $U_1 = 380 \text{ В}$ га уланиб қолади, яъни фазаларда кучланишлар $\sqrt{3}$ марта катталашади. Шунга мос ҳолда ҳамма фазаларида ҳам тоқлар катталашади:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\phi = 143 \sqrt{3} = 248 \text{ А.}$$

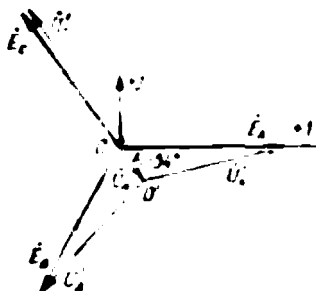
Учбурчаклик усулида уланган истеъмолчи симметрик бўлганда, линия токлари фаза тоқларидан $\sqrt{3}$ марта катта бўлишини ҳисобга олиб:

$$I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 228 = 3 \cdot 143 = 429 \text{ А}$$

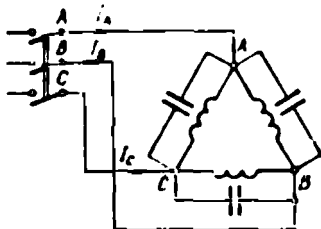
га эга бўламиз.

Демак, симметрик истеъмолчи юлдуз схемасидан учбурчаклик схемасига қайта уланса, линия токлари 3 марта катталашар экан.

6. Юлдуз шаклида уланган истеъмолчилар учун уч симлик система амалда қандай ҳолларда қўлланади? Нейтралнинг силжиши бўлмаганида истеъмолчи фазаларида кучланишлар бир хил бўлади, бунинг учун эса истеъмолчи симметрик бўлиши керак. Уч фазали двигателлар, трансформаторлар ва бошқалар симметрик истеъмолчи саналади. Қорхоналарда уч фазали электр асбоб-ускуналарни, одатда, уч симлик тармоққа уланади.



14-22- расм. 14-3- §. 4- қўшимча саволга.



14-23- расм. 14-3- §. 5- қўшимча саволга.

14-4. ИСТЕЪМОЛЧИ УЧБУРЧАКЛИК ШАКЛИДА УЛАНГАН УЧ СИМЛИҚ ЗАҶИР

Масаланинг шарти

A ва B ҳамда B ва C линия симллари орасига (14-24- расм) қувват коэффициенти $0,92$ (индуктив характердаги), актив қувватлари $P_{AB} = P_{BC} = 70 \text{ кВт} = 70 \cdot 10^3 \text{ Вт}$ бўлган иккита бир хил истеъмолчи уланган. C ва A симллари орасига уланган учинчи истеъмолчида, қувват коэффициенти $\cos \varphi = 1$ ва актив қувват $P_{CA} = 30,4 \text{ кВт} = 30,4 \cdot 10^3 \text{ Вт}$.

Агар линия кучланишлари 380 В бўлса, фаза ва линия токлари, шунингдек, бутун занжирнинг актив қуввати аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

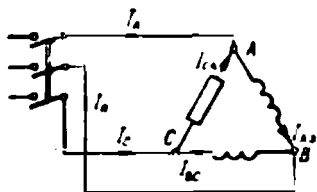
1. Фаза токларини ҳисоблаш. AB ва BC фазаларда бир хил истеъмолчи уланганлигини ҳисобга олсак:

$$I_{AB} = I_{BC} = \frac{P_{AB}}{U_{AB} \cos \varphi_{AB}} = \frac{70 \cdot 10^3}{380 \cdot 0,92} = 200 \text{ А.}$$

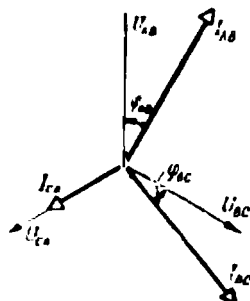
Бу токларнинг ҳар бири фазаси бўйича, векторлар диаграммасида кўрсатилганидек, (14-25- расм) мох кучланишлардан $\varphi_{AB} = \arccos 0,92 = 23^\circ$ бурчакка кейинда бўлади.

Учинчи фазанинг токи

$$\cos I_{CA} = \frac{P_{CA}}{U_{CA} \cos \varphi_{CA}} = \frac{30,4 \cdot 10^3}{380 \cdot 1} = 80 \text{ А}$$



14-24- расм. 14-4- 6 даги масала шартига.



14-25- расм. 14-24- расм. даги кўрсатилган занжирнинг вектор диаграммаси.

ва \dot{I}_{CA} токнинг вектори йўналиши бўйича \dot{U}_{CA} вектор билан бир хил, чунки $\cos \varphi_{CA} = 1$.

2. Линия тоқларини ҳисоблаш. A тугуни учун Кирхгофнинг биринчи қонунини асосида тенглама тузамиз:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{CA} + \dot{I}_{AB}$$

бундан линия токнинг вектори

$$\dot{I}_A - \dot{I}_{AB} = \dot{I}_{CA}$$

Шундай қилиб, \dot{I}_A линия тоқи иккита фаза тоқларининг геометрик айирмасига ёки, 14-26- расмда кўрсатилганидек, \dot{I}_{AB} ва $-\dot{I}_{CA}$ векторларнинг геометрик йиғиндисига тенг, бу ерда $-\dot{I}_{CA}$ ток сон жиҳатидан \dot{I}_{CA} токка тенг, лекин қарам-қарши йўналишга эга.

Шунга ўхшаш усулда $\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$ ва $\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$ тенгламалар бўйича B ва C тугунлар учун тоқлар учбурчаклиги қурилган.

Ток масштаби $M_I = 11$ А/мм ни ҳисобга олиб, диаграммадан (14-26- расм) қуйидагиларни оламиз:

$$I_A = (OK) M_I = 24,4 \cdot 11 = 268 \text{ А};$$

$$I_B = (OM) M_I = 31,4 \cdot 11 = 346 \text{ А};$$

$$I_C = (ON) M_I = 20,4 \cdot 11 = 224 \text{ А}.$$

Линия токлари аналитик йўл билан ҳам ҳисобланиши мумкин (шу масаланинг 5- қўшимча саволига қаранг).

3. Актив қувватни ҳисоблаш. Бутун занжирнинг актив қуввати

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 70 + 70 + 30,4 = 170,4 \text{ кВт.}$$

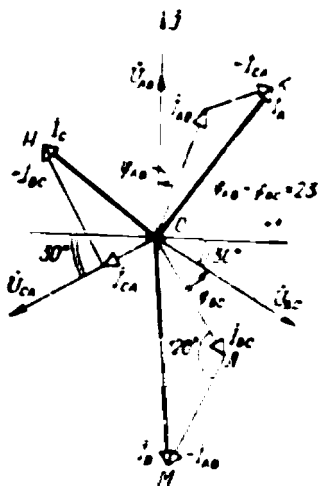
Масалага қўшимча саволлар

1. I_B линия токи I_{BC} ёки I_{AB} фаза тоқларидан неча марта катта? $I_{AB} = I_{BC} = 200 \text{ А}$ ва улар орасидаги фаза силжиши 120° га тенг бўлгани учун $I_B = \sqrt{3} \cdot 200 = 346 \text{ А}$, чунки OM чизик (14-26- расм) тенг ёнли учбурчакликнинг 120° бурчаги қаршисида ётган гомонидир. 14-26- расмдан кўринадик, бундай боғланиш фақат биргина I_B линия токига тегишлидир.

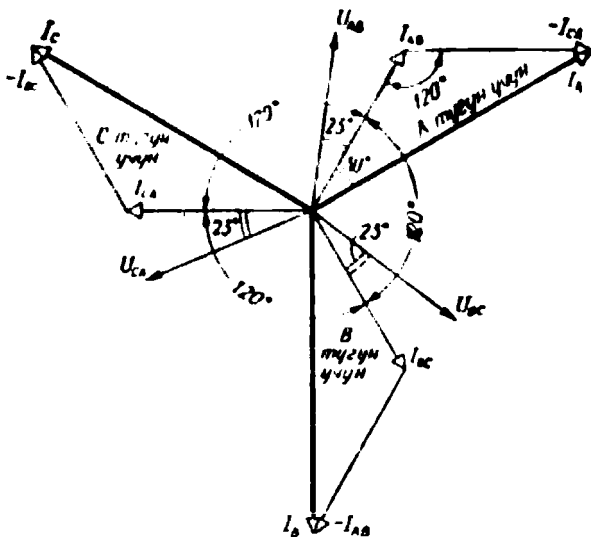
2. Қандай ҳолларда линия токлари фаза тоқларидан $\sqrt{3}$ марта катта бўлади? Агар AC фазага бошқа фазалардагидек истеъмолчи ($P_{CA} = 70 \text{ кВт}$ ва $\cos \varphi_{CA} = 0,92$) уланса, унда фаза тоқларининг ҳаммаси $I_\phi = I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = 200 \text{ А}$ тегишли линия кучланишларидан (шуларнинг ўзи фазали) $\varphi_\phi = \arccos 0,92 = 23^\circ$ га тенг бурчакка кейинда бўлиб ва бир-бирларига нисбатан эса 120° га силжиган бўлади (14-27- расм). Бунда A, B, C тугунлар учун (14-27- расм), тоқлар учбурчаклигидан келиб чиқадиган линия тоқлари $I_L = I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 220 = 346 \text{ А}$ ва уларнинг ҳар бир мос ҳолда фаза тоқидан фазаси бўйича 30° бурчакка кейинда бўлади.

Демак, учбурчак усулида уланган истеъмолчи симметрик бўлганда ҳамма линия тоқлари фаза тоқларидан $\sqrt{3}$ марта катта бўлади.

3. Тасодифан линия симллари узилиб қолса, фаза тоқлари ва кучланишлар қандай ўзга-



14-26- расм. 14-18- расмда кўрсатилган занжирнинг ҳар бир тугуни учун тоқлар учбурчаги.



14-27-расм. 14-4-§, 2-қўшимча саволга (А узели учун, В узели учун, С узели учун).

ради? Агар линия сими узиб қўйилса, масалан *C* тугунидан (14-28-расм), у ҳолда I_{AB} ток аввалгидек қолади: I_{BCA} токни аниқлаш учун энг олдин фазалар қаршилигини ҳисоблаймиз. *BC* фазанинг қаршилиги

$$z_{BC} = U_{BC}/I_{BC} = 380/220 = 1,9 \text{ Ом};$$

унинг актив ва реактив ташкил этувчилари:

$$r_{BC} = z_{BC} \cos \varphi_{BC} = 1,9 \cdot 0,92 = 1,75 \text{ Ом};$$

$$x_{BC} = z_{BC} \sin \varphi_{BC} = 1,9 \cdot 0,39 = 0,74 \text{ Ом}.$$

CA фазанинг қаршилиги

$$r_{CA} = U_{CA}/I_{CA} = 380/80 = 4,75 \text{ Ом}.$$

Иккинди актив ва реактив қаршилиқлар:

$$r_{BCA} = r_{BC} + r_{CA} = 1,75 + 4,75 = 6,5 \text{ Ом};$$

$$x_{BCA} = x_{BC} = 0,74 \text{ Ом}.$$

BCA шохобчанинг тўла қаршилиги

$$z_{BCA} = \sqrt{r_{BCA}^2 + x_{BCA}^2} = \sqrt{6,5^2 + 0,74^2} = 6,51 \text{ Ом}.$$

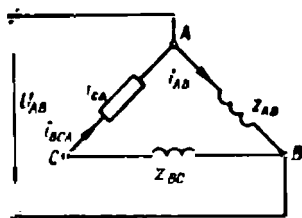
BC ва CA фазалардаги умумий ток (14-28- расм)

$$I_{BCA} = \frac{U_{BCA}}{Z_{BCA}} = \frac{380}{6,51} = 58 \text{ A,}$$

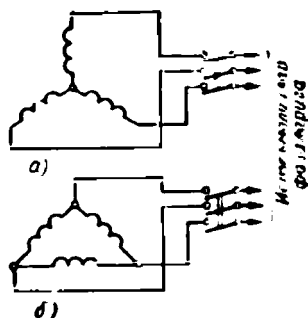
фазалардаги кучланишлар эса қуйидагичадир:

$$U'_{CA} = r_{CA} I_{BCA} = 4,75 \cdot 58 = 275 \text{ В;}$$

$$U'_{RC} = z_{RC} I_{BCA} = 1,9 \cdot 58 = 110 \text{ В}$$



14-28- расм. 14-4-б, 3-қў-
шимча саволга.



14-29- расм. 14-4-б, 4-қўшимча
саволга

Агар линия сими B тугунидан узиб қўйилса, у ҳолда фазалардаги U_{AB} ва U_{BC} кучланишлар, шунингдек, бу фазаларнинг умумий токи I_{ABC} 2 марта камаяди, чунки AB ва BC фазаларнинг қаршиликлари бир хилдир.

4. Агар истеъмолчилар учбурчаклик шаклида уланган бўлса, генераторни юлдуз шаклида улаш мумкинми? Қўрилаган ҳолда генератор юлдуз шаклида ҳам (14-29- расм, а) учбурчаклик шаклида ҳам (14-29- расм, б) уланиши мумкин.

5. Линия тоқларини аналитик усулда қандай ҳисоблаш керак? Векторлар диаграммасига биноан (14-26- расм) комплекс тоқларни қуйидагича ифодалаймиз:

$$\dot{I}_{AB} = 200 e^{j67^\circ} = (78 + j184) \text{ A;}$$

$$\dot{I}_{BC} = 200 e^{-j53^\circ} = (120 - j160) \text{ A;}$$

$$\dot{I}_{CA} = 80 e^{-j150^\circ} = (-69,3 - j40) \text{ A.}$$

А тугун учун Кирхгофнинг биринчи қонуни асосида тенглама тузиб, \dot{I}_A линия токини аниқлаймиз:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} = \dot{I}_{CA} = 78 - j184 + 69,3 + j40 = (147,3 + j224) \text{ A};$$

бундан

$$I_A = \sqrt{147,3^2 + 224^2} = 268 \text{ A.}$$

В ва С тугунлар учун шунга ўхшаш:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 120 - j160 - 78 - j184 = (42 - j344) \text{ A};$$

$$I_B = \sqrt{42^2 + 344^2} = 346 \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -69,3 - j40 - 120 + j160 = (-189,3 + j120) \text{ A};$$

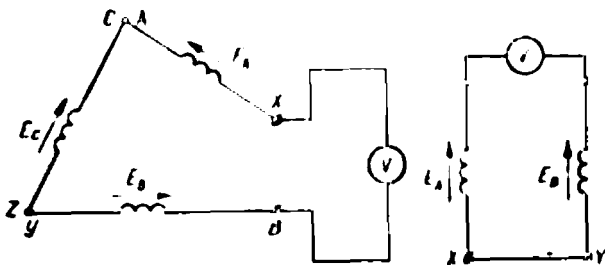
$$I_C = \sqrt{189,3^2 + 120^2} = 224 \text{ A.}$$

14.5. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

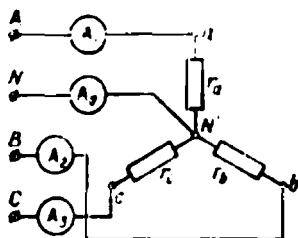
292. 14-30- расмдаги схемада агар фаза э. ю. к. и 220 В бўлса уч фазали генераторнинг симметрик чулгамларига келтирилган схема бўйича уланган вольтметрнинг кўрсатиши нимага тенг? Векторлар диаграммаси қурилсин ва унда вольтметр билан ўлчанадиган кучланишнинг вектори кўрсатилсин.

293. Агар $E_A + E_B = 127 \text{ В}$ бўлса, симметрик генератор икки чулгамнинг кўрсатишган уланиши (14-31- расм) учун вольтметрнинг кўрсатиши аниқлансин.

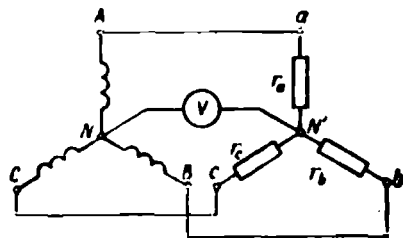
294. 14-32- расмда актив қаршилликлари $r_A = r_B = r_C = 10 \text{ Ом}$ бўлган уч фазали энергия истеъмолчиси кўрсатишган. Линия кучлани-



14-30- расм. 292- масала шартига. 14-30- расм. 293- масала шартига.



14-32- расм. 294- масала шартига.



14-33- расм. 295- масала шартига.

ши $U_L = 38$ В. Амперметрларнинг кўрсатиши аниқлансин: а) фазалар бир текис юкланган бўлса, б) r_A қаршилиги қисқа туташганда ва ноль сими узилганда; в) $a N_1$ сими узилган ва ноль сим бўлганда.

295. Актив қаршиликлари $r_a = r_b = r_c = r$ бўлган симметрик уч фазали энергия истеъмолчисин, 14-33- расмда кўрсатилганидек, симметрик уч фазали генератордан таъминланади. Линия кучланиши $U_L = 220$ В. Қуйидаги ҳолларда вольтметрнинг кўрсатиши аниқлансин: а) симметрик энергия истеъмолчисининг ҳаммаси уланган; б) истеъмолчи фазасининг r_a қаршилиги қисқа туташтирилган; в) r_a қаршилик узлиб қолган.

296. Умумий қуввати 2,4 кВт бўлган чўғлаиш лампалари уч гурпуага тақсимланган ва уч фазали токнинг тўрт симлик тармоғига уланган. Агар нейтрал симда ток полга, фаза кучланишлари эса 220 В га тенг бўлса, линия симларидаги тоқлар аниқлансин ва масштабда векторлар диаграммаси қурилсин.

297. Линия кучланиши 380 В бўлган тўрт симлик системада истеъмолчилар фазаларидаги тоқлар нисбати $I_A : I_B : I_C = 1 : 3 : 4$. Ҳамма истеъмолчилар актив ва умумий қувват 3,2 кВт ни ташкил қилади. Линия симларидаги ва нейтрал симдаги тоқлар ҳисоблансин.

298. Фаза кучланишлари 380 В бўлган тўрт симлик тармоққа учта истеъмолчи юлдуз шаклида уланган. А фазадаги истеъмолчининг қуввати $P_A = 2,4$ кВт ва $\cos \varphi_A = 0,9$; В фазасида қувват $P_B = 2,0$ кВт ва $\cos \varphi_B = 0,87$; С фазада қувват $P_C = 2,4$ кВт ва $\cos \varphi_C = 0,94$ ни ташкил қилади. Ҳамма симлардаги тоқлар аниқлансин ва, агар φ_A , φ_C ва φ_B лар мусбат бурчак бўлса, векторлар диаграммаси қурилсин.

299. Олдинги масаладаги занжир учун А фазада ва В фазада линия симлари узилганда (галма-гал), нейтрал симдаги ток аниқлансин.

300. Ерйтиш лампаларининг уч гурпуаси юлдуз шаклида уланган ва линия кучланиши 380 В бўлган уч фазали токнинг тўрт симлик тармоғидан таъминланади. Хар бир лампанинг қаршилиги 170 Ом. А фазанинг гурпуаси 10 та параллел уланган лампалардан, В фазаники 24 та лампадан ва С лампаники 34 лампадан тузилган. Лампалардаги кучланишлар ва нейтрал сим қаршилигининг икки қиммати учун нейтралнинг суртилини ҳисоблансин: 1) $r_N = 2$ Ом; 2) $r_N = 0,5$ Ом; нейтрал симнинг реактив қаршилиги ҳисобга олинмасин. Биринчи режим учун ($r_N = 2$ Ом) кучланишларнинг топографик диаграммаси қурилсин

301. Линия кучланиши 380 В бўлган уч симлик тармоққа учта $Z_A = Z_B = Z_C = 40$ Ом қаршиликлар юлдуз шаклида уланган. Ҳар бир фазада қувват коэффициентини 0,9 га тенг. Тармоқнинг ҳамма симларида тоқлар ҳисоблансин ва масштабда векторлар диаграммаси қурилсин.

302. Юлдуз шаклида уланган уч фазали электр двигателъ 6 кВт механик қувват беради. Двигателнинг фойдали иш коэффициенти 0,8, унинг $\cos \varphi = 0,8$, тармоқнинг чизиқли кучланиши эса 380 В. Двигателнинг эквивалент схемаси тузилсин ва линия симларидаги тоқлар ҳисоблансин. Масштабда векторлар диаграммаси қурилсин.

303. Симларининг актив қаршилиги 0,2 Ом ва индуктив қаршилиги 0,8 Ом бўлган уч фазали тармоқдан юлдуз шаклида уланган электр двигателъ таъминланади. Двигателнинг қуввати 12 кВт, унинг $\cos \varphi = 0,87$. Двигателга берилган чизиқли кучланиш 380 В. Линия симларида кучланиш пасайиши ва кучланиш исрофи аниқлансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

304. Ҳар бири 20 Ом ли учта актив қаршилик юлдуз шаклида, линия кучланиши 380 В бўлган уч фазали тармоққа уланган. А фазасида линия сими узилиб қолди. Узилгунча ва узилгандан кейин ҳамма линия тоқлари ҳисоблансин.

305. Ҳар бири 20 Ом ли учта актив қаршилик юлдуз шаклида линия кучланиши 220 В бўлган уч фазали тармоққа уланган. В фазасида қаршилик қисқа туташиб қолди. Қисқа туташигача ва қисқа туташганда линия симларидаги тоқлар ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

306. Ҳар бири 20 Ом га тенг учта қаршилик фаза кучланиши 127 В бўлган уч фазали ток тармоғига юлдуз шаклида уланган. Агар шу қаршиликлар учбурчаклик шаклида уланса, линия тоқлари қандай ўзгаради?

307. Ҳар бири 5,5 Ом га тенг учта актив қаршилик учбурчаклик шаклида уланган ва линия кучланиши 220 В бўлган уч фазали ток тармоғига уланган. Фаза ва линия тоқлари, ҳар бир фазанинг ва бутун занжирнинг қуввати ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

308. Учбурчаклик шаклида уланган истеъмолчининг ҳар бир фазасида ток кучланишдан 53° бурчакка кейинда. Фазалар қаршилиги бир хил ва 19 Ом га тенг. Агар чизиқли кучланиш 380 В бўлса, фаза ва линия тоқлари, ҳар бир фазанинг ва бутун занжирнинг актив қуввати ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

309. Ҳар бирининг актив қаршилиги $r = 1,5$ Ом ва индуктив қаршилиги $x_L = 2$ Ом бўлган учта индуктив галтак линия кучланиши 220 В бўлган уч фазали тармоққа учбурчаклик шаклида уланган. Фаза ва линия тоқлари, шунингдек, бутун занжирнинг актив қуввати ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин.

310. Электр лампалари линия кучланиши 220 В бўлган уч фазали тармоққа учбурчаклик шаклида уланган. Айрим фазаларда лампаларнинг умумини қуввати 550, 1000 ва 2200 Вт ни ташкил қилади. Фаза ва линия тоқлари аниқлансин.

311. Чизиқли кучланиши 220 В бўлган тармоққа актив қувватлари бир хил: 76 кВт дан ва ҳар хил қувват коэффициентларига $\cos \varphi_{AB} = 0,8$; $\cos \varphi_{BC} = 0,9$; $\cos \varphi_{CA} = 0,85$ га эга булган истеъмолчилар учбурчаклик шаклида уланган. Фаза ва линия тоқлари ҳисоблансин ва φ_{AB} , φ_{BC} ва φ_{CA} бурчакларининг мусбат бурчак деб, векторлар диаграммаси қурилсин.

312. Олдинги масала шартларида $\varphi_{AB} > 0$, $\varphi_{BC} > 0$ ва $\varphi_{CA} > 0$ шартни қабул қилиб, занжирнинг эквивалент схемаси тузилсин.

313. Учга бир хил $z = 10$ Ом қаршилик чизиқли кучланиши 220 В булган уч фазали ток занжирига учбурчаклик шаклида уланган, Фаза-лардаги токлар мос кучланишларга нисбатан $\varphi_{AB} = 0$; $\varphi_{BC} = -90^\circ$ ва $\varphi_{CA} = 90^\circ$ бурчакларга сурилган. Фаза ва линия токлари, шунинг-дек, бутун занжирнинг актив қуввати ҳисоблансин. Векторлар диаграм-маси қурилсин.

314. Учга актив қаршилик учбурчаклик шаклида уланган ва $U_L = 220$ В булган уч фазали ток тармоғидан таъминланади. Фаза ток-лари $I_{AB} = 100$ А; $I_{BC} = 150$ А; $I_{CA} = 200$ А. Линия токлари ва бутун занжирнинг қуввати ҳисоблансин.

315. Чизиқли кучланиши 220 В булган уч фазали тармоққа қув-ватлари қуйидагича булган электр лампалар учбурчаклик шаклида уланган: АВ фазада 2200 Вт; ВС фазада 550 Вт ва СА фазада 1000 Вт. Тармоқда С линия сими узилиб қолди. Лампалар қаршиликларини уз-гармас деб фаза кучланишлари ва линия токлари ҳисоблансин.

316. Қаршиликлари 30 Ом дан булган учга бир хил истеъмолчи учбурчаклик шаклида уланган ва линия кучланиши 380 В булган ўзга-рувчан ток тармоғига уланган. Юлдуз шаклида уланган истеъмолчи-ларнинг қандай қаршиликларида линия токлари модуллари буйича олдингидек қолади?

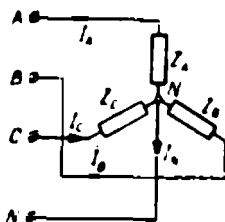
14-6. НАМУНА КОНТРОЛ МАСАЛА

А. Вариантлар 1; 3; 5.

14-34- расмдаги занжир учун чизиқли кучланиш $U_A = 220$ В ва қаршиликлар $r - x_L - x_C = 44$ Ом берилган.



14-34- расм. Намуна кон- трол масалага (1; 3; 5 вариантлар).



14-35- расм. Намуна кон- трол масалага (2; 4; 6 вариантлар).

14-1-жадвалда курсатилган топшириқлар вариантлари буйича фа-за ва чизиқли токлар, шунингдек номаълум иккита фаза токлари орасидаги фаза силжишини аниқлаш талаб қилинади.

Вариант	1	2	3
Номаълум тоқлар	$I_A; I_{AB}; I_{CA}$	$I_B; I_{BC}; I_{AB}$	$I_C; I_{CA}; I_{BC}$

Б. Вариантлар 2; 4; 6.

Агар нейтрал симиинг қаршилғини хисобга олмаслик мумкин бўлса, 14-35- расмдаги занжир учун, I_A, I_B, I_C линия тоқлари ва нейтрал симдаги ток I_N аниқлашсин. Ўстезмолчиларнинг қаршилликлари Z_A, Z_B, Z_C ва чизиқини кучланиш U_A 14-2- жадвалда (ҳар бир вариант учун) берилган.

14-2- жадвал

Вариант	U_A	$Z_A, \text{ Ом}$	$Z_B, \text{ Ом}$	$Z_C, \text{ Ом}$
2	173	$6 + j8$	$-j20$	10
4	346	$10 + j10$	20	$-j20$
6	173	$3 + j4$	$6 + j8$	$12 + j16$

14-7. 14- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

292. 440 В; 11-36- расм.

293. 220 В.

294. а) учта ток 2,2 А дан $I_N = 0$;

б) $I_1 = 6,6$ А; $I_2 = I_3 = 3,8$ А;

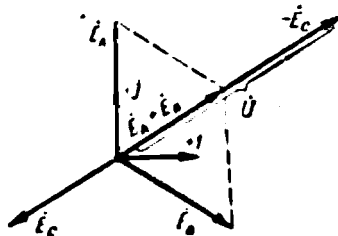
в) $I_N = I_2 = I_3 = 2,2$ А; $I_1 = 0$.

295. а) $U = 0$;

б) $U = U_\phi = 127$ В;

в) $U_{NA} = 63,5$ В.

296. 3,64 А дан.



14-36- расм. 292- масала жавобига.

297. 1,82 А; 5,46 А; 7,28 А; 4,8 А.
 298. 7,02 А; 6,05 А; 6,72 А; 0,54 А.
 299. 6,5 А; 6,85 А.
 300. 1) 248,5 В; 218,6 В; 195,7 В; 30 В.
 2) 230 В; 219 В; 210 В; 11 В.
 301. 5,5 А дан.
 302. 13,4 А дан
 303. 17,3 В; 13 В.
 304. Узилгунгача $I_A = I_B = I_C = 11$ А. Узилгандан кейин $I_B = I_C = 9,5$ А; $I_A = 0$.
 305. Қисқа туташниш учун $I_A = I_B = I_C = 6,35$ А. Қисқа туташгандан кейин $I_A = I_C = 11$ А; $I_B = 19$ А.
 306. 6,35 дан 19,05 гача катталашадн.
 307. 40 А; 69,2 А; 8,8 кВт; 26,4 кВт.
 308. 20 А; 34,6 А; 4,56 кВт; 13,68 кВт.
 309. 88 А; 152,2 А; 34,8 кВт.
 310. 2,5 А; 5 А; 10 А; 11,5 А; 6,6 А; 13,2 А.
 311. 432 А; 384 А; 406 А; 730 А; 700 А; 700 А.
 312. $Z_{AB} = (0,41 + j0,31)$ Ом; $Z_{BC} = (0,52 + j0,25)$ Ом; $Z_{CA} = (0,46 - j0,28)$ См.
 313. 22 А; 22 А; 22 А; 42,5 А; 22 А; 4840 Вт.
 314. 302 А; 218 А; 264 А; 99 кВт.
 315. 78 В; 142 В; 220 В; 11,6 А; 11,6 А; 0.
 316. Ҳар бири 10 Ом дан.
 Намуна контрол масалага вариантлар буйича жавоблар;
 1. $I_{AB} = I_{CA} = 5$ А; $I_A = 2,6$ А; 30° .
 2. $I_A = I_C = 10$ А; $I_B = 5$ А; $I_N = 5,65$ А.
 3. $I_{AB} = I_{BC} = 5$ А; $I_B = 5$ А; 60° .
 4. $I_A = 14,1$ А; $I_B = I_C = 10$ А; $I_N = 24$ А.
 5. $I_{BC} = I_{CA} = 5$ А; $I_C = 2,6$ А; 30° .
 6. $I_A = 20$ А; $I_B = 10,6$ А; $I_C = 5$ А; $I_N = 13,2$ А.

ЎН БЕШИНЧИ БОБ

НОСИНУСОИДАЛ ТОҚЛАР

15-1. ДАВРИЙ ЭГРИ ЧИЗИҚЛАРНИНГ ГАРМОНИК ТАШКИЛ ЭТУВЧИЛАРИ

Масаланинг шарти

Энергия манбаи носинусоидал кучланишга эга (вольт ҳисобида)

$$u = 20 \sin \omega t + 6,7 \sin 3\omega t + 4 \sin 5\omega t + 2,9 \sin 7\omega t + 2,2 \sin 9\omega t.$$

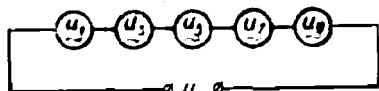
Манба кучланишининг графиги ясалсин.

Масаланинг ечилиши

1. Берилган носинусоидал кучланишнинг олниниши. Масаланинг шартига биноан кучланиш бешта

синусодал ташкил этувчилардан (қўшилувчилардан) иборат. Гармоника дейиладиган, ҳар бир синусодал ташкил этувчига унинг биринчи ташкил этувчига нисбатан частотасининг карралигига қараб номер берилади, масалан, бизнинг ҳолда $u = u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5$, яъни кучланиш бешта гармоникадан иборат.

Бундай носинусодал кучланишни, масалан, кетма-кет уланган бешта синусодал кучланиш генераторидан (15-1-

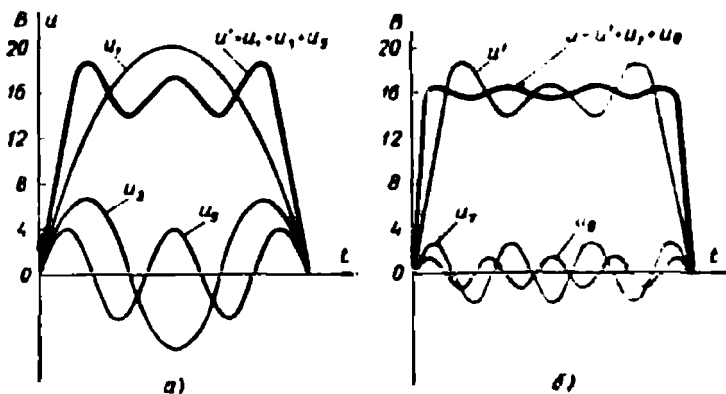


15-1-расм. Уланиш қисмаларида носинусодал кучланиш ҳосил қиладиган синусодал кучланиш генераторлари.

расм) олиш мумкин. Лекин носинусодал кучланиш олишнинг бундай усули мураккаб бўлгани сабабли амалий ҳолларда бошқача иш тутилади (шу масаланинг 5-қўшимча саволига қаранг.

2. Носинусодал кучланиш графигини ясаш. Кучланиш графигини ясаш учун, аввал синусодал ташкил этувчиларни ясаш керак ($u_1 = 20 \sin \omega t$; $u_2 = 6,7 \sin 3t$; $u_3 = 4 \sin 5 \omega t$ ва бошқалар), сўнгра эса бу графикларнинг тегишли нуқталари ординаталарини қўшиш керак.

15-2-расмда кўرғазмали бўлиши учун график усулида қўшиш икки босқичда бажарилган. Дастлаб биринчи учта гармоникалар ясалган (15-2-расм, а u_1 , u_2 , u_3) ва уларнинг



15-2-расм. Носинусодал кучланиш гармоникаларининг графикларини қўшиш (а, б).

йиғинди графиги ясалган. Сўнгра i графиги (15-2- расм, б) ординаталарига (15-2- расм, а дан кўчирилган) u , ва u , графикларнинг мос ординаталари қўшилган. 15-2- расмда носинусоидал кучланишнинг фақат мусбат ярим даври қўрилган. Манфий ярим тўлқин худди шундай шаклга эгадир.

i нинг олинган эгри чизиги (15-2- расм, б) шакли жиҳатдан тўғри тўртбурчакликка яқин ва бу тасодифий эмас, чунки тўғри тўртбурчаклик шаклидаги эгри чизиқ қуйидаги қаторга ёйилади: бу ерда A — тўғри тўртбурчаклик эгри чизиқнинг ярим тўлқин баландлиги.

Масалага қўшимча саволлар

1. i эгри чизиқ шаклини (15-2- расм, б) тўғри тўртбурчаклик шаклига янада яқинлаштириш мумкинми? Тўғри тўртбурчаклик шаклидаги эгри чизиқ ток гармоникаларининг юқорида келтирилган чексиз қаторига ёйилади. Ҳисобга олинган гармоникалар солини ошириб тўғри тўртбурчаклик шаклидаги эгри чизиқни аниқроқ чизиш мумкин. Бунга u' (15-2- расм, а, учта гармоникалар йиғиндиси) ва u (15-2- расм, б бошқа гармоникалар йиғиндиси) эгри чизиқларини солиштириб осон ишолч ҳосил қилиш мумкин.

2. Агар ўзгармас ташкил этувчи қўшилса, u кучланишнинг графиги (15-2- расм) қандай ўзгаради? Агар масаланинг шартда берилган носинусоидал кучланишга ўзгармас ташкил этувчи масалан, $U_0 = 10$ В қўшилса, яъни уни $u = 10 + 20 \sin \omega t + 6,7 \sin 3\omega t + \dots$, кўринишида ёзилса, у ҳолда u графигининг (15-2- расм, б) ҳамма нуқталарнинг ординаталари 10 В га катталашади. Эгри чизиқ 10 В га юқорига сурилади ва t ўқига нисбатан симметрик бўлмайди.

Ўзгармас ташкил этувчини қўшиш 15-1- расмда кўрсатилган схемага кучланиши $U_0 = 10$ В бўлган ўзгармас ток манбаини кетма-кет улаш билан баробардир.

3. Носинусоидал кучланишнинг ташкил этувчилари амалда қандай ажратилади? Бунинг учун электр филтрлар ишлатилади. Агар филтрнинг киришига носинусоидал кучланиш берилса, унинг чиқишида гармоник ташкил этувчиларининг бир қисмини ёки алоҳида гармоникани, ёки ўзгармас ташкил этувчини олиш мумкин.

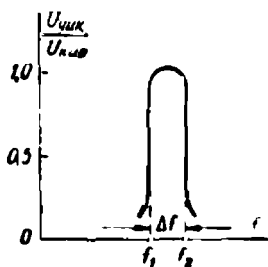
Носинусоидал кучланишнинг гармоник составини (спектрини) анализ қилиш учун ўтказиш йўли жуда ингичка бўлган, гармоника анализаторлари деб юритиладиган филтрли асбоблар қўлланилади. Бу — частотанинг ингичка йўл чегараси

Δf да (15-3- расм) филтрнинг чиқишидаги кучланиш $U_{\text{чик}}$ филтрнинг киришидаги кучланиш $U_{\text{кир}}$ га деярли тенг демакдир ёки бошқача айтганда, филтр f_1 дан f_2 гача бўлган частота оралигида ўтказилади. Δf йўли чегарасидан ташқарида, 15-3- расмдаги графикдан кўринишича, $U_{\text{чик}} \ll U_{\text{кир}}$

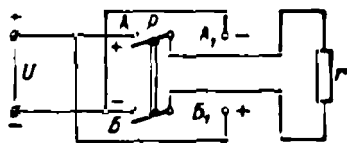
Гармоника анализаторларида филтрнинг ўтказиш йўли Δf , яъни f_1 ва f_2 частоталари f ўқи бўйлаб сурилади. Бунда чиқишида кучланишнинг айрим гармоникалари галмагалдан ажралади.

4. Носинусоидал кучланишлар — сигналлар амалда қаерда учрайди? Турли шаклдаги эгри чизиқли (тўғри тўртбурчаклик, аррасимон, учбурчаклик ва бошқалар) носинусоидал сигналлар радиоалоқада, телевиденида, электроникада, автоматикада ва электротехниканинг бошқа соҳаларида кенг қўлланилади. Бу ҳолларда махсус генераторлар ёки талаб қилинаётган носинусоидал сигналларни ҳосил қиладиган электр занжирлар қўлланилади. Бироқ бир қатор ҳолларда носинусоидал тоқлар ва кучланишлар синусоидал тоқларнинг, генераторларнинг кучланишининг ёки энергия истеъмолчиларининг бузилиши натижасида ҳам пайдо бўлиши мумкин.

5. Тўғри тўртбурчаклик шаклидаги кучланиш қандай олинади? Агар занжирда (15-4- расм) рубильник A, B дан A_1, B_1 га қайта уланса ва аксинча, у ҳолда r қаршилиқда тўғри тўртбурчаклик шаклидаги кучланиш олинади (бунда рубильникнинг ёпиқ вазияти давом этишига нисбатан уни қайта улаш вақтини ҳисобга олмаслик мумкинлиги мўлжалланади). Электроникада тўғри тўртбурчаклик шаклидаги кучланиш ва тоқларнинг махсус генераторлари кенг қўлланилади (масалан, мультитебраттичлар).



15-3- расм. Филтрнинг частота характеристикаси.



15-5- расм. 15-1- §, 5- қўшимча саволга.

Магаланинг шарти

Кетма-кет уланган актив қаршилиқ $z=20$ Ом, индуктив-лик $L=0,1$ Г ва сизим $C=11,26$ мкФ $=11,25 \cdot 10^{-6}$ Ф дан тузилган электр занжирини кучланишни (Вольтларда)

$$u = 310 \sin(\omega_1 t - 15^\circ) + 77,5 \cdot \sin 3\omega_1 t + 40 \sin(5\omega_1 t + 18^\circ 45')$$

бўлган манбадан таъминланади.

Агар биринчи гармониканинг частотаси $f_1=50$ Гц бўлса, занжирдаги токнинг оний қиймати топилсин, ток ва кучланишнинг эффектив қийматлари, шунингдек, занжирнинг актив қувватни ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Устлаш усулини қўллаш. Берилган энергия манбаи занжир қисмаларида кучланишнинг учта синусоидал ташкил этувчиларини ҳосил қилади: биринчи, учинчи ва бешинчи гармоникалар. Берилган қизиқли занжирга устлаш усулини қўллаб, вақтнинг ихтиёрий пайти учун занжирдаги токни кучланишнинг ҳар бир айрим гармоникаси ҳосил қилган хусусий тоқларнинг устланиши натижасида деб қараш мумкин.

Шундай қилиб, кўрилатган масалада $f_1, f_3 = 3f_1$ ва $f_5 = 5f_1$ частоталарни учун занжирнинг тўла қаршилигини ҳисоблаш ва шу частоталарнинг синусоидал кучланишлари (гармоникалари) ҳосил қиладиган тоқларни топиш керак бўлади.

2. Занжирнинг қаршилиқларини ҳисоблаш. Индуктив қаршилиқ частотага пропорционал ва, шунинг учун, биринчи, учинчи ва бешинчи гармоникалар учун қуйидагиларни оламиз:

$$x_{L1} = 2\pi f_1 L = 314 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ Ом}; \quad x_{L3} = 3x_{L1} = 94,2 \text{ Ом}; \\ x_{L5} = 5x_{L1} = 157 \text{ Ом}.$$

Уша гармоникалар учун сизим қаршилиқлари

$$x_{C1} = \frac{1}{2\pi f_1 C} = \frac{10^6}{314 \cdot 11,25} = 282,6 \text{ Ом} \\ x_{C3} = \frac{x_{C1}}{3} = 94,2 \text{ Ом};$$

$$x_{C5} = \frac{x_{C1}}{5} = 56,5 \text{ Ом.}$$

Кўрилаётган гармоникалар учун занжирнинг тўла қаршилиги:

$$z_1 = \sqrt{r^2 + (x_{L1} - x_{C1})^2} = \sqrt{20^2 + (31,4 - 282,6)^2} = 252 \text{ Ом;}$$

$$z_3 = \sqrt{r^2 + (x_{L3} - x_{C3})^2} = \sqrt{20^2 + (94,2 - 94,2)^2} = 20 \text{ Ом;}$$

$$z_5 = \sqrt{r^2 + (x_{L5} - x_{C5})^2} = \sqrt{20^2 + (157 - 56,5)^2} = 102,5 \text{ Ом.}$$

3. Тоқлар гармоникасини ҳисоблаш. Биринчи гармоника учун токнинг максимал қиймати

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{z_1} = \frac{310}{252} = 1,23 \text{ А.}$$

Биринчи гармоника тоқи билан кучланиш орасидаги фаза силжиши қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{x_{L1} - x_{C1}}{r} = -\frac{251,2}{20} = -12,56.$$

$$\varphi_1 = -85^\circ 20'.$$

Биринчи гармоника частотасида занжирда сифм қаршилиги катта бўлгани учун ($x_{C1} > x_{L1}$), ток кучланишдан $85^\circ 20'$ га тенг бурчакка олдинда бўлади ва шунинг учун

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega_1 t - 15^\circ - \varphi_1) = 1,23 \sin(\omega_1 t + 70^\circ 20') \text{ А.}$$

Учинчи гармоника тоқининг максимал қиймати

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{z_3} = \frac{77,5}{20} = 3,88 \text{ А.}$$

Учинчи гармоника тоқи билан кучланиш орасидаги фаза силжиши $\varphi_3 = 0$, чунки бу частотада занжирда кучланишлар резонанси ($x_{L3} = x_{C3}$) ўрнатилади. Мос ҳолда

$$i_3 = I_{3m} \sin 3 \omega_1 t = 3,88 \sin 3 \omega_1 t \text{ А.}$$

Бешинчи гармоника учун қуйидагиларга эга бўламиз:

$$I_{5m} = \frac{U_{5m}}{z_5} = \frac{40}{102,5} = 0,39 \text{ А;}$$

$$\text{tg } \varphi_5 = \frac{x_{L5} - x_{C5}}{r} = \frac{100,5}{20} = 5,02$$

ва

$$\varphi_5 = 78^\circ 45'$$

Мана шу бурчакка (φ_6) бешинчи гармоника токи кучланишдан кейинда бўлади, чунки занжирда индуктив кучланиш катта

$$(x_{L5} > x_{C5}).$$

Мос ҳолда

$$i_5 = I_{5m} \sin(5\omega_1 t + 18^\circ 45' - \varphi_6) = 0,39 \sin(5\omega_1 t - 60^\circ) \text{ A}$$

Токнинг оний қийматини гармоникалар токнини ушлаб топамиз (амперда):

$$i = i_1 + i_3 + i_5 = 1,23 \sin(\omega_1 t + 70^\circ 20') + 3,88 \sin 3\omega_1 t + 0,39 \sin(5\omega_1 t - 60^\circ).$$

4. Ток ва кучланишнинг эффектив қийматларини ҳисоблаш. Занжирда токнинг эффектив қиймати

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + I_{5m}^2} = 0,707 \sqrt{1,23^2 + 3,88^2 + 0,39^2} = 4,08 \text{ A}$$

Энергия манбаи кучланишининг эффектив қиймати

$$U = 0,707 \sqrt{U_{1m}^2 + U_{3m}^2 + U_{5m}^2} = 707 \sqrt{310^2 + 77,5^2 + 40^2} = 228 \text{ В.}$$

5. Актив қувватни ҳисоблаш. Занжирнинг актив қуввати айрим гармоникаларнинг актив қувватларидан йиғилади ёки бизнинг ҳолда

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_3 + P_5 = \frac{U_{1m} I_{1m}}{2} \cos \varphi_1 + \frac{U_{3m} I_{3m}}{2} \cos \varphi_3 + \\ &+ \frac{U_{5m} I_{5m}}{2} \cos \varphi_5 = \frac{310 \cdot 1,23}{2} \cos(-85^\circ, 20') + \\ &+ \frac{77,5 \cdot 3,88}{2} \cos 0^\circ + \frac{40 \cdot 0,39}{2} \cos 78^\circ 45' = 16 + 150 + 1,5 = \\ &= 167,5 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Кучланиши носинусоидал бўлган энергия манбаси бўлган тармоқланган занжир қандай ҳисобланади? Чизиқли электр занжирнинг кўриниши носинусоидал кучланишни (ёки токни) унинг синусоидал ташкил этувчилари билан алмаштиришга асосланган ҳисоблаш усулига таъсир қилмайди. Ҳар бир гармоника алоҳида

тадқиқ қилинаётганда синусоидал ток занжирларни ҳисоблашнинг олдинги бобларида келтирилган усулларини тўғри қўллаш муҳим аҳамиятга эга. Қўрилаётган масалада актив қаршилик, индуктивлик ва сифим параллел уланса, у ҳолда токнинг ҳар бир гармоникасини ҳисоблаш учун ўтказувчанликлар усулидан фойдаланиш мумкин. Масалан, параллел улашда биринчи гармоника учун занжирнинг тўла ўтказувчанлиги

$$y_1 = \sqrt{g^2 + b_1^2} = \sqrt{g^2 + (b_{L1} - b_{C1})^2}$$

ёки бизнинг ҳолда

$$g = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ См};$$

$$b_{L1} = \frac{1}{x_{L1}} = \frac{1}{31,4} = 0,0318 \text{ См};$$

$$b_{C1} = \frac{1}{x_{C1}} = \frac{1}{282,6} = 0,0034 \text{ См}$$

ва

$$y_1 = 0,0575 \text{ См.}$$

Умумий токнинг биринчи гармоникасининг максимал қиймати

$$I_{1m} = U_{1m} y_1 = 310 \cdot 0,0575 = 17,8 \text{ А}$$

ва биринчи гармоника кучланишига нисбатан фаза силжиши

$$\varphi_1 = \arctg \frac{b_1}{g} = \arctg \frac{b_{L1} - b_{C1}}{g} = 27 \arctg = \frac{0,0284}{0,05} = 29^\circ 35'.$$

Умумий токнинг биринчи гармоникасининг оний қиймати

$$i_1 = 17,8 \sin(\omega_1 t - 15^\circ - \varphi_1) = 17,8 \sin(\omega_1 t - 44^\circ 35') \text{ А.}$$

Актив қаршиликли шохобча учун токнинг максимал қиймати

$$I_{1mr} = U_{1m} g = 310 \cdot 0,05 = 15,5 \text{ А,}$$

ва унинг оний қиймати

$$i_{1r} = 15,5 \sin(\omega_1 t - 15^\circ) \text{ А.}$$

Индуктив қаршиликли шохобча учун

$$I_{1mL} = U_{1m} b_{L1} = 310 \cdot 0,0318 = 9,85 \text{ А};$$

$$i_{1L} = 9,85 \sin(\omega_1 t - 15^\circ - 90^\circ) = 9,85 \sin(\omega_1 t - 105^\circ) \text{ А.}$$

Сифим қаршиликли шохобча учун

$$I_{1mC} = U_{1m} b_{C1} = 310 \cdot 0,0034 = 1,05 \text{ A};$$

$$i_{1C} = 1,05 \sin(\omega_1 t + 75^\circ) \text{ A}.$$

Ҳамма тоқларнинг қолган гармоникаларини ҳам шунга ўхшаш аниқлаш мумкин.

2. Ток ва кучланиш эгри чизиқлари бир хил шаклга эгами? Бу саволга жавоб бериш учун энг аввал ток ва кучланиш гармоникаларининг амплитудаларини солиштириш керак. Масалан, бизнинг ҳолда кучланишнинг учинчи гармоникаси кучланишнинг биринчи гармоникасига нисбатан 4 марта кичик, токнинг учинчи гармоникаси эса токнинг биринчи гармоникасига нисбатан 3 марта катта. Кучланиш гармоникаларининг амплитудалари нисбатлари ток гармоникалари нисбатларига мутлақо мос келмагани сабабли ток ва кучланиш эгри чизиқларининг шакллари ҳам ҳар хил бўлади.

Ток ва кучланиш эгри чизиқлари шаклларининг ҳар хил бўлиши турли частоталар учун занжирнинг реактив қаршиликларининг ўзгариши билан (уларнинг частотага боғлиқ бўлиши билан) тушунтирилади. Фақат актив қаршиликди занжирлардагина синусоидал ток ва кучланишларнинг эгри чизиқлари бир хил шаклга эгадирлар.

3. Кўриладиган масалада қувват коэффициентини нимага тенг? Синусоидал токли занжирларда қувват коэффициенти $\cos \varphi = P/VI$ ёки бизнинг ҳолда $\cos \varphi = 167,5 / 228 \cdot 4,08 = 0,18$ деб юритиладиган тушунчадан фойдаланилади.

$\cos \varphi$ нинг ҳисобланган қиймати синусоидал ток занжирларидаги $\cos \varphi$ дан фарқ қилиб, занжирнинг кучланиши билан ток орасида ҳеч қандай фаза силжишини аниқламайди ва шунинг учун у шартли қувват коэффициенти деб юритилади.

4. Носинусоидал катталикларнинг эффектив қийматларини қандай ўлчаш мумкин? Электр ўлчаш асбобларининг баъзи бир системалари (масалан, лампали вольтметрлар) шкаласида «0,707 U_m » белгиси бор. Бу белги фақат синусоидал кучланишларни ўлчашда шкала бўйича олинган натижа ўлчанган катталикнинг эффектив қийматини ифодалашини билдиради.

Носинусоидал кучланиш ва тоқларни ўлчаш учун электромагнит системадаги асбоблар ҳам яроқсиздир, чунки пўлат пластинкаларнинг (якорнинг) магнит хусусияти частотага боғлиқ. Фақат термoeлектр системадаги асбобларнинг кўр-

сатишигина ток шаклига кам боғланишга эгадирлар. Баъзи бир ҳолларда электродинамика системадаги асбобларни ҳам қўллаш мумкин.

15-3. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

317. Қунидаги носинусоидал кучланишнинг эгри чизиги график усулда ясалсин:

$$u = 16 \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3 \omega t + \frac{1}{25} \sin 5 \omega t - \frac{1}{49} \sin 7 \omega t \right).$$

318. Қунидаги носинусоидал токнинг эгри чизиги график усулда ясалсин:

$$i = 13,4 \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \frac{1}{7} \sin 7 \omega t \right).$$

319. Биринчи гармоника учун сифим қаршилиги 30 Ом бўлган конденсатордаги токнинг оний қиймати топилсин. Конденсатордаги кучланиш (вольт ҳисобида)

$$u = 100 \sqrt{2} \sin \omega t + 60 \sqrt{2} \sin 3 \omega t.$$

320. Индуктивликдаги ток (ампер ҳисобида)

$$i = 21 \sqrt{2} \sin (\omega t - 90^\circ) + 3,3 \sqrt{2} \sin (3 \omega t - 90^\circ).$$

Агар $L = 31,8$ мГ биринчи гармоника частотаси $f = 50$ Гц бўлса, индуктивликдаги токнинг оний қиймати топилсин.

321. Параметрлари $r = 10$ Ом ва $L = 30$ мГ бўлган галтакқа қуйдаги носинусоидал кучланиш берилган (вольт ҳисобида)

$$u = 120 \sqrt{2} \sin (314 t + 45^\circ) + 60 \sqrt{2} \sin 942 t.$$

Галтак токнинг оний қиймати топилсин ва унинг графиги қурилсин.

322. Қаршилик $r = 10$ Ом ва конденсатор $C = 11,8$ мкФ кетма-кет уланган занжир

$$u = 50 + 100 \sin \omega t + 30 \sin \left(3 \omega t - \frac{\pi}{2} \right) + 50 \sin \left(5 \omega t + \frac{\pi}{4} \right)$$

кучланишга (вольт ҳисобида) уланган. Токнинг оний қиймати ва актив қувват топилсин. Биринчи гармоника частотаси 50 Гц.

323. Параметрлари

$$r = 20 \text{ Ом}, C = 11,8 \text{ мкФ}, L = 95,5 \text{ мГ}$$

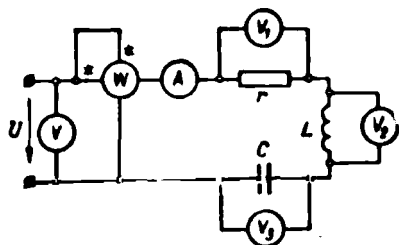
кетма-кет уланган занжирга кучланиш берилган (вольт ҳисобида)

$$u = 200 \sin (\omega t - 45^\circ) + 50 \sin (3 \omega t - 90^\circ) + 50 \sin 5 \omega t.$$

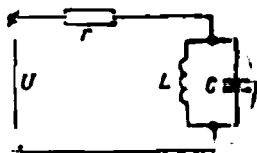
Агар $\omega = 314$ рад/с бўлса, актив қаршиликдаги кучланишнинг оний қиймати аниқлансин. қисмалардаги ток ва кучланишнинг эффектив қийматлари, актив қувват ва қувват коэффициенти ҳисоблансин.

324. 15-5-расмдаги занжир қисмаларидаги кучланиш (вольтларда)

$$u = 200 \sqrt{2} \sin \omega t + 70 \sqrt{2} \sin 3 \omega t, \text{ бу ерда } \omega = 314 \text{ рад/с.}$$



15-5- расм. 324- масалага.



15-6- расм. 326- масалага.

Агар занжирнинг параметрлари: $r=10$ Ом; $L=31,8$ мГ; $C=106$ мкФ бўлса, схемада кўрсатилган асбобларнинг кўрсатиши аниқлансин.

325. Резистор $r=100$ Ом ва конденсатор $C=11,8$ мкФ кучланиши (вольт ҳисобида)

$$u = 100 + 100 \sin 314 t + 50 \sin 942 t$$

бўлган мўнбага параллел уланган.

Умумий токнинг оний қиймати топилсин ва унинг эффектив қиймати ҳисоблансин.

326. 15-6-расмдаги занжир қисмаларида кучланиш (вольт ҳисобида) $u = 5 + 5 \sin \omega t + 3 \sin 3\omega t$. Биринчи гармоника учун $x_L = 50$ Ом; $x_C = 450$ Ом. Актив қаршиллик $r=10$ Ом. Умумий токнинг оний қиймати аниқлансин.

327. Чулғамлари юлдуз шаклида уланганда генераторнинг линия кучланиши 376 В га тенг, чулғамлар учбурчаклик шаклида уланганда эса контурда йиғинди э. ю. к. 97,5 В га тенг. Агар унинг таркибида биринчи ва учинчи гармоникалар бўлса, фаза э. ю. к. нинг таъсир этувчи қиймати ҳисоблансин.

328. Олдинги масаладаги генератор учун чулғамлар учбурчаклик шаклида уланганда фаза кучланиши ҳисоблансин.

15-4. 15-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

317. Эгри қизик шакли бўйича учбурчакликка яқин, унинг максимал қиймати тахминан 18 га тенг.

318. Эгри қизик шакли бўйича тўғри тўртбурчакликка яқин, унинг максимал қиймати тахминан 10 га яқин.

319. $3,3 \sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) + 6 \sqrt{2} \sin(3\omega t + 90^\circ)$ А.

320. $210 \sqrt{2} \sin \omega t + 99 \sqrt{2} \sin 3\omega t$, В.

321. $12,4 \sin(314 t + 2^\circ) + 2,8 \sin(942 t - 71^\circ)$ А.

322. $0,37 \sin(\omega t + 88^\circ) + 0,33 \sin(3\omega t - 6^\circ 30') + 0,91 \sin(5\omega t + 124^\circ 30')$ А; 5,2 В.

323. $16,7 \sin(\omega t + 40^\circ) + 50 \sin(3\omega t - 90^\circ) + 4,6 \sin(5\omega t - 84^\circ 30')$ В; 1,86 А; 149 В; 81 Вт; 0,294.

324. 9,5 А; $U = 212$ В; $U_1 = 95$ В; $U_2 = 130$ В; $U_3 = 276,8$ В; 907 Вт.

325. $1 + 1,06 \sin(\omega t + 20^\circ) + 0,742 \sin(3\omega t + 48^\circ)$ А; 1,15 А.

326. $0,5 + 0,088 \sin(\omega t - 80^\circ)$ А.

327. 220 В.

328. 217 В.

ЎНОЛТИНЧИ БОБ

ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ЭГРИ ЧИЗИҚЛИ ЗАНЖИРЛАРИ

16-1. ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ЭГРИ ЧИЗИҚЛИ ҚАРШИЛИҚЛАР СИНОСОИДАЛ СИГНАЛЛАРНИ НОСИНОСОИДАЛ СИГНАЛЛАРГА АЙЛАНТИРГИЧ СИФАТИДА

Масаланинг шарти

Сегнетоэлектрикли конденсатор (16-1-расм) синусоидал кучланиши $U=100$ В бўлган манбага уланган, $f=400$ Гц. Конденсатор қопламларидаги q заряд ва кучланиш u оний қийматларининг боғланиши икки усулда: график (16-2-расм) ва тенглама

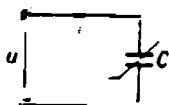
$$q = k_1 u + k_2 u^3$$

билан берилган, бу ерда q — кулон ҳисобида, u — вольт ҳисобида,

$$k_1 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ ф ва } k_2 = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ ф/В}^3.$$

Конденсатор зарядининг вақтга боғланиши $q(t)$ график усулда ва аналитик усулда аниқлансин. Занжирдаги токнинг оний қиймати $i(t)$ нинг ифодаси тузилсин.

Токнинг эффе́ктив қиймати, актив, реактив, тўла қувватлар ва бузилиш қуввати ҳисоблансин. Конденсатордаги энергия исрофи ҳисобга олинмасин.

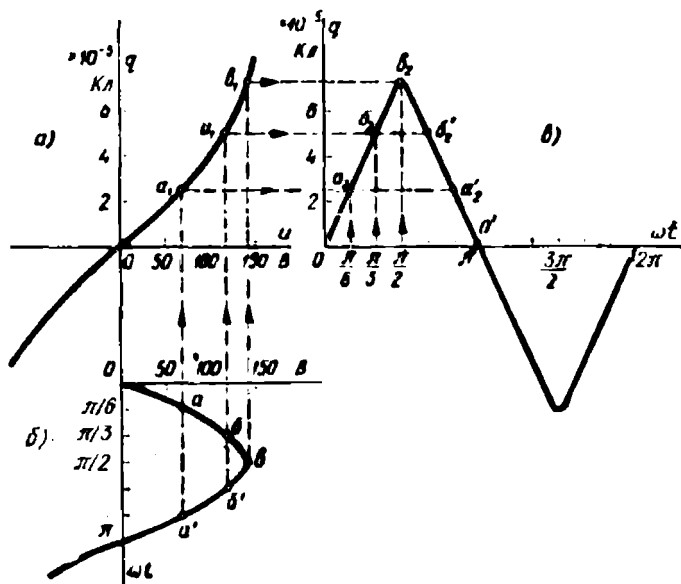


16-1- расм. Синусоидал кучланиш манбага уланган сегнетоэлектрикли конденсатор.

Масаланинг ечилиши

1. Сегнетоэлектрикли конденсаторнинг хусусиятлари. Одатдаги конденсаторларда ишлатиладиган диэлектрикларнинг (слюда, парафинланган қоғоз ва бошқалар) диэлектрик сингдирувчанлиги ўзгармас (электр майдонининг кучланганлигига боғлиқ эмас). Сегнетоэлектриклар бошқача хусусиятга ҳам эга, уларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги майдон кучланганлигининг функциясидир.

Сегнетоэлектрикли конденсаторларда қопламалардаги заряд оний қўйматиинг қопламалар орасидаги кучланишнинг оний қўйматига боғланиши (кулон-вольт характеристикаси) мисол сифатида 16-2-расм, а да кўрсатилган бирор $q(u)$ эгри чизиқ билан тасвирланади. Бундай конденсаторлар эгри чизиқли конденсаторлар дейилади (кулон-вольт характеристикаси координата бошидан ўтадиган тўғри чизиқ бўлган чизиқли конденсаторлардан фарқли равишда).



16-2- расм. Берилган кулон-вольт характеристика (а) ва қисмалардаги кучланиш графиги (б) бўйича эгри чизиқли конденсатор пластинкаларидаги заряд графиги (в) ни қуриш.

Шундай қилиб, сегнетоэлектрикли конденсаторлар эгри чизиқли элементлар қаторига киради, уларнинг сифми берилган кучланишининг функциясидир.

Характеристикаси эгри чизиқли конденсаторлар варикондалар ҳам дейилади.

3. Заряднинг вақтга боғланишини график усулда аниқлаш. Талаб қилинаётган боғланишни график усулда ҳам, аналитик усулда ҳам олиш мумкин. Биринчи (график) усулда қуриш 16-2-расмда нуқталар бўйича бажарилган, унда берилган кулон-вольт характеристика

$q(u)$ кўрсатилган ва конденсатор қопламаларидаги синусоидал кучланишнинг мусбат ярим тўлқини тасвирланган:

$$u = U_m \sin \omega t = 100 \sqrt{2} \sin 2\pi ft.$$

Бу графиклар (16-2-расм, а ва б) шундай қурилганки, u ўқига параллел бўлган горизонтал бир хил кучланиш масштабига эга ва ноль нуқталари битта вертикал чизиқда жойлашган.

Аниқланаётган графикда заряднинг вақтга боғланншлари $q(t)$ ёки $q(\omega t)$ да вертикал ўқ бўйича (16-2-расм, в) зарядлар учун масштаб кулон-вольт характеристикасидаги (16-2-расм, а) каби бўлади: ωt ўқи кулон-вольт характеристикаси u ўқининг давомидир.

Қуришни вақтнинг бир неча қийматларини, яъни ωt ни танлашдан бошлаймиз, масалан, $\pi/6$, $\pi/3$, $\pi/2$ (16-2-расм, б). Сўнгра конденсатордаги кучланишнинг оний қийматларини топамиз (а, б, в нуқталарнинг абсциссалари). Кучланишнинг топилган қийматларини кулон-вольт характеристикага кўчирамиз (16-2-расм, а) да a_1 , b_1 , v_1 нуқталар). Ҳосил қилинган нуқталарнинг ординаталари (a_1 , b_1 , v_1) ва 16-2-расм, в да уларга мос бўлган (a_2 , b_2 , v_2) ўша вақт моментлари t ёки

$$\omega t (\pi/6, \pi/3, \pi/2)$$

учун заряднинг оний қийматларини ифодалайди.

16-2-расм, в да графикнинг $O a_2 b_2 v_2$ қисми ва унга симметрик бўлган $v_2 b_2 a_2 O'$ шундай усулда қуриш йўли билан ҳосил қилинган.

Кулон-вольт характеристиканинг (16-2-расм, а) координаталар бошига нисбатан симметриклигига аҳамият бериб, $q(\omega t)$ графигига симметрик равишда манфий ярим тўлқинни қураимиз.

Олинган график носинусоидал шаклга эга, бу ҳақда келгуси пунктда янада батафсилроқ тўхталамиз.

3. Заряднинг вақтга боғланишини аналитик усулда аниқлаш. Агар конденсаторда кучланишнинг бошланғич фазасини нолга тенг қабул қилинса, унинг оний қиймати

$$u = 100 \sqrt{2} \sin \omega t.$$

Масаланинг шартига кўра кулон-вольт характеристиканинг тенгламаси:

$$q = 3 \cdot 10^{-7} u + 1,2 \cdot 10^{-11} u^3. \quad (16-1)$$

(16-1) га i нинг қийматини қўйсақ, кулон ҳисобида қуйидагини ҳисоб қиламиз:

$$q = 3 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin \omega t + 2,4 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin^3 \omega t.$$

Сўнгра тенгламадаги $\sin^3 \omega t$ ни $(3 \sin \omega t - \sin 3\omega t)/4$ билан алмаштириб:

$q = 3 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin \omega t + 1,8 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin \omega t - 0,6 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin 3\omega t$ ни ёки узил-кесил қуйидагини оламиз:

$$q = 4,8 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin \omega t - 0,6 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \sin 3\omega t. \quad (16-2)$$

(16-2) тенглама конденсатор қопламаларидаги заряднинг оний қиймати иккита: биринчи ва учинчи гармоникага эгаллигини кўрсатади.

Шундай қилиб, 16-2-расм, θ да қурилган $q(\omega t)$ эгри чизигининг носинусоидаллигига заряд оний қийматининг учинчи гармоникасининг ҳосил бўлиши сабабдир.

4. Токнинг оний қиймати ифодасини олиш. Чексиз кичик вақт dt ораллигида конденсатор қопламаларидаги заряд dq га ўзгаради, токнинг оний қиймати эса (таърифи бўйича) $i = dq/dt$ заряднинг вақт бўйича ҳосиласи билан ифодаланган.

(16-2) тенгламани дифференциаллаб, токнинг биринчи ва учинчи гармоникалардан тузилган оний қийматини оламиз (ампер ҳисобида):

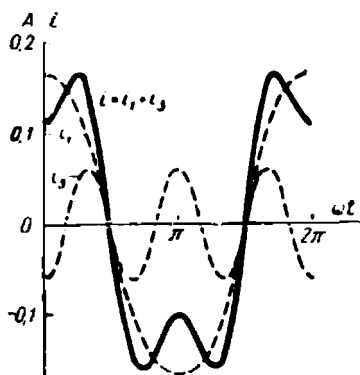
$i = dq/dt = 4,8 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \omega \cos \omega t - 0,6 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} \cdot 3\omega \cos 3\omega t = i_1 + i_3$ ёки $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 400 = 2512$ рад/с ни қўйсақ,

$$i = i_1 + i_3 = 0,12 \sqrt{2} \cos \omega t - 0,0453 \sqrt{2} \cos 3\omega t. \quad (16-3)$$

16-3 расмда ток гармоникаларининг косинусоидал графиклари (нуқтир билан) қурилган ва i токнинг i_1 ва i_3 графикларнинг тегишли нуқталари ординаталарини қўшиб ҳосил қилинган эгри чизиги келтирилган (носинусоидал катталик гармоникаларини график усулда қўшиб 15-1-§ да батафсил кўрилган).

Шундай қилиб, ўзгарувчан ток занжирида характеристикаси эгри чизиқли сизим синусоидал сигнални (бизнинг ҳолда кучланишни) носинусоидал шаклдаги сигналга (бизнинг ҳолда токка) ўзгартиргич сифатида ишлаши мумкин.

Бу хусусият фақат эгри чизиқли сизимлар учун эмас, балки бошқа эгри чизиқли элементлар учун ҳам характер-



16-3-расм. 16-1-расмдаги занжирнинг биринчи i_1 ва учинчи i_3 гармоникалардан тузилган носинусoidal токи.

лидир. Характеристикаси эгри чизикли ўзгарувчан ток занжирларида сигнал шаклини ўзгартириш амалда қўлланилади (16-2-§ га қаранг). Бир қатор ҳолларда шаклнинг ўзгариши номақбул ҳисобланади (16-3-§ га қаранг) ва сигналнинг бузилиши деб ном олган.

5. Токнинг эффе́ктив қийматини ҳисоблаш. Занжирдаги (16-1-расм) токнинг эффе́ктив қиймати

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2} = \sqrt{0,12^2 + 0,0453^2} = 0,128 \text{ A,}$$

бу ерда $I_1 = 0,12 \text{ A}$ ва $I_3 = 0,0453 \text{ A}$ — биринчи ва учинчи гармоникаларнинг эффе́ктив қийматлари (16-3).

6. Қувватларни ҳисоблаш. Занжирнинг актив қуввати

$$P = P_1 + P_3,$$

бу ерда P_1 ва P_3 — биринчи ва учинчи гармоникаларнинг актив қувватлари.

Биринчи гармониканинг актив қуввати $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = 0$, чунки бу гармониканинг кучланиши ва токи орасидаги фазалар силжиш бурчаги $\varphi_1 = 90^\circ$, бу i_1 учун (16-3) даги ифодани кучланиш u ифодаси билан солиштиришдан аёнدير. Учунчи гармониканинг актив қуввати

$$P_3 = U_3 I_3 \cos \varphi_3 = 0.$$

чунки берилган кучланиш синусoidalдир ва $U_3 = 0$.

Натижада занжирнинг актив қуввати $P = 0$ бўлади, шундай бўлиши кутилган ҳам эди, чунки масала шартига кўра конденсатордаги исрофларни ҳисобга олмаймиз.

Шунга ўхшаш, занжирнинг реактив қуввати

$$Q = Q_1 + Q_3 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_3 I_3 \sin \varphi_3 = 100 \cdot 0,12 \sin 90^\circ + 0 = 12 \text{ вар.}$$

Тўла қувват

$$S = UI = 100 \cdot 0,128 = 12,8 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Демак, тўла қувват

$$S = 12,8 \neq \sqrt{P^2 + Q^2} = 12 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Бундай тенгсизлик кучланиш эгри чизиғи шакли бўйича ток эгри чизиғидан фарқ қилган ҳолларда содир бўлади.

Ток ва кучланиш эгри чизиқлари шаклларининг ҳар хил бўлиши қувватнинг бузилишини характерлайди

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}.$$

Кўрилаётган масала учун

$$T = \sqrt{12,8^2 - 12^2} = 4,5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

16-2. ЎЗГАРУВЧАН КУЧЛАНИШНИ ЎЗГАРМАС КУЧЛАНИШГА ЎЗГАРТИРИШ УЧУН ВЕНТИЛЬ ҚАРШИЛИКЛАРНИ ИШЛАТИШ

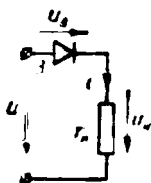
Масаланинг шarti

Токнинг тўғри йўналишида (ўтказувчанлик йўналишида) $r_T = 10$ Ом актив қаршилиқдан ва ток тескари йўналганда $r_{\text{тес}} = 2000$ Ом актив қаршилиқдан иборат бўлган электрик вентиль (ярим ўтказгич диод) актив қаршилиқ $r_{\text{ю}} = 500$ Ом билан кетма-кет уланган. Занжир кучланиши $U = 220$ В, $f = 50$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига уланган.

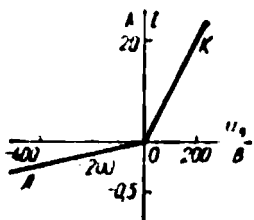
Вентилнинг ва бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикаси; шунингдек, занжирдаги токнинг эгри чизиғи қурилсин. Токнинг ўртача ва эффектив қийматлари, тўла, актив қувватлар, манбанинг бузиладиган қуввати ва қувват коэффициентлари аниқлансин.

Масаланинг ечилиши

1. Вентилнинг асосий хусусиятлари, унинг вольт-ампер характеристикаси. Вентиллар — ўзгарувчан кучланишни тўғрилаш (уни ўзгармас ёки пульсланувчи токка ўзгартириш) учун ишлатиладиган эгри чизиқли элементлардир. Вентиль ўтказувчанлигининг йўналиши схемаларда учбурчаклик шаклидаги стрелка (16-4-расм, В вентиль) билан белгиланади. Вентилнинг қаршилиғи ўтказувчанлик (тўғри) йўналишида, ўтказмайдиган (тескари) йўна-



16-4- расм. Вентиль ва юкнинг уланиши.



16-5- расм. Вентилнинг вольт-ампер характеристикасининг иккита тўғри чизиқли қисми.

лишдагига қараганда юз ёки мингларча марта кичик бўлади.

Қўпчилик амалий ҳисоблашларда вентиль иккита қаршилик билан характерланиши мумкин (тўғри ва тескари), бу нарса масаланинг шарида қабул қилинган. Бунда вентилнинг вольт-ампер характеристикаси берилган r_n ва $r_{тес}$ лар билан қурилган (тўғри чизиқли қисмлари бўлган характеристикаларни қуришни 5-1 ва 5-2-§ лардан қаранг) иккита тўғри чизиқли қисмдан иборат (16-5-расм, *OK* ва *OL* қисмлар). *OK* ва *OL* қисмлар учун ордината ўқида ҳар хил масштаб танланганлигини таъкидлаб ўтамиз, чунки ўтказувчанлик ва ноўтказувчанлик режимларида вентилнинг тоқлари бир-биридан кескин фарқ қилади.

Характеристикаларининг носимметриклиги (координаталар бошига нисбатан) кескин ифодаланган эгри чизиқли актив қаршилик электрик вентиль (диод) деб аталади.

Реал вентилларда вольт-ампер характеристиканинг хариккала қисми ҳам эгри чизиқли, бунини баъзи ҳолларда ҳисобга олмоқ керак.

2. Бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикасини қуриш. Актив қаршиликли шунга ухшаш занжир учун қўйилган масала айрим элементлар характеристикаларининг тегишли нуқталари абсциссаларини (кучланиш қийматларини) қўшиш усули билан олдин (5-1 ва 5-2-§ ларда) ечилган эди.

Берилган масалада кўрсатилган усулни қўллаш учун 16-4-расмдаги занжир элементларининг вольт-ампер характеристикалари берилган бўлиши керак.

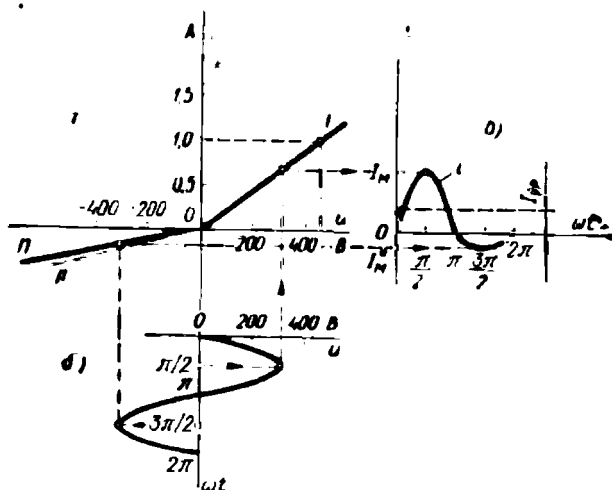
Вентиль учун талаб қилинаётган боғланиш қурилган (16-5-расм). Лекин график усулда ҳисоблашлар учун ток-

пинг мусбат ва манфий қийматлари масштабнинг ҳар хил бўлиши ноқулай. Шунинг учун вентилнинг вольт-ампер характеристикаси 16-6-расм, а да тоқлар ўқи бўйлаб (пунктир билан кўрсатилган) бир хил масштабда кўчирилган. Танланган масштабларда вольт-ампер характеристиканинг ОК қисми (16-6-расм, а) амалда, тоқлар ўқи билан устма-уст тушади.

16-4-расмдаги занжирнинг бошқа элементи—юк қаршилиги $r_{ю}$ учун вольт-ампер характеристика координата ўқлари бошидан ва координаталари $u_T = 500$ В ва $i_T = u_T / r_{ю} = 500 / 500 = 1$ А бўлган T нуқтадан ўтадиган OT тўғри чизиги (16-6-расм, а) билан тасвирланади.

Бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикасини ҳосил қилиш учун бундай қиламиз: i токнинг бир нечта қийматларини танлаймиз (16-6-расм, а) уларнинг ҳар бири учун вентилнинг u_v ва юкнинг $u_{ю}$ кучланишларини, шунингдек, занжирдаги кучланиш $u = u_n + u_{ю}$ ни ҳам топамиз. Топилган u кучланиш (i токнинг танланган қийматларида) йиғинди характеристиканинг нуқталарини беради.

Бундай усулда қурилган бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикаси графиги токнинг мусбат қийматларида, амалда, OT тўғри чизиги (16-6-расм, а) билан бир хил



16-6-расм. 16-5-расмдаги занжир токнинг эгри чизигини қуриш.

бўлади, токнинг манфий қийматларида эса OP тўғри чизиги билан ифодаланади.

3. Токнинг эгри чизигини қуриш. 16-б-расм, *а* да PO ва OT тўғри чизиклар билан тасвирланган $i(i)$ графигига ва занжирдаги синусоидал кучланиш $u = 220 \sqrt{2} \sin \omega t$ (16-б-расм, *б*) га эга бўлган ҳолда, 16-2-расмдаги ўша усул билан i токнинг графигини кўрамиз (16-б-расм, *в*).

i токнинг ҳосил қилинган графиги ωt ўқига нисбатан носимметрик ($I'_m \gg I''_m$) ва i ток нолга тенг бўлмаган ўртача қиймати $I_{\text{ур}}$ га эга (16-б-расм, *в*). Ток ўртача қийматининг ёки ўзгармас ташкил этувчисининг пайдо бўлиши ўзгарувчан кучланишни ўзгармас кучланишга тўғрилаш эффектини аниқлайди.

4. Токнинг ўртача ва эффектив қийматларини аниқлаш. Амплитудаси I'_m бўлган i токнинг мусбат ярим тўлқини (16-б-расм, *в*) бир даврда қуйидаги ўртача қийматни ҳосил қилади

$$I'_{\text{ур}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I'_m \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{2\pi} I'_m \left| -\cos \omega t \right|_0^{\pi} = \\ = \frac{I'_m}{2} (-\cos \pi + \cos 0) = \frac{I'_m}{\pi}.$$

Манфий ярим даврнинг ўртача қиймати, шунга ўхшаш (модули бўйича)

$$I''_{\text{ур}} = I'_m / \pi.$$

$I'_{\text{ур}}$ токи манфий, шунинг учун кўрилаётган занжирда бир даврда токнинг ўртача қиймати

$$I_{\text{ур}} = I'_{\text{ур}} - I''_{\text{ур}} = \frac{I'_m - I'_m}{\pi}. \quad (16-4)$$

Токнинг мусбат ярим тўлқини учун бутун занжирнинг (16-4-расм) қаршилгини (вентилнинг тўғри йўналишида) ҳисобга олиб

$$r_1 = r_r + r_{\text{ю}} = 10 + 500 = 510 \text{ Ом}$$

ни ва манфий (тескари) ярим тўлқин учун қуйидагини оламиз

$$r_2 = r_{\text{тес}} + r_{\text{ю}} = 2000 + 500 = 2500 \text{ Ом}.$$

(16-4) ифодани қуйидагича ўзгартирамиз:

$$I_{\text{эп}} = \frac{U_m}{\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (16-5)$$

ёки

$$I_{\text{эп}} = \frac{200\sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{1}{510} - \frac{1}{2500} \right) = 0,155 \text{ А.}$$

Токнинг эффектив қиймати қуйидагича ифода билан аниқланади:

$$I = \frac{U_m}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{r_2}\right)^2}, \quad (16-6)$$

яъни бизнинг берилганларда

$$I = \frac{220\sqrt{2}}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{510}\right)^2 + \left(\frac{1}{2500}\right)^2} = 0,311 \text{ А.}$$

5. Қувватларни ҳисоблаш. Синусоидал кучланишли занжир учун актив қувват қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$P_c = \frac{U^2}{r} = \frac{U_m^2}{2 \cdot r}.$$

Синусоидал кучланишнинг битта ярим тўлқини ичида ҳосил қилинадиган актив (бир даврда ўртача) қувват икки марта кичик, яъни $P_{0,5} = U_m^2/4r$. Охириги ифодани таъминловчи кучланишнинг ҳар бир ярим тўлқини учун алоҳида қўллаб, занжирнинг актив қувватини оламиз:

$$P = \frac{U_m^2}{4r_1} + \frac{U_m^2}{4r_2} = \frac{U_m^2}{4} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (16-7)$$

ёки бизнинг берилганларда

$$P = \frac{(220\sqrt{2})^2}{4} \left(\frac{1}{510} + \frac{1}{2500} \right) = 57,3 \text{ Вт.}$$

Занжирнинг тўла қуввати

$$S = UI = 220 \cdot 0,311 = 68,5 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Қувват коэффициенти (шартли)

$$\cos \varphi = P/S = 57,3/68,5 = 0,84.$$

Реактив қувват нолга тенг бўлган занжирда қувват коэффициенти бирдан кичик чиқиб қолди ва бунда таъминловчи манбадан ёмон фойдаланилади. Бунинг сабаби нимада?

Бунга сабаб шуки, манфий ярим даврда (вентилнинг тескари режими) қисмалардаги кучланиш мусбат ярим даврдагича бўлса ҳам, занжирда ток жуда кам. Занжирнинг токи ва кучланиши эгри чизикларининг шакллари бир-бирдан фарқ қилганлиги учун бузилиш қуввати нолга тенг эмас, яъни

$$T = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{68,5^2 - 57,3^2} = 37,5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

16-3. ЎЗГАРУВЧАН КУЧЛАНИШДАН ТАЪМИНЛАНАДИГАН ПЎЛАТ МАГНИТ ЎТҚАЗГИЧЛИ ҒАЛТАК

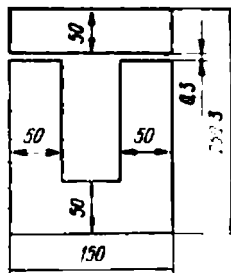
Масаланинг шарти

Ўрамлар сони $N = 380$ ва актив қаршилиги $r = 3,6$ Ом бўлган чулғам 1311 (Э21) электротехник пўлатдан ишланган магнит-ўтказгичга жойлаштирилган. Пўлат пластинкаларнинг қалинлиги 0,5 мм, ҳамма пакетнинг қалинлиги 50 мм. Қолган ўлчамлар 16-7-расмда (миллиметр ҳисобида) берилган. Пўлат пластинкалар магнит-ўтказгич ҳажмининг 11,4% ини эгаллайдиган изоляция билан ажратилган.

Агар чулғам кучланиши 220 В ли ўзгарувчан ток (50 Гц) тармоғига уланса, чулғамдаги ток ҳисоблансин. Векторлар диаграммаси қурилсин. Сочилма магнит оқими ҳисобга олинмасин.

Масаланинг ечилиши

1. Магнит ўтказгичли индуктивлик ғалтагининг хусусиятлари. 10-бобда берилган параметрлари (r ва L) ва қисмалардаги кучланиш бўйича индуктивлик ғалтагининг токини ҳисоблаш кўрилган эди. Маълумки, бундай масала жуда сддий ва қуйидаги формула билан ечилади:



$$I = \sqrt{\frac{U}{r^2 + (\omega L)^2}}$$

Кўрилаётган масаладаги токни шундай ҳисоблаш мумкинми? Агар мумкин бўлмаса, магнитўтказгич қандай янгилик киритади?

16-7-расм. 16-3-§ даги масала шартига.

Биринчи, магнитўтказгичли ғалтақининг индуктивлиги унинг чулғамдаги токка боғлиқ, чунки магнитўтказгич

материалининг магнит сингдирувчанлиги турли индукцияларда бир хил бўлмайди. Бошқача айтганда, магнитўтказгичли ғалтакка эга бўлган занжир эгри чизиқли занжирларга киради.

Иккинчидан, чулғамдан ўзгарувчан ток ўтганда даврнинг тўртдан бирида магнитўтказгич магнитланади, ғалдаги чорак даврда магнитсизланади, сўнгра тескари йўналишда магнитланади ва ҳ. к. Қайта магнитланишда, шунингдек, магнитўтказгичда уюрма тоқлар ҳосил бўлиши натижасида энергия сарфланади, бу энергия пўлатдаги қувват исрофи билан баҳланади.

Учинчидан, чулғамдаги кучланиш синусоидал бўлганда, магнитўтказгичда магнит индукцияси магнитланиш эгри чизигининг тўғри чизиқли қисми чегарасидан чиқмаган ҳолдагина, чулғамдаги ток синусоидал шаклга эга бўлади. Ҳолбуки, кўпчилик амалий ҳолларда магнит индукциясининг қиймати магнитланиш эгри чизигининг эгри чизиқли қисмига («тирсакка») мос келади, чулғамда ток носинусоидал бўлади. Векторлар диаграммасини қуришда, исрофларни ҳисоблашда ва ғалтакнинг эквивалент электр схемасини тузишда носинусоидал ток тузатиш коэффициенти киритиш билан (носинусоидаллика) тенг кучли синусоидал ток билан алмаштирилади. Бундай синусоидал токнинг эффектив қиймати носинусоидал токникидек бўлиши ва худди шундай исрофлар ҳосил қилини керак.

Ўзгарувчан токка уланган магнитўтказгичли ғалтакнинг мана шу кўрсатилган хусусиятлари ҳисоблаш методикасини аниқлайди. Чулғам токи икки ташкил этувчидан: магнитловчи (реактив) I_{μ} ва актив I_{a} дан иборат деб қаралади. Биринчи ташкил этувчи (магнитловчи) занжирнинг магнит хоссалари билан аниқланади. Иккинчи ташкил этувчи (актив) пўлатдаги қувват исрофи бўйича ҳисобланади.

Чулғамдаги ток магнитловчи ва актив ташкил этувчиларнинг геометрик йиғиндисига тенг:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_{\mu}^2}. \quad (16-10)$$

2. Магнитловчи токни ҳисоблаш. Энг олдин магнитўтказгичдаги магнит оқимини ҳисоблаймиз, бунда чулғамда ҳосил бўладиган э. ю. к. қисмалардаги кучланишга сон жиҳатидан тенг, яъни $E = U = 220$ В, деб оламиз.

Бундай йўл тутиш амалда мумкин, чунки чулғамнинг

актив қаршилигида кучланиш пасайиши U кучланишнинг бир неча процентидан ошмайди. Шундай қилиб,

$$\Phi_m = \frac{E}{4,44 f\omega} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 380} = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Энди магнит индукциянинг максимал қийматини, магнит ўтказгич қирқимининг 11,4% ини изоляция билан тўлдирилганлигини ҳисобга олиб, аниқлаймиз.

Пўлатнинг кесими

$$S_n = S - 0,114 S, \text{ бундан } S_n = 0,886 S = \\ = 0,886 \cdot (5 \cdot 5) = 22 \text{ см}^2 = 22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Шунинг учун

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S_n} = \frac{2,63 \cdot 10^{-3}}{22 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Т.}$$

Жадвалда (4-иловага қаранг) 1311 (Э21) маркали пўлат учун майдон кучланганлигининг максимал қиймати $H_{nm} = 840 \text{ А/м}$ ни топамиз. Ҳаво оралиқлари учун $H_{xm} = B_m / \mu_0 = 1,2 / 4\pi \cdot 10^{-7} = 96 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$

Тўла ток қонуни бўйича максимал м. ю. к.

$$I_{\mu \text{ макс}} \omega = H_{nm} l_n + H_{xm} l_x = 840 \cdot 0,6 + 96 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = \\ = 1080 \text{ А,}$$

бу ерда $l_n = 0,6 \text{ м}$ ва $l_x = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ 16-7-расмдан топилган.

Кўрсатилган магнит индукциясида магнитловчи токни амалда синусоидал ток (1311 пўлати учун ҳали тўйиниши йўқ) деб олиш мумкин ва унинг эффектив қиймати

$$I_\mu = \frac{I_{\mu \text{ макс}} \omega}{\sqrt{2} \omega} = \frac{1080}{\sqrt{2} \cdot 380} = 2,0 \text{ А.}$$

3. Токнинг актив ташкил этувчисини аниқлаш. Токнинг актив ташкил этувчисини аниқлаш учун пўлатдаги қувват исрофини ҳисоблаш керак; у магнитўтказгич материалнинг хусусиятига боғлиқдир. Шунинг учун қувват исрофи эмпирик формулалар билан (ёки эмпирик коэффициентлари бўлган формулалар билан) ёки тажрибадан аниқланади. Уларнинг энг соддасидан фойдаланамиз

$$p_n = p_{1,0} B_m^2,$$

бу ерда p_n — пўлатдаги солиштирма қувват исрофи, Вт/(кг·Т²); B_m — магнит индукциянинг максимал қиймати,

T ; $p_{\text{н}}$ — индукция 1Т ва частота 50 Гц бўлганда, 21427. 2—75 ГОСТ да пўлатнинг турли сортлари учун берилган солиштирма қувват исрофи.

Кўрилаётган пўлат учун ГОСТ бўйича $p_{\text{н}} = 2,5 \text{ Вт (кг} \cdot \text{T}^2)$ (шунингдек, В. С. Попов, Теоретическая электротехника, 2-нашри, «Энергия», 1973 га қаранг).

Солиштирма қувват исрофи $p_{\text{с}} = 2,5(1,2)^2 = 3,6 \text{ Вт кг}$. Пўлатнинг зичлигини 7800 кг м^3 олиб магнитўтказгич пўлат қисмининг массасини топамиз (изоляциясиз):

$$G = 7800 S_{\text{н}} l_{\text{н}} = 7800 \cdot 22 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6 = 10,3 \text{ кг,}$$

пўлатдаги ҳамма қувват исрофи

$$P_{\text{н}} = p_{\text{н}} G = 3,6 \cdot 10,3 = 37,1 \text{ Вт.}$$

Токнинг актив ташкил этувчиси

$$I_{\text{а}} = P_{\text{н}} / U = 37,1 / 220 = 0,17 \text{ А.}$$

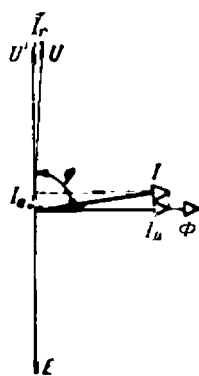
Чулғамдаги ток

$$I = \sqrt{I_{\text{а}}^2 + I_{\text{р}}^2} = \sqrt{2^2 + 0,17^2} \approx 2 \text{ А.}$$

4. Векторлар диаграммаси. Векторлар диаграммасини қуришни (16-8-расм) магнит оқимининг векторидан бошлаймиз, бу оқим чулғамда фазаси бўйича 90° кейинда бўладиган э. ю. к. E ҳосил қилади. (Агар индукция э.ю.к. магнит оқими ўзгаришининг тезлиги билан аниқланишини эсга туширсак, $e = -\omega \phi / dt$ бўлади, бундай фаза силжишни тушунтириш осон.

Чулғамдаги кучланиш U икки қисмдан иборат бўлади. Биринчиси U' ҳосил бўладиган э. ю. к. билан мувозанатлашади, унга тенг ва фазаси жиҳатидан қарама-қарши бўлади. Иккинчиси кучланиш пасайиши $Ir = 2 \cdot 3,6 = 7,2 \text{ В}$ га тенг. Занжирни ҳисоблашда $U = U' = E$ олинган эди, чунки $Ir \ll U (7,2 \text{ В} \ll 220 \text{ В})$.

Токнинг актив ташкил этувчиси $I_{\text{а}}$ кучланиш U' билан бир фазада бўлади, реактив $I_{\text{р}}$ эса ундан 90° бурчакка кейинга бўлади, яъни магнит оқими ϕ билан бир фазада

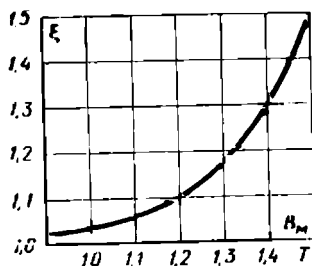


16-8-расм. Пўлатли занжирнинг сочилма магнит оқимни ҳисобга олмай қурилган векторлар диаграммаси.

бўлади, шундай бўлиши кутилган ҳам эди. I_a ва I_m тоқларни масштабда олиб қўйиб, чулғам токи I нинг векторини қураимиз.

Масалага қўшимча саволлар

1. Чулғамда кучланиш пасайишини ҳисобга олиб, занжирни ҳисоблаш қандай бажарилади? Ҳисоблашни масалада кўрсатилгандек бошлаш керак, яъни $U = U' = E$ деб қабул қилиш ва чулғамда кучланиш пасайишини аниқлаш керак. Сўнгра қисмалардаги кучланиш



16-9- расм 16-3- §. 2- қўшимча саволга.

U ва чулғамдаги кучланиш пасайиши $I r$ бўйича $U' = E$ нинг янги қийматини топиш ва занжирнинг ҳаммасини қайта ҳисоблаш лозим.

Ҳисоблашнинг бундай йўли кетма-кет яқинлашиш усули дейилади; бунга кам мурожаат қилинади, чунки кўпчилик амалий ҳолларда $U = E$ деб олиш мумкин.

2. Чулғам токи эгри чизиғи шаклининг носинусоидаллиги қандай ҳисобга олинади? Масалани ечишда чулғам токининг носинусоидаллиги ҳисобга олинмаган эди. Бунга сабаб шуки, электротехник пўлат учун магнитланиш эгри чизиғи амалда магнит индукцияси $I = 1,2 T$ гача бўлганда тўғри чизиқли қисмдан иборат. $B < 1 - 1,2 T$ бўлганда носинусоидал токнинг эффектив қийматини аниқлашдаги хатолик 10% дан ошмайди.

Индукциянинг катта қийматларида токнинг эффектив қиймати сезиларли камаяди (максимал қиймати бир хил бўлган синусоидал токка нисбатан) ва бу тўғрилаш коэффициентни ξ билан ҳисобга олинади (16—9- расм)¹. Шу коэффициентни ҳисобга олсак, магнитловчи ток қуйидагича бўлади:

$$I_m = \frac{I_{\text{макс}}}{\sqrt{2} \xi}$$

3. Гистерезисдан ва уюрма тоқлардан ҳосил бўладиган исрофларни алоҳида-алоҳида ҳи-

¹ Б. С. Поповнинг «Теоретическая электротехника» китобидан 2- нашри, М., «Энергия» 1973.

соблаш мумкинми? Индукция $1\ T$ дан катта бўлганда гистерезисдан ҳосил бўладиган солиштирма исроф $p_r = k_r f B_m^2$ (Вт/кг), бу ерда $k_r = (2,5 - 4,5) \cdot 10^{-2}$ Вт (кгГц \cdot T 2) пўлатнинг турига қараб. $k_r = 3,0 \cdot 10^{-2}$ деб қабул қилиб, $k_r = 3,0 \cdot 10^{-2} \cdot 50 \cdot (1,2)^2 = 2,16$ Вт/кг ни ҳосил қиламиз ва уярма тоқлардан бўладиган солиштирма исроф $p_y = p_n = p_r = 3,6 - 216 = 1,44$ Вт/кг бўлади.

Уярма тоқлардан бўладиган солиштирма исроф

$$p_y = k_y f^2 B_m^2 \text{ (Вт/кг)}$$

каби аниқланишини ҳисобга олсак, бизнинг ҳолда қуйидагича бўлади:

$$k_y = \frac{p_y}{f^2 B_m^2} = \frac{1,44}{50^2 \cdot 1,2^2} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/(кг} \cdot \text{Гц}^2 \cdot \text{T}^2)$$

p_y нинг олинган қиймати, пластинканинг қалинлиги 0,5 мм бўлган электротехника пўлат учун тўғри келади.

4. Агар частота 10 марта оширилса, пўлатдаги исрофлар қандай ўзгаради? Гистерезисдан ҳосил бўладиган исрофлар частотанинг биринчи даражасига, уярма тоқлардан ҳосил бўладиган исрофлар частотанинг иккинчи даражасига пропорционал бўлгани учун (олдинги пунктга қаранг) $p_r = 21,6$ Вт/кг ва $p_y = 144$ Вт/кг бўлади.

Шундай қилиб, частотанинг ортиши билан уярма тоқлардан ҳосил бўладиган исрофлар орта бошлайди ва асосий диққатни уларни камайтиришга қаратилади. Уярма тоқларни камайтириш учун юпқароқ пластинкалар (0,1 ва 0,05 мм) ёки майда донали материаллар (ферритлар) ишлатилади.

5. Пўлатдаги исрофлар қандай ўлчанади? Дастлаб, чулғамни ўзгармас ток билан таъминлаб, мисдаги исрофларни ўлчаш керак. Бу тажрибада пўлатдаги исрофлар бўлмайди. Мисдаги исрофларни билган ҳолда, чулғамнинг актив қаршилигини аниқлаш осон. Сўнгра мисдаги ва пўлатдаги умумий исрофларни ўлчаш керак ва пўлатдаги исрофлар умумий исрофдан мисдаги исрофларни айириб топилади.

16.4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

329. Қучланиши $u = 4 \sin \omega t$ бўлган манбага вольт-ампер характеристикаси $i = 0,08 \sin \omega t$ бўлган эгри чизиқни элемент уланган. $i(t)$ боғланиш аналитик ва график усулда аниқлансин. Тоқнинг максимал қиймати топилсин.

330. Вольт-ампер характеристикаси $i = 0,2u^2$ бўлган (бу ерда ток миллиампер ҳисобида, кучланиш вольт ҳисобида) эгри чизиқли қаршилиқ ва $r = 100$ Ом тўғри чизиқли қаршилиқ параллел уланган занжир $u = 60 \sin \omega t$ В кучланишга уланган. Занжир умумий токнинг оний ва эффе́ктив қийматлари аниқлансин. Занжирнинг тўла ва актив қуввати ҳамда бузилиш қуввати ҳисоблансин.

331. Қаршилиғи тўғри йўналишда $r_T = 10$ Ом ва тескари йўналишда $r_{\text{тес}} = 2000$ Ом бўлган элеќтрик вентиль $r_{\text{ю}} = 700$ Ом ли актив юкда ишлабди. Занжир $u = 180 \sin \omega t$ В кучланишга уланган. Токнинг ўртача ва эффе́ктив қийматлари, шунингдек, манбанинг тўла ва актив қувватлари аниқлансин.

332. Тўғри йўналишда $r_T = 0$ ва тескари йўналишда $r_{\text{тес}} = \infty$ қаршилиқлар билан характерланадиган идеал вентиль тўғри чизиқли қаршилиқ билан 220 В ли ўзгарувчан ток тармоғига кетма-кет уланган. Кучланишнинг r қаршилиғидаги ўзгармас ташкил этувчиси аниқлансин.

333. Агар магнит оқими синусоидал, максимал қиймати $14,4 \cdot 10^{-4}$ Вб ва частота $f = 50$ Гц бўлса, кўндаланг кесимининг юзаси 9 см^2 ва ўрта магнит чизигининг узунлиғи 20 см бўлган 1212 (312) пўлатидан тайёрланган магнит ўтказгичда жойлашган, ўрамлар сони $w = 200$ бўлган чулғамдаги токнинг графиги қурилсин. Магнит оқимининг бошланғич фазаси нолга тенг деб олинсин (магнитланиш эгри чизигининг жадвали 4- иловада келтирилган).

334. 332- масаланинг шартларида вентилдаги тескари кучланишнинг максимал қиймати ва токнинг максимал қиймати аниқлансин.

335. Э. ю. к. и $E = 78$ В бўлган аккумуляторлар батареяси вентиль ва кетма-кет уланган $r = 2,5$ Ом қаршилиқ орқали $U = 110$ В синусоидал кучланиш манбадан зарядланади. Вентиль идеал деб ҳисоблансин ($r_T = 0$, $r_{\text{тес}} = \infty$). Занжирдаги токнинг эгри чизиги қурилсин ва токнинг ўртача қиймати (график усулда) аниқлансин.

336. Актив қаршилиғи $r = 2$ Ом бўлган чулғам магнит ўтказгичда жойлашган ва кучланиши $U = 220$ В бўлган ўзгарувчан ток тармоғидан таъминланади. Ғалтакдаги ток 2,5 А, қувват коэффи́циенти 0,1. Мисдаги ва пўлатдаги қувват исрофлари аниқлансин.

337. Магнит ўтказгичли ғалтак кучланиши 40 В бўлган ўзгармас ток манбадан таъминланганда ундан 10 А ток ўтади, кучланиши 220 В ва частотаси 50 Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига уланганда 2 А ток ўтади. Бунда $\cos \varphi = 0,12$. Мисдаги ва пўлатдаги қувват исрофлари аниқлансин.

338. Магнит ўтказгичли ғалтак ўзгарувчан ток ($f = 50$ Гц) тармоғига уланган. Магнит ўтказгичда магнит оқимининг максимал қиймати 0,01 Вб. Чулғамдаги ток 10 А, чулғам қаршилиғи 0,4 Ом, ўрамлари сони 100, умумий қувват исрофи 440 Вт. Тармоқ кучланиши, шунингдек, ғалтак токнинг актив ва магнитловчи ташкил этувчилари аниқлансин.

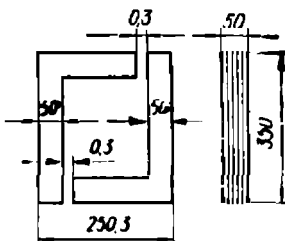
339. Магнит ўтказгичли ғалтакда ток 2 А га, умумий қувват исрофи эса 20 Вт га тенг. Агар магнит ўтказгич чиқариб олинган шароитда ток ва умумий қувват 8 А гача ва 64 Вт гача ортса, мисдаги ва пўлатдаги исрофларнинг ташкил этувчилари аниқлансин.

340. Пўлатдаги солиштирма қувват исрофини қуйидаги формула билан аниқлаш мумкин

$$p_n = k_y f^2 B_m^2 + k_r f B_m^2$$

бу ерда k_y ва k_r — тегишлича уярма тоқлардан ва гистерезисдан ҳосил бўладиган исроф коэффициентлари. Максимал индукция 1,4 Т, частота 40 Гц бўлганда солиштирма қувват исрофи 3,13 Вт га, частота 50 Гц бўлганда (ўша индукцияда) 4,12 Вт га эга бўлган магнит ўтказгичли ғалтак учун шу коэффициентлар аниқлансин.

341. Пластинакаларининг қалинлиги 0,5 мм, кўндаланг кесимининг юзаси 16 см² ва ўрта магнит чизигининг узулиги 44 см бўлган 1511 (341) пўлатидан ишланган магнит ўтказгичда ўрамлари сони 480 ва актив қаршилиги 20 Ом бўлган чулғам жойлашган. Агар чулғамда кучланиш 120 В, частотаси 50 Гц бўлса, чулғам тоқи, унинг актив ва магнитловчи ташкил этувчилари аниқлансин, векторлар диаграммаси қурилсин. Пўлатдаги солиштирма исроф $P_{1/50} = 1,6$ Вт/(кг·Т²).



16-10- расм. 342- масалага.

342. Ўрамлари сони 480 бўлган чулғам пластинакаларининг қалинлиги 0,35 мм ли 1512 (342) пўлатидан (16-10- расм) тайёрланган магнит ўтказгичда жойлашган. Магнит ўтказгич ҳажмининг 11%ини изоляция ташкил қилади. Таъминловчи манбанинг кучланиши 220 В. Чулғам тоқи, унинг магнитловчи ва актив ташкил этувчилари аниқлансин, векторлар диаграммаси қурилсин. Чулғамнинг актив қаршилиги ҳисобга олинмасин. $P_{1/50} = 1,2$ Вт/(кг·Т²) деб қабул қилинсин.

343. Олдинги масаладаги ғалтак учун кетма-кет ва параллел эквивалент электр схемасининг параметрлари ҳисоблансин.

16-5. 16- БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

329. $0,384 \sin \omega t - 0,128 \sin 3 \omega t$; 0,512.

330. $0,35 + 0,6 \sin \omega t + 0,36 \sin (2\omega t - \pi/2)$ А; 0,61 А; 25,9 В А; 18 Вт; 18,6 В·А.

331. 59,5 мА; 131 мА; 16,7 В·А; 14,4 Вт.

332. 100,5 В.

333.

t , мс	0	2,5	5,0	7,5	10
i , А	0	0,44	0,73	0,44	0

334. 475 В; 0,316 А.

335. 3,8 А.

336. 12,5 Вт; 42,5 Вт.

337. 16 Вт; 36,8 Вт.

338. 222 В; 1,6 А; 9,8 А.

339. 4 Вт; 16 Вт.

340. $3,2 \cdot 10^{-2}$ Вт/(кг·Гц²·Т²);
 $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/(кг·Гц·Т²).

341. 106 мА; 36 мА; 94 мА.

342. 2 А; 1,98 А; 0,09 А.

343. Кетма-кет уланган схема учун 5 ва 110 Ом; параллел уланган схема учун 2,4 ва 0,11 кОм.

ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИДА
ЎТКИНЧИ ПРОЦЕССЛАР

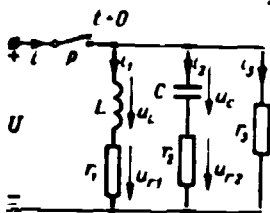
17-1. ТОК ВА КУЧЛАНИШЛАРНИНГ БОШЛАНҒИЧ
ВА ОХИРГИ ҚИЙМАТЛАРИНИ АНИҚЛАШ

Масаланинг шарти

Параметрлари $r_1 - r_3 = 60$ Ом; $r_2 = 500$ Ом, $L = 0,3$ Г, $C = 2$ мкФ бўлган 17-1-расмдаги занжир $t = 0$ пайтда кучланиши $U = 60$ В бўлган таъминловчи манбага уланади (P рубильник билан). Шохобчалар тоқларининг, занжир умумий тоқининг, шунингдек, индуктивликдаги ва сифимдаги кучланиш қийматлари вақтнинг икки momenti учун: а) $t = 0$ бўлганда, яъни рубильник уланган заҳоти; б) $t = \infty$ бўлганда, яъни рубильник туташтирилгандан сўнг чексиз катта вақтдан кейин аниқлансин. Бундан ташқари, ўткинчи процесснинг вақт доимийси ҳисоблансин.

Масаланинг ечилиши

1. Схема ва унинг режимларининг хусусиятлари. Кўрилатган занжирда (17—1-расм), олдинги бобларда кўрилганлардан фарқли равишда, схемада занжирнинг коммутацияси (P рубильникни туташтириш) белгиланган. Бу демак, занжир коммутациягача бўлган бир турғун ҳолатдан, коммутациядан кейин анчагина вақт ўтгандан сўнг (назарий жиҳатдан $t = \infty$ бўлганда) бўладиган бошқа турғун ҳолатга ўтиш режимда тадқиқ қилинади. Ўткинчи процесс дейиладиган бу режим, исботланганидек, чексиз узоқ вақт ёки бизнинг шартларда вақтнинг $t = 0$ дан $t = \infty$ гача бўлган оралиғида давом этади.



17-1-расм. Индуктивлик, сифим ва қаршиликли шохобчаларни таъминловчи манбага улаш.

Ўткинчи процесс коммутациянинг фақат кўрсатилган туридагина (таъминловчи манбани улашда) вужудга келадими? — деган савол туғилади. Албатта, йўқ. Қутилмаганда таъминловчи кучланишнинг ҳар қандай ўзгариши, шохобчаларнинг пассив ёки актив элементларини улаш ёки узиш ва бошқалар ўткинчи процессни вужудга келтириши мумкин.

Ўткинчи процессда занжирнинг тоқлари ва кучланишлари вақтнинг функцияси бўлади ва ўткинчи тоқлар (кучланишлар) дейлади. Бу функцияларни тадқиқ қилиш келгуси масалаларнинг мазмунини (17-2, 17-3- § лар) ташкил қилади.

Ушбу масаланинг мақсади 17-1- расм мисолида ўткинчи тоқлар ва кучланишларнинг фақат бошланғич ($t = 0$ бўлгандаги) ва охириги ($t = \infty$ бўлгандаги) қийматларини топишдан иборат.

Берилган масалани ечишнинг мақсадга мувофиқ тартиби қандай бўлади?

17-1- расмдаги занжир учта параллел шохобчадан ташкил топганлигидан бундай уланишда шохобчаларнинг тоқлари ўзаро боғланмаган бўлади, шундай экан бунда ҳар бир шохобчанинг манба кучланиши U га уланиш процессини алоҳида кўриб чиқиш имкониятига эга бўлинади. Шундай йўл тутамиз.

2. Индуктивликли шохобчанинг тоқи ва кучланишларини аниқлаш. Коммутациянинг давом этиши (бизнинг ҳолда P рубильникнинг туташтириш вақти) нолга тенг деб қабул қилинган учун қуйидаги белгилашлардан фойдаланиш қулай: 1) ($t = 0$) — коммутациядан олдинги момент учун (рубильник ҳали туташтирилган эмас) ва 2) ($t = 0 +$) — коммутация тамом бўлган момент учун (рубильникни туташтиришнинг биринчи моменти).

Коммутациягача ёки рубильник P очиқ бўлганда (17-1- расм) шохобчада ток йўқ, яъни $t = 0$ — бўлганда ток $i_1(0 -) = 0$.

Рубильник P туташтирилгандан кейинги биринчи моментда, яъни ўткинчи процесснинг бошланиш моментиди ($t = 0 +$) занжирдаги ток $i_1(0 +)$ коммутациядан олдин қандай бўлса, шундайлигича қолади. Бунга сабаб шуки, ғалтакнинг магнит майдонида йиғиладиган энергия $\omega = Li_1^2/2$ бирданига (сакраб) ўзгара олмайди; демак индуктивлик L даги ток ҳам ва r_1 , L занжирдаги ток ҳам бирданига (сакраб) ўзгара олмайди (энергия бирданига ўзгарганда чексиз катта қувват ҳисил бўлади, реал занжирларда эса чексиз қувватли манбалар ҳам, истеъмолчилар ҳам йўқ).

Демак, $i_1(0 -) = i_1(0 +)$, ёки бизнинг ҳолда $i_1(0 +) = 0$.

Шундай қилиб, индуктивликдаги ток бирданига ўзгара олмайди (коммутациянинг биринчи қонуни). Бизнинг ҳолда бу демак, коммутация моментиди (рубильникни туташтириш вақтида) ток ўзгармайди.

Энди u_L (индуктивликдаги) ва u_{r_1} (r_1 қаршиликдаги) кучланишларни аниқлаш осон. Шубҳасизки, коммутациягача бу кучланишлар $u_{L1}(0-) = 0$ ва $u_{r1}(0-) = 0$.

Коммутация momentiда ($t = 0$ - бўлганда) Ом қонунига кўра қаршиликда кучланиш $u_{r1}(0+) = r_1 i_1(0+) = r_1 \cdot 0 = 0$, индуктивликдаги кучланишни эса шохобчадаги ва r_1 қаршиликдаги кучланишлар айирмаси сифатида ҳосил қиламиз, яъни

$$u_L(0+) = U - u_{r1}(0+) = 60 - 0 = 60 \text{ В.}$$

Коммутация momentiда индуктивликдаги кучланиш бирданига ўзгара олар экан (бизнинг ҳолда $u_L(0-) = 0$ дан $u_L(0+) = 60$ В гача).

Шундай қилиб, индуктивликда кучланиш бирданига ўзгариши мумкин ва одатда шундай бўлади ҳам.

Ўткинчи процесснинг бошқа четки режимга, коммутациядан кейин анча узоқ вақтдан сўнг ($t = \infty$ бўлганда) бўладиган турғун режимга ўтамиз. Бу режимда r_1 , L шохобчадан ўзгармас ток ўтади, бунда индуктив қаршилик $x_L = \omega L = 0 \cdot L = 0$.

Шохобчанинг умумий қаршилиги r_1 қаршиликка тенг, турғун ток эса

$$i_1 = i_1(\infty) = U/r_1 = 60/60 = 1 \text{ А.}$$

Бундай шароитда шохобчанинг кучланиши U фақат r_1 қаршиликка берилган, яъни $u_{r1}(\infty) = U = 60$ В.

3. Сигимли шохобчада кучланишлар ва токни аниқлаш. Энг олдин конденсаторда кучланиш бирданига (сақраб) ўзгара олиши мумкинми деган саволни аниқлаймиз. Агар u_C кучланиш (17-1-расм) бирданига ўзгаради деб фараз қилсак, бунда сигимдаги ток қуйдагича бўлади:

$$i_2 = C \frac{du_C}{dt} \rightarrow \infty,$$

бу мумкин эмас, чунки ҳар қандай реал электр занжирида чексиз катта ток ҳосил қилиш мумкин эмас. Шу хулосага бошқача йўл билан ҳам келиш мумкин. Агар u_C кучланиш бирданига ўзгаради деб фараз қилсак, унда конденсаторнинг энергияси $w = C u_C^2 / 2$ ҳам бирданига ўзгаради, бу эса занжирида жуда катта қувват бўлишини талаб қилади, яъни бу ҳам бўлмайдиган натижа.

Шундай қилиб, сигимдаги кучланиш бирданига ўзгара олмайди (коммутациянинг иккинчи қонуни).

Бу қонун математик кўринишда $u_C(0-) = u_C(0+)$ тарзида ёзилади.

Бизнинг ҳолларда коммутациягача (рубильник p очик ҳолда) конденсатор зарядланмаган эди. Шунинг учун $t = 0$ бўлганда сигимдаги кучланиш $u_C(0-) = 0$. Лекин конденсатордаги кучланиш коммутация momentiда ўзгармайди, шунинг учун рубильник туташтирилган заҳоти (вақтнинг $t = 0+$ momentiда) у $u_C(0+) = 0$.

Рубильник P очик ҳолда бўлганда r_2 , C ли кўриляётган шохобча таъминловчи манбадан ўзилган, шунинг учун ҳам коммутация режимда шохобча токи $i_2(0-)$ ва r_2 қаршиликдаги кучланиш $u_{r_2}(0-) = 0$.

Коммутациядан кейинги биринчи моментда, олдин кўрсатилганидек, сигимдаги кучланиш $u_C(0+) = 0$, шунинг учун r_2 қаршиликдаги кучланиш

$$u_{r_2}(0+) = U - u_C(0+) = U - 0 = U = 60 \text{ В},$$

шу шохобчанинг токи эса (r_2 қаршиликдаги ток)

$$i_2(0+) = u_{r_2}(0+)/r_2 = U/r_2 = 60/500 = 0,12 \text{ А}.$$

Демак, коммутация momentiда қаршиликдаги кучланиш бирданига ўзгара олар экан (0 дан 60 В гача). Шохобча токи ҳам бирданига ўзгарар экан (0 дан 0,12 А гача).

Ўткинчи процесснинг бошқа четки режимга $t = \infty$ да бўладиган тургун режимга ўтамин.

Бу режимда r_2 , C шохобча ўзгармас кучланишга уланган. Унинг сигим қаршилиги $x_C = 1/\omega C = \infty$, шохобча токи $i_{2T} = i_2(\infty) = 0$, демак, кучланиш $u_{r_2}(\infty) = r_2 i_2(\infty) = 0$, конденсатор эса қуйидаги кучланишгача зарядланган

$$u_{C(T)} = u_C(\infty) = U = 60 \text{ В}.$$

4. r_3 қаршилигидаги кучланиш ва токни аниқлаш. 17-1-расмдаги схемадан маълумки, рубильник очик турганда r_3 қаршилигида кучланиш йўқ ва у туташтирилганда унда кучланиш U га тенг, яъни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$u_{r_3}(0-) = 0; u_{r_3}(0+) = u_{r_3}(\infty) = U = 60 \text{ В}.$$

Тегишлича шохобча токи

$$i_3(0-) = 0,$$

$$i_3(0+) = i_3(\infty) = u_{r_3}(\infty)/r_3 = 60/60 = 1 \text{ А}.$$

Шундай қилиб, коммутация momentiда r_3 қаршиликда кучланиш ва ток бирданига ўзгаради ва бирданига чегара (турғун) қийматларига эришади,

5. Умумий токни аниқлаш. Натижаларнинг йиғма жадвали. Масалани ечишда ҳосил қилинган натижалар 17-1-жадвалга йиғилган, бу жадвалдан коммутация қонунларининг бажарилишини шунингек, юқорида кўриб ўтилган кучланиш ёки токнинг бирданига пайдо бўлиши шартларини пайқаш осон ва буни ўқувчига мустақил, синчиклаб кўриб чиқишни ҳавола қиламиз.

17-1-жадвал

t	i_1, A	i_2, A	i_3, A	i, A	u_L, B	u_{r1}, B	U_C, B	u_{r2}, B	u_{r3}, B
0—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0+	0	0,12	1,0	1,12	60	0	0	60	60
∞	1,0	0	1,0	2,0	0	60	60	0	60

Бундан ташқари, Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланиб, занжирнинг умумий t кини аниқлаш мумкин:

$$i = i_1 + i_2 = i_3.$$

кўрсатилган моментлар учун бу иш 17-1-жадвалда бажарилган.

Ҳисоблаш натижаларини 17-1-схеманинг ҳар бир шохбчаси учун Кирхгофнинг иккинчи қонунини қўллаб текширишни бажариш имконияти бор. Ҳақиқатан, рубильник P туташтирилган режимда (17-1-расм), яъни вақтнинг $t=0+$ ва $t=\infty$ моментлари учун (17-1-жадвал) исталган шохбча қисмларининг кучланиши занжирнинг кучланиши $U = 60$ В га тенг.

6. Вақт доимийларини ҳисоблаш. Оддий занжирларда ўткинчи процессларни тадқиқ қилишда, индуктив ва сизимли шохбчаларда ўткинчи ток ёки кучланишнинг ўзгариш тезлигини характерлайдиган вақт доимийси τ ҳақидаги тушунча киритилади.

Индуктивлик L ва қаршилик r кетма-кет уланган шохбчалар учун вақт константаси $\tau = L/r$; $\Gamma \text{ Ом} = \text{Ом} \cdot c \text{ Ом} = c$ билан ўлчанади.

$$\tau_1 = L/r_1 = 0,3'60 = 0,005 \text{ с} = 5 \text{ мс.}$$

Сигим C ва қаршилик r кетма-кет уланган шохобча учун вақт доимийси $\tau = r \cdot C$; $U = \text{Ом} \cdot \Phi = \text{Ом} \cdot \text{Кл В} = \text{Ом} \cdot \text{А} \cdot \text{с}; V = \text{с}$ билан ўлчанади.

Унда r_2, C шохобчаси учун (17-1-расм) вақт доимийси

$$\tau_2 = r_2 \cdot C = 500 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 10^{-3} \text{ с} = 1 \text{ мс.}$$

Вақт доимийси амалий мақсадлар учун жуда аҳамиятли катталиқдир. Ундан ўткинчи процесс давоматини таърифлаш учун фойдаланилади.

Назарий жиҳатдан ўткинчи процесс чексиз узоқ вақт давом этади, лекин амалда уни $t = (4 \div 5)\tau$ вақт ичида тавом бўлади деб ҳисоблаш мумкин.

Бу демак, r_1, L шохобчада (17-1-расм) i_1 ток ўзининг охириги турғун қийматига қуйидаги вақт ичида етишади:

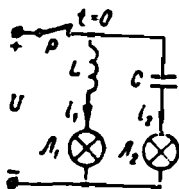
$$t_1 \approx (4 \div 5) \tau_1 = (4 \div 5) \cdot 5 = 20 \div 25 \text{ мс.}$$

Шунга ўхшаш, C конденсатор (17-1-расм) кучланишнинг охириги қийматигача қуйидаги вақт ичида зарядланади:

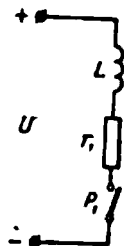
$$t_2 \approx (4 \div 5) \tau_2 = (4 \div 5) \cdot 1 = 4 \div 5 \text{ мс.}$$

Масалага қўшимча саволлар

1. Вақтнинг биринчи моментиде: рубильник P туташтирилгандан сўнг индуктивлик L ва сиғим C нинг (17-1-расм) қаршиликлари қандай бўлади? Масалани ечишда индуктив шохобча учун токнинг қиймати $i_1(0+) = 0$ олинган эди, яъни бу шохобчада рубильник туташтирилгандан кейинги вақтнинг биринчи моментиде ток йўқ, бу ҳол индуктивликнинг қаршилиги катта бўлгандагина юз беради. Бошқача айтганда, *занжир бер-*



17-2- расм. 17-1- §, 2- қўшимча саволга.



17-3- расм. 17-1- §, 3- қўшимча саволга.

килишининг биринчи momentiда (бошланғич шартлар ноль бўлганда) индуктивлик ўзини гўё занжир узилгандек тутади.

Сигимдаги кучланиш учун ($t = 0+$ бўлганда) $u_C(0+) = 0$ қиймат олинган эди. Бу демак, рубильник туташтирилгандан кейинги вақтнинг биринчи momentiда сигим нолга тенг қаршиликка эга бўлади, яъни у қисқа туташган қисмини ифодалайди.

Индуктивлак ва сигимнинг кўрсатилган бу хусусиятлари фақат занжирга кучланиш улангандан кейинги вақтнинг биринчи momentiда тўғрилигини эсдан чиқармаслик керак.

2. Рубильник P туташтирилган momentiдан бошлаб L_1 ва L_2 (17-2-расм) лампаларнинг нурланиш процесслари қандай бўлади? 17-2-расмдаги занжир 17-1-расмдаги занжирнинг r_1 ва r_2 қаршиликлар L_1 ва L_2 ёритиш лампалари билан алмаштирилган бир қисмидир.

Агар ёритиш лампа чўғланишининг иссиқлик инерцияси ҳисобга олинмаса, 17-2-расмдаги занжирда ўткинчи процесс 17-1-расмдаги занжирнинг биринчи ва иккинчи шохобчаларидаги процессга ўхшаш бўлади.

Қабул қилинган фаразда рубильник P туташтирилгандан кейинги биринчи momentiда L_1 лампа ёнмайди, чунки $i_1 = 0$. Вақт ўтиши билан лампанинг нурланиши кучая боради ва $t_1 = 20 \div 25$ мс дан сўнг (масала ечилишидаги 6 п. га қаранг) амалда максимал ёруғликка эришади.

L_2 лампа нурланишининг тасвири бошқача бўлади. Рубильник P туташтирилгандан кейинги биринчи momentiда сигимда кучланиш йўқ (гўё у қисқа туташган—олдинги қўшимча саволга қаранг) ва L_2 лампада тўла таъминлаш кучланиши U таъсир этади (бунда i_2 ток ҳам максимал) бу эса лампанинг энг катта ёруғ беришини таъминлайди.

Конденсатор зарядлана бориши билан L_2 лампада кучланиш камаяди ва унинг нурланиши тегишлича кучсизлана боради. $t_2 = 4 \div 5$ мс вақтдан сўнг (масала ечилишининг 6п. га қаранг) лампа бутунлай ўчади.

3. Индуктивлик шохобча узилиб қолса, коммутация қонуни қандай бажарилади?

Агар r_1 , L шохобчага (17-1-расм) E_1 рубильник уланса (17-3-расм) ва шохобчанинг турғун режимида ундаги ток $i_{17} = 1$ А (масалада аниқланган) бўлганда рубильник очилса, унда i_1 ток бирданига нолгача камайиши керак эди,

лекин бундай бўлмайди (бу коммутациянинг биринчи қонунига тескари бўлади).

Ҳақиқатда эса P , рубильник туташтирилганда рубильник контактлари орасида электр ёй ҳосил бўлади, яъни ток бирданига йўқолмайди, бу нарса коммутация қонунини тасдиқлайди.

Шунинг учун амалда индуктив занжирларни улайдиган ва узадиган қурилмалар учун электр ёйдан ва контактларни қўйишдан муҳофаза қилиш схемалари қўлланилади.

4. P рубильник узилганда i_1 ток ва u_C кучланишнинг (17-1-расм) бошланғич ва охириги қийматлари қандай бўлади? Агар занжирнинг (17-1-расм) тургун режимда P рубильник узилса, i_1 ток ва u_C кучланишнинг бирданига кўпайиб кетишига йўл бермайдиган коммутация қонунига биноан, уларнинг бошланғич қийматларини оламиз $i_{1\text{ бош}} = i_{1\text{т}} = I$ А ва $u_{C\text{ бош}} = u_{C\text{т}} = 60$ В, яъни янги ўткинчи процесснинг бошланғич қийматлари олдинги ўткинчи процессда олинган (P рубильник туташтирилганда) тургун қийматларга тенг.

P рубильник очиқ бўлган занжирда i_1 ток ва u_C кучланишнинг охириги қийматлари, шубҳасиз нолга тенг, чунки 17-1-расмдаги занжирдан таъминловчи манба чиқариб ташланади.

Реал электр занжирларида (қурилмаларида) ток ёки кучланишнинг сакрашини ҳосил қилиш мумкинми? Масалани ечишда кўрсатилганидек, ток ва кучланишнинг бирданига кўпайиб кетиши занжирнинг идеаллаштирилган элементларида бўлиши мумкин: қаршиликларда (ток ва кучланишнинг кўпайиб кетиши), индуктивликда (кучланишнинг кўпайиб кетиши) ва сифимда (токнинг кўпайиб кетиши).

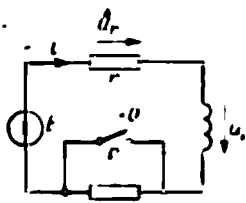
Лекин ҳар қандай реал элемент (резистор, индуктивлик галтаги, конденсатор) r , L ва C параметрларнинг ҳамма кўринишларига эга. Бунда индуктивлик токнинг кўпайиб кетишига, сифим эса кучланишнинг кўпайиб кетишига тўсқинлик қилади.

Демак, реал занжирларда (қурилмаларда) ток ёки кучланишнинг идеал сакрашини (бирданига кўпайиб кетишини) ҳосил қилиш мумкин эмас, лекин, агар занжирнинг реал элементиди асосий параметр анчагина устунлик қилса, бунга яқинлашиш мумкин, амалий ҳолларда кўпинча шундай қилишга интиладилар.

17-2. r, L ДАН ИБОРАТ ЗАНЖИРДА ЎТКИНЧИ ТОҚЛАР ВА
КУЧЛАНИШЛАРНИ АНИҚЛАШ

Масаланинг шарти

17-4-расмдаги занжир учун $E = 40$ В, $r' = r = 200$ Ом
 $L = 2$ Г берилган. Вақтнинг $t = 0$ momentiда коммутация
бўлди (рубильник P туташтирилди)
ва ўткинчи процесс бошланди.



17-4-расм. Бир қисмини
туташтириб занжирнинг
актив қаршилигини ўз-
гартириш.

i токи, u_L ва u_r кучланишлар-
нинг вақт ичида (рубильникни
туташтириш momentидан бошлаб) ўз-
гариши аниқлансин ва бу боғла-
нишларнинг графиклари қурилсин.

Масаланинг ечилиши

1. Токнинг турғун ва эр-
кин ташкил этувчилари.
Турғун ток i_T тушунчаси олдинги
параграфдан маълум. Бизнинг ҳолда 17-4-расмдаги занжир-
да рубильник O туташтирилганда (r' қаршилиги қисқа
туташтирилган ҳолда), i_T ток қуйдагича бўлади:

$$i_T = E/r = 40/200 = 0,2 \text{ А.}$$

Ўткинчи процесс тамом бўлиши билан занжирда шундай
ток булади, ўткинчи процесс давомида эса, яъни P рубиль-
ник туташтирилган momentдан бошлаб ($t = 0$ бўлганда)
ўткинчи ток i_T мавжуд бўлади; бу токни ташкил этувчилар
йиғиндиси тарзда келтириш мумкин: (бу нарса кейинроқ
кўрсатилади) бизга маълум бўлган турғун ток i_T ва эркин
ток дейиладиган i_s ток билан, яъни

$$i = i_T + i_s. \quad (17-1)$$

i_s ни топиш учун P рубильник туташтирилганда 17-4-
расмдаги занжир учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича
тенглама тузамиз: $E = u_r + u_L$. Индуктивликдаги кучла-
ниш u_L ни индуктивликдаги э. ю. к. $e_L = -u_L$ билан ал-
маштириб, қуйидагини оламиз:

$$E = u_r - e_L = r i - e_L,$$

бундан ток

$$i = \frac{E}{r} + \frac{e_L}{r} = i_T + i_s, \quad (17-2)$$

бу ерда ўткинчи токнинг эркин ташкил этувчиси

$$i_s = e_L/r.$$

Шундай қилиб, эркин ток i_3 ғалтак магнит майдонининг индукция э. ю. к. и ҳосил бўлиши натижасида мавжуддир.

Шубҳасизки, ўткинчи процесс тамом бўлиши билан занжирда ўзгармас ток $i_T = 0,2$ А ҳосил бўлгандан сўнг ғалтакнинг магнит майдони ҳам ўзгармас бўлади, бунда индукция э. ю. к. $e_L = 0$ ва тегишлича $i_3 = 0$.

Эркин ток i_3 — ўткинчи ток i нинг бир бўлаги бўлиб, фақат ўткинчи процесс давомидагина мавжуддир.

Эркин ток

$$\begin{aligned} i_3 = \frac{e_L}{r} &= -\frac{1}{r} L \frac{di}{dt} = -\frac{1}{r} L \left(\frac{di_T}{dt} + \frac{di_3}{dt} \right) = \\ &= -\frac{1}{r} L \frac{di_3}{dt} = -\tau \frac{di_3}{dt}, \end{aligned}$$

чунки $di_T/dt = 0$.

Олинган дифференциал тенглама

$$i_3 = -\tau \frac{di_3}{dt} \quad (17-3)$$

қўйидаги ечимга эга

$$i_3 = A \cdot e^{-t/\tau} \quad (17-4)$$

бу ерда A — интеграллаш доимийси (келгусида ҳисобланади). (17-4) ечимни (17-3) га қўйиб текшириш осон.

Ўткинчи процессни тадқиқ қилишга тааллуқли турли масалаларда эркин токни аниқлаш учун ҳар сафар дифференциал тенглама тузиш ва уни ечиш зарурати йўқ, балки тўғридан-тўғри охирги натижадан (17-4) ифодадан фойдаланиш мумкин.

2. Токни аниқлаш. (17-2) тенгламадаги i_3 ни унинг (17-4) даги ифодаси билан алмаштирамиз, бунда ўткинчи ток учун қўйидаги ечимни оламиз:

$$i = i_T + Ae^{-t/\tau} = 0,2 + Ae^{-t/\tau}. \quad (17-5)$$

A доимийни аниқлаш учун коммутация қонунидан фойдаланамиз.

Рубильник туташтирилгандан кейинги биринчи моментда ($t = 0 +$) (17-5) ф рмула билан аниқланадиган ток

$$i(0 +) = 0,2 + Ae^0 = 0,2 + A. \quad (17-6)$$

Бошқа томондан, рубильник P туташтирилганга қадар (17-4-расм) занжир узоқ вақт E э. ю. к. идан таъминлан-

ди. Масалада занжирни таъминлайдиган энергия манбаининг улашиш momenti ҳақида ҳеч нарса дейилмагани учун шундай ҳисоблаш керак. Бу режимда (коммутациягача) занжирнинг умумий қаршилиги $r_{\text{ум}} = r + r'$ бу ерда эътиборга олинган, ўзгармас токда индуктив қаршилик $x_L = \omega L = 0 \cdot L = 0$. Тегишлича вақтнинг коммутациядан олдинги пайтида $t = 0 -$, занжирдаги ток

$$i(0-) = E / (r' + r) = 40 / 400 = 0,1 \text{ А.} \quad (17-7)$$

Лекин коммутациянинг биринчи қонунига биноан (17-1-§ га қаранг,) $i(0-) = i(0+)$. Шунинг учун (17-6) даги $i(0+)$ ни унинг (17-7) даги қиймати билан алмаштириб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$0,1 = 0,2 + A, \text{ ёки } A = -0,1 \text{ А.}$$

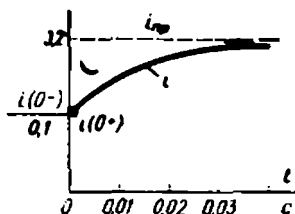
A нинг топилган қийматини (17-5) га қуйиб ва вақт доимийси $\tau = L/r = 2/200 = 0,01 \text{ с}$ ни ҳисобга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$i = 0,2 - 0,1e^{-t/\tau} = 0,2 - 0,1e^{-100t}.$$

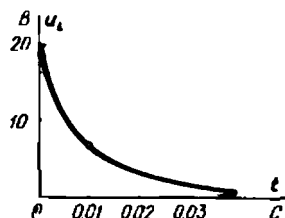
Вақт momenti t нинг бир неча қийматларини танлаб, кўрсаткичли функциялар¹ жадвалидан фойдаланиб, i токнинг қийматларини (17-2-жадвал) ҳисоблаймиз ва унинг графигини ясаймиз (17-5-расм).

17-2-жадвал

$t, \text{ с}$	0	0,01	0,02	0,03	0,04
e^{-100t}	1	0,37	0,135	0,05	0,018
$i, \text{ А}$	0,1	0,163	0,187	0,195	0,198



17-5-расм. 17-4-расмдаги занжирнинг ўткинчи процесс вақтидаги токи.



17-6-расм. 17-4-расмдаги занжирда индуктивликдаги кучланишнинг ўзгариши.

¹ И. М. Бронштейн ва К. А. Семендяев. Справочник по математике М., 1973, 53-бет.

3. Кучланишларни аниқлаш. Индуктивликдаги кучланишни икки усулда аниқлаймиз: биринчидан; $u_L = -E - u_r = E - ri$, тенгламада ундаги i ток ўрнига унинг учун олинган қийматини қўйиб аниқлаймиз:

$$u_L = E - r(0,2 - 0,1e^{-100t}) = 40 - 200(0,2 - 0,1e^{-100t}) = \\ = 20e^{-100t} \text{ В.}$$

Иккинчидан, индуктивлик ғалтагидан ўтувчи ток қуйидаги кучланишни ҳосил қилади:

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt}(0,2 - 0,1e^{-100t}) = 2(0,1 \cdot 100e^{-100t}) = 20e^{-100t} \text{ В.}$$

u_L кучланишни вақтнинг уч momenti учун ҳисоблаймиз ($t = 0$; $t = \tau = 0,01$ с; $t = \infty$):

$$u_L(0) = 20e^0 = 20 \text{ В;}$$

$$u_L(\tau) = 20e^{-1} = 20 \cdot 0,37 = 7,4 \text{ В;}$$

$$u_L(\infty) = 20e^{-\infty} = 20 \frac{1}{e^{\infty}} = 20 \cdot 0 = 0.$$

17-6-расмда шу нуқталар бўйича $u_L(t)$ эгри чизигининг тахминий кўриниши қурилган.

Қаршилиқдаги кучланишн аниқлашга ўтамиз (17-4-расм). $u_r = ri$ бўлгани учун ёки биздаги берилганларда

$$u_r = 200(0,2 - 0,1e^{-100t}) = 40 - 20e^{-100t}$$

бўлганидан $u_r(t)$ боғланиш графиги олинган $i(t)$ графигига (17-5-расм) ўхшашдир, яъни улар фақат катталикларнинг u ўқидаги масштаби билан фарқ қилади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Масалани ечишда олдин индуктивликдаги ток, сўнгра эса унинг кучланиши аниқланди, бу тасодиқийми? Ўткинчи тоқлар ва кучланишларни аниқлашда интеграллаш доимийсини топиш анчагина вақтни олади. Берилган масалада бу иш (17-4) ва (17-5) тенгламаларни ечишда бажарилган эди, у ерда A доимийси коммутациянинг биринчи қонунини бўйича аниқланадиган ток учун бошланғич шартлар асосида топилган эди.

Индуктивликдаги u_L кучланишн аниқлашда бу йўлдан фойдаланиб бўлмайди, чунки унга коммутация қонунини қўллаб бўлмайди. Шунинг учун u_L кучланиш учун бошланғич

шартларни аниқлаш (келгуси қўшимча саволга қаранг) индуктивликдаги токка нисбатан анча қийин масала ҳисобланади. Масалани ечишда таъланган тартиб шу билан тушунтирилади.

2. Токни топиш учун фойдаланилган усул билан индуктивликдаги кучланишни аниқлаш мумкинми? Ўткинчи u_L кучланишни ҳам турғун ва эркин ташкил этувчиларнинг йиғиндиси сифатида аниқлаш мумкин, буни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$u_L = u_{Lr} + u_{L3} = u_{Lr} + A'e^{-t/\tau}$$

бу ерда $u_{L3} = A'e^{-t/\tau}$ масалада олинган (17-4) тенгламага ўхшатиб ёзилди.

Кучланишнинг турғун ташкил этувчиси $u_{Lr} = 0$, ўткинчи процесс тамом бўлгандан кейин занжирда ток ўзгармас, унда индуктив қаршилик $x_L = 0$.

Натижада қуйидагига эга бўламиз:

$$u_L = u_{L3} = A'e^{-t/\tau}.$$

A' доимийни топиш учун 17-4-расмдаги занжир учун, рубильник туташтирилганда Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама ёзамиз:

$$E = ri + u_L.$$

Бу тенглама вақтнинг исталган momenti учун, шу билан бирга коммутациядан кейинги биринчи момент ($t = 0+$) учун ҳам тўғридир, шу асосда қуйидагича ёзамиз:

$$E = ri(0+) + u_L(0+)$$

Лекин коммутация қонуни бўйича

$$i(0+) = i(0-)$$

бўлгани учун

$$E = ri(0-) + u_L(0+),$$

ёки бизнинг берилганларда

$$u_L(0+) = E - ri(0-) = 40 - 200 \cdot 0,1 = 20 \text{ В.}$$

Бошқа томондан, коммутациядан кейинги биринчи момент ($t = 0+$) учун $u_L = A'e^{-t/\tau}$ кучланиш $u_L(0+) = A'e^0 = A'$ га тенг. Натижада $u_L = u_L(0+)e^{-t/\tau} = 20e^{-100t}$ В га эга бўламиз, яъни масалани ечишдаги ўша натижанинг ўзи олинди.

3. Бу масаладаги ток ва кучланишларнинг бошланғич қийматлари олдинги масаладаги

қийматларга солиштирилганда нима билан фарқ қилади? Олдинги масалада таъминловчи манба P рубильник билан уланар эди. Шунинг учун коммутациягача занжирда тоқлар ва кучланишлар йўқ эди, шу жумладан, индуктивликдаги i_1 ток ва сизимдаги u_C кучланиш нолга тенг эди. Шуларнинг ўзи (i_1 ва u_C) коммутация қонунига биноан коммутациядан кейинги биринчи моментда ҳам нолга тенг эди. Бундай режим бошланғич шартлари ноль бўлган режим дейилади.

Бу масалада рубильник уланганда занжирнинг параметрлари ўзгаради ва коммутациягача ток ноль бўлмаган қийматга эга. Токнинг шу қиймати рубильник улангандан кейинги биринчи моментда сақланади (коммутация қонуни бўйича), яъни ноль—бошланғич шартларга эга бўламиз.

4. Коммутация momentiда индуктивлик ўзини қандай тутади? Ушбу масалада индуктивликдаги ток коммутация momentiда ўзининг коммутациягача бўлган қийматини сақлайди, яъни $i(0-)=i(0+)=\text{const} \neq 0$.

Шундай қилиб, коммутация momentiда ноль бошланғич шартларда индуктивлик узини ток манбаи сифатида тутади.

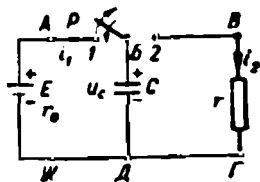
17-3. r, C ЗАНЖИРДА ЎТҚИНЧИ ТОҚЛАР ВА КУЧЛАНИШЛАРНИ АНИҚЛАШ

Масаланинг шarti

P рубильник 1 ҳолатга уланганда (17-7-расм) $C = 10 \text{ мкФ} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ ли конденсатор э. ю. к. и $E = 120 \text{ В}$, ички қаршилиги эса $r_0 = 400 \text{ Ом}$ бўлган энергия манбаидан зарядланади.

Рубильник 2 ҳолатга қайта уланганда конденсатор $r = 2000 \text{ Ом}$ қаршилиқ орқали зарядсизланади.

Зарядланиш ва зарядсизланиш вақтида конденсатор кучланиши ва токнинг ўзгариш графиклари қурилсин. Конденсаторнинг зарядланишда манба томонидан сарфланган энергия ва зарядсизланиш вақтида конденсатор томонидан бериладиган энергия ҳисоблансин.



17-7- расм. Конденсатор ва истеъмолчини энергия манбаига улаш схемаси.

1. Зарядланаётган конденсатор кучланишининг турғун ва эркин ташкил этувчилари. r , L дан иборат занжирдаги ўткинчи процессга оид масала ечилганда ток турғун ва эркин ташкил этувчиларнинг йиғиндиси кўринишида берилган эди. Зарядланаётган конденсаторнинг кучланиши u_C билан ҳам шундай қилинса бўлмайдими? Бу саволга жавоб бериш учун $АБДЖА$ контур учун (17-7-расм, P рубильник биринчи ҳолатда) Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама тузамиз:

$$E = i_1 r_0 + u_C, \quad (17-8)$$

бу ерда i_1 — контур токи (шунинг ўзи конденсатордаги i_C токи) — бу токни конденсатор қопламаларида зарядларнинг тўпланиш тезлиги сифатида аниқлаймиз:

$$i_1 = i_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}. \quad (17-9)$$

(17-8) тенгламадаги ток ўрнига (17-9) даги қийматни қўйиб u_C нинг ифодасини оламиз:

$$u_C = E - Cr_0 \frac{du_C}{dt} = u_{CT} + u_{C\beta}.$$

Сўнгги тенгламани тушунтирамиз. Конденсатор тўла зарядланганда (турғун режим) контур токи

$$i_C = 0 \text{ ва (17-8) га биноан } u_C = u_{CT} = E.$$

Конденсатор кучланишининг эркин ташкил этувчиси

$$u_{C\beta} = -Cr_0 \frac{du_C}{dt} = -Cr_0 \left(\frac{du_{CT}}{dt} + \frac{du_{C\beta}}{dt} \right) = -\tau_1 \frac{du_{C\beta}}{dt} \quad (17-10)$$

ни индуктивликли занжирдаги эркин токнинг (17-3) тенгламаси билан ўхшашлигидан билиш мумкин. Бу ерда $du_{CT}/dt = 0$ ва $\tau = r_0 C$ — конденсатор зарядланиш занжири-нинг вақт доимийси ҳисобга олинган.

(17-10) га ўхшаш тенглама учун ечим (17-4) га эгамиз; шунга ўхшаш қуйидагини ёзамиз:

$$u_{C\beta} = Ae^{-t/\tau_1}. \quad (17-11)$$

Шундай қилиб, ўткинчи процесс вақтида конденсатордаги кучланиш

$$u_C = u_{CT} + u_{C\beta} = E + Ae^{-t/\tau_1} \quad (17-12)$$

A доимийни аниқлаш учун коммутациянинг иккинчи қонунидан фойдаланамиз.

Бу демак, бизнинг шароитга қўлланилганда P рубильник уланганга қадар (17-7-расм) зарядланмаган конденсаторда нолга тенг бўлган кучланиш рубильник улангандан кейинги биринчи моментда ўшандайлигича қолади, яъни $t = 0$ бўлганда кучланиш $u_C(t) = 0$, шунинг учун (17-12) тенгламадан қуйидагини топамиз:

$$0 = E + Ae^0 = E + A$$

ёки $A = -E$ ва

$$u_C = -Ee^{-t/\tau_1}, \quad (17-13)$$

бу ерда вақт доимийси:

$$\tau_1 = r_0 C = 400 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 4 \text{ мс.}$$

2. Конденсатор зарядланаётгандаги ток ва кучланиш эгри чизиқлари. Зарядланиш процессида конденсатор кучланиши қуйидаги қонун бўйича ўсиб боради

$$u_C = u_{CT} + u_{C_2} = E(1 - e^{-t/\tau_1}) = 120(1 - e^{-t/4}) \text{ В.}$$

бу ерда t —миллисекунд ҳисобида.

Рубильник улангандан кейин ўтган вақт t нинг бир нечта қийматлари учун u_C кучланиши ҳисобланади (17-3-жадвал) ва шу берилганлар бўйича 17-8-расмдаги $u_C(t)$ график қурилган.

17-3-жадвал

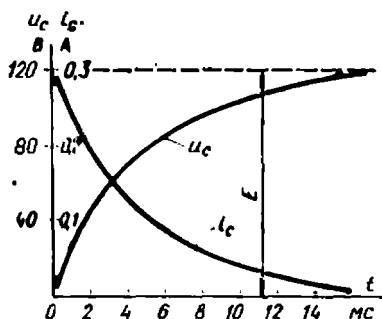
$t, \text{ мс}$	0	2	4	8	12	16
$e^{-t/4}$	1	0,61	0,37	0,135	0,05	0,018
$u_C, \text{ В}$	0	47	75	104	114	118
$i_C, \text{ А}$	0,3	0,183	0,111	0,040	0,015	0,005

Зарядланиш токи (17-9) конденсатор қопламаларидаги кучланишнинг ўзгариш тезлигига пропорционал:

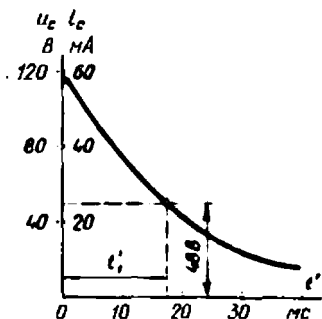
$$\begin{aligned} i_C &= C \frac{du_C}{dt} = C \frac{d}{dt} [E(1 - e^{-t/\tau_1})] = EC \frac{1}{\tau_1} e^{-t/\tau_1} = \\ &= \frac{E}{r_0} e^{-t/\tau_1} = \frac{120}{400} e^{-t/4} \text{ А.} \end{aligned}$$

17-3 жадвалда зарядланиш токининг қийматлари, 17-8-расмда эса $i_C(t)$ графиги келтирилган.

17-8-расмдаги $u_c(t)$ графикни 17-5-расмдаги $i(t)$ график билан солиштириш қаршиликли занжирда конденсатор зарядланаётганида сифимда кучланишнинг узғариши қаршиликли ва индуктивликли занжир уланганда токнинг ўзғаришига ўхшаш булади—деб хулоса чиқаришга имкон беради. Назарий жиҳатдан конденсаторнинг зарядланиш процесси узоқ вақт давом этади, лекин амалда қаршилик ва индуктивликли занжирда токнинг ўсиб боришига ўхшаб, уни $t = (4 \rightarrow 5) \tau$ вақтда тамом бўлади дейиш мумкин.



17-8- расм. Зарядланиш режимида конденсаторда кучланиш ва токнинг ўзғариши.



17-9- расм. Разрядланиш режимида конденсаторда кучланиш ва токнинг ўзғариши.

3. Конденсатор зарядсизланаётганида ток ва кучланиш эгри чизиқлари. Агар конденсаторнинг $u_c = E$ кучланишгача зарядланиши тамом бўлганда (турғун режим) R рубильник 2 ҳолатга ўтказилса, БВГД занжирдаги r қаршилик орқали зарядсизланиш токи i_2 ўтади. Конденсатор C нинг заряди, кучланиши ва электр майдонининг энергияси камаю боради.

Конденсаторнинг зарядсизланишида кучланишнинг мажбурий ташкил этувчиси $u_{CT} = 0$, чунки зарядсизланиш занжирида энергия манбаи йўқ (шунингдек 17-2-§ га қаранг). Фақат эркин ташкил этувчиси қолади, у ўзининг максимал қийматида (бизнинг ҳолда 120 В дан) волгача

$$u_c = u_{c0} = 120 e^{-t/\tau_c} \text{ В} \quad (17-14)$$

қонуни бўйича камаю боради, бу ерда разряд занжирининг вақт доимийси $\tau_2 = Cr = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мс}$, t' вақти эса рубильникни 2 ҳолатга ўтказиш вақтидан ҳисобланади.

(17-14) ифода бўйича 17-9-расмда $u_C(t')$ боғланишнинг графиги қурилган.

Зарядсизланишда сифимдаги i_C ток унинг зарядланишидаги i_C токка тескари йўналган ва r қаршиликдаги i_2 токка тенг, сифимдаги u_C кучланиш эса қаршиликдаги u_r кучланишга тенг. Шунинг учун

$$i_C = \frac{u_C}{r} = \frac{120}{2000} e^{-t'/\tau_1} = 0,06 e^{-t'/\tau_1} \text{ А,}$$

яъни 17-9-расмда кўрсатилган $u_C(t)$ эгри чизиги бошқа масштабда токнинг вақтга боғланиши графиги $i_C(t)$ бўлиб хизмат қилади.

4. Электр энергиясини ҳисоблаш. Конденсатор зарядланаётганида манба берадиган энергия $W_{\text{м}} \rightarrow E^2 C = 120^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,144 \text{ Ж}$, бунинг ярми $C u_{C_{\text{м}}}^2 / 2 = CE^2 / 2 = W = 0,072 \text{ Ж}$ конденсаторнинг электр майдонида йиғилади. Конденсаторнинг зарядсизланишида W энергия сарфланади.

Масалага қўшимча саволлар

1. Агар хавфсиз кучланиш 48 В деб қабул қилинса, R рубильник 2 ҳолатга ўтказилгандан кейин қанча вақтдан сўнг қаршилик қисмаларига қўл тегизиш мумкин? 17-9-расмдаги графикдан конденсатордаги кучланиш u зарядсизланаётганида 48 В гача камайиш вақти $t_1 = 17,5 \text{ мс}$ ни аниқлаш мумкин.

Бу вақтни яна $u_C = 120 e^{-t_1/\tau_1}$ ифодадан, унда $u_C = 48 \text{ В}$ деб қабул қилиб, аниқлаш мумкин.

2. Конденсаторнинг зарядсизланишини қандай тезлаштира бўлади? Бир қатор амалий қурилмаларда конденсаторнинг зарядсизланиш занжирида вақт константаси бир неча ўн секундларда ўлчанади. Бундай ҳолларда баъзан конденсаторнинг зарядсизланишини тезлатиш талаб қилинади. Масалан, 17-7-расмда R рубильник қайта улангандан сўнг BD қисмаларига $r_d \ll r$ бўлган қўшимча қаршилик улаш керак бўлади.

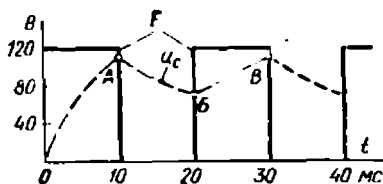
3. Агар манбани ҳар 10 мс вақт оралиғида улаб-узиб турилса, конденсаторнинг зарядланиши ва зарядсизланиши қандай ўтади? Манба биринчи марта уланганда конденсаторнинг кучланиши 17-8-расмдан кўчирилган OA эгри чизик (17-10-расм, пунк-

тир) бўйича ортиб боради. P рубильник қайта улангандан сўнг конденсаторнинг разряди 17-9-расмдаги эгри чизиққа ўхшаш, AB эгри чизиқ бўйича ўтади (конденсатор 120 В кучланишгача зарядланишга улгурмайди, шунинг учун зарядланиш бошланғич кучланиш кичикроқ бўлганда бошланади). Зарядланишнинг бундан кейинги эгри чизиғи (17-10-расмда BB) биринчи зарядланиш эгри чизиғи OA га ўхшаш, лекин зарядланиш конденсаторнинг ноль бўлмаган бошланғич кучланишидан бошланади.

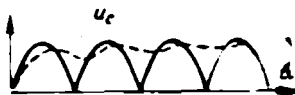
Бундан кейинги зарядланиш ва зарядсизланиш участкалари кучланишнинг аррассимон шаклга эга бўлган даврий эгри чизиғини ҳосил қилади.

4. Энергия манбаига уланган конденсатор қандай вазифани бажариши мумкин? Кўпинча ўзгармас ток манбаи сифатида тўғрилагич бўлган ўзгарувчан ток манбаи қўлланилади. Бундай тўғрилагичлар, масалан, радиоприёмникларда синусоиданинг 17-11-расмда туташ эгри чизиқ билан кўрсатилган алоҳида ярим тўлқинлари кўринишида кучланиш беради.

Агар тўғрилагич қисмаларига конденсатор уланса, конденсатордаги u_C ва истеъмолчидаги кучланиш конденсатор бўлмагандагига қараганда кам пульсланади (17-11-расмда пунктир эгри чизиқ).



17-10- расм. 17-3- §. 3- қўшимча саволга.



17-11- расм. 17-3- §. 4- қўшимча саволга.

Демак, конденсатор уланиши натижасида кучланишнинг шакли текисланади (пульсланиш камайди).

17-4. МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

344. 16-12-расмдаги занжир учун $E = 60$ В, $r = 120$ Ом ва бир хил сўғимлар ($C_1 = C_2$) берилган. Вақтнинг $t = 0$ momentiда P рубильник туташтирилди. Коммутациягача бўлган режим ($t = 0 -$) коммутациядан кейинги биринчи пайт ($t = 0 +$) ва турғун режим ($t = \infty$) учун i ток, u_r , u_{C1} ва u_{C2} кучланишлар аниқлансин.

345. 17-13-схемадаги занжирда $t = 0$ моментда P рубильник туташтирилди. Агар $E = 20$ В, $r_1 = r_2 = 8$ Ом бўлса, вақтнинг учта

моменти ($t=0-$; $t=0+$; $t=\infty$) учун i_1 , i_2 , i тоқлар ва u_L кучланиш аниқлансин.

346. Қаршиликлари $r_1 = r_2 = 200$ Ом бўлган 17-14-расмдаги тармоқланган занжир P рубильник билан $t=0$ моментда э. ю. к. и $E = 100$ В бўлган таъминловчи манбага уланади.

Коммутациягача бўлган ($t=0-$) режим, коммутациядан кейинги вақтнинг биринчи моменти ($t=0+$) ва турғун режим ($t=\infty$) учун i_1 , i_2 , i тоқлар ва u_C кучланиш аниқлансин.

347. 17-15-расмдаги занжир учун $r_1 = r_2 = 40$ Ом; $r = 20$ Ом, $E = 40$ В берилган. $t=0$ моментда P рубильник r қаршиликни қисқа туташтиради. i_1 , i_2 , i тоқлар ва кучланиш u_L ларининг бошланғич ($t=0-$ ва $t=0+$ моментлар учун) ва охириги ($t=\infty$ учун) қийматлари аниқлансин.

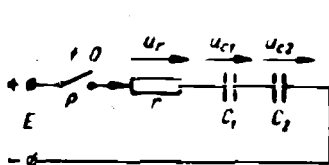
348. Индуктивлик $L = 0,1$ Г ва ҳар бири 10 Ом дан бўлган иккита қаршиликдан тузилган занжир $u = 24$ В ўзгармас кучланишга уланади. Қаршиликлардан бири қисқа туташганда токнинг ва ўзиндукция э. ю. к. нининг ўзгариш қонунияти аниқлансин.

349. Қаршилик $r = 2$ Ом ва индуктивлик $L = 5$ Г кетма-кет уланган занжир $U = 6$ В ли ўзгармас кучланишга уланади. Таъминловчи манба уланган моментдан бошлаб $7,5$ с давомида токнинг ва ғалтақдаги э. ю. к. нининг ўзгариш графиги қурилсин.

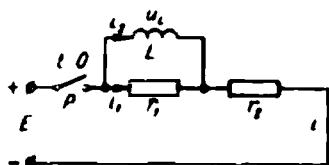
350. Олдинги масаладаги занжир учун ток қиймати 2 А га эришгунча ўтадиган вақт графигдан ва аналитик усулда ҳисоблансин.

351. Реле чулғамига ($L = 2$ Г, $r = 40$ Ом) қандай кучланиш берилганда, ундаги ток занжир улангандан кейин $t = 40$ мс давомида 495 мА га эришади.

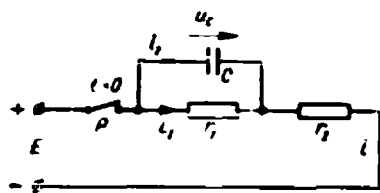
352. Параметрлари $r_1 = 20$ Ом, $r_2 = 50$ Ом ва $L = 0,25$ Г бўлган 17-16-расмдаги занжирда, рубильник уланishiга қадар $I = 5$ А ўзгармас ток ўтиб турди. Рубильник уланган моментдан бошлаб токнинг вақт ичида ўзгариш қонунини топилсин ва графиги қурилсин.



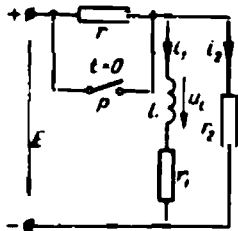
17-12- расм. 344- масалага.



17-13- расм. 345- масалага.



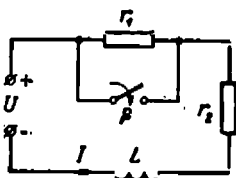
17-14- расм. 346- масалага.



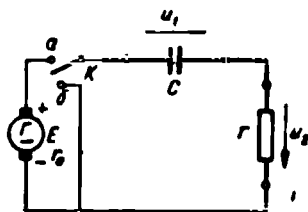
17-15- расм. 347- масалага.

353. 17-17-расмда кўрсатилган занжир қўбдаги параметрларга эга: $E = 500 \text{ В}$; $r_0 = 100 \text{ Ом}$; $r = 800 \text{ Ом}$; $C = 100 \text{ мкФ}$. Қ калит a ҳолатга ўтказилгандан кейин ўтадиган 90 мс дан кейин u_1 ва u_2 кучланишлар ҳамда занжирдаги ток аниқлансин.

354. Олдинги масаладаги занжирда (17-17-расм) Қ калити уланганда (a ҳолатда) занжирда турғун режим вужудга келади. Сўнгра Қ калитни b ҳолатга ўтказилди. Қайта улаш ўтказилгандан 80 мс дан кейин занжирда u_1 ва u_2 кучланишлар ва ток аниқлансин.



17-16- расм. 352- масалага.



17-17- расм. 353- масалага.

355. Қоғоз изоляцияли ($\epsilon = 4$, диэлектрикнинг солиштирма қаршилиги $\rho = 5 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$) ва пластинкалари орасида кучланиш 1 кВ бўлган ясси конденсатор ўз-ўзидан зарядланади. Қандай вақт ичида пластинкалар орасидаги кучланиш 50 В гача камаяди?

17-5. 17-БОБ МАСАЛАЛАРИГА ЖАВОБЛАР

344. t	0—	0+	∞
u_{C1}	В 0	0	30
u_{C2}	В 0	0	30
u_r	В 0	60	0
i_r	А 0	0,5	0

346. t	0—	0+	∞
u_C	В 0	0	50
i_2	А 0	0,5	0
i_1	А 0	0	0,25
i_r	А 0	0,5	0,25

345. t	0—	0+	∞
i_L	А 0	1,25	2,5
i_2	А 0	0	2,5
i_1	А 0	1,25	0
u_L	В 0	10	0

347. t	0—	0+	∞
i_1	А 0,5	0,5	0,5
i_2	А 0,5	1,0	0,5
u_L	В 0	20	0

348. $2,4 - 1,2e^{-100t} \text{ А}; -12e^{-100t} \text{ В}$.

349. $t, \text{ с}$	0	2,5	5,0	7,5
$i, \text{ А}$	0	1,89	2,59	2,85
$e_L, \text{ В}$	6	2,22	0,81	0,30

350. $2,75 \text{ с}$.

351. 36 В .

352. $7 - 2e^{-200t} \text{ А}$.

353. $315 \text{ В}; 164 \text{ В}; 0,205 \text{ А}$.

354. $185 \text{ В}; 205 \text{ В}; 0,23 \text{ А}$.

355. $5,3 \text{ с}$.

ИЛОВАЛАР

1- Илова

Изоляция материалларнинг асосий параметрлари

Материал	Нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги	Бузадиган кучлангандик 10^6 В/м	20°C да солиштираш электр қаршилиги Ом. м
Қоғоз:			
қуруқ кабель қоғози	2,3—3,5	6—9	10^{11} — 10^{12}
мой шимдирилган	3,5—3,7	10—25	10^{13}
парафинланган	4,3	10—25	—
Дистилланган сув	80	—	—
Ҳаво	1,0	—	—
Лакланган газмол	3,5—5,0	32—45	10^{10} — 10^{11}
Минерал мой	2,2	7—12	—
Миканит	4,6—6,0	15—20	10^{13}
Мармар	8—10	3,5—5,5	10^7 — 10^8
Парафин	2—2,2	15—30	10^{13} — 10^9
Электр изоляция картони:			
қуруқ	2,5—4	8—10	10^7 — 10^{11}
мой шимдирилган	4—5	12—27	10^{10} — 10^{11}
Резина	3—6	15—20	—
Слюда:			
мусковит	6—7,5	120—200	10^{12} — 10^{13}
флогопит	4—6	80—150	10^{10} — 10^{12}
Шиша	5,5—10	10—40	10^9 — 10^{13}

2- Илова

Утказгич материалларнинг асосий параметрлари

Материал	Зичлиги, 10^3 кг/м ³	Солиштираш утказувчанлиги, (См/м)· 10^6	Солиштираш қаршилиги, Ом·м· 10^{-6}	Қаршилиқнинг температура коэффициенти, $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Алюминий	2,7	34	0,029	0,004
Константан	8,8	2	0,40—0,51	0,0005
Мис	8,9	57	0,0175	0,004
Манганин	8,14	2,4	0,42	0,00015
Нихром	8,2	0,9	1,1	0,0003
Нўлат	7,85	10— ^в	0,1—0,2	0,005
Фехраль	7,6	0,83	1,2	0,0002

263

**Симлар ва ўрамларнинг баъзи хиллари учун йўл қўйиладиган
тоқлар зичлиги**

Ўрам хиллари ёки симнинг жойлашиш шarti	Йўл қўйиладиган ток зичлиги, А/мм ²
якка симнинг	
берк хонада кўндаланг кесимн, мм ²	
5	10
10	7
50	4
100	3
Бир қаторли галтак ўрами	3—5
Кўп қаторли галтак ўрами:	
кичик қувватларда (10 Вт гача)	2—3
ўрта қувватларда (1 кВт гача)	1,8—2,5
каatta қувватларда	1,2—1,8

Пўлатларнинг магнитланиш характеристикалари

Пўлат маркалари					В, Т	Пўлат маркалари			
В, Т	1211	1511	қўйма пўлат	пермен- дюр		1211	1511	қўйма пўлат	перпен- дюр
	1212, 1311	1512				1212	1311		
	Н, А/м	Н, А/м	Н, А/м	Н, А/м		Н, А/м	Н, А/м	Н, А/м	Н, А/м
0,10	—	40	80	57	1,0	502	300	920	97
0,20	—	50	160	70	1,05	570	340	1004	100
0,30	—	60	240	73	1,10	647	395	1090	105
0,40	140	70	320	76	1,15	739	460	1187	110
0,45	152	75	360	79	1,20	840	540	1290	115
0,50	171	85	400	82	1,25	976	640	1430	120
0,55	191	94	443	—	1,30	1140	770	1590	125
0,60	211	110	448	85	1,35	1340	970	1810	132
0,65	236	127	535	—	1,40	1580	1300	2090	140
0,70	261	145	584	88	1,45	1950	1830	2440	150
0,75	287	165	632	—	1,50	2500	2750	2890	162
0,80	318	185	682	91	1,55	3280	3850	3430	180
0,85	352	210	745	—	1,60	4370	5150	4100	200
0,90	397	235	798	94	1,65	5880	6950	4870	225
0,95	447	270	850	—	1,70	7780	8900	5750	260

Электр ва магнит катталикларнинг бирликлари

Электрик катталикларнинг номи	Катталикларнинг белгиси	Бирлиги	Бирликнинг номи	Бирлик белгиси
Электр ва магнит майдонларининг энергияси; электромагнит энергия; механик иш	W_C, W_L	Жоуль	Жоуль	Ж
Электр занжирнинг актив қуввати	P	Ватт	Ватт	Вт
Электр занжирнинг реактив қуввати	Q	—	вар	вар
Электр занжирнинг тўла қуввати	S	Вольт-ампер	Вольт-ампер	В А
Электр токи	I	Ампер	Ампер	А
Электр заряди	q	Ампер-секунд	Кулон	Кл
Магнит оқими	ϕ	Вольт-секунд	Вебер	Вб
Электр кучланиши; потенциал; потенциаллар фарқи; э. ю. к-	u, φ, E	Жоуль тақсим кулон; ватт тақсим ампер	Вольт	В
Магнит юритувчи куч; магнит кучланиши; потенциал; потенциаллар фарқи	F, U_M, Φ_M	Ампер	Ампер	А
Электр қаршилиги	r	Вольт ампер тақсим	Ом	Ом
Электр сифими	C	Кулон тақсим вольт	Фарада	φ
Электр ўтказувчанлиги	g	Ампер тақсим вольт	Сименс	См
Индуктивлик; ўзаро индуктивлик	$L; M$	Вебер тақсим ампер	Генри	Г

Электрик катталиқнинг номи	Катталиқнинг белгиси	Бирлиги	Бирлиқнинг номи	Бирлиқ белгиси
Магнит қаршилиги	R_m	Ампер тақсим вебер	—	А/Вб
Магнит ўтказувчанлиги	G_m	Вебер тақсим ампер	—	Г
Электр тоқининг зичлиги	δ	Ампер тақсим квадрат метр	—	А/м ²
Электр зарядининг зичлиги ҳажмий; юзак	ρ, σ	Кулон тақсим метр куб, кулон тақсим метр квадрат	—	Кл/м ³ Кл/м ²
Магнит индукцияси	B	Вебер тақсим метр квадрат	Тесла	Т
Электр майдонининг кучланганлиги	E	Вольт тақсим метр	—	В/м
Магнит майдонининг кучланганлиги	H	Ампер тақсим метр	—	А/м
Солиштирама электр қаршилиги	ρ	Ом-метр	—	Ом/м
Солиштирама электр ўтказувчанлик	ν	Сименс тақсим метр	—	См/м
Абсолют диэлектрик сингдирувчанлик	ϵ_a	Фарада тақсим метр	—	Ф/м
Электр доимийси	ϵ_0			
Абсолют магнит сингдирувчанлик	μ_a	Генри тақсим метр	—	Г/м
Магнит доимийси	μ_0			
Частота	f	Давр тақсим секунд	Герц	Гц

МУНДАРИЖА

Русча нашрига сўз боши	3
Биринчи боб. Ўзгармас токнинг тармоқланмаган занжири .	5
1-1. Бир энергия манбаили занжир	5
1-2. Бир неча э.ю.к. ли занжир. «Генератор» ва «Истеъмолчи» режимдаги энергия манбалари	10
1-3. Электр занжирли нуқталарининг потенциали. Потенциал диаграмма	13
1-4. Мустақил ечиш учун масалалар	17
61-5. Намунали контрол масала	19
1-. Биринчи боб масалалари учун жавоблар	20
Иккинчи боб. Ўзгармас токнинг бир энергия манбаили тар- моқланган занжири	21
2-1. Э.ю.к. манбандан таъминланадиган икки тугунли зан- жир. Занжирни ҳисоблаш	21
2-2. Ток манбандан таъминланадиган икки тугунли зан- жир. Занжирни ҳисоблаш	27
2-3. Бир неча тугунли занжир. Занжирни ҳисоблаш	32
2-4. Ўзгартириш усулини қўллаб занжирни ҳисоблаш	37
2-5. Мустақил ечиш учун масалалар	40
2-6. Намунали контроль масала	45
2-7. 2-боб масалаларига жавоблар	46
Учинчи боб. Турли шохобчаларга уланган бир неча энергия манбаили тармоқланган ўзгармас ток занжири	47
3-1. Тоқларни йшгиш усули	47
3-2. Кирхгоф тенгламлари усули	51
3-3. Контур тоқлари усули	56
3-4. Икки тугун усули	58
3-5. Эквивалент э.ю.к. манбаи усули. Ўзгарувчан юкла- ниш режими	62
3-6. Мустақил ечиш учун масалалар	67
3-7. Намунали контрол масала	69
3-8. 3- боб масалаларига жавоблар	70
Тўртинчи боб. Тўрт қутбликлар	71
4-1. Тўрт қутблик схемасининг параметрлари. Берилган тўртқутбликни ҳисоблаш	71
4-2. Салт ишлаш ва қисқа туташини тажрибаларидан олин- ган натижалар асосида тўртқутбликни ҳисоблаш	80
4-3. Тўртқутбликнинг ўрин алмашинадиган схемасининг параметрларини аниқлаш	84
4-4. Мустақил ечиш учун масалалар	86
4-5. 4- бобдаги масалалар учун жавоблар	86

Бешинчи боб. Характеристикалари тўғри чизиqli бўлмаган ўзгармас токнинг занжирлари	87
5-1. Характеристикалари тўғри чизиqli бўлмаган элементларни кетма-кет улаш	87
5-2. Характеристикалари тўғри чизиqli ва эгри чизиqli элементларни кетма-кет улаш	92
5-3. Тўғри чизиqli элементларни параллел улаш	99
5-4. Мустақил ечиш учун масалалар	101
5-5. 5-бобдаги масалаларга жавоблар	103
Олтинчи боб. Ўзгармас токнинг магнит майдони. Магнит занжири	104
6-1. Тоқли ўтказгич бир жинсли магнит майдонида	104
6-2. Тоқли тўғри симнинг магнит майдони	110
6-3. Бир нечта симларнинг магнит майдони	116
6-4. Тармоқланган магнит занжири	121
6-5. Тармоқланган симметрик магнит занжири	128
6-6. Мустақил ечиш учун масалалар	130
6-7. 6-боб масалаларига жавоблар	133
Еттинчи боб. Электромагнит индукцияси	134
7-1. Симдаги электромагнит индукциясининг электр юритувчи кучи	134
7-2. Контурда (галтакда) электр магнит индукциясининг электр юритувчи кучи	139
7-3. Галтакларнинг индуктивлиги	143
7-4. Ўзаро индуктивлик. Ўзаро индукция электр юритувчи кучи	145
7-5. Мустақил ечиш учун масалалар	148
7-6. 7-боб масалаларига жавоблар	152
Саккинчи боб. Электр майдони	153
8-1. Нуқтавий заряднинг электр майдони	153
8-2. Бир нечта нуқтавий зарядларнинг электр майдони	159
8-3. Бир жинсли электр майдони	163
8-4. Мустақил ечиш учун масалалар	168
8-5. 8-боб масалаларига жавоблар	171
Тўққизинчи боб. Электр сифими	172
9-1. Конденсаторлар уландининг умумий сифимни хисоблаш	172
9-2. Ясси конденсатор	173
9-3. Цилиндрик конденсатор	176
9-4. Мустақил ечиш учун масалалар	179
9-5. 9-боб масалаларига жавоблар	181

У н я н ч и б о б Узарувчан токнинг тармоқланмаган занжири	181
10-1. Синусоидал катталикларнинг тасвирлари	181
Векторли ва ўлчовинсимон диаграммалар	188
10-2. Актив қаршиликли ва индуктивликли занжир	193
10-3. Резистор ва индуктивлик едтагидан тузилган занжир	
10-4. Актив қаршиликлидан ва сизимдан иборат занжир	199
10-5. r , L ва C дан тузилган занжир	203
10-6. Бир неча актив ва реактив элементлардан иборат занжир.	208
10-7. Мустақил ечиш учун масалалар	212
10-8. Намунали контрол масала	218
10-9. 10-боб масалаларига жавоблар	218
У н б я р и н ч и б о б. Узарувчан токнинг тармоқланган занжири	221
11-1. Тармоқланган занжирни ҳисоблаш учун векторлар диаграммасини қўллаш	221
11-2. Занжирни ўтказувчанликлар усули билан ҳисоблаш	
11-3. Қувват коэффициентини яхшилаш	227
11-4. Мустақил ечиш учун масалалар	230
11-5. Намунали контрол масала	234
11-6. 11-боб масалаларига жавоблар	238
У н и к к и н ч и б о б. Электр занжирида резонанс	240
12-1. Узарувчан реактив қаршиликлари бўлган тармоқланмаган занжир. Частота ва фаза характеристикалари	240
12-2. Қучланишлар резонанси режими. Резонанс эгри чиқиқлари.	245
12-3. Токлар резонанси режими	250
12-4. Мустақил ечиш учун масалалар	257
12-5. 12-боб масалаларига жавоблар	260
У н у ч и н ч и б о б. Узарувчан ток занжирларини ҳисоблашда комплекс сонларни қўллаш	262
13-1. Комплекс токлар, қучланишлар ва қаршилиқлар	262
13-2. Фақат параллел шохобчаларга эга бўлган тармоқланган занжир	266
13-3. Параллел ва кетма-кет қисмлари бўлган тармоқланган занжир	269
13-4. Узаро индуктивликли тармоқланган занжир	275
13-5. Мураккаб занжир	278
13-6. Мустақил ечиш учун масалалар	281
13-7. 13-боб масалаларига жавоблар	286
У н т ў р т и н ч и б о б. Уч фазали занжир	287
14-1. Э.ю.к. нинг уч фазали системаси. Уч фазали генераторлар чулғамларининг уланиши	287
	369

14-2. Тўрт симля занжир	291
14-3. Истеъмолчилари юлдуз шаклида уланган учсимлик занжир	297
14-4. Истеъмолчили учбурчак шаклида уланган учсимлик занжир	303
14-5. Мустақил ечиш учун масалалар	308
14-6. Намунали контрол масала	311
14-7. 14-боб масалаларига жавоблар	312
Ўн бешинчи боб. Носинусондал тоқлар	313
15-1. Даврий эгри чизиқларни гармоник ташкил этувчялари	313
15-2. Носинусондал энергия манбаили электр занжири	317
15-3. Мустақил ечиш учун масалалар	322
15-4. 15-боб масалаларига жавоблар	323
Ўн олтинчи боб. Ўзгарувчан тоқнинг характеристикаси. Эгри чизиқли занжирлар	324
16-1. Характеристикаси эгри чизиқли қаршиликлар синусондал сигналларни носинусондал сигналларга айлантириши сифатида	324
16-2. Ўзгарувчан кучланишни ўзгармас кучланишга ўзгартириш учун вентил қаршиликларни иплатиши	329
16-3. Ўзгарувчан кучланишдан таъминланадиган пўлат магнит ўтказгичли галтак	334
16-4. Мустақил ечиш учун масалалар	339
16-5. 16-боб масалаларига жавоблар	341
Ўн еттинчи боб. Тўғри чизиқли электр занжирларида ўткинчи процесслар	342
17-1. Тоқ ва кучланишларини бошланғич ва охириги қийматларни аниқлаш	342
17-2. r, L дан иборат занжирда ўткинчи тоқлар ва кучланишларни аниқлаш	350
17-3. r, C занжирда ўткинчи тоқлар ва кучланишларни аниқлаш	355
17-4. Мустақил ечиш учун масалалар	360
17-5. 17-боб масалаларига жавоблар	362
ИЛОВАЛАР	362