

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA
O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

O'RTA MAXSUS KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

A.A. XALIKOV, F.F.UMAROV, A.U. TURSUNBOYEV

RADIOTEKNIKA ASOSLARI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

3522200 – “Telekommunikatsiya”, 3522205 – “Stansiya va poyezd
qurilmalariga xizmat ko'rsatish va ta'mirlash bo'yicha
elektromexanik” yo'nalishlari talabalari

TOSHKENT
«IQTISOD–MOLIYA»
2013

UO'K 621.396.67

KBK 32.84

R-13

Taqrizchilar: **Yu.G. Shipulin** – t.f.d. prof.,
A.N. Mannopov – t.f.n. dots.

Xalikov A.A.

Radiotexnika asoslari: kasb-hunar kollejlari o'quv qo'llanma / A.A. Xalikov, F.F. Umarov, A.U. Tursunboyev; O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi markazi. – T.: «IQTISOD-MOLIYA», 2013, -192 b.

“Radiotexnika asoslari” o'quv qo'llanmasi radialoqa bilan bog'liq bo'lgan kasb-hunar kollejlari uchun mo'ljallangan.

O'quv qo'llanma: Kirish, Radioaloqa haqida umumiy ma'lumot, konturda erkin tebranishlar, konturda majburiy tebranishlar, elektr filtrlar, elektromagnit to'lqinlar va ularning tarqalishi, to'lqin yuritgichlar va hajmiy rezonatorlar, turli radioto'lqinlarning tarqalishi va antennalar kabi o'nta bo'limdan iborat.

“Radiotexnika asoslari” o'zining asosiy vazifasi bo'yicha o'quvchilarga turli jarayonlar haqida ma'lumot berish bilan birga, zamonaviy radiotexnika vositalarini qo'llash maqsadida barcha holatlarni to'liq o'z ichiga olgan.

O'quv qo'llanmada fizik jarayonlarga yondashgan holda matematik formulalarga ham alohida etibor qaratilgan, bu esa amalda qo'llaniladigan jarayonlarda hisoblash ishlarini amalga oshirish imkonini beradi.

UO'K 621.396.67

KBK 32-08ya722

ISBN 978-9943-13-422-5

© «IQTISOD-MOLIYA», 2013

© Mualliflar, 2013

KIRISH

Radiotexnika fan va texnikaning keng sohasi bo'lib, uning asosiy vazifasi elektromagnit to'lqinlar yordamida ma'lumotni uzoq masofaga uzatish va uni qabul qilishdan iborat.

Hozirgi vaqtda radiotexnikaning turli tarmoqlari mavjud. Ular uzatilayotgan ma'lumot turi bilan farq qiladilar. Masalan, radiotelegrafiyada ma'lumotni uzatishda shartli telegraf signallari ko'rinishida, radiotelegrafiya va radioeshittirishlarda tovush signallari ko'rinishida, televideniya – harakatlanuvchi tasvirdan, radiolokatsiyada obyektlar koordinatalariga to'g'ri keladi.

Ma'lumot deganda xabarlarining biron-bir jarayondagi majmuasi, predmetning (obyektning) holati, uning fazodagi joylashishi tushuniladi. Xabar uzluksiz yoki uzlukli (diskret) bo'lishi mumkin. Ular tovush tebranishlari, telegraf kodi, harakatsiz yoki harakatlanuvchi tasvir, obyekt koordinatalari haqidagi xarakterga ega bo'lishi mumkin.

Ma'lumotni elektr usulida uzatish uchun:

a) uzatuvchi punktda xabarni elektr signalga o'zgartirish kerak (elektr signalni qisqacha signal deb ataymiz);

b) hosil qilingan signalni uzatish uchun uzatuvchi va uni qabul qiluvchi punkt orasida aloqa liniyasi bo'lishi kerak;

d) qabul qiluvchi punktda signalni xabarga aylantirish kerak.

Barcha o'zgarishlar shunday amalga oshirilishi kerakki, bunda signal va xabar iloji boricha bir-biriga to'g'ri kelishi lozim. Shunda ma'lumot to'g'ri aks ettiriladi.

Elektr signallarning xarakteri kuchlanish, tok, elektr kuchlanganlik va magnit maydonining vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan aniqlanadi. Bu o'zgarishlar uzatilayotgan xabarni qaysidir belgi bo'yicha ifodalashi kerak.

Signallar xabar bilan bir vaqtda katta bo'lmagan elektromagnit energiyasini ham olib o'tadi. Ammo signallar katta quvvatdagi elektr manbalarini boshqarish imkonini beradi va bunda ularning energetik ta'siri nisbatan yuqori bo'ladi.

Radioaloqa liniyasi orqali signal uzatiladi. Signal o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlar ko'rinishida bo'lib, ular birgalikda nurlantiriladi. Bu maydonlar yigindisi fazoda tarqatiladi. Bu maydonlar yig'indisi elektromagnit to'lqinlarini hosil qiladi.

Radiotexnikaning asosiy xususiyatlari nimada va radioaloqa simli aloqadan nimasi bilan farq qiladi? Bu savollarga javob berish uchun telefon aloqasidan radio telefon aloqasiga o'tishni ko'rib chiqamiz.

Mikrofon oldida tovush tebranishlari hosil bo'lguncha ($t < t_0$) zanjirning qarshiligi doimiy, shuning uchun zanjirdagi tok o'zgarmaydi. ($i = T_0$) va telefon membranasini harakatsiz. Tovush tebranishlari mikrofon membranasiga ta'sir qilganda $t = t_0$, mikrofonning ko'mir kukunlari goh zichlanib, goh kengayadi, kukunning qarshiligi tovush tebranishlariga mos ravishda o'zgaradi. O'z navbatida i tok ham o'zgaradi. Bu tok telefonning elektromagnitidan o'tganligi tufayli, telefonning membranasini mexanik tebranishlar hosil qiladi va u uzatilayotgan tovushni eshittiradi.

Hosil bo'lgan i tok elektr signali hisoblanadi, u uzatilayotgan xabarni aks ettiradi.

Agar bu xabar bo'lsa – sof tovush toki, ya'ni signal sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarishi kerak, uning tenglamasi:

$$i = I_0 + I_m \sin \Omega(t - t_0) = I_0 + I_m \sin 2\pi F(t - t_0)$$

bunda: $i - t > 0$ vaqt momentidagi tok (tokning oniy qiymati);

I_0 – tovushli xabar mavjud bo'lmagandagi tok;

I_m – o'zgaruvchan tashkil etuvchi tok amplitudasi;

F – tovushli xabar chastotasi;

$\Omega = 2\pi F$ – tovushli xabarning burchak chastotasi;

t_0 – tovushli xabarning boshlanish vaqti.

Tovush qanchalik baland bo'lsa, mikrofonning ko'mir kukuniga ta'sir etadigan bosim ham shunchalik katta bo'ladi va o'zgaruvchan tashkil etuvchi I_m tok amplitudasi ham shunchalik katta bo'ladi. Agar tovush toni qanchalik yuqori bo'lsa, tebranishlar

shunchalik ko'p bo'ladi, bu esa signal chastotasi F ni ko'payishiga asos bo'ladi.

Inson qulog'i tovush tebranishlarining $F_{\min} = 16$ Hz dan $F_{\max} = (16 - 20)$ kHz gacha bo'lgan oralig'ini qabul qiladi.

Radiotelefoniya, ya'ni tovush xabarlarini elektromagnit to'lqin yordamida uzatish. Oraliq bosqichida ikki zanjirdan tashkil topgan sxemani ko'rib chiqamiz (2-rasm). Uzatuvchi, doimiy kuchlanish manbasi U_o , mikrofon M va induktivlik L_{uzat} tashkil topgan va qabul qiluvchi, induktivlik $L_{q,q}$ va telefon T dan tashkil topgan.

Zanjirlar magnit maydoni bilan bog'langan ikkala induktiv g'altakni o'z ichiga oladi. Uzatuvchi zanjirning toki tovush tebranishlari qonuni bo'yicha pulslanadi. O'z navbatida magnit maydon toki ham o'zgaradi. Maydoning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi qabul qiluvchi zanjirda EYuKni induksiyalaydi va unda telefonga ta'sir ko'rsatuvchi tovush chastotali tok hosil qiladi.

Bu usul bilan simsiz aloqani tashkil qilish mumkindek tuyuladi. Haqiqatda esa buning iloji yo'q. Bio-Savar qonuniga asosan doimiy yoki sekin-asta o'zgaruvchi tok keltirib chiqargan magnit maydon kuchlanuvchanligi o'tkazgichli tokdan r masofada uning to'rtinchi darajasiga proporsional boladi. Agar maydon energiyasi kuchlanuvchanlik kvadratiga proporsionalligini inobatga olsak, energiya zichligi r masofada to'rtinchi darajaga proporsional kamayadi. Bunday sharoitda kichik masofada va zanjirlar orasidagi kuchli bog'lanishda telefon membranasi intensiv tebranishlarini hosil qilishga erishish mumkin. Signallarni erkin o'zgaruvchan elektromagnit maydon yordamida uzatishda boshqacha nisbatlar olinadi.

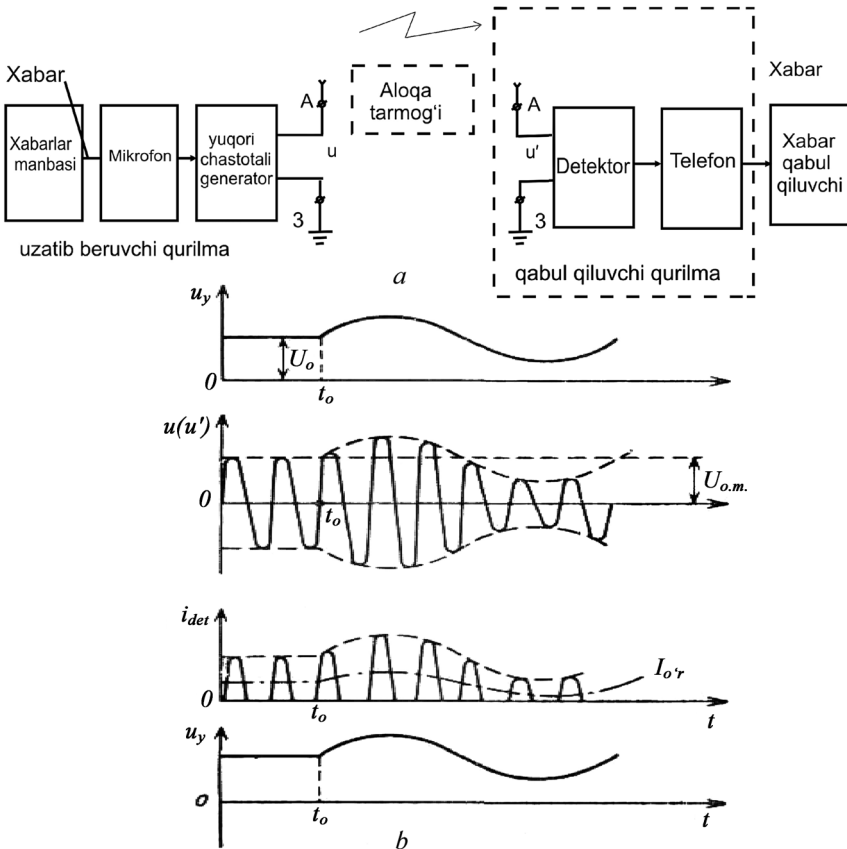
Faraz qilaylik, bizda erkin elektromagnit maydon hosil qilingan, ya'ni manba uyg'otgandan uzluksiz uzoqlashayotgan va unga qaytib kelmaydigan, uyg'otgich quvvati P_{Σ} bo'lgan elektromagnit to'lqinlar tarqatsin. Agar tashqi muhitdagi elektromagnit energiyasi yutinishini inobatga olmasak, u holda tarqatilayotgan barcha energiya sfera orqali o'tadi. Sferaning r radiusida uning yuzasi $4\pi r^2$ ga teng, quvvat oqimi zichligi esa ush-

bu sfera orqali o'tuvchi $P=P_{\Sigma}/4\pi r^2$, bu zichlik r masofa kvadratika teskari proporsional. Demak, elektromagnit to'liqlari oqimi quvvatining zichligi maydon kuchlanuvchanligi kvadratika proporsional. Agarda uzatuvchi antenna yuqori chastotali tok bilan oziqlantirilsa, u holda induksiya hududidan nurlanish hududi keladi, unda elektromagnit maydoni erkin; erkin maydon energiyasi uzatuvchi antennaga qaytib kelmaydi, balki elektromagnit to'liqin ko'rinishida turli yo'nalishlarda tarqaladi. Antennadan uzilgan maydon elektromagnit to'liqlarini hosil qiladi va fazoda yorug'lik tezligi bilan tarqaladi.

Maydon induksiya qanchalik tez o'zgarsa, maydon nurlanishi intensivligining hosil bo'lishi shunchalik tez bo'ladi. Shuning uchun effektiv radioto'liqin nurlanishi faqatgina yuqori chastotalardagina bo'lishi mumkin. Bu yuqori chastotalar radiochastotalar deb nomlanadi. Tovush chastotalarida ham nurlanishni amalga oshirsa bo'ladi, ammo buning uchun juda katta o'lchamdagi antennalar talab qilinadi. Keyingi vazifa ma'lumotni radioto'liqlar orqali qanday qilib uzatish mumkinligidir: chunki to'liqlar yuqori chastotaga ega, ma'lumotni aks ettiruvchi signal esa nisbatan past chastotaga ega. Buni modulyatsiya yordamida amalga oshiriladi. Modulyatsiya jarayonida yuqori chastotali radiosignal past chastotali signalning qonuni bo'yicha o'zgartiriladi. O'zgarish qonuni amplituda, chastota yoki faza bo'yicha bo'lishi mumkin. Modulyatsiyalangan yuqori chastotali tebranishlar ma'lumotni tashuvchi hisoblanadi.

I bob. RADIOALOQA HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT

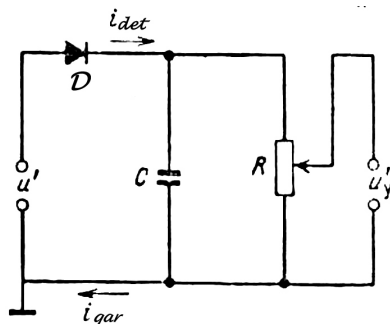
Radioaloqa haqida ma'lumotga ega bo'lish uchun radiotelefon aloqasini tashkil etishning soddalashtirilgan tarkibiy sxemasini ko'rib chiqamiz (1.1-rasm). 1.1- a rasmda radiotelefon aloqasining soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan bo'lsa, 1.1- b rasmda kuchlanish va toklarning unga to'g'ri keluvchi vaqt diagrammalari keltirilgan.



1.1-rasm. Radiotelefon aloqasini tashkil etishning soddalashtirilgan tarkibiy sxemasi va kuchlanish va toklarning unga to'g'ri keluvchi vaqt diagrammalari.

$t = t_0$ vaqt momentigacha ma'lumot manbayidan uzatish moslamasiga xabar kelmayapti. Shuning uchun mikrofondan olingan kuchlanish ($u_b = U_0$) doimiy, modulyatsiya jarayoni hosil bo'lmagan va yuqori chastotali generator hosil qilgan radiosignal kuchlanishi i uzatuvchi antenna qutblarida mavjud, u $U_{o.m.}$ doimiy amplitudaga va $\omega_0 = 2\pi f_0$ tashuvchi chastotaga ega. Tovushli xabar mikrofondan berilgan ($t = t_0$) momentda mikrofon uni past chastotali boshqaruvchi u_b signalga o'zgartiradi. Bu signal bilan yuqori chastotali generator tebranishlari modulyatsiyalanadi. Ushbu holda amplitudali modulyatsiya kuzatilmoqda, ya'ni tashuvchi chastotasining amplituda tebranishlari boshqaruvchi signalning oniy qiymatlari qonuni bo'yicha o'zgarimoqda. Hosil qilingan i radiosignal radioto'lqin ko'rinishida uzatuvchi antenna yordamida fazoga nurlantiriladi. Radio to'lqinlar qabul qiluvchi antennaga yetib borgach, uni to'lqinlantiradi va uning qutblarida i kuchlanish hosil qiladi, bu kuchlanish uzatuvchi antenadagi radiosignal ko'rinishini ifodalaydi. Antennadan tashqari radio qabul qilish moslamasi detektor va telefondan iborat. Detektor radiosignalni boshqaruvchi signalga o'zgartirsa, telefon esa boshqaruvchi signal ta'sirida tovush tebranishlari hosil qiladi va uni eshittiradi.

Detektor sxemasi (1.2-rasm) bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan elementdan (ko'rilayotgan holda D yarim o'tkazgichli dioddan), C blokironlovchi kondensator va R yuklama qarshiligidan tashkil topgan.



1.2-rasm. Detektor sxemasi.

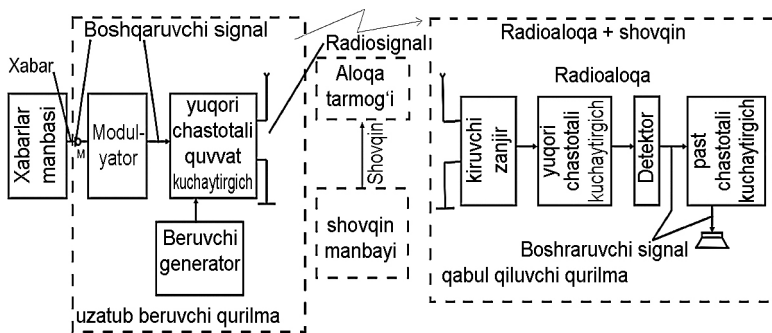
Diodning mavjudligi detektor zanjirida i_{det} tokini faqatgina bir yo'nalishda o'tishini ta'minlaydi va uning amplitudasi boshqaruvchi signalning vaqt qonuni bo'yicha o'zgarishini ifodalaydi (1.1- b rasm). Har qanday pulslanuvchi tok tahlili shuni ko'rsatadiki, uning tarkibi pulslanuvchi tokning o'zgarishini ifodalovchi $I_{o'r}$ o'rtacha tok va o'rtacha tokka nisbatan o'zgaruvchi o'zgaruvchan tokdan tashkil topadi. Detektor sxemasida pulslanuvchi tokning o'rtacha tashkil etuvchisi boshqaruvchi signalning ko'rinishiga to'g'ri keladi, qolgan tashkil etuvchilari esa bu tokning yuqori chastotalari.

Yuqori chastotali va past chastotali toklarni ajratish uchun C kondensator (1.2-rasm) shunday tanlanadiki, kondensatorning sig'im qarshiligi boshqaruvchi signal chastotasiga Ω nisbatan katta, tashuvchi ω_0 chastota R aktiv qarshilikka nisbatan kichik,

ya'ni $\frac{1}{\omega_0 c} \ll R \ll \frac{1}{C}$ bo'lishi kerak. Bunday nisbatda yuqori

chastotali toklar sig'im orqali o'tsa, o'rtacha past chastotali toklar esa aktiv qarshilik orqali o'tadi. Natijada detektor yuklamasidan $u_b = I_{Fp} \cdot R$ kuchlanish olinadi u boshqaruvchi signal qonuni bo'yicha o'zgaradi.

1.3-rasmdagi tarkibiy sxema yuqorida keltirilgandan bir oz murakkab bo'lib, amaliyotda keng qo'llaniladi. Bu sxema ayrim tushuntirishlarni talab qiladi.



1.3-rasm. Radiotelefon aloqasini tashkil etishning tarkibiy sxemasi.

1. Real sharoitda radio qabul qilgichga foydali radiosignal bilan birga begona yuqori chastotali tebranishlar, xalaqitlar ham ta'sir ko'rsatadi. 1.3-rasmda soddalashtirish maqsadida barcha xalaqitlar manbayi bir joyga jamlangan.

2. Bir vaqtda ishlayotgan radiostansiyalarning o'zaro xalaqitlarini yo'qotish uchun ulardan har biriga aniq bir tashuvchi chastota ajratiladi va qabul qilgichga chastota bo'yicha signallarni tanlovchi sxema kiritiladi. Qabul qilgichda chastota bo'yicha tanlovchanligini amalga oshiradigan birinchi zveno kirish zanjiri hisoblanadi.

Chastotalidan tashqari, fazoviy tanlovchanlik ham mavjud, buni amalga oshirish yo'naltirilgan antennalarni qo'llash bilan bajariladi, nurlanish va radioto'lqinlarni qabul qilish aniq yo'nalishlarda amalga oshiriladi.

3. Sifatli detektorlash uchun detektorning kirishidagi signal sathi xalaqit sathiga nisbatan yetarlicha katta bo'lishi kerak. Ko'p hollarda qabul qilgichga nisbatan kuchsiz signallar beriladi, chunki radioto'lqinlar fazoda tarqalishida atmosferada, yerda o'rab turgan predmetlarda yutinadi. O'z navbatida uzatuvchi antenna nurlantirilgan radioto'lqinning 10^{-20} quvvatt qabul qilgichning kirish qismiga keladi.

Bunday sharoitlarda talab qilingan signal bo'yicha amplitudani olish uchun quyidagilar amalga oshiiladi:

a) yuqori chastotali generatorga yuqori chastotali quvvat kuchaytirgichi kiritiladi (1.3-rasm). Unda uzatuvchi antennadagi tashuvchi chastota toki birinchi kaskad bo'lgan beruvchi generatoridan beriladi. Quvvat kuchaytirgich bosqichlari antennada talab qilingan tok quvvati bilan belgilanadi.

O'z navbatida nisbatan katta quvvatli tashuvchi chastota tebranishlarini, nisbatan katta quvvatli boshqaruvchi signal bilan modulyatsiyalash kerak. Shu maqsadda mikrofon va yuqori chastotali generator orasiga past chastotali kuchaytirgich kiritiladi.

Bu kuchaytirgich modulyator deb nomlanadi;

b) antennaning yo'naltirish xususiyati faqatgina fazoviy tanlovchanlikni emas, balki radioaloqa liniyasi yo'nalishida

radiosignal energiyasi oqimini kuchaytirishni ham amalga oshiradi;

d) qabul qilgichning sezgirligini oshirish uchun kirish zanjiri va detektor orasiga yuqori chastotali kuchaytirgich ulanadi. Yuqori chastotali kuchaytirgich qabul qilgichning chastota bo'yicha tanlovchanligini oshirish uchun uning yuklamasi shunga moslab olinadi.

4. Detektorlangan signalning tovush balandligini oshirish uchun past chastotali kuchaytirgichdan foydalaniladi, shundan so'ng kuchaytirilgan tovushli xabar radiokarnayda eshittiriladi.

Radioaloqaning sifati birinchi navbatda uzatilayotgan ma'lumotni eshittirishdagi haqqoniyligi bilan baholanadi. Aloqa kanali zvenolari qanchalik kam buzilishlar kiritrsa, haqqoniylik shunchalik yuqori bo'ladi. Shu nuqtayi nazardan modulyator sifati, uning chiqishidagi kuchlanish uzatilayotgan xabarga qanchalik mos kelishi bilan, antenna, kirish zanjiri va yuqori chastotali kuchaytirgich sifati radiosignalning ko'rinishi qanchalik saqlanganligi bilan, detektorning sifati detektorda ajratilgan boshqaruvchi signalni radiosignal o'zgarishlariga to'g'ri kelishi bilan aniqlanadi.

II bob. KONTURDA ERKIN TEBRANISHLAR

2.1. Ideal konturda erkin tebranishlar

Induktiv g'altakdan va sig'imdan tashkil topgan berk zanjir tebranish konturi deb ataladi. Tebranish konturida hosil bo'ladigan tebranishlar unga berilgan tashqi elektr manbai turiga ko'ra erkin yoki majburiy bo'lishi mumkin.

Induktivlikdan va sig'imdan tashkil topgan beri zanjirda hosil bo'ladigan tebranish jarayonlarini ko'rib chiqamiz. Tebranish konturini ideal holatda deb hisoblaymiz, shuning uchun uning elementlari qarshiligini nolga teng deb olamiz. Ideal tebranish konturida elementlar qarshiligi nolga teng bo'lganligi uchun konturda energiya yo'qolishi kuzatilmaydi.

Ideal konturda tebranishlar hosil bo'lish jarayonini ko'rib chiqish uchun 2.1-rasmdagi sxemani olamiz.

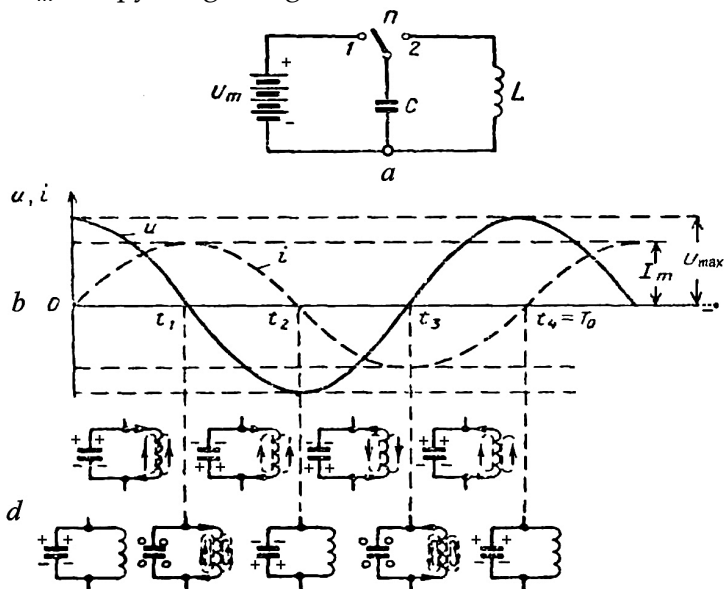
Ideal konturning kondensatorini U_m manba kuchlanishigacha zaryadlab olish uchun P ulab-uzgichni 1 holatga qo'yamiz (2.1- *a* rasm). Kondensatorning ustki qutbi musbat zaryad olsa, pastki qutbi esa manfiy zaryad oladi. Kondensator qutblari orasidagi elektr maydon energiyasi $W_c = CU_m^2 / 2$ qiymatga teng bo'ladi.

Vaqt hisobini $t=0$ momentdan boshlaymiz (2.1- *b* rasm), bunda P ulab-uzgich 2 holatga qo'yiladi. Hosil qilingan konturda sig'imning elektr yurgazuvchi kuchi muhim rol o'ynaydi (2.1- *d* rasm). Bu elektr yurgazuvchi kuch (EYuK) induktivlikda tok o'tkazuvchanligi hosil qiladi.

Elektromexanikaning shartli qabul qilingan qonuni bo'yicha kondensatorning razryadlanish toki uning yuqori qutbidan pastki qutbi tomon yo'nalgan bo'ladi. Kondensatorning razryadlanishi mobaynida ($t=0 \div t_1$ 2.1- *b* rasmda) undagi kuchlanish $u = U_m$ qiymatdan $u = 0$ qiymatgacha kamayadi, zanjirdagi tok esa $t=0$ qiymatdan $i = I_m$ qiymatgacha ortadi.

Konturda tok hosil bo'lishi bilan EYuK o'zinduksiyasi hosil bo'ladi, u esa o'z navbatida tokning o'sishiga to'sqinlik qila-

di. EYuK o'zinduksiyasi qarama-qarshiligining omili shundaki, induktiv g'altakka kondensatordan energiya berilganligidir. Haqiqatdan ham kondensatorning razryadlanishi oxirida kondensatorning elektr maydon kuchlanuvchanligi undagi kuchlanish kabi nolga teng bo'ladi, magnit maydoni esa, tokka proporsional bo'lganligi uchun maksimal bo'ladi va undagi energiya $W_1 = LI_m^2 / 2$ qiymatga teng.



2.1-rasm. Ideal konturda tebranishlar hosil bo'lish jarayonini ifodalovchi sxema va kuchlanish hamda tokning vaqt diagrammasi.

$t = t_1$ vaqt momentidan boshlab ikkinchi bosqich jarayoni boshlanadi. Unda yetakchi vazifani EYuK o'zinduksiyasi bajaradi, sig'imning EYuK tokka qarshilik ko'rsatadi. Boshlang'ich davrda $u = 0$ bo'lishiga qaramay, tok keskin bir zumda yo'qolmaydi, chunki tokning kamayishi magnit maydon kuchlanuvchanligi kamayishi bilan kuzatiladi. Bu esa induktiv g'altakda EYuK o'zinduksiyasini hosil qiladi. Lens qonuni bo'yicha tokning keskin kamayishiga to'sqinlik qiladi va uning yo'nalishi shu holatda bo'lishini ta'minlaydi. Bu tok bilan kondensator

zaryadlanadi va zaryadlanish toki yo'nalishiga mos ravishda kondensatorning pastki qutblari musbat zaryad, ustiki qutbi manfiy zaryad oladi (2.1- d rasm). Demak, sig'imning EYuK ortadi va bunda u EYuK o'zinduksiyasiga qarama-qarshi fazada bo'ladi. Bu esa kondensatorni zaryadlanish vaqtini $t_1 \div t_2$ gacha uzaytiradi. U $t = 0 \div t_1$ ga teng. Qachonki tok nolgacha kamaysa ($i = 0$), konturdagi kuchlanish manfiy maksimumgacha erishadi ($i = -U_{\max}$) va magnit maydon energiyasi to'liq elektr maydon energiyasiga o'zgaradi. Elektr maydon energiyasi $W_c = CU_m^2 / 2$ qiymatga teng bo'ladi.

Kondensatorida jamg'arilgan elektr maydon energiyasi hisobiga EYuK sig'imi yana yetakchi bo'lib qoladi (2.1- d rasm).

U tok hosil qiladi, uning o'sishiga EYuK o'zinduksiyasi to'sqinlik qiladi.

EYuK va konturdagi u kuchlanish teskari qutblanganligi uchun $t = 0$ momentdagi qutblanganlikka nisbatan teskari, u holda kondensatorning razryadlanish toki yo'nalishi ham teskari. Tokning maksimal qiymatida ($i = -I_m$) kondensatorning to'liq razryadlanishida ($u = 0$) kuzatiladi. Bu momentda ($t = t_3$, 2.1- b rasmda) elektr maydon energiyasi to'liq magnit maydon energiyasiga o'zgaradi.

Keyingi vaqt bo'lagida ($t_3 \div t_4$) kondensator $u = U_{\max}$ maksimal kuchlanish qiymatiga i tok bilan zaryadlanadi. Sig'imning EYuK kondensatorning zaryadlanish jarayoniga to'sqinlik qiladi, buning natijasida tok nolgacha kamayadi, magnit maydon energiyasi esa to'liq kondensatorning elektr maydon energiyasiga o'zgaradi.

$t = t_4$ vaqtda sxema dastlabki holatga keldi va yuqorida keltirilgan jarayon cheksiz qaytarilishi mumkin, ya'ni ideal konturda tok va kuchlanish garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$u - U_m \cos \omega_0 t = U_m \sin (\omega_0 t + 90^\circ),$$

$$i = I_m \sin \omega_0 t,$$

bu yerda, u, i – kuchlanish va tokning oniy qiymatlari;

U_m, I_m – kuchlanish va tokning amplitudaviy qiymatlari;

ω_0 – kuchlanish va tokning burchak chastotasi.

Ifodalangan kuchlanish va tokning o'zgarish davri $T_0 = 1/f_0 = 2\pi/\omega_0$ ga teng, vaqt bo'laklari esa $0 \div t_1 = t_1 \div t_2 = t_2 \div t_3 = t_3 \div t_4$ davrning to'rtidan bir qismini tashkil qiladi.

Konturdagi kuchlanish va tok yo'qolishlarsiz faza bo'yicha 90° siljigan. Bu esa konturning L induktivlik va C sig'im elementlaridagi reaktiv quvvat xarakteriga mos keladi. Agarda konturda aktiv quvvat ajralganda edi, u holda elektr manbayisiz uzluksiz sinusoidal tok olishning imkoni bo'lmas edi.

Konturda hosil bo'ladigan tebranishlar elektromagnit tebranishlar deyiladi. Bunday deb atalishiga sabab konturdagi elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga, magnit maydon energiyasi esa elektr maydon energiyasiga davriy ravishda aylanib turishidir. Aylanish jarayonida energiyaning yo'qolishlari sodir bo'lmaganligi va tashqi EYuK manbayi ishtirokisiz konturda dastlabki jamlangan energiya hisobiga hosil bo'lgan tebranishlar erkin tebranishlar deyiladi.

Kontur ichida ikkita jamlangan energiya, EYuK o'zinduksiyasi va EYuK sig'imi energiyasi mavjud. Birinchisi kondensatordagi kuchlanish o'sishini hosil qilsa, ikkinchisi unga to'siq vazifasini bajaradi. Agarda sig'imning EYuK induktiv g'altakdagi tok o'sishini hosil qilsa, u holda EYuK o'zinduksiyasi unga to'siq vazifasini bajaradi.

2.2. Ideal konturdagi erkin tebranish xususiyatlari

Ideal konturdagi erkin tebranishlar quyidagilar bilan xarakterlanadi.

1. Konturda yo'qolishlar bo'lmaganligi uchun elektromagnit energiyasi o'zgarishlarsiz saqlanadi, erkin tebranishlar amplitudasi doimiy bo'lib qoladi, ya'ni tebranishlar so'nmas xarakterga ega bo'ladi. L induktivlik va C sig'imdan tashkil topgan konturda erkin tebranishlar hosil bo'lishida yo'qolishlarning mavjud emasligi, kuchlanish va tok orasidagi fazalarning 90° siljiganligi bilan tasdiqlanadi. O'z navbatida, bu konturda sarflanadigan aktiv quvvatning nolga tengligini ifodalaydi.

$$P = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos 90^\circ = 0.$$

2. Elektr va magnit maydon energiyalarining maksimal qiymatlari tengligi asosida

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI^2}{2} \quad (2.1)$$

va kondensatordagi kuchlanish amplitudasi $U_m = \frac{I_m}{\omega_0 C}$ qiymatidan, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{CI_m^2}{2\omega_0^2 C^2} = \frac{LI^2}{2}$$

bu yerda, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC},$

yoki:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.2)$$

Formula shuni ko'rsatadiki, erkin tebranishlar burchak chastotasi, konturning xususiy burchak chastotasi deb ataladi va u faqatgina kontur ko'rsatkichlari L induktivlik va C sig'imga bog'liq. Kontur induktivligi qanchalik katta bo'lsa, undagi jamlangan energiya ham shunchalik katta bo'ladi. EYuK o'zinduksiyasi ham shunchalik katta va bu EYuK konturda tok o'zgarishi jarayonini sekinlashtiradi, L induktivlikning o'sishi bilan erkin tebranishlar chastotasi kamayadi. Konturdagi sig'imning ko'payishi bilan elektr soni ko'payadi, C sig'imning ko'payishi kondensatorni to'liq zaryadlanish va razryadlanish vaqtini katta bo'lishini talab qiladi, bu esa konturning xususiy chastotasi kamayishini anglatadi.

3. Agarda, 2.1-tenglamani U_m va I_m qiymatlariga bo'lsak, u holda:

$$\frac{U_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$$

tenglamani olamiz.

\sqrt{LC} kattalik erkin tebranishlar kuchlanishi amplitudasi-ning tok amplitudasiga nisbatini ko'rsatadi, u qarshilikni ifodalaydi. Bu qarshilik xarakteristik yoki konturning to'lqin qarshiligi deb ataladi.

Agarda L induktivlik genri bilan C sig'im esa farada bilan ifodalansa, u holda ρ xarakteristik qarshilik Om larda ifodalana-nadi.

2.2-formula asosida konturning xususiy chastotasini aniqlay-miz:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Bu yerda, erkin tebranishlar davri $T_0 = \frac{1}{f_0} = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ ga teng.

Konturda hosil bo'lgan tebranishlarni antennaga uzatsak, u holda antennani o'rab turgan fazoda elektromagnit to'lqin-lar paydo bo'ladi, u $c = 3 \cdot 10^8$ m/s yorug'lik tezligida tarqaladi. Elektromagnit to'lqinlarni bir davrdagi tebranishlar tarqaladi-gan masofasi λ to'lqin uzunligi deb ataladi.

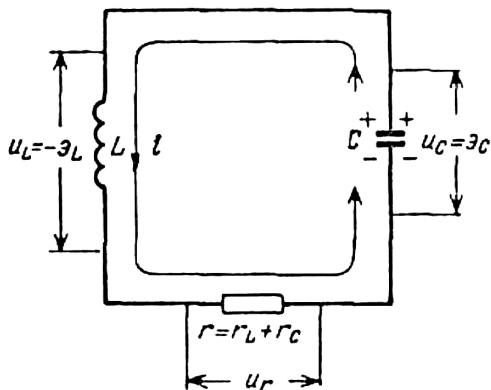
$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}.$$

2.3. Real konturda erkin tebranishlar

Real konturning ekvivalent sxemasi L induktivlik, C sig'im va r aktiv qarshilikdan iborat (2.2-rasm). Aktiv qarshilik (r_L) in-duktivlik va (r_C) sig'imdagi yo'qolishlar qarshiligining yig'indi-siga teng. Bir xil L induktivlikka va C sig'imga ega bo'lgan ideal va real erkin tebranish konturlarida chastota unchalik farq qil-maydi va amplituda o'zgarishi qonuni bo'yichagina farq qiladi.

Real konturdagi reaktiv energiya o'zgarishlari (elektr energiyasini magnit energiyasiga va teskarisiga) r qarshilikdagi yo'qolishlar bilan kuzatiladi. Buning natijasida tebranishlar amplitudasi davrdan davrga kamayadi, yoki boshqacha aytganda real konturdagi erkin tebranishlar so'nuvchi xarakterga ega. Amplitudaning o'zgarishi tebranishlarda sinusoidal bo'lmaydi.

Faraz qilaylik, t vaqt momentida kondensatorni i tok bilan razryadlanishi hosil bo'lmoqda, uning musbat yo'nalishi 2.2-rasmda ko'rsatilgan.



2.2-rasm. Real konturning ekvivalent sxemasi.

Bunday sharoitda kondensator "EYuK manbai" vazifasini bajaradi va ∂_c sig'imning EYuK kondensatoridagi U_c kuchlanishga teng. c/t vaqtda i tokli kondensator zaryadi $q = -i c/t$ qiymatga o'zgaradi (minus ishorasi q zaryadni razryadlanishdagi kamayishini ko'rsatadi). Demak, t momentdagi to'liq zar-

yad integral bilan aniqlanadi $q = -\int_0^t i c/t$ va sig'imning EYuK

$$\partial_c = U_c = \frac{q}{c} = -\frac{1}{c} \int_0^t i c/t \text{ ga teng.}$$

Bu EYuK konturda tok keltirib chiqaradi, undan kuchlanish tushuvi hosil bo'ladi. Induktiv g'altakda $-U_L$ va konturning ak-

tiv qarshiligida $U_r = ir$. U_L kuchlanish EYuK o'zinduksiyasi bilan muvozanatlashtiriladi ($U_L = -\mathcal{E}_L = L \cdot \frac{c/t}{c/t}$).

Kirxgofning ikkinchi qonuniga muvofiq EYuK yig'indisi berk zanjirda o'zaro bir-biriga teng: ($\mathcal{E}_c = U_L + U_L$ yoki $\mathcal{E}_c = U_L + U_L$)

$$L \frac{c/t}{c/t} = r i + \frac{1}{c} \int_0^t i c/t = 0$$

t vaqt bo'yicha tenglikni ikkala qismini differensiyalaymiz va hamma yig'indini L ga bo'lamiz:

$$\frac{c/t^2 i}{c/t^2} + \frac{r}{L} \cdot \frac{c/i}{c/t} + \frac{i}{LC} = 0. \quad (2.3)$$

Bu chizikli differensial tenglama o'rniga qo'yish usuli bilan hisoblanadi.

Real konturdagi erkin tebranishlar xususiyatlari.

1. Erkin tebranishlar amplitudasi t vaqt mobaynida eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradi (2.3- a rasm).

2. Zanjirning vaqt doimiysi τ_z qanchalik kichik bo'lsa, tebranishlar amplitudasining kamayish tezligi shuncha katta bo'ladi. Agarda $t = \tau_z$ bo'lsa, u holda:

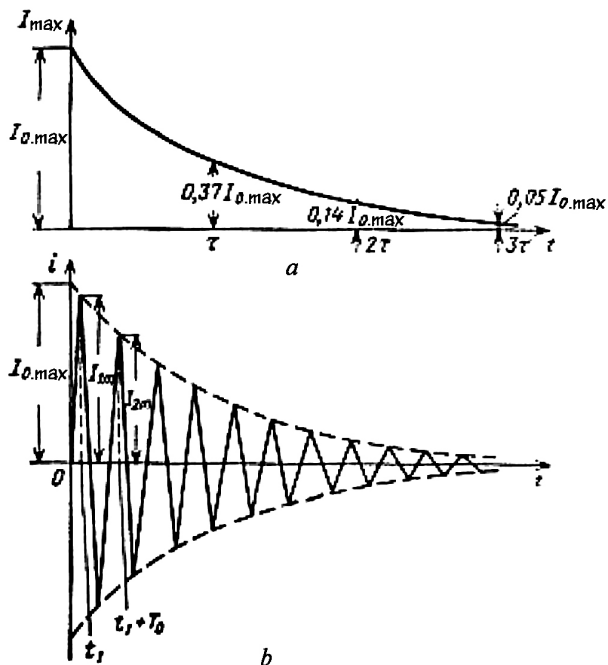
$$I_m = \frac{I_{o.\max}}{e} = \frac{I_{o.\max}}{2,718} = 0,37 \cdot I_{o.\max}$$

Demak, konturning vaqt doimiysi miqdor jihatidan erkin tebranish amplitudasining boshlang'ich qiymatidan 63 % kamayishiga teng.

3. Ma'lum vaqt momentida bu jarayon tezligi tebranishlar amplitudasiga to'g'ri proporsional.

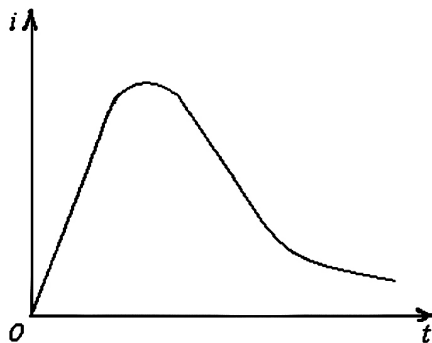
Nazariy eksponensial jarayon cheksiz davom etadi, amalda esa uni $t = (3 \div 5) \tau_z$ vaqtdan so'ng yakunlangan hisoblanadi (tok amplitudasi o'zining boshlang'ich qiymatidan 95–99 % gacha kamayganida).

4. Erkin tebranishlar konturda $r < 2\rho$ bo'lgandagina bo'lishi mumkin. Aks holda konturda erkin tebranishlar kuzatilmaydi.



2.3-rasm. Erkin tebranishlar amplitudasining vaqtga bog'liqligi.

Konturda yo'qolishlar shunchalik kattaki, bunda kondensatorni qayta zaryadlash imkoni bo'lmaydi va uni razryadlash aperiodik xarakterga ega bo'ladi (2.4-rasm).



2.4-rasm. Kondensatorni aperiodik razryadlash

5. Erkin tebranishlarning soʻnish jarayoni tezligini baholashda vaqt doimiysi τ_z dangina foydalanib qolmasdan, balki logorifmik soʻnish dekrementi ϑ , soʻnish d va kontur asilligi Q dan ham foydalaniladi.

Logorifmik soʻnish dekrementi qandaydir t_1 vaqt momenti-dagi I_{1m} tok amplitudasini erkin tebranishlarning bitta davrdan keyingi I_{2m} tok amplitudasi nisbatining natural logorifmlardagi ifodasidir (2.3-rasmdan).

$$\vartheta = \ln \frac{I_{1m}}{I_{2m}}.$$

Maʼlum oʻzgartirishlardan soʻng logorifmik soʻnish dekrementi quyidagi koʻrinishga ega boʻladi.

$$\vartheta = \frac{T_0}{\tau_z}.$$

Logorifmik sunʼiy dekrementining kontur koʻrsatkichlarini T_0 va τ_z orqali ifodalaydigan boʻlsak,

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}, \quad \tau_z = 2L/r,$$

u holda:

$$\vartheta = \frac{T_0}{\tau_z} = \frac{2\pi\sqrt{LC} \cdot r}{2L} = \pi r \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\pi r}{\rho}.$$

Logorifmik soʻnish dekrementidan π marotaba kichik boʻlgan kattalik kontur soʻnishi deb ataladi.

$$d = \frac{\vartheta}{\pi} = \frac{r}{\rho}.$$

Soʻnishga teskari boʻlgan kattalik konturning asilligi deyiladi.

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\rho}{r}.$$

Demak, konturdagi soʻnish jarayonini susaytirish uchun r yoʻqolishlar qarshiligini kamaytirish va konturning Q xarakteristik qarshiligini koʻpaytirishga intilish kerak.

III bob. KETMA-KET KONTURDA MAJBURIY TEBRANISHLAR

3.1. Umumiy ma'lumotlar

Konturda doimiy amplitudali tebranishlarni hosil qilish uchun unga EYuK manbayini ulash kerak, u konturning aktiv qarshiligida paydo bo'ladigan energiya yo'qolishlarini har bir davrning boshida to'ldirib turishi lozim.

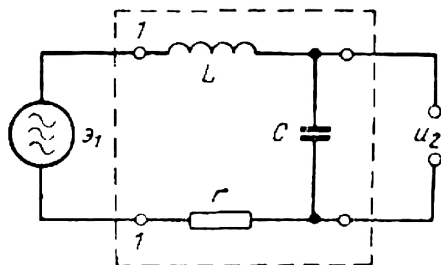
Agarda EYuK manbayi induktivlik va sig'imga nisbatan ketma-ket ulansa, u holda bunday zanjir EYuK kontur bilan ketma-ket ulangan yoki qisqacha, ketma-ket kontur deb ataladi.

Bu konturni to'rt qutblik ko'rinishida faraz qilaylik, uning kirish qutblariga E_1 EYuK manbayi ulangan, chiqish kuchlanishi u_2 esa L induktivlik yoki C sig'imdan olinadi (3.1-rasm). Aso-san ketma-ket kontur ichki qarshiligi kichik bo'lgan manbadan oziqlantiriladi. Shuning uchun manbaning qarshiligini nolga teng deb olamiz, yoki uni konturning r aktiv qarshiligi deb hisoblaymiz.

Manba sinusoidal E_1 EYuKga ega, deb olamiz, uning amplitudasi E_m , chastotasi ω (3.2- a rasm) va boshlang'ich fazasi $\varphi=0$.

$$E_1 = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi) = E_m \sin \omega t.$$

Agrada sxema faqat aktiv qarshiliklardan tashkil topgan da edi, u holda manba ulangan momentda doimiy amplitudali majburiy tebranishlar o'rnatilgan bo'lar edi. Tebranish konturida buning iloji yo'q, chunki u elektr sig'imi va induktivlik



3.1-rasm. Ketma-ket ulangan kontur.

elementlaridan tashkil topgan. Kondensatorda bir zumda kuchlanishning paydo bo'lishi, elektr maydon energiyasining unda bir zumda jamlanishiga barobardir, bu esa generatordan cheksiz katta quvvat talab qilgan bo'lar edi. Xuddi shu sababga ko'ra magnit maydonda bir zumda energiyani jamlash mumkin emas, demak induktiv g'altakda bir zumda tok ham hosil qilinmaydi. Konturdagi amplituda tebranishlari noldan uning statsionar qiymatigacha ravon o'sib boradi.

Bu o'tish jarayoni shu bilan bog'liqki, zanjirga EYuK manbayini ulaganda unda sig'im va o'zinduksiya EYuK hosil bo'ladi, ulardan birinchisi kuchlanish o'sishini, ikkinchisi esa tok o'sishini tormozlaydi. Sig'im va o'zinduksiya elektr yurgazuvchi kuchlarning o'zaro ta'sirida erkin tebranishlar paydo bo'ladi, EYuK manbayi esa majburiy tebranishlarni ushlab turadi (ikki holda ham energiya EYuK manbayi hisobiga hosil qilinadi, chunki birlamchi EYuK o'zinduksiyasi va sig'imi generator bilan hosil qilinadi). Majburiy tebranishlar chastotasi oziqlantirish generatori chastotasiga (ω) teng, erkin tebranishlar esa konturning xususiy chastotasi ω_0 ga teng.

ω va ω_0 chastotalar teng deb faraz qilaylik. U holda majburiy tebranishlar toki (3.2- b rasm) EYuK qonuni bo'yicha o'zgaradi:

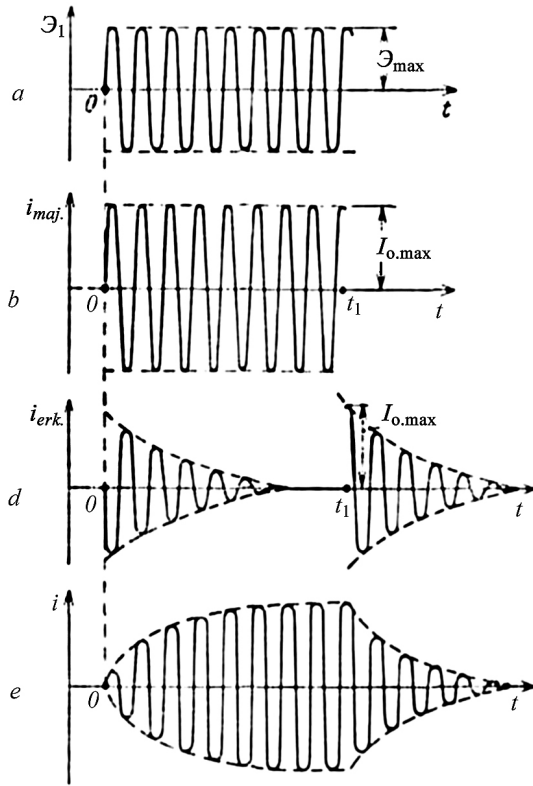
$$i_{maj.} = I_{o.max} \cdot \sin \omega_0 t;$$

erkin tebranish toki (3.2- d rasm) quyidagi tenglik asosida so'nib boradi:

$$i_c = -I_{o.max} e^{-\frac{t}{\tau_z}} \cdot \sin \omega_0 t.$$

Majburiy tebranish ($I_{o.max}$) va erkin tebranish toki ($-I_{o.max}$) boshlang'ich amplitudalari son jihatidan teng va ishora bo'yicha qarama-qarshi, chunki o'tish jarayonining boshida natijaviy tok (3.2- e rasm) nolga teng ($i=0$ bunda $t=0$). Bu tokning oniy qiymati tashkil etuvchi $i_{maj.}$ va $i_{erk.}$ toklarning oniy qiymatlari yig'indisiga teng:

$$i = i_{maj.} + i_{erk.} = \left[I_{o.max} \left(1 e^{-\frac{t}{\tau_z}} \right) \right] \sin \omega_0 t.$$



3.2-rasm. Tebranish konturidagi o'tkinchi holat.

Kvadrat qavsidadagi tenglik shuni ko'rsatadiki, natijaviy tokning amplitudasi $I_m = I_{o.max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_z}})$ erkin tebranishlarning kamayishi hisobiga eksponensial qonun bo'yicha o'sadi. Bunday qonun tok amplitudasining o'sishini asta-sekin sekinlashishini anglatadi. Generatorni ulagandan so'ng bir vaqtning o'zida ikkita jarayon sodir bo'ladi: konturning L induktivligi va C sig'imida energiya jamlanishi va r aktiv qarshilikda qisman energiya yo'qolishi. I_m tokning o'sishi bilan $I_m^2 r/2$ yo'qolishlar quvvati ham ortadi va konturda reaktiv energiyaning jamlanishi sekinlashadi.

Nazariy statsionar amplituda cheksiz uzoq o'rnatiladi. Agar

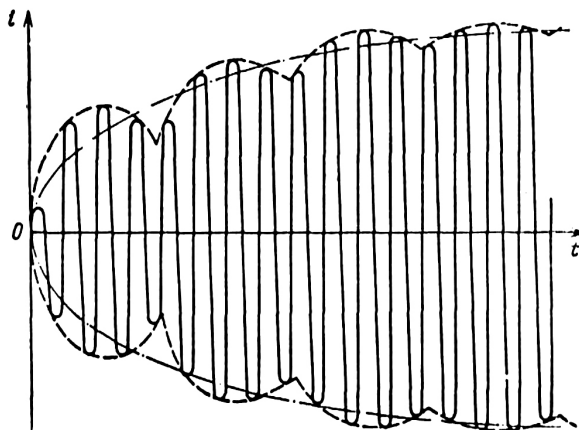
$t = 3\tau_z$, undan keyin $t = 5\tau_z$ qiymatlarni $I_m = I_{o.\max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_z}})$ ifodaga qo'ysak:

$I_m = 0,95 I_{o.\max}$ va $I_m = 0,99 I_{o.\max}$ qiymatlarni olamiz, ya'ni o'tish jarayoni davomiyligini amalda $(3 \div 5) \tau_z$ deb hisoblash mumkin.

E_1 EYuK o'chirilishi bilan majburiy tebranishlar ham shu zahoti to'xtaydi, ammo konturning reaktiv elementlarida zaxiralanagan energiya hisobiga ω_0 chastotali erkin tebranishlar hosil bo'ladi. 3.2- a rasmda t_1 momentda E_1 EYuK o'chirilgan holat ko'rsatilgan, u konturdagi i_{maj} maksimal tokga to'g'ri keladi. Bunday holda erkin tebranishlar induktiv g'altakda jamlangan magnit maydon energiyasi o'zgarishi bilan boshlanadi. Bu tebranishlar toki quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$i = i_{erk.} = I_{o.\max} e^{-\frac{t-t_1}{\tau_z}} \cdot \cos \omega(t-t_1)$$

Shartda berilgandek $(t - t_1)$ da tok $i = I_{o.\max}$ ga. Bundan ko'rib turibdiki, erkin tebranishlar EYuK o'chirilganda xuddi ulan-gandagidek $(3 \div 5) \tau_z$ vaqt oraliq'idan so'ng to'liq so'nadi. Majburlovchi EYuK (ω) va xususiy chastota (ω_0) chastotalari teng bo'lmaganda ham o'tish jarayoni xuddi shunday davomiylikka ega bo'ladi. Uning farqi shundaki, chastotalar ω va ω_0 teng bo'lmaganda urilish hosil bo'ladi: uzluksiz majburiy va erkin tebranishlar orasida faza bo'yicha siljishi o'zgaradi va o'z navbatida natijaviy tok va kuchlanish amplitudasi ham o'zgaradi (3.3-rasm). Siljish $0,2\pi$, 4π ga teng bo'lsa, tebranishlarning tashkil etuvchilari to'liq qo'shiladi, agarda siljish fazasi toq π soniga teng bo'lsa, tebranishlar ayriladi. Tashkil etuvchilarning biri so'nuvchi xarakterga ega bo'lgani uchun urilishlar sekin- asta susayadi. Urilishlar amplituda o'sishning ma'lum bir egriligiga nisbatan hosil bo'ladi, u 3.3-rasmda shtrix-punktir chiziqlari bilan belgilangan.



3.3-rasm. Urilishlar amplitudasining hosil bo'lishi

Konturda erkin tebranishlar juda tez so'nadi va undan keyin tebranishlar chastotasi konturning ω_0 xususiy chastotasi-ga bog'liq bo'lmaydi: konturning amplituda tokigina ω_0 chas-totaga bog'liq. Konturning majburiy tebranishlar chastotasi ω ga binoan konturning reaktiv kirish qarshiligi tashkil etuvchisi (1.1 nuqtalar orasida 3.1-rasmdan) $x = x_L - X = \omega L - \frac{1}{\omega c}$ ga teng

bo'lsa, uning to'liq kirish qarshiligi esa:

$$Z_{kir} = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{r^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2}$$

ga teng bo'ladi.

Bu qarshilik umumiy holatda kompleks xarakterga ega ($Z_{kir} = K_{kir} + jX_{kir}$) va u faqatgina Z_{kir} moduli bilan emas, balki U_{kir} argumenti bilan ham ifodalanadi. U_{kir} argumenti EYuK ge-neratorining undagi tok siljishi fazasiga teng. U_{kir} tangens bur-chagi konturning reaktiv $X_{kir} = x$ va aktiv $R_{kir} = r$ kirish qarshi-liklari tashkil etuvchilari nisbati bilan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} Y_{kir} \frac{X_{kir}}{R_{kir}} = \frac{x}{r} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega c}}{r}.$$

Konturning x reaktiv qarshiligi induktiv xarakterga ($\omega L > \frac{1}{\omega c}$) ega bo'lsa, argument $U_{kir} > 0$ va generatorning EYuK uning toki fazasi bo'yicha aniqlanadi. Agarda $x < 0$ bo'lsa, ya'ni sig'im qarshiligi induktivlik qarshiligidan katta bo'lsa ($\omega L < \frac{1}{\omega c}$), u holda U_{kir} manfiy bo'ladi va generatorning EYuK tokdan faza bo'yicha orqada qoladi.

Kompleks xarakterli konturning kirish qarshiligi shuni ko'rsatadiki, EYuK generatori umumiy holatda konturning aktiv r va reaktiv x qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvini kompensatsiyalash uchun qo'llaniladi.

3.2. Ketma-ket konturda rezonans

Ketma-ket konturda, shuningdek, har qanday boshqa konturda rezonans hodisasi bo'lishi uchun konturning kirish qarshiligi reaktiv tashkil etuvchilari nolga teng bo'lishi kerak va kontur generator uchun sof aktiv yuklama sifatida xizmat qiladi. Bundan ketma-ket konturda quyidagi rezonans xususiyatlari kelib chiqadi:

1. Rezonansda $x = \omega L - \frac{1}{\omega c} = 0$, shuning uchun $\omega^2 = \frac{1}{LC}$

va generator chastotasi $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, ammo $\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$, ya'ni ketma-ket konturda rezonans ω generator chastotasi konturning ω_0 xususiy chastotasiga teng bo'lganda sodir bo'ladi. Aniq aytganda va hamma vaqt ham to'g'ri bo'lmaydi, chunki konturda r qarshilik mavjud bo'lganligi sababli uning ω_0 xususiy chastotasi qisman bo'lsada, $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ qiymatdan farq qiladi.

Agar $\omega = \omega_0$ tenglik bajarilsa, u holda kontur sozlangan deyiladi, agarda $\omega \neq \omega_0$ bolsa, u holda kontur sozlanmagan deyiladi.

2. $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ tenglik shartida $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bo'ladi, bu esa o'z navbatida

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho \quad (3.1)$$

bo'lishini ifodalaydi.

Shunday qilib rezonansda konturning induktivlik va sig'im qarshiliklari uning xarakteristik qarshiligiga teng.

3. Rezonansda $x=0$ bo'lgani uchun konturning kirish qarshiligi yo'qolishlar qarshiligiga teng:

$$Z_{kir} = \sqrt{r^2 + x^2} = r.$$

Generator toki I_{1m} bir vaqtning o'zida kontur toki $I_{k.m}$ ni hosil qiladi.

Bundan \mathcal{E}_{1m} ni EYuK amplitudaviy qiymati va I_{1m} generator toki orasida quyidagi bog'liqlik mavjudligi kelib chiqadi.

$$I_{1m} = I_{k.m} = \frac{\mathcal{E}_{1m}}{Z_{kip}} = \frac{\mathcal{E}_{1m}}{r}. \quad (3.2)$$

4. Agar $x=0$ bo'lsa, u holda $\operatorname{tg} Y_{kir} = \frac{x}{r} = 0$ va $Y_{kir} = 0$ bo'ladi, ya'ni rezonansda generatorning EYuK va tok faza bo'yicha to'g'ri keladi.

5. (3.1) va (3.2) formulalar bo'yicha U_{Lm} induktivligi, $U_{c.m}$ sig'imidagi rasonansli kuchlanish amplitudalari va \mathcal{E}_{1m} generatorning EYuK orasidagi nisbatlarni ko'rib chiqish mumkin:

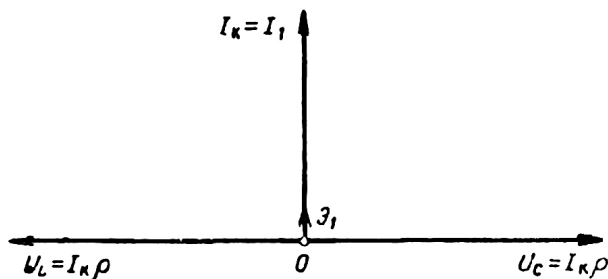
$$\begin{aligned} U_{Lm} &= I_{k.m} \omega L = I_{k.m} \rho, \\ U_{c.m} &= I_{k.m} \frac{1}{\omega C} = I_{k.m} \rho, \\ \mathcal{E}_{1m} &= I_{k.m} \cdot r, \quad \frac{U_{Lm}}{\mathcal{E}_{1m}} = \frac{U_{c.m}}{\mathcal{E}_{1m}} = \frac{I_{k.m} \cdot \rho}{I_{k.m} \cdot r} = Q. \end{aligned} \quad (3.3)$$

(3.3) ifodadan ko'rinib turibdiki, rezonansda ketma-ket konturning induktivligidan va sig'imdagi kuchlanish amplitudala-

ri o'zaro bir-biriga teng va ulardan har biri generatorning EYuK amplitudasidan Q marotaba katta.

Shuning uchun ketma-ket konturdagi rezonans kuchlanish rezonansi deb ataladi, Q ko'rsatkich esa – konturning asilligidir. Son jihatidan ketma-ket konturning asilligi induktivlikdagi yoki sig'imdagi kuchlanish amplitudasiga teng, agar bu kontur rezonansga sozlangan bo'lsa va unga EYuK amplitudasi $1 V$ generatordan berilgan bo'lsa.

Faraz qilaylik asillik $Q = 100$, u holda rezonansda $U_{Lm} = U_{cm} = 100 \mathcal{E}_{1m}$. Birinchi ko'rinishdayoq bu tushunarsiz ko'rinishi mumkin, qanday qilib uchastka zanjiridagi kuchlanish generatorning EYuKdan katta bo'lishi mumkin, masalan, 100 marotaba. Buni tushuntirish uchun vektor diagrammani ko'rib chiqamiz (3.4-rasm, buning uchun 3.1-rasmdagi konturning o'sha ulanish sxemasini nazarda tutamiz).



3.4-rasm. Ketma-ket ulangan tebranish konturida rezonans paytidagi tok va kuchlanishning vektor diagrammasi.

Diagrammada kontur toki $I_k = I_1$ vektor 90° burchak ostida uzish tomonga $U_L = I_{kp}$ induktivlikdagi kuchlanish vektori ko'rsatilgan. U_L va U_c kuchlanishlar son qiymatidan teng va ishorasi bo'yicha qarama-qarshi, shuning uchun ular bir-birini kompensatsiyalaydi va generatorning elektr yurgazuvchi kuchi $\mathcal{E}_1 = I_{kp}$ reaktiv tashkil etuvchilardan iborat emas: u faqatgina r aktiv qarshilikda kuchlanish tushuvigina hosil qiladi, buning natijasida \mathcal{E}_1 EYuK I_k tok bilan faza bo'yicha to'g'ri keladi. Bu

esa shundan dalolat beradiki, ∂_1 EYuK qiymati U_L va U_C ga nisbatan istalgancha bo'lishi mumkin va U_L/Q yoki U_C/Q qiymatga teng bo'ladi, bu esa yuqorida isbotlangan.

Xulosa qilib aytganda, kuchlanish rezonansining energetik xususiyati ana shundan iborat. Generator ulangandan keyin konturning reaktiv elementlari L va C ning energiya zaxirasini oshiradi. O'tish jarayoni tugagandan keyin induktivlik va sig'im navbatma-navbat bir-biriga teng miqdordagi energiyani uzatib turadi. Ammo sozlanmagan konturda elektr va magnit maydon energiyalari soni maksimumda teng emas, U_L va U_C maksimal kuchlanishlar ham o'zaro teng emasligi buning isboti bo'lib xizmat qiladi. Demak, sozlanmagan konturda ortiqcha reaktiv energiya generator ishtirokida hosil bo'ladi (generator va L yoki C elementlarning biri orasidagi energiya almashinuvi natijasida).

Rezonans holatida generator chastotasi konturning xususiyligiga teng va L , C elementlar o'zini ideal konturdagi erkin tebranishlardagidek olib boradi, ya'ni elektr maydon energiyasi to'liq magnit maydon energiyasiga o'zgarishi va teskari holat ro'y beradi. Generator faqatgina konturning r aktiv qarshilikdagi yo'qolishlarni kompensatsiyalaydi va shuning uchun maksimal tok hosil qiladi. Konturning har bir reaktiv

qarshiliklari $\omega_0 L$ va $\frac{1}{\omega_0 C}$ dagi kuchlanish o'zaro teng va mak-

simal bo'ladi. Bundan tashqari induktivlik uchun EYuK manbai bo'lib sig'im, sig'im uchun induktivlik xizmat qilsa, aktiv qarshilik uchun generator xizmat qiladi. Induktivlikdagi yoki sig'imdagi kuchlanish ularda jamlangan energiya hisobiga generatordagi EYuK ga nisbatan katta bo'lishi mumkin. U L va C dagi energiya zahirasiga bog'liq, bu zaxiraning katta bo'lishi

konturning xarakteristik qarshiligi $\rho = \omega L = \frac{1}{\omega C}$ ning qanchalik

katta bo'lishiga va kontur toki I_k ning qanchalik katta bo'lishiga bog'liq. O'z navbatida kontur toki konturning aktiv qarshiligi-

ga teskari proporsional ($I_k = \frac{\partial_1}{r}$). Chunki, ketma-ket konturda

rezonans vaqtida kuchlanish kuchayishi ρ/r nisbat bilan ya'ni Q kontur asilligi bilan aniqlanadi.

3.3. Ketma-ket konturning kirish qarshiligi

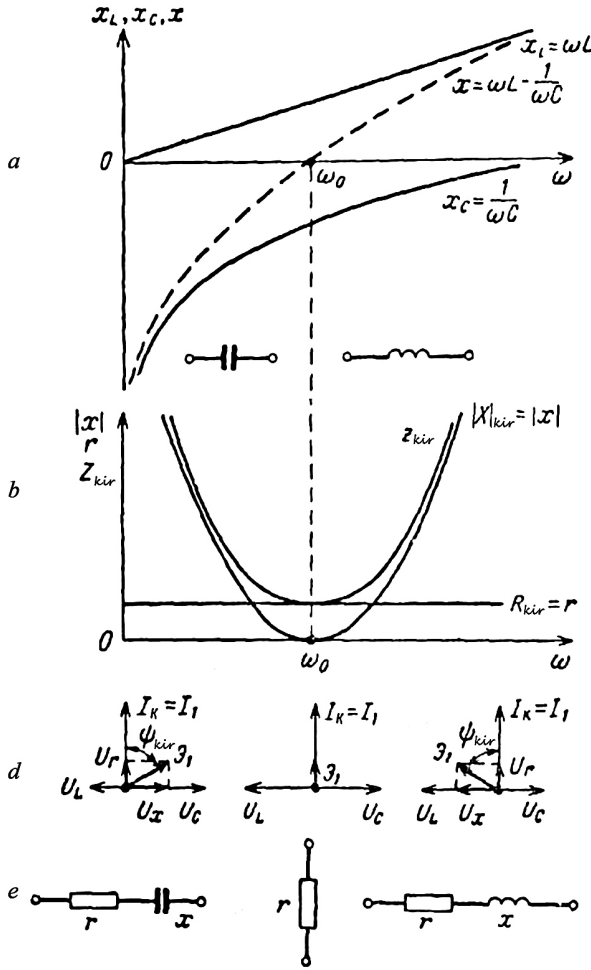
Tebranish konturi radiosignalning tashuvchi chastotasi ω_0 rezonansga sozlanadi, ya'ni konturning xususiy chastotasi ω_0 ga teng qilib o'rnatiladi, ammo bu holda kontur yonbosh chastota signallariga nisbatan sozlanmagan bo'lib qoladi. Bundan tashqari kontur boshqa radiosignallarga nisbatan sozlanmagan.

Shuning uchun kirish qarshiligi va kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti chastotaga bog'liqligi ko'rib chiqiladi. Birinchi bog'liqlikni ko'rib chiqamiz (3.5-rasm).

Induktiv qarshilik $x_L = \omega L$ musbat ishoraga ega va ω chastotaga to'g'ri proporsional o'zgaradi, sig'im qarshiligi $x_C = \frac{1}{\omega C}$ esa manfiy ishoraga ega va ω chastotaga teskari proporsional o'zgaradi (3.5-rasm). Agarda ularni algebraik qo'shsak, u holda ideal ketma-ket konturning kirish qarshiligini olamiz:

$$x = x_L - x_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}.$$

Bu qarshilik rezonans chastotasi $\omega = \omega_0$ da nolga teng, chunki $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$. Chastota sohasi rezonanslardan kichik ($\omega < \omega_0$) bo'lganda, induktivlik qarshiligi kichik ($\omega L < \omega_0 L$), sig'im qarshiligi rezonansidagiga qaraganda katta ($\frac{1}{\omega C} > \frac{1}{\omega_0 C}$), shuning uchun umumiy kirish qarshiligi sig'imli bo'ladi ($x = \omega L - \frac{1}{\omega C} < 0$). Chastota sohasi rezonanslardan katta ($\omega > \omega_0$) bo'lganda, induktivlik qarshiligi katta ($\omega L > \omega_0 L$), sig'im qarshiligi esa rezonansidagiga qaraganda kichik ($\frac{1}{\omega C} < \frac{1}{\omega_0 C}$), bu-



3.5-rasm. Chastota sohalarida rezonans analizi va vektor diagrammalari

ning natijasida konturning kirish qarshiligi induktiv xarakterga ($x = \omega L - \frac{1}{\omega C} > 0$) ega bo'ladi.

Real L , C , r kontur uchun ushbu x qarshilik to'liq kirish qarshiligi Z_{kir} ning faqatgina reaktiv X_{kir} tashkil etuvchisi bo'ladi. Bundan tashqari aktiv K_{kir} tashkil etuvchi mavjud bo'lib, u r

yo'qolishlar qarshiligiga teng. Kompleks ko'rinishda u quyidagicha yoziladi:

$$Z_{kir} = R_{kir} + jX_{kir} = r + jx$$

Aktiv tashkil etuvchi $R_{kir}=r$ va reaktiv tashkil etuvchining absolyut qiymati $|X_{kir}=x|$ ning ω chastotaga bog'liqligi (3.5- b rasmda) ko'rsatilgan.

Rezonans holatida ($\omega=\omega_0$) bo'lgani uchun $x=0$, u holda konturning kirish qarshiligi sof aktiv ($U_{kir}=0$) va minimal qiymatga ega bo'ladi ($Z_{kir}=r$). Chastota rezonans ω_0 chastotadan qanchalik

ko'p og'sa, $|x|$ reaktiv qarshilik shunchalik katta va $U_{kir} = \text{arc tg } \frac{x}{r}$ burchak ham shunchalik katta bo'ladi. Bu burchakning ishorasi ham x qarshiliknikidek. Vektor diagramma ham xuddi shuni ko'rsatmoqda (3.5- d rasm).

Rezonansda I_1 generator toki (I_k konturning faza bo'yicha \mathcal{E}_1 generatorining EYuK bilan to'g'ri keladi, unda induktivlikdagi (U_L) va sig'imdagi (U_c) kuchlanishlar bir-birini kompensatsiyalaydi.

$\omega < \omega_0$ chastota sohasida qarshilik $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ va o'z navbatida

induktivlikdagi kuchlanish $U_L = I_k \omega L$ sig'imdagi kuchlanishga ($U_c = I_k \frac{1}{\omega C}$) nisbatan kichik bo'ladi, u holda reaktiv kuchlanish

yig'indisi $U_k = U_L - U_c$ faza bo'yicha U_c va generatorning EYuK \mathcal{E}_1 bilan to'g'ri keladi. U aktiv (U_r) va reaktiv (U_x) kuchlanish qarshiliklarining geometrik yig'indisiga teng, faza bo'yicha generator tokidan (U_{kir}) ω burchakka ortda qoladi, ya'ni $U_{kir} < 0$. Bu sig'im xarakterli reaktiv tashkil etuvchining kompleks qarshiligi belgisidir.

$\omega > \omega_0$ chastota sohasida $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ tengsizlikka binoan kuch-

lanish vektori $U_x = I_k \cdot x = I_k \cdot (\omega L - \frac{1}{\omega C})$ vektor U_L tomonga yo'nalgan, buning oqibatida E_1 generatorning EYuK U_r va U_x

kuchlanishlar yig'indisiga teng bo'lib, generator tokining vektorini $I_1 = I_k$ faza bo'yicha U_{kir} burchagiga og'adi. Bu induktiv xarakterli reaktiv tashkil etuvchining kompleks qarshiligi belgisidir ($U_{kir} > 0$).

Ketma-ket konturning kirish qarshiligi ekvivalent sxemasi 3.5- e rasmda ko'rsatilgan.

Konturning kirish qarshiligining katta bo'lmagan sozlanlikdagi holati.

Radiosignalning spektr kengligi tashuvchi chastotadan bir-necha foiz ortmaydi. Shuning uchun e'tiborimizni ketma-ket konturning kirish qarshiligi rezonansiga yaqin bo'lgan chastota sohasiga qaratamiz.

Ketma-ket konturning kirish qarshiligi reaktiv tashkil etuvchisi formulasini o'zgartirishdan boshlaymiz.

Generator chastotasi (majburiy tebranishlari) – ω , konturning xususiy chastotasi – $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ va konturning xarakteristik qarshiligi – $\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$:

$$\begin{aligned} x &= \omega L - \frac{1}{\omega C} = \omega_0 L \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{1}{\omega_0 L \omega C} \right) = \rho \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0^2}{\omega_0 \cdot \omega} \right) = \\ &= \rho \cdot \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega_0 \cdot \omega} = \rho \frac{(\omega + \omega_0) \cdot (\omega - \omega_0)}{\omega_0 \cdot \omega}. \end{aligned}$$

Chastotalar farqi $\omega - \omega_0$ absolyut sozlanmaganlik, $\Delta\omega/\omega_0$ – nisbati esa nisbiy sozlanmaganlik deb ataladi.

Rezonansga yaqin chastota sohasi uchun $\omega + \omega_0 = 2\omega_0$, konturning reaktiv qarshiligi esa

$$x = 8 \frac{(\omega + \omega_0)(\omega - \omega_0)}{\omega_0 \cdot \omega} = \rho \frac{2\omega \cdot \Delta\omega}{\omega_0 \omega} = \rho \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$$

O'z navbatida x va r nisbati:

$$\frac{x}{r} = \frac{\rho}{r} \cdot \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 2Q \frac{2\pi \Delta f}{2\pi f_0} = 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$$

teng bo'ladi.

$2Q \frac{\Delta f}{f_0}$ kattalikni umumlashgan sozlanmaganlik deb nom-

laymiz va uni "a" harfi bilan belgilaymiz. Bu kattalik konturning nisbiy sozlanmaganligiga to'g'ri proporsional.

Endi umumlashgan sozlanmaganlikni konturning kompleks to'liq qarshiligi ifodasiga kiritamiz:

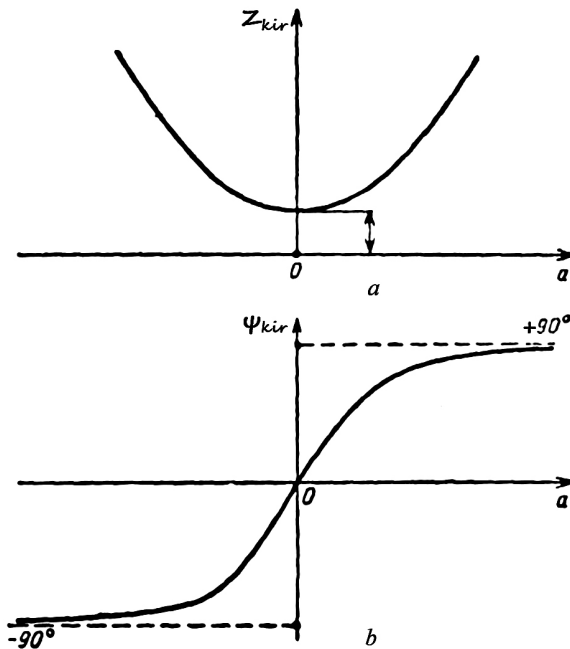
$$Z_{kir} = r + jx = r(1 + f \frac{x}{r}) = r(1 + j 2Q \frac{\Delta f}{f_0}) = r(1 + ja) \quad (3.4)$$

Bu qarshilikning moduli:

$$Z = \sqrt{r^2(1 + a^2)} = r\sqrt{1 + a^2}, \quad (3.5)$$

argumenti esa:

$$\Psi_{kir} = \text{arc tg} \frac{x}{r} = \text{arc tg}(2Q \frac{\Delta f}{f_0}) = \text{arc tg} a \quad (3.6)$$



3.6-rasm. Z_{kir} moduli va Ψ_{kir} argumenti umumlashgan sozlanmaganlikka bog'liqlik grafigi

(3.4) va (3.6) ifodalar asosida Z_{kir} moduli (3.6- *a* rasm) va Ψ_{kir} argumenti (3.6- *b* rasm) umumlashgan sozlanmaganlikka bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Hosil bo'lgan bog'liqliklardan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Agarda $a=0$ qiymatini (3.5) va (3.6) formulalarga qo'ysak, u holda quyidagini hosil qilamiz.

$$Z_{kir} = r \quad \text{va} \quad \Psi_{kir} = \arctg(0) = 0,$$

ya'ni ketma-ket konturning rezonans kirish qarshiligi yo'qolishlar qarshiligiga teng va u sof aktiv xarakterga ega.

2. f generator chastotasi f_0 rezonans chastotasidan kam bo'lgan sohada sozlanmaganlik $a < 0$ dan va (3.5) va (3.6) formulalarga muvofiq bu sozlanmaganlik o'sish konturining Z_{kir} kirish qarshiligi moduli o'sishi, $\arctg \Psi_{kir}$ qiymatning 0 dan $-\infty$ gacha o'zgarishi va Ψ_{kir} argumentning 0 dan -90° gacha o'zgarishi bilan kuzatiladi. Demak, kontur sig'im xarakterli reaktiv tashkil etuvchi kompleks qarshilikka ekvivalent.

3. f generator chastotasi f_0 rezonans chastotasidan katta chastota tomon ($\Delta f > 0$, $a > 0$) og'ishi bilan kirish qarshiligi moduli xuddi manfiy sozlanmaganlikdagi kabi o'sadi. Ammo bu qarshilik argumenti ketma-ket kontur r aktiv tashkil etuvchi va x induktiv xarakterli reaktiv tashkil etuvchilarining kompleks qarshiligiga ekvivalent bo'lib qoladi.

3.4. Ketma-ket konturning amplituda – chastota tavsifi

To'rt qutblikning chiqish kuchlanishi sig'im (yoki induktivlik) qarshiligidan $X_c = \frac{1}{\omega c} (\omega L)$; $X_L = \omega L$ olinadi. Bu qarshilik ω generator chastotasi ω_0 konturning rezonans chastotasiga yaqin bo'lganda konturning xarakteristik qarshiligi $\rho = \frac{1}{\omega_0 c}$ ga teng deb hisoblash mumkin. Demak, chiqish kuchlanishi amplitudasi $U_{2m} = I_{k.m} \rho = \frac{\mathcal{E}_{1m} \cdot \rho}{\sqrt{r^2(1+a^2)}}$ ga teng.

Konturning uzatish koeffitsiyenti moduli esa:

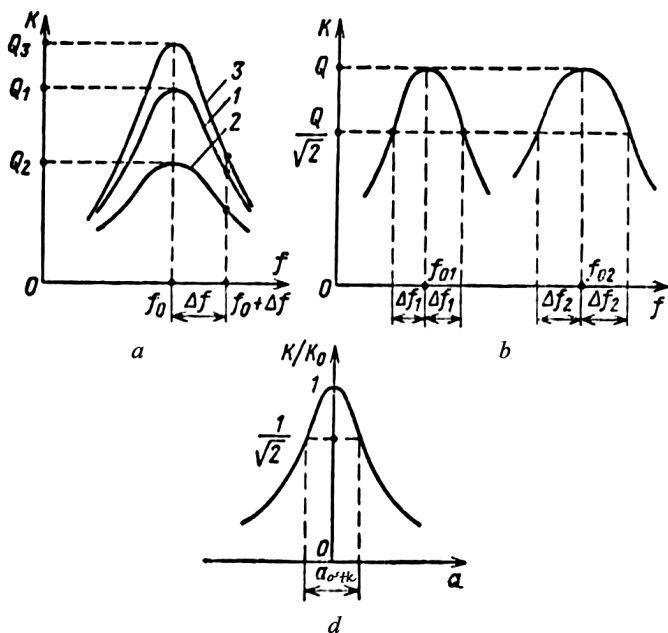
$$K = \frac{U_{2m}}{\mathcal{E}_{1m}} = \frac{\rho}{r\sqrt{1+a^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1+a^2}}. \quad (3.7)$$

(3.4) tenglik ketma-ket konturning amplituda – chastota tavsifini tenglamasini aks ettiradi.

Bu tenglamani kengaytirilgan holda ko'rsatadigan bo'lsak:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{1+a^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1+\left(Q \cdot \frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}} = \frac{Q}{1+\left[Q \cdot \frac{2(f-f_0)}{f_0}\right]^2}} \quad (3.8)$$

Oxirgi munosabatga asosan turli L , C , r ko'rsatkichlar uchun konturning amplituda – chastota tavsifini quramiz (3.7-a rasm).



3.7-rasm. Konturning amplituda – chastota tavsifi

1. Kontur yo'qolishlar qarshiligi $r=r_1$ xarakteristik qarshiligi $\rho=\rho_1$ va xususiy chastota f_0 ga ega.

Bunda rezonans chastotasi $f_{01}=f_0$ ga uzatish koeffitsiyenti to'g'ri keladi, u $K_0 = Q_1 = \rho_1/r_1$ ga teng, konturning sozlanmaganligini ortishi bilan esa K koeffitsiyent har qanday ishorada ham uzluksiz kamayadi (1-tavsifnoma).

2. Xuddi shu L va C ko'rsatkichlarda va xuddi shu Q va f_0 ($\rho_2 = \rho_1, f_{02} = f_0$) qiymatlarda konturning qarshiligi ($r_2 > r_1$) olidingiga nisbatan katta deb olamiz. Kontur asilligi $Q_2 = \rho_2 / r_2$ kamayganligi tufayli kuchlanishni uzatish koeffitsiyentining rezonans maksimumi ham xuddi shu proporsiyada kamayadi: $K_0 = Q_2 < Q_1$. Bundan tashqari (3.8) formulaga asosan (3.7- a rasm) 2-tavsifnoma 1-tavsifnomaga nisbatan birmuncha o'tmas burchakli.

Q asillikning kichik qiymatlarida esa sozlanmaganlik o'zgar-maydi $\Delta f = f - f_0$ va kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti K kam pasayishlar hosil qiladi.

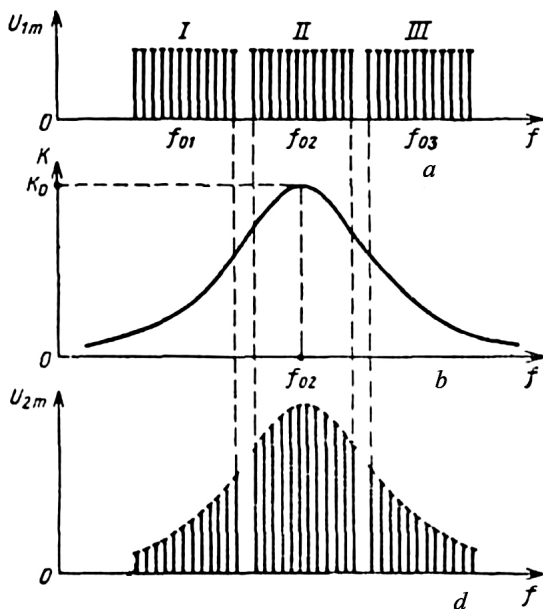
3. Birinchi holdagiga nisbatan kontur induktivligi L_1 va L_2 gacha ko'paygan, sig'im (C_1 dan C_2 gacha) xuddi shuncha marotabaga pasayadi, yo'qolishlar qarshiligi ($r_2 = r_1$) esa avvalgi-day qoladi. Demak, konturning xarakteristik qarshiligi va asilligi ortadi, o'z navbatida rezonansli kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti ($K_0 = Q_3$) proporsional o'sadi va 3-tavsifnoma 1-tavsifnomaga qaraganda birmuncha o'tkir bo'lib qoladi.

4. Endi ikkita kontur tavsifnomasini solishtiramiz, ularning Q asilligi bir xil, ammo xususiy chastotalari turlicha (f_{01} va $f_{02} > f_1$, 3.7- b rasm). Ikkala konturning rezonansli uzatish koeffitsiyentlari bir xil ($K_0 = Q$), ammo K koeffitsiyentning kichik qiymatlarida konturning katta rezonans chastotasiga katta sozlanmaganlik $\Delta f = f - f_0$ to'g'ri keladi.

Agarda (3.7) tenglamani ikkala qismini $K_0=Q$ ga bo'lsak, u holda konturning tanlovchanlik tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}}. \quad (3.9)$$

Bu tenglama konturning amplituda – chastota tavsifini nisbiy koordinatalarda ifodalaydi (3.7- d rasm).



3.8-rasm. Amplituda – chastota tavsifi.

Unda ordinata o'qi bo'yicha K/K_0 nisbat, absissa o'qi bo'yicha esa umumlashgan sozlanmaganlik $a = Q \frac{2\Delta f}{f_0}$ joylashtirilgan. Umumlashgan sozlanmaganlik nisbiy sozlanmaganlik $\Delta f / f_0$ ga proporsional. Tanlovchanlik tenglamasining o'ng qismiga faqatgina a umumlashgan sozlanmaganlik kiradi. Shuning uchun hosil bo'lgan tavsifnoma yagona hisoblanadi va istalgan L, C, r ko'rsatkichli ketma-ket kontur uchun qo'llanilishi mumkin. Tavsifnomaning maksimum nuqtasi rezonansga to'g'ri keladi ($a = 0$) va har diom birga teng bo'ladi ($K/K_0 = 1$).

Konturning o'tkazuvchanlik polosasi. Olingan amplituda – chastota tavsifnomalari to'g'ri burchaklilardan farq qiladi. To'g'ri burchaklilar xalaqitlardagi ham ideal tanlovchanlik talablariga javob beradi va qabul qilinayotgan radiosignal spektrini chastota buzilishlarisiz to'liq qabul qiladi. Xalaqitlar qo'shni radiostansiyalar chastotasi tufayli hosil bo'ladi.

Faraz qilaylik, I, II, III stansiya radiosignallarining barcha garmonik tashkil etuvchilari bir xil U_{1m} amplitudaga ega (3.8-*a* rasm). Radiosignalning garmonik tashkil etuvchilarining har birini U_{1m} amplitudasini ketma-ket konturning K uzatish koefitsiyenti moduliga ko'paytirib (3.8-*b* rasm), U_{2m} chiqish amplitudasini hosil qilamiz (3.8-*d* rasm). Ko'rib turganimizdek, ketma-ket konturning real amplituda – chastota tavsifnomasida uning tanlovchanligi to'liq hosil bo'lmaydi va chastota buzilishlari mavjud. Kontur II radiostansiyaning f_{02} tashuvchi chastotasi uchun rezonansga sozlanganligi tanlovchanlikning pasayishi bilan ifodalanadi. Ammo konturning chiqishida I va III radiostansiyalar spektrining tashkil etuvchi kuchlanishi mavjud. Chastota buzilishlariga keladigan bo'lsak, ular II qabul qilayotgan stansiya radiosignali spektrining garmonik tashkil etuvchilari orasidagi munosabat o'zgarishi bilan ifodalanadi: chiqishdagi amplitudalar turlicha, kirishdagi esa shart bo'yicha bir xil.

Miqdoriy chastota buzilishlari konturning o'tkazuvchanlik polosasi $\Delta f_{o'tk}$ bilan baholanadi. U chastotalar farqi bo'lib, ma'lum oraliqda K uzatish koefitsiyenti moduli ma'lum kattalikdan pasaymaydi. O'tkazuvchanlik polosasi K_0 rezonans koefitsiyentidan $1/\sqrt{2} = 0,707$ sathda aniqlanadi. Bu esa tebranishlar quvvatini rezonansdagi quvvat bilan solishtirilganida 2 marotaba kamayishiga to'g'ri keladi. Agarda $K/K_0 = 1/\sqrt{2}$ nisbatni (3.9) tenglamaga qo'ysak, u holda $2\Delta f$ konturning o'tkazuvchanlik polosasi $\Delta f_{o'tk}$ bo'ladi, umumlashgan sozlanmaganlik esa $a_{o'tk} = Q \cdot \frac{\Delta f_{o'tk}}{f_0}$ ga teng bo'ladi.

Yuqoridagilarni inobatga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + a_{o'tk}^2}},$$

bundan, $a_{o'tk} = \pm 1$, bu konturning o'tkazuvchanlik polosasiga to'g'ri keladi:

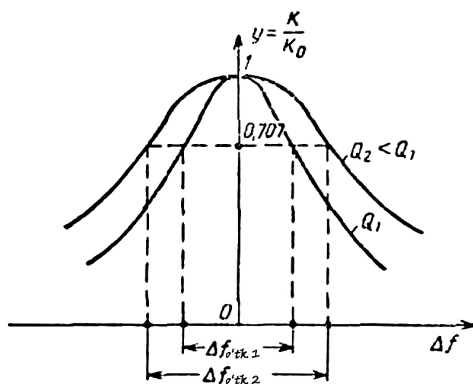
$$\Delta f_{o'tk} = \frac{f_0}{Q} a_{o'tk} = \frac{f_0}{Q} = d \cdot f_0. \quad (3.10)$$

Xulosa. Kontur so'nishi konturning rezonans chastotasidan qaysi qismi uning o'tkazuvchanlik polosasini tashkil etishini ko'rsatadi.

Amplituda – chastota tavsifida konturning sahilligi o'tkazuvchanlik polosasiga ko'rsatadigan ta'siri aks ettirilgan. U konturning K uzatish koeffitsiyenti kuchlanishining Δf absolyut sozlanmaganlikka bog'liqligi ko'rinishida ifodalangan (3.9-rasm). Q_2 asillikda tavsifnoma yuqori Q_1 sahilligiga qaraganda nisbatan o'tkir shuning uchun $K/K_0 = 0,707$ sathda to'g'ri chiziq o'tkazilgan. Tavsifnomadan ko'rinib turibdiki Q_2 asillikning o'tkazuvchanlik polosasi ($\Delta f_{o'tk2}$) Q_1 asillikning o'tkazuvchanlik polosasidan ($\Delta f_{o'tk1}$) katta.

Ruxsat etilgan chastota buzilishi radiosignalni qayta tiklash uchun konturning o'tkazuvchanlik polosasi radiosignal spektrining asosiy qismi kengligidan kichik bo'lmasligi kerak. Agar da bu talab bajarilmasa, unda konturning asilligini kamaytirishga to'g'ri keladi, u holda uning tanlovchanligi yomonlashadi. Chunki amplituda – chastota tavsifnomasining o'tmas burchakli bo'lishi o'tkazish koeffitsiyenti kuchlanishi o'sishini faqatgina qabul qilinayotgan radiosignal spektrida emas, balki undan tashqarida ham o'sishi bilan kuzatiladi. Bunday sharoitlarda o'tkazuvchanlik polosasini kengaytirish uchun faqatgina f_0 radiosignalning tashuvchi chastotasini nisbatan yuqori qilib olish bilan erishish mumkin.

Tanlovchanlik va o'tkazuvchanlik polosasi orasidagi qarama-qarshilikni to'liq bartaraf etishning iloji yo'q, ayniqsa, sxemada tebranish zanjiri sifatida yakka kontur qo'llanilgan bo'lsa.



3.9-rasm. Konturni uzatish koeffitsiyenti kuchlanishining absolyut sozlanmaganlikka bog'liqligi

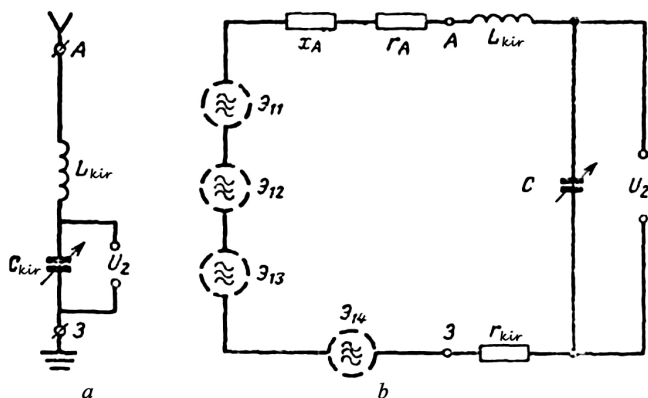
3.5. Ketma-ket konturning amalda qo'llanilishi

Radio qabul qilgichning kirish zanjiri ketma-ket konturning amalda qo'llanilishiga misol bo'lib xizmat qilishi mumkin. Kirish zanjirining sodda sxemasi A antennadan, \mathcal{Z} yerga ulagichdan va L_{kir} , C_{kir} kirish konturidan tashkil topgan (3.10- a rasm).

Faraz qilaylik, barcha radiostansiyalar modulyatsiyalanmagan tebranishlar tarqatmoqda, ya'ni faqatgina o'zlarining $f_{01}, f_{02}, f_{03}, \dots$, tashuvchi chastotalarida ishlashmoqda. Har bir stansiya qabul qiluvchi antennada EYuK hosil qiladi, biz ularni o'z navbatida $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots$ bilan belgilaymiz. Ekvivalent sxemada antennani $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots$ EYuK manbalari bilan almashtirish mumkin (3.10- b rasm) va ularning ichki qarshiligini x_A reaktiv va r_A aktiv antennaning chiqish qarshiligi tashkil etuvchilaridan iborat deb hisoblash mumkin. $L_{kir}, C_{kir}, r_{kir}$ kirish konturi EYuK manbalariga ketma-ket ulangan bo'ladi.

Tashuvchi chastotasi f_{01} bo'lgan radiostansiyani qabul qilish uchun C_{kir} kondensator bilan kontur rezonansga sozlanadi. Konturning rezonans chastotasi f_{01} ga. U holda kontur sig'imidan olinadigan U_2 kuchlanish unga to'g'ri keladigan \mathcal{E}_{11} EYuK dan K_0 marotaba katta bo'ladi.

Qolgan EYuK ($\mathcal{E}_{12}, \mathcal{E}_{13}, \dots$)lar uchun kirish konturi sozlanma-



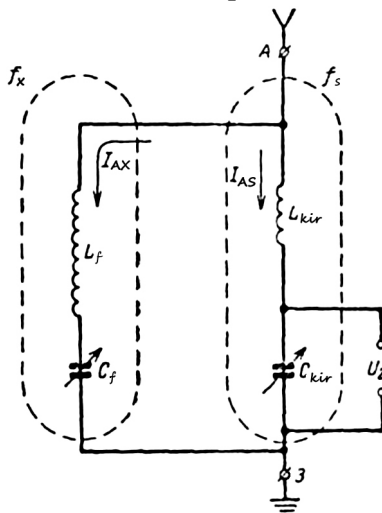
3.10-rasm. Radio qabul qilgichni kirish zanjiri va uning ekvivalent sxemasi

gan va kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti nisbatan kichik qiymatga ega (bu koeffitsiyent hatto birdan kichik bo'lishi ham mumkin). Natijada qabul qilanayotgan radiosignalning kuchlanishi kuchayadi, ya'ni chastota tanlovchanligi amalga oshiriladi.

Modulyatsiyaning mavjudligida har bir stansiya tashuvchi chastotaning EYuK ga sinusoidal EYuK yonbosh chastotalari qo'shiladi. Kirish konturi faqatgina ma'lum tashuvchi chastota uchun rezonansga sozlanadi, shuning uchun begona radiostansiyalarning yonbosh chastota tebranishlari ham bir oz so'nadi. Aniqroq qilib aytganda o'sha stansiyaning tashuvchi chastota amplitudasiga qaraganda ularning amplitudasi kamroq kuchayadi.

Agarda qandaydir f_x xalaqit chastotasi qabul qilinayotgan f_s signal chastotasidan farq qilsa, u holda bu xalaqit ta'sirini ketma-ket konturdagi L_f , C_f filtr bilan susaytirish mumkin (3.11-rasm) L_{kir} , C_{kir} kirish konturi f_s chastotaga, filtr esa f_x chastotaga – rezonansga sozlanadi.

Signal uchun filtr sozlanmaganligi sababli, uning kirish qarshiligi (A va 3 nuqtalar orasida) katta, xalaqitlar uchun uning qarshiligi minimal. Bunday sharoitda antenna signali toki I_{AS} salkam to'liq kirish konturi orqali o'tadi va C_{kir} kondensatorda maksimal U_2 kuchlanish hosil qiladi. Ayni vaqtda antenaning xalaqit toki I_{AX} , L_f , C_f filtrning kam qarshiligi orqali tutashtiriladi va kirish konturiga xalaqitlar mutlaq tushmaydi. Bu sxemada signal/xalaqit nisbatini yanada o'sishiga olib keladi va xalaqitlarning susayishi faqat kirish konturining sozlanmaganligi hisobiga hosil bo'ladi.

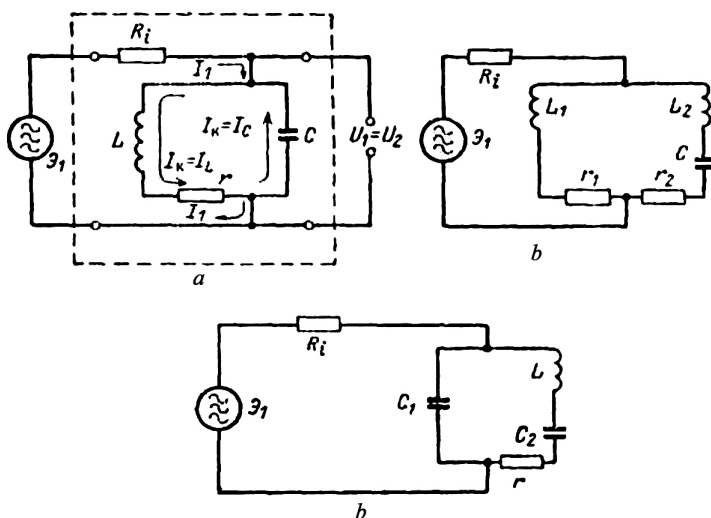


3.11-rasm. Xalaqit ta'sirini filtr bilan susaytirish sxemasi

IV bob. PARALLEL KONTURDA MAJBURIY TEBRANISHLAR

4.1. I turdagi parallel kontur

EYuK manbayiga parallel ulangan induktivlik va sig'imdand tashkil topgan sxema parallel tebranish konturi deb ataladi. Parallel konturning birnecha turlari mavjud. Ulardan nisbatan soddasi I turdagi kontur deb ataladi (4.1- a rasm).



4.1-rasm. Parallel konturning I turdagi sxemasi.

Unda ikkita shoxcha mavjud, ulardan biri r yo'qolish qarshiligi va L induktivlikdan hosil qilingan, ikinchisi esa C sig'imdand tashkil topgan (sig'imdagi yo'qolishlar juda kam bo'lganligi uchun u inobatga olinmaydi); ikkala shoxcha ham R_i ichki qarshilikki ega bo'lgan \mathcal{E}_1 EYuK manbayidan oziqlanadi. Chiqish U_2 kuchlanish induktivlikdan (sig'imdand) olinadi. U_2 kuchlanish generatorning E_1 EYuK dan $I_1 R_i$ kuchlanish tushuvchi qiymatga kichik, u holda U_2 bir vaqtning o'zida U_1 generator kuchlanishi hisoblanadi. Kompleks ko'rinishda u quyidagicha ifodalanadi:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \mathcal{E}_1 - I_1 \cdot R_1.$$

Kuchlanishning generator tokiga nisbati konturning kirish qarshiligidir:

$$Z_{kir} = \frac{\dot{U}_1}{I_1}.$$

Agar kontur parallel ulangan shoxchalar qarshiligidan hosil qiligan deb hisoblasak, konturning kirish qarshiligini kontur ko'rsatkichlari orqali ifodalash mumkin:

$$Z_1 = r + j\omega L \quad \text{va} \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C} - j \frac{1}{\omega C};$$

$$Z_{kir} = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2} = \frac{(r + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{r + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{(r + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{r + jx},$$

bunda, $x = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ – konturning, elementlarining ketma-ket aylanib o'tgandagi reaktiv qarshiligi.

Ko'pincha $r \ll \omega L$, shuning uchun ωL induktiv qarshilikka nisbatan r aktiv qarshilikni inobatga olmasa ham bo'ladi (biroq nolga teng bo'lishi mumkin bo'lgan x qarshilikka nisbatan emas). Bunga asoslanib quyidagicha yozish mumkin:

$$Z_{kir} = \frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{r + jx} = \frac{\frac{L}{C}}{r + jx}.$$

Ifodaning ikkala qismini $r-jx$ ga ko'paytiramiz:

$$Z_{kir} = \frac{\frac{L}{C}}{r + jx} \cdot \frac{r - jx}{r - jx} = \frac{Lr}{C(r^2 + x^2)} - j \frac{Lx}{C(r^2 + x^2)}.$$

Bu ifodaning kompleks xarakteri I turdagi konturning kirish qarshiligi R_{kir1} aktiv va X_{kir1} reaktiv tashkil etuvchilaridan iborat ekanligini ko'rsatadi:

$$R_{kir1} = \frac{Lr}{C(r^2 + x^2)}, \quad (4.1)$$

$$R_{kir1} = \frac{Lx}{C(r^2 + x^2)}. \quad (4.2)$$

Rezonansda konturning reaktiv tashkil etuvchi kirish qarshiligi nolga teng ($X_{kir1} = 0$). Bu (4.2) formulaga asosan $x = 0$ bo'lganda bo'lishi mumkin. U holda (4.1) ifoda bo'yicha I turdagi konturning rezonans kirish qarshiligi aktiv xarakterga ega va

$$R_{kir1} = \frac{L}{C \cdot r} = \frac{\rho^2}{r} = \rho Q \quad (4.3)$$

ga teng bo'ladi.

Parallel kontur (kuchlanish bo'yicha emas), ketma-ket kontur rezonansda tok bo'yicha kuchaytirish beradi.

Generatorning E_1 elektr yurituvchi kuchi generatorning R_i ichki qarshiligi va konturning R_{kir1} kirish qarshiligi orasida taqsimlanadi, chiqishdagi U_2 kuchlanish esa faqat konturdan, ya'ni R_{kir1} qarshiligidan olinadi. Shuning uchun parallel konturni rezonansli kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti, U_2 ni E_1 rezonansli qiymati nisbatiga teng. Qarshilik orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$K_0 = \frac{R_{kir1}}{R_i + R_{kir1}}.$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, $K_0 < 1$, ya'ni parallel kontur hatto rezonansda ham kuchlanish bo'yicha kuchaytirish bermaydi.

Toklarni tahlil qilishda shoxchadagi I_L induktivlik toki uni hosil qilgan U_1 generator kuchlanishidan faza bo'yicha 90° ortda qoladi, shoxchadagi I_C sig'im toki unga berilgan U_1 kuchlanishdan 90° o'ldinda, ya'ni bu toklar bir-biriga nisbatan qarama-qarshi fazada joylashgan. Bundan tashqari ω_0 rezonans chastotasida reaktiv qarshilik $x = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$ va $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$. Shoxchalardagi qarshiliklar teng bo'lganligi va ularga bir xil U_1 kuchlanish berilgan, u holda shoxchalardagi toklar ham o'zaro teng:

$$I_L = \frac{U_1}{\omega_0 L} = \frac{U_1}{\frac{1}{\omega_0 L}} = I_C.$$

I_L va I_C toklar orasidagi 180° faza siljiishi shuni anglatadiki, agar I_L tok konturning yuqori nuqtasidan pastki nuqtasi tomon yoʻnalgan boʻlsa, u holda I_C toki konturning pastki nuqtasidan yuqori nuqtasi tomon yoʻnalgan boʻladi. Bu toklar teng boʻlishi bilan birga ularni yagona I_k kontur toki deb qarash mumkin. Kontur toki ketma-ket induktiv ($I_k = I_L$) va sigʻim ($I_k = I_C$) shoxchalar orqali generator zanjiriga tarmoqlanmasdan oʻtadi, (4.1-a rasm). Buning natijasida L , C , r zanjirning umumiy qarshiligi kontur toki uchun r aktiv qarshilikka teng va konturdagi aktiv quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$P_k = \frac{I_{k.m}^2 r}{2} \quad (4.4)$$

bunda, $I_{k.m}$ – kontur tokining amplitudasi.

Bu quvvat generatordan keltirilgan. Demak, uni generatorning tok amplitudasi I_{1m} orqali ifodalash mumkin va rezonansli kirish qarshiligi $R_{kir} = \frac{L}{C \cdot r}$ koʻrinishida ifodalanadi:

$$P_k = \frac{I_{k.m}^2 \cdot R_{kir}}{2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot L}{2Cr}. \quad (4.5)$$

(4.4) va (4.5) formulalarning oʻng qismini tenglashtirib:

$$\frac{I_{k.m}^2 \cdot r}{2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot L}{2}$$

kontur va generator toklari orasidagi nisbatni aniqlaymiz:

$$\frac{I_{k.m}}{I_{1m}} = \sqrt{\frac{L}{Cr^2}} = \sqrt{\frac{\rho^2}{r^2}} = Q. \quad (4.6)$$

Shunday qilib, I turdagi parallel konturda rezonans vaqtida kontur toki generator tokidan Q (asillik) marotaba katta boʻladi. Shuning uchun parallel konturdagi rezonans tok rezonansi deb nomlanadi.

4.2. Parallel konturning II, III va umumiy turlari

Amaliyotda I turdagi konturdan tashqari birmuncha murakkab bo'lgan parallel konturlar – II, III va umumiy turdagilari qo'llaniladi. II turdagi konturda bitta shoxchasi L_1 induktivlikdan va ikkinchi shoxchasi L_2 induktivlik va C sig'imdand hosil qilingan (4.1- b rasm). Induktivliklar bir-biriga nisbatan ketma-ket joylashgani uchun umumiy induktivlik $L = L_1 + L_2$ ga teng. Konturning shoxlari orasida induktivlikning taqsimlanishi ulanish koeffitsiyenti bilan baholanadi:

$$P_L = \frac{L_1}{L}.$$

Bunday konturda ikkita rezonans bo'lishi mumkin: ketma-ket, L_2 induktivlikdan va C sig'imdand hosil qilinganda va parallel, konturning barcha reaktiv elementlari ishtirok etganda. Ketma-ket rezonans – kuchlanish rezonansi – generator chastotasi $\omega = \omega_0$ bo'lganda hosil bo'ladi, u quyidagi tenglamani qoniqtiradi:

$$\omega_0 L_2 - \frac{1}{\omega_0 C} = 0.$$

Bunda kontur shoxchasining umumiy qarshiligi L_2 , C , r_2 shunchalik kichikki (u r_2 ga teng), amalda generator tokining hammasi ketma-ket kontur orqali tutashtiriladi, konturning boshqa shoxchasi (L_1 , r_2) sxema ishlashida ishtirok etmaydi.

Agarda generator chastotasini kamaytirsak, u holda L_2 C shoxcha qarshiligi ortadi va sig'im xarakteriga ega bo'ladi, ωL_1 induktivlik qarshiligi esa kamayadi. Qandaydir $\omega = \omega_0$ chastotada ular teng bo'lishadi:

$$-(\omega_0 L_2 - \frac{1}{\omega_0 C}) = C.$$

Hosil bo'lgan rezonans (tok rezonansi) parallel deb nomlanadi, endi sxema ishlashida konturning barcha elementlari ishtirok etadi.

III turdagi konturda bitta shoxchada C_1 sig'im ulangan,

boshqa shoxchaga esa L induktivlik va C_2 sig'ım ulangan (4.1- d rasm). Shoxchalardagi sig'ımlar bir-biriga nisbatan ketma-ket joylashganligi uchun umumiy sig'ım quyidagiga teng:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Konturning shoxchalari orasida sig'ımning taqsimlanishi ulanish koefitsienti bilan baholanadi:

$$P_C = \frac{C}{C_1}.$$

P_C koefitsiyent P_1 koefitsiyent kabi birdan kichik. Bunday konturda ham ikkita rezonans bo'lishi mumkin: ketma-ket, ω_0 chastotada LC_2 shoxchadan hosil qilingan va parallel konturning barcha reaktiv elementlari ishtirok etganda. Chastotalar

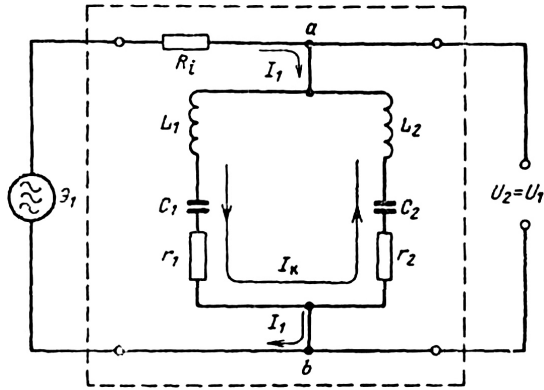
$\omega = \omega_0$ bo'lganda reaktiv qarshiliklar $\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$ ga teng

bo'ladi, shuning uchun amalda generator tokining hammasi L , C_2 , r shoxcha orqali tutashtiriladi. ω chastotaning ω_0 chastotaga nisbatan o'sishi bilan L , C_2 , r shoxchalarning qarshiligi har qanday ketma-ket konturniki kabi o'sadi va induktiv xarakterga ega bo'ladi, boshqa shoxchani qarshiligi esa, (C_1) sig'imli bo'lgani uchun kamayadi, $\omega = \omega_0$ parallel rezonans chastotasida bu qarshiliklarning tengligi hosil bo'ladi:

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C_2} = -\frac{1}{\omega_0 C_1}.$$

ω_0 kuchlanish rezonans chastotasi II turdagi konturda katta, III turdagi konturda esa tok rezonansi chastotasi kichikligini ta'kidlab o'tish lozim.

Umumiy turdagi parallel kontur birnecha shoxchalardan iborat bo'lishi mumkin, ulardan har biri ketma-ket kontur hisoblanadi. 4.2-rasmda ko'rsatilgan sxemada uchta turli rezonans bo'lishi mumkin: birinchi – ketma-ket $L_1 C_1$ shoxchasida, ikkinchi ketma-ket $L_2 C_2$ shoxchada va uchinchisi parallel konturning barcha elementlari ishtirok etganda. Bundan keyin gap faqat parallel rezonans to'g'risida boradi.



4.2-rasm. Umumiy turdagi parallel kontur.

Umumiy turdagi konturning Z_{kir} kirish qarshiligini aniqlaymiz. Konturning birinchi va ikkinchi shoxlari r_1, r_2 aktiv, x_1, x_2 reaktiv va Z_1, Z_2 to'liq qarshiliklarga ega. U holda konturning kirish qarshiligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Z_{kir} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{(r_1 + jx_1)(r_2 + jx_2)}{r_1 + jx_1 + r_2 + jx_2} = \frac{(r_1 + jx_1)(r_2 + jx_2)}{r + jx}$$

bu yerda, $r=r_1+r_2$ – konturning aktiv yo'qolishlar qarshiligi (uning elementlarini ketma-ket aylanib o'tishidagi).

$x = x_1 + x_2$ – konturning reaktiv qarshiligi (uning elementlarini ketma-ket aylanib o'tishdagi).

Rezonansga yaqin bo'lgan chastota sohasida quyidagi tenglik $r_1 \ll x_1$ va $r_1 \ll x_2$ o'rinli. Shuning uchun r_1 va r_2 qarshiliklar qiymatlari nisbatining yuqori qismida inobatga olmasa ham bo'ladi. Nisbatning ikkala qismini $r-jx$ qiymatga ko'paytiramiz:

$$Z_{kir} = \frac{jx_1 jx_2}{r + jx} \cdot \frac{r - jx}{r - jx} = \frac{x_1 x_2 r}{r^2 + x^2} + \frac{x_1 x_2 x}{r^2 + x^2}$$

Hosil bo'lgan kompleks sondan $Z_{kir} = R_{kir} + jX_{kir}$ aktiv R_{kir} va reaktiv X_{kir} kirish qarshiligi tashkil etuvchilarini aniqlaymiz:

$$R_{kir} = \frac{x_1 x_2 r}{r^2 + x^2}, \quad (4.7)$$

$$X_{kir} = \frac{x_1 x_2 x}{r^2 + x^2}. \quad (4.8)$$

4.3. Parallel konturda rezonans

Ta'kidlab o'tkanimizdek, konturdagi rezonans shu bilan xarakterliki, unda konturning kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi nolga teng va kontur generator uchun sof aktiv yuklama sifatida xizmat qiladi, ya'ni $Z_{kir} = R_{kir}$, $X_{kir} = 0$.

Bu ta'rif har qanday turdagi parallel rezonans xususiyatlarini aniqlash imkoniyatini beradi.

1. Alohida olingan shoxchalarning reaktiv qarshiligi (X_1 yoki X_2) nolga teng emas, u holda (4.8) formula shartidan $X_{kir} = 0$ va $x = 0$ kelib chiqadi, ya'ni rezonans holatida parallel konturning reaktiv qarshiligi uning elementlarini ketma-ket aylanib o'tishda nolga teng.

2. $x = x_1 + x_2 = 0$ tenglik, $x_1 = -x_2$ ekanligini anglatadi, ya'ni kontur shoxchalarining reaktiv qarshiliklari son jihatidan teng va ishorasi bo'yicha qarama-qarshi; agarda konturning shoxchalaridan birining qarshiligi induktiv xarakterga ega bo'lsa, unda boshqasining qarshiligi sig'imli xarakterga ega bo'ladi.

3. Kontur sxemasidan ko'rinib turibdiki, ω_0 rezonans chastotasida qarshilikka $x_1 = \omega_0 L_1 - \frac{1}{\omega_0 C_1}$ va $x_2 = \omega_0 L_2 - \frac{1}{\omega_0 C_2}$ to'g'ri keladi.

Bu $x_1 = -x_2$ tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish imkoniyatini beradi:

$$\omega_0 L_1 - \frac{1}{\omega_0 C_1} = -(\omega_0 L_2 - \frac{1}{\omega_0 C_2})$$

yoki:

$$\omega_0 (L_1 + L_2) = \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right).$$

Konturning umumiy induktivligini va sig'imini uning ele-

mentlarini ketma-ket aylanib o'tishida quyidagicha belgilash o'rinli bo'ladi:

$$L = L_1 + L_2 \text{ va } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2};$$

bundan,

$$\omega_0 L_1 - \frac{1}{\omega_0 C_1}$$

tengligini olamiz.

Shunday qilib, parallel konturda rezonansda uning umumiy induktivlik va sig'im qarshiliklari o'zaro bir-biriga teng.

4. Oxirgi tenglamadan shuni aytish mumkinki:

$$\omega_0 - \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad (4.9)$$

ya'ni parallel konturda rezonans, ketma-ket ulanishdagi kabi generator chastotasi konturning xususiy chastotasiga teng bo'lganda hosil bo'ladi. Bu faqat konturda yoqotishlar mavjud bo'lmagandagina amalga oshishi mumkin.

(4.9) formuladan, shuningdek, rezonansda parallel konturning induktivlik va sig'im qarshiliklari tengligi ularning xarakteristik qarshilikka tengligini ko'rsatadi:

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho.$$

5. (4.7) ifoda rezonans hodisasi uchun ($x=0$, $x_1 = -x_2$) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R_{kir} = -\frac{x_1 x_2 r}{r^2 + x^2} = -\frac{x_1 (-x_2) r}{r^2} = \frac{x_1^2}{r} = \frac{x_2^2}{r}. \quad (4.10)$$

Xulosa. Parallel konturning kirish qarshiligi rezonansda aktiv xarakterga ega va son jihatidan konturning istalgan shoxchasi reaktiv qarshiligining kvadratini konturdagi barcha aktiv yo'qotishlar qarshiligiga bo'lganiga teng.

I turdagi kontur uchun (4.10) formulani qo'llab, $x_1 = \omega_0 L$ va

$$x_2 = \frac{1}{\omega_0 C} \text{ uchun}$$

$$R_{kirI} = \frac{\omega_0^2 L^2}{r} = \frac{1}{\omega_0^2 C^2 r} = \frac{\rho^2}{r} = \frac{L}{Cr} = \rho Q$$

ifodani olamiz.

Bu natija (4.3) formula bilan to'g'ri keladi.

II turdagi kontur uchun $x_1 = \omega_0 L_1 = \omega_0 P_L L = P_L \rho$, shuning uchun rezonans kirish qarshiligi:

$$R_{kirII} = \frac{x_1^2}{r} = P_L^2 \frac{\rho^2}{r} = P_L^2 R_{kirI}$$

III turdagi kontur uchun

$$x_1 = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{P_C}{\omega_0 C} = P_C \rho$$

va

$$R_{kirIII} = \frac{x_1^2}{r} = P_C^2 \frac{\rho^2}{r} = P_C^2 R_{kirI}.$$

Shunday qilib I turdagi kontur eng katta qarshilikka ega ekan. Parallel kontur shoxlarida induktivlik sig'im taqsimlanishi uning rezonans qarshiligining o'zgarishini hosil qiladi, bu esa radiotexnikada turli qarshiliklar qo'llash kerak bo'lganda parallel tebranish konturini qo'llash imkonini beradi.

Tok rezonansining fizikaviy mazmuni

Agada sxema faqat aktiv qarshiliklardan tashkil topganda edi, tarmoqlangan toklar umumiy zanjirdagiga qaraganda katta bo'lmagan bo'lar edi. Tok rezonansida bunday holat bo'lishi mumkin, chunki generator ulangandan keyin konturning reaktiv elementlarida zaxira energiyasi hosil qiladi. Shundan keyin bu energiya ideal konturdagi erkin tebranishlar kabi u energiyasini elektr (kondensatorni)dan magnitliga (induktiv g'altakni) va teskarisiga o'zgartiradi. Bu holatda generator faqat konturdagi yo'qolishlarni kompensatsiyalaydi va generator toki kontur tokiga nisbatan kichik bo'ladi. Chunki yo'qolishlar quvvati konturda zaxiralangan reaktiv quvvatdan nisbatan kichik.

Parallel rezonansda kuzatiladigan tok kuchayishi, kontur in-

duktivligi yoki sig' imda zaxiralangan P_g quvvati generatordan konturga berilgan P_k tebranma quvvatdan ortiq. Masalan, I turdagi kontur uchun ($I_{k.m} = I_{1m}Q$; $R_{1kir} = \rho Q$; $x_L = x_C = \rho$):

$$P_q = \frac{I_{k.m}^2 \cdot x_L}{2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot x_C}{2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot \rho}{2};$$

$$P_k = \frac{I_{k.m}^2 \cdot R_{kir1}}{2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot \rho^2}{2Q^2} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot \rho}{2Q};$$

$$\frac{P_q}{P_k} = \frac{I_{k.m}^2 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{2Q}{I_{k.m}^2 \rho} = Q.$$

Olingan quvvatlar nisbati energiyani saqlanish qonuniga zid emas, chunki generatordan berilayotgan P_k quvvat aktiv – u r yo'qolishlar qarshiligidan tarqaladi, reaktiv P_q quvvat esa – konturning induktivligida va sig'imida jamg'ariladi, bu barcha o'tish jarayonida davom etadi. Shu vaqtda tebranishlar stabilizatsiyalanadi, reaktiv quvvat aktiv quvvatdan Q marotaba ortadi va u konturda ham shunday saqlanib qoladi, faqatgina induktivlikdan sig'imga o'tishda va aksincha, o'zgaradi. Bunday holat kuchlanish rezonansida ham kuzatiladi.

4.4. Parallel konturning kirish qarshiligi sozlanmaganda

I konturning kirish qarshiligini ω chastotada ω_0 rezonans chastotaga yaqin bo'lgan sohada ko'rib chiqamiz. Bu sohada:

$$x_1 = \omega L \approx \omega_0 L = \rho, \quad x_2 = -\frac{1}{\omega C} \approx \frac{1}{\omega_0 C} = -\rho$$

va (3.4) formulaga binoan konturning kirish qarshiligi kompleks ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Z_{kir} = \frac{jx_1 jx_2}{r + jx} = \frac{\rho^2}{r(1 + ja)} \quad (4.11)$$

Nisbatning o'linuvchisi bizga ma'lum bo'lgan ketma-ket konturning kirish qarshiligi ifodasini takrorlamaydi.

Buning asosida generator chastotasining o'zgarishi parallel konturda, ketma-ket konturdagi kirish qarshiligiga solishtirganda teskarisiga o'zgaradi.

$\frac{\rho}{r}$ qiymatni Q bilan almashtiramiz va nisbatning bo'luvchi va bo'linuvchisini $1-ja$ kompleks songa ko'paytiramiz:

$$Z_{kir} = \frac{\frac{\rho^2}{r}}{1+ja} = \frac{\rho Q}{1+ja} \cdot \frac{1-ja}{1-ja} = \frac{\rho Q}{1+a^2} - j\rho Q \frac{a}{1+a^2}.$$

Hosil bo'lgan ifoda shuni ko'rsatadiki, parallel konturning Z_{kir} kirish qarshiligi umumiy holda $Z_{kir} = R_{kir} + jX_{kir}$ kompleks soni bilan ifodalanadi. Unda R_{kir} aktiv, X_{kir} reaktiv tashkil etuvchilar bo'lib, ular quyidagiga teng:

$$R_{kir} = \frac{jQ}{1+a^2},$$

$$R_{kir} = -\rho Q \frac{jQ}{1+a^2}.$$

Bu tashkil etuvchilardan kelib chiqib, Z_{kir} modulini va ϕ_{kir} argumentini (yani generator kuchlanishini faza bo'yicha tokka nisbatan siljishini) topamiz:

$$Z_{kir} = \sqrt{R_{kir}^2 + X_{kir}^2} = \frac{\rho Q \sqrt{1+a^2}}{1+a^2} = \frac{\rho Q}{\sqrt{1+a^2}} \quad (4.14)$$

$$\phi_{kir} = \arctg \frac{X_{kir}}{R_{kir}} = \arctg(-a). \quad (4.15)$$

Olingan ifodalar bo'yicha R_{kir} , X_{kir} , Z_{kir} va ϕ_{kir} kattaliklarining umumlashgan sozlanmaganlik (a) nisbatan bog'lik grafigi ko'rsatilgan (4,3- a, b rasm) (4.12), (4.13), (4.14) va (4.15) ifodalarga $a = 0$ qiymatini qo'yib, rezonansda $R_{kir} = \rho \cdot Q$, $X_{kir} = 0$, $Z_{kir} = 0$ va $\phi_{kir} = 0$ ekanligiga iqror bo'lamiz.

(4.12) va (4.14) formulalariga binoan a konturning umumlashgan sozlanmaganligining har qanday ishorasida ham uning o'sishi konturning kirish Z_{kir} modulini va R_{kir} aktiv tashkil etuvchisining uzluksiz kamayishini hosil qiladi

a kattalik (4.13) ifodaning suratida birinchi darajali ko'paytiruvchi va maxrajida ikkinchi darajali qo'shiluvchi ko'rinishida ko'rsatilgan. Shuning uchun a qiymatning qolgan ± 1 gacha suratida o'zgarishi maxrajidagiga nisbatan ko'proq o'zgarishi-

ga olib keladi va konturning kirish qarshiligi X_{kir} reaktiv tashkil etuvchisi absolyut qiymat bo'yicha o'sadi sozlanmaganlikning keyingi ushida maxrajning suratga nisbatan o'zgarishi ko'proq bo'ladi va X_{kir} tashkil etuvchi absolyut qiymat bo'yicha kamayadi. Agar $a = \pm 1$ bo'lsa, $X_{kir} = +\rho Q/2$ bo'ladi. (4.13) ifodadagi manfiy ishora kontur kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi manfiy sozlanmaganlikda musbat (induktiv xarakterga ega) va musbat sozlanmaganlikda manfiy (sig'im xarakterga ega) ekanligini ko'rsatadi.

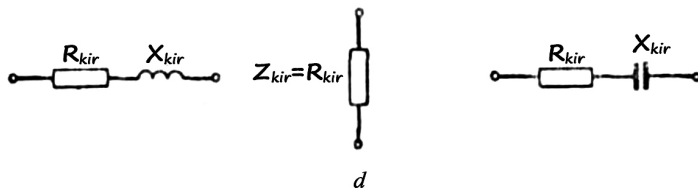
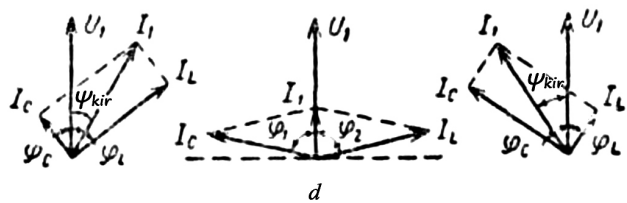
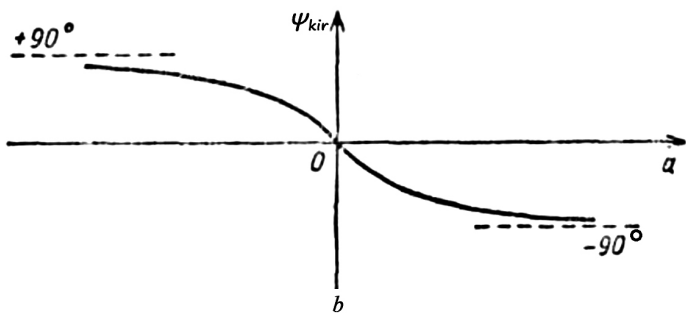
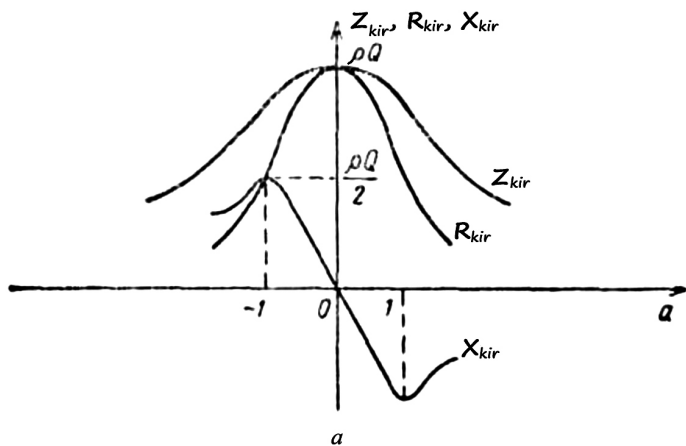
Oxirgisi (4.15) formula bilan kirish qarshiligi argumenti grafi bilan tasdiklanadi. Rezonansidan kichik chastota sohasida a qiymatning $-\infty$ dan 0 gacha va qarshilik argumenti φ_{kir} 90° dan 0 gacha o'zgarishi kuzatiladi (generator kuchlanishi faza bo'yicha generator tokidan o'tadi) rezonansidan katta chastota sohasida ($a > 0$), sozlanmaganlikning o'sishi φ_{kir} ni 0 dan -90° gacha o'zgarishi kuzatiladi (generator kuchlanishi faza bo'yicha generator tomonidan orqada qoladi).

Rezonansda shoxchalardagi induktivlik toki (II) va sig'im toki (I_s) o'zaro teng va generator toki I_1 undagi V_1 kuchlanish bilan faza bo'yicha to'g'ri kelishi 4.3- a rasmdagi vektor diagrammada ko'rsatilgan; manfiy sozlanmaganlikda $\omega L < \frac{1}{\omega C}$, xususan, $I_1 = U_1 / \omega L > I_c = U_i \cdot \omega$, tok esa faza bo'yicha V_1 dan φ_{kir} burchakka orqada qoladi; musbat sozlanmaganlikda ($a > 0$) $\omega L > \frac{1}{\omega C}$, $I L < I_c$ tokdan va generator toki I_1 faza bo'yicha V_1 kuchlanishdan φ_{kir} burchakka o'sadi.

Konturning kirish qarshiligi tashkil etuvchilarning $a < 0$, $a = 0$, $a > 0$ dagi ko'rinishlari 4.3- e rasmda ko'rsatilgan.

Shunday qilib, ketma-ket va parallel konturning sozlanmaganligi ularning kirish qarshiligining teskari o'zgarishiga olib keladi.

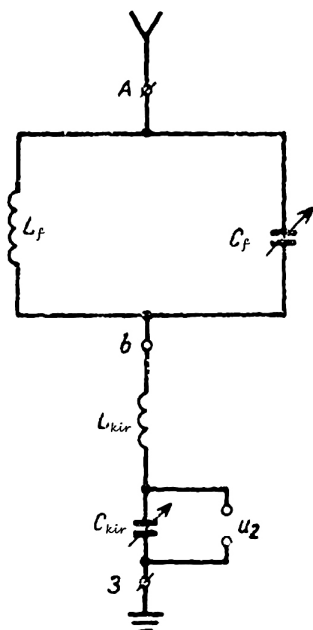
1. Rezonansda ikkala konturning kirish qarshiligi aktiv xarakterga ega, ammo ketma-ket kontur uchun bu modul qarshiligi minimal. Parallel kontur uchun esa maksimal hisoblanadi.



4.3-rasm. Konturning kirish qarshiligi tashkil etuvchilarining ko'rinishlari

2. Sozlanmaganlikning usishi bilan uning ishorasidan qat'iy nazar kirish qarshiligi moduli ketma-ket konturda uzluksiz ortadi, parallel konturda esa kamayadi.

3. Har qanday konturdagi sozlanmaganlik kirish qarshiligini kompleks qiladi, ammo rezonansdan kichik chastotalarda kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi ketma-ket kontur uchun sig'imli xarakterga ega, parallel kontur uchun esa induktiv; rezonansda katta chastotalarda kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchi ketma-ket kontur uchun induktivlik, parallel konturda esa sig'imli xarakterga ega. Sozlanmaganlikning bunday farqi quyidagicha tushuntiriladi, L va C ni ketma-ket ulaganda, uning xarakteri umumiy reaktiv qarshilikning katta qarshiligi bilan (sig'imli $a < 0$ bo'lganda va induktivlik $a > 0$ bo'lganda) L va C ning va parallel ulangan holatida esa – katta o'tkazuvchanligi bilan (induktivlik $a < 0$ bo'lganda va sig'imlik $a > 0$ bo'lganda).



4.4-rasm. Ketma-ket va parallel konturlari o'zgarishlarida qabul qilgichning kirish zanjiri

Ketma-ket va parallel konturlanilgan kirish qarshiliklarining teskari o'zgarishlarida, qabul qilgichning kirish zanjirida xalaqitlarni so'ndirish uchun L_f , S_f filtr sifatida parallel qo'l-lashga asoslagan (4.4-rasm).

Filtr L_{kir} va C_{kir} kirish konturi bilan ketma-ket ulanadi, rezonansga f_x xalaqit chastotasiga sozlangan, kirish konturi esa foydali signalning f_s tashuvchisiga sozlanadi. Buning oqibatida parallel konturning kirish qarshiligi (A , B nuqtalar orasida) sozlanmaganlikda kichik va rezonansda katta tok signali kirish konturiga hech qanday to'siqsiz o'tadi, xalaqitlar toki esa unda filtr bilan susaytiriladi. Keyinchalik kirish konturi foydali signalni kuchlanish rezonansi hisobiga kuchaytiradi va xalaqitni qo'shimcha susay-

tiradi. Ko'rib turganimizdek parallel kontur ko'rinishidagi filtr boshqachasiga filtr-qopqoq deb ataladi. U 3.11-rasmdagi ketma-ket kontur sxemasi bajaragan funksiyani bajaradi, ammo ketma-ket kontur kirish konturi bilan parallel ulanadi, filtr-qopqoq esa ketma-ket ulanadi.

4.5. Rezonansda va sozlanmaganlikda parallel konturning kuchlanishini uzatish koeffitsiyenti

Parallel konturning ulanish sxemasidan ko'rinib turibdiki (4.1- a rasm), tebranish konturi generatorning R_i qarshiligi bilan shuntlangan. R_i qarshilik induktiv qarshilikka parallel ulangan $\omega L = \omega_0 L = \rho$ yoki sig'im qarshiligiga $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega_0 C} = \rho$, L induktivlikka (yoki C sig'imga) kema-ket ulangan aktiv qarshilikka ekvivalent $r_i = \rho^2 / \rho_i$, buning uchun konturning yo'qolish qarshiligi r dan $r + r_i$ ga ortadi, kontur asilligi esa Q dan

$$Q_e = \frac{\rho}{r + r_i} = \frac{\rho}{r + \frac{\rho^2}{R_i}} = \frac{\rho}{r \left(1 + \frac{\rho^2}{R_i \cdot r} \right)} = \frac{Q}{1 + \frac{R_{kir}}{R_i}} \quad (4.16)$$

gacha kamayadi.

Bundan $R_{kir} = \rho^2 / r$ yakka parallel konturning kirish qarshiligi.

(4.16) formula tahlili shuni ko'rsatadiki, parallel konturning ekvivalent asilligi faqatgina $R_i \gg R_{kir}$ shartdagina yuqori bo'lishi mumkin, shuning uchun konturning parallel ulanishi (EYuK manbayiga nisbatan) manbaning ichki qarshiligi yertarlacha katta bo'lganda qo'llanadi.

Agar $R_i \gg R_{kir}$ bo'lsa, u holda EYuK manbaning ichki qarshiligidagi kuchlanish tushuvini inobatga olmasa ham bo'ladi va konturning chiqish kuchlanishi U_2 ni \mathcal{E}_1 EYuK generatorga teng deb hisoblash mumkin.

Bu to'rt qutbli kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti barcha chastotalarda birga teng $\left(K = \frac{U_2}{\mathcal{E}_1} = 1 \right)$, ya'ni kontur kuchlanishi

bo'yicha tanlovchanlik xususiyatiga ega emas. Rezonans xususiyati yo'qolishi konturni kichik aktiv ichki qarshilik R_i bilan shuntlanish xususiyati orqali tushuntiriladi.

II va III turdagi parallel konturlarda generatorning ichki qarshiligi R_i ga barcha xarakteristik qarshiliklar ρ ulanmagan. Faqat uning $\rho_i \cdot \rho$ yoki $\rho_c \rho$ qismigina ulangan, shuning uchun qarshilik $r_i = \rho_i^2 \rho^2 / R_i$ yoki $r_i = \rho_c^2 \rho^2 / R_i$ va II turdagi konturning ekvivalent qarshiligi:

$$Q_{ekv} = \frac{\rho}{r + r_i} = \frac{\rho}{r + \rho_i^2 \frac{\rho^2}{R_i}} = \frac{\rho}{r \left(1 + \rho_i^2 \frac{\rho^2}{r R_i} \right)} = \frac{Q}{1 + \rho_i^2 \cdot \frac{R_{kir} I}{R_i}}$$

Demak, II turdagi (shuningdek, III turdagi) konturning ekvivalent asilligi I konturnikiga qaraganda ($\rho_i < 1$) katta. Bu generatorning shuntlovchi xususiyatining kamayishi bilan tushuntiriladi.

Endi parallel konturning amplituda chastota tavsifnomasi teglamasini chiqarishiga o'tamiz.

Sinusoidal EYuK generatorning R_i ichki qarshiligida va konturning Z_{kir} kirish qarshiligida oziqlantiruvchi zanjirda tok hosil qiladi:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_i + Z_{kir}}$$

Chiqish kuchlanishi U_2 konturdan olinadi shuning uchun

$$\dot{V}_1 = \dot{I}_1 \cdot Z_{kir} = \frac{E_1 Z_{kir}}{R_i + Z_{kir}},$$

Kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti esa:

$$\dot{K} = \frac{\dot{V}_2}{E_1} = \frac{Z_{kir}}{R_i + Z_{kir}}$$

(4.11) formulaga binoan almashtirish o'tkazamiz, $\rho^2/r = \rho Q$ ekanligini inobatga olgan, u holda o'zgarishlardan so'ng:

$$K = \frac{\rho Q_{ekv}}{R_i \left(1 + j 2 \frac{\Delta f}{f_0} \cdot Q_{ekv} \right)}, \quad (4.17)$$

ifodani olamiz.

Rezonansda ($\Delta f = 0$) kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti:

$$K_0 = \frac{\rho Q_{ekv}}{R_i}. \quad (4.18)$$

(4.17) ifodani (4.18) ifodaga bo'lib, quyidagi nisbatni topamiz:

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{1 + j_2 \frac{\Delta f}{f_0} \cdot Q_{ekv}}.$$

Uning moduli parallel konturning nisbiy koordinatalardagi amplituda chastota tavsifnoma tenglamasi hisoblanadi (tanlovchanlik tenglamasi):

$$Y = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_{ekv}^2 \left(\frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}}. \quad (4.19)$$

Bu tenglamaga asoslanib qurilgan tavsifnoma (4.5-rasm) ketma-ket konturdagi kabi bo'ladi. Demak, har qanday yakka tebranish konturi tanlovchanlik va chastota buzilishlari orasidagi qarama-qarshiliklarini bartaraf qila olmaydi.

Bu $\Delta f_{o'tk}$ polosasi chastotalar farqi sifatida aniqlanadi, kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti K belgilangan oraliqda aniqlangan sathdan kamaymaydi, ko'pincha K_0 rezonans koeffitsiyentidan $0,707 = 1/\sqrt{2}$ gacha.

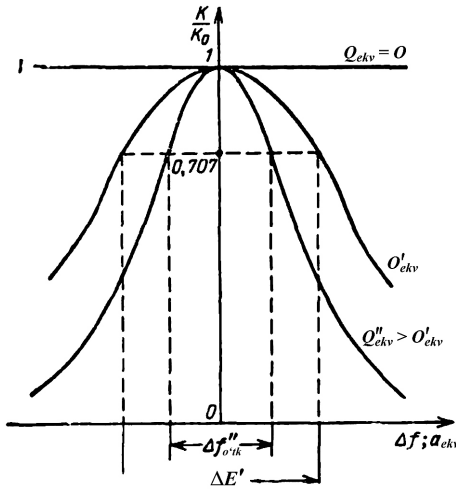
$K / K_0 = 1/\sqrt{2}$ va $2\Delta f = \Delta f_{o'tk}$ ni (4.19) ifodaga qo'yish:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_{ekv}^2 \left(\frac{c f_{o'tk}}{f_0} \right)^2}}$$

ifodani beradi.

(4.16) ifodani hisobga olib, konturning o'tgazuvchanlik polosasini topamiz:

$$\Delta f_{o'tk} = \frac{f_0}{Q_{ekv}} = \frac{f_0}{Q} = \left(1 + \frac{R_{kir}}{R_i} \right). \quad (4.20)$$



4.5-rasm. Konturning o'tkazuvchanlik polosasi

Ko'rib turganimizdek, parallel konturning o'tkazuvchanlik polosasiga generatorning ichki qarshiligi ma'lum ta'sir ko'rsatadi. Agar (4.20) formula-ga $R_i = \infty$; $R_{kir} = 0$; qiymatlarni qo'ysak, u holda $\Delta f_{o'tk} = f_0/Q$; $2f_0/Q$; ∞ ni olamiz.

Bu natija quyidagicha izohlanadi $R_i = \infty$ tenglikda kontur asosli shuntlanmagan va konturning o'tkazuvchanlik polosasi yakka konturnikiga o'xshash bo'ladi. $R_i = R_{kir}$ tenglikda esa generatorning ichki

qarshiligidagi yo'qolishlar ekvivalent asillikni kamaytiradi, u yakka kontur asilligining yarmiga teng, buning oqibatida o'tkazuvchanlik polosasi ikkilanadi; $R_i = 0$ bo'lganda (yoki $Q = 0$) konturdagi kuchlanish generator-dagi EYuK ga teng bo'ladi, uning amplitudasi shart bo'yicha chastotaga bog'liq emas, bu esa o'tkazuvchanlik polosasi cheksiz katta degan ma'noni bildiradi.

Keng sohali sxemalarda, ayrim hollarda konturning ekvivalent sahilligini kamaytirishga to'g'ri keladi, buning uchun konturga parallel qilib aktiv qarshilik ulanadi. Bunday konturning o'tkazuvchanlik polosasi (4.20) formula bo'yicha hisoblanadi, faqatgina R_i qarshilik o'rniga R_i ni inobatga olib hisoblangan umumiy shuntlovchi qarshilik qo'yiladi.

V bob. BOG‘LANGAN KONTURLARDA MAJBURIY TEBRANISHLAR

5.1. Bog‘langan konturlarning sxemalari

Bir konturdagi elektromagnit tebranishlar boshqa kontur-
ga ham berilsa va buning natijasida ular orasida energiya al-
mashinishi hosil bo‘lsa, bunday konturlar bog‘langan konturlar
deb nomlanadi. Boshqacha qilib aytganda bir konturdagi elektr
o‘zgarishlar ikkinchi konturda ham elektr o‘zgarishlar hosil qil-
sa bunday konturlar bog‘langan deb ataladi.

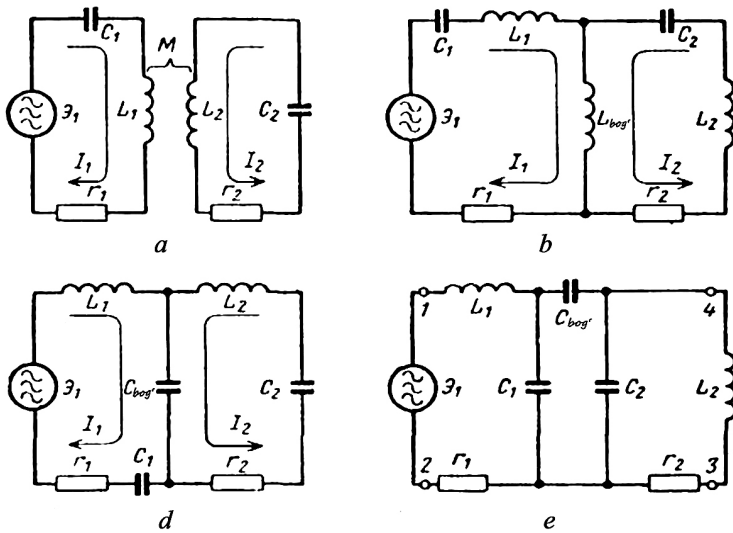
Ikki konturli tizimda birlamchi deb nomlanuvchi kontur
to‘g‘ridan to‘g‘ri EYuK manbayidan oziqlanadi, boshqa kon-
tur – ikkilamchi esa energiyani birlamchi konturdan oladi.

Konturlar bog‘langan bo‘lishi uchun ular orasida element
bo‘lishi kerak. Bu element bog‘lovchi $Z_{bog'}$ qarshilik deb nomla-
nadi. Bu qarshilikning xarakteriga qarab bog‘langan konturlar
sxemalari ham farq qiladi: transformatorli (induktivli), avto-
transformatorli (konduktiv), ichki sig‘imli (sodda sig‘imli), tash-
qi sig‘imli (murakkab sig‘imli).

Transformatorli bog‘langan sxemada (5.1- *a* rasm) \mathcal{E}_1 EYuK
generatori hosil qilgan birlamchi kontur toki I_1 , L_1 induktivlik
g‘altagi orqali o‘tadi va magnit maydon hosil qiladi. Magnit
maydoni L_2 g‘altakdagi EYuKni induktivlaydi, bu EYuK esa ik-
kilamchi konturda I_2 tok hosil qiladi. Demak, ushbu sxemada
bog‘lovchi qarshilik $Z_{bog'} = j\omega M$, bunda M – konturlar orasidagi
o‘zaro induktivlik.

Avtotransformatorli bog‘langan sxemada (5.1- *b* rasm) bir-
lamchi konturdagi I_1 tok $L_{bog'}$ g‘altakda EYuK o‘z induksiyasini
induksiyalaydi, ammo bu g‘altak ikkala kontur uchun umumiy
bo‘lganligi sababli, ikkilamchi konturda ham I_2 tok hosil qiladi.

Ichki sig‘im bog‘lanishli sxemada (5.1- *d* rasm) bog‘lovchi
element vazifasini $C_{bog'}$ kondensator bajaradi, birlamchi kontur-
da I_1 tok mavjud bo‘lganda bog‘lovchi kondensatorida sig‘imli
EYuK hosil qiladi, bu esa ikkilamchi konturda I_2 tok hosil qi-
ladi.



5.1-rasm. Bog'langan konturlar sxemalari

Demak, ushbu sxemada bog'lovchi qarshilik:

$$Z_{bog'} = \frac{1}{j\omega C_{bog'}}$$

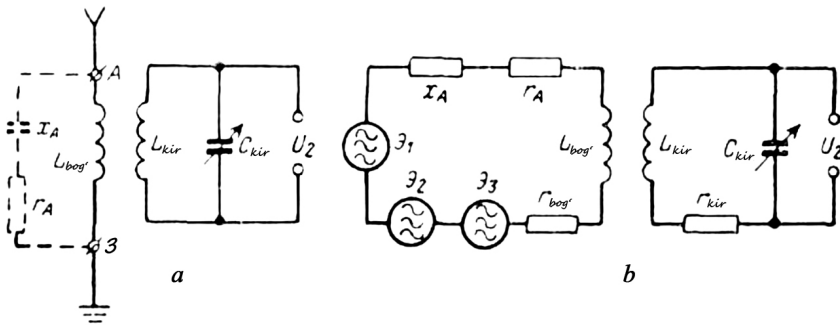
Tashqi sig'im bog'lanishli sxemada (5.1- e rasm) birlamchi kontur toki C_1 va ketma-ket ulangan $C_{bog'}$, C_2 kondensatorlar orasida tarmoqlanadi. C_2 kondensatorda hosil bo'lgan sig'imli EYuK ikkilamchi konturda tok hosil qiladi.

Bu yerda ham bog'lovchi qarshilik:

$$Z_{bog'} = \frac{1}{j\omega C_{bog'}}$$

ga teng.

5.2- a rasmda amaldagi kirish zanjiri sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, unda induktiv bog'langan konturlar qo'llanilgan. Birlamchi kontur antennali deb nomlanadi. U A antennadan 3 yerga ulagichdan va $L_{bog'}$ bog'lovchi g'altakdan tashkil topgan. Ikkilamchi kontur zanjiri esa kirish zanjiri deb nomlanadi, u L_{kir} induktivlikdan va C_{kir} sig'imidan hosil qilingan.



5.2-rasm. Kirish zanjiri va ekvivalent sxemalar

Ekvivalent sxemada (5.2- b rasm) antenna $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots$ EYuK manbalari ko'rinishida ifodalangan. Uning r_A aktiv, x_A reaktiv ichki qarshilik tashkil etuvchilari; $L_{bog'}$, $r_{bog'}$ – bog'lovchi g'altakning ko'rsatkichlari; L_{kir} , C_{kir} , r_{kir} – kirish konturining ko'rsatkichlaridir.

Bu kontur ketma-ket, chunki L_{kir} g'altakda induksiyalangan EYuK, generatori deb faraz qilinishi mumkin, u L_{kir} , C_{kir} larga nisbatan ketma-ket ulangan.

Antenna konturi doimiy ko'rsatkichlarga ega, kirish konturi esa qabul qilinayotgan stansiyaning tashuvchi rezonans chastotasiga sozlanadi. Bu kontur ketma-ket bo'lganligi uchun, qabul qilinayotgan stansiya signali ham Q marotaba kuchlanish bo'yi-cha kuchaytiriladi, boshqa signallari esa bunday kuchaytirishga ega bo'lmaydilar. U orqali chastotali tanlov amalga oshiriladi.

5.2. Bog'lanish koeffitsiyenti

Miqdorli konturlar orasidagi bog'lanish koeffitsiyenti L bilan baholanadi, u bir konturdan boshqasiga o'tishdagi kuchlanishning uzatish koeffitsiyentidan kelib chiqadi.

Transformatorli sxemaning ikkilamchi konturini ajratamiz va birlamchi konturning L_1 induktivligidagi kuchlanish M qarshilikda olinadigan barcha kuchlanishning qancha qismini tashkil etishini aniqlaymiz (5.1- a rasmda $L_I = L_1$ va $L_{II} = L_2$).

Bu birinchi konturdan ikkinchisiga kuchlanishni uzatish koeffitsiyenti bo'ldi:

$$k_{12} = \frac{V_{bog'}}{VL_1} = \frac{I1\omega M}{I1\omega l} = \frac{M_1}{L_1}. \quad (5.1)$$

Kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti ikkinchidan birinchisiga nisbatan olinganda ham yuqoridagiday aniqlanadi, agar birlamchi konturni ajratsak, ikkilamchi konturga generator ulaymiz:

$$k_{21} = \frac{V_{bog'}}{VL_{II}} = \frac{I2\omega M}{I2\omega l_{II}} = \frac{M_1}{L_{II}}$$

Umumiy k koeffitsiyenti k_{12} va k_{21} uzatish koeffitsiyentlarining o'rtacha geometrik ko'paytmasiga teng:

$$k = \sqrt{k_{12} \cdot k_{21}} = \sqrt{\frac{M}{L_I \cdot L_{II}}}.$$

Nisbatning suratini va maxrajini konturning ω chastota tebranishlariga ko'paytirib, bog'lanish koeffitsiyenti formulasini olamiz. Bu formula avtotransformatorli va ichki sig'im bog'lanishli sxemalar uchun ham to'g'ri keladi:

$$k = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_I \cdot \omega L_{II}}} = \frac{X_{bog'}}{\sqrt{X_I \cdot X_{II}}}, \quad (5.2)$$

bu yerda, X_I, X_{II} – birlamchi va ikkilamchi kontur elementlarining reaktiv qarshiliklari yig'indisi, ular bog'lanish elementi ishorasiga (xarakteriga) bog'liq;

$X_{bog'}$ – bog'lanish elementining reaktiv qarshiligi.

Masalan, avtotransformatorli sxema uchun:

$$X_{bog'} = \omega L_{bog'} \quad X_I = \omega (L_1 + L_{bog'}) = \omega L_I$$

$$X_{II} = \omega (L_2 + L_{bog'}) = \omega L_{II}$$

va

$$k = \frac{X_{bog'}}{\sqrt{X_I \cdot X_{II}}} = \frac{\frac{1}{\omega C_{bog'}}}{\sqrt{\frac{1}{\omega C_I} \cdot \frac{1}{\omega C_{II}}}} = \frac{\sqrt{C_I \cdot C_{II}}}{C_{bog'}}. \quad (5.3)$$

ichki sig'im bog'lanishli sxema uchun esa:

$$k = \frac{X_{bog'c}}{\sqrt{X_I \cdot X_{II}}} = \frac{\frac{1}{\omega C_{bog'c}}}{\sqrt{\frac{1}{\omega C_I} \cdot \frac{1}{\omega C_{II}}}} = \frac{\sqrt{C_I \cdot C_{II}}}{C_{bog'c}}. \quad (5.4)$$

(5.4) formulada $C_I = \frac{C_1 \cdot C_{bog'c}}{C_1 + C_{bog'c}}$ va $C_{II} = \frac{C_2 \cdot C_{bog'c}}{C_2 + C_{bog'c}}$ – birlamchi

va ikkilamchi konturlarning umumiy sig'imi.

Tashqi sig'im bog'lanishli holda bog'lanish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$k = \frac{C_{bog'c}}{\sqrt{(C_{bog'c} + C_1) \cdot (C_{bog'c} + C_2)}}. \quad (5.5)$$

Ko'pincha $C_{bog'c}$ sig'im C_1 va C_2 sig'imlarga qaraganda ancha kichik, shuning uchun soddalashtirilgan formuladan foydalanish mumkin:

$$k = \frac{C_{bog'c}}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}}.$$

(5.5) formulani k_{12} va k_{21} koeffitsiyentlar orqali chiqaramiz. k_{12} ni aniqlashda xayolda ikkilamchi konturni 3-nuqtada ajratamiz, k_{21} da esa generatorni 1–2-nuqtalarda o'chiramiz va uni ikkilamchi kontur uzilishida ulaymiz (5.1- e rasm). Unda k_{12} ketma-ket ulangan $C_{bog'c}$ va C_2 kondensatorlardagi kuchlanish C_2 kondensatorida olingan kuchlanishning qancha kismini tashkil etishini ko'rsatadi. Bundan k_{12} koeffitsiyent X_{C_2} ni $X_{bog'c} + X_{C_2}$ sig'im qarshiligi nisbatiga tengligi kelib chiqadi:

$$k_{12} = \frac{X_{C_2}}{X_{bog'c} + X_{C_2}} = \frac{1}{\omega C_2} \cdot \left(\frac{1}{\omega C_{bog'c}} + \frac{1}{\omega C_1} \right) = \frac{C_{bog'c}}{C_1 + C_{bog'c}},$$

Xuddi shunday holda:

$$k_{21} = \frac{X_{C_1}}{X_{bog'c} + X_{C_1}} = \frac{1}{\omega C_1} \cdot \left(\frac{1}{\omega C_{bog'c}} + \frac{1}{\omega C_1} \right) = \frac{C_{bog'c}}{C_1 + C_{bog'c}}$$

deb yozish mumkin.

Demak, umumiy bog'lanish koeffitsiyenti:

$$k = \sqrt{k_{12} \cdot k_{21}} = \sqrt{\frac{C_{bog'}^2}{(C_{bog'} + C_1) \cdot (C_{bog'} + C_2)}} = \sqrt{\frac{C_{bog'}}{(C_{bog'} + C_1) \cdot (C_{bog'} + C_2)}}$$

ga teng.

Bu natija (5.5) formulaga to'g'ri keladi.

Shunday qilib har qanday sxemada uning bog'lanish koefitsiyentini bog'lanish qarshiligi hisobiga oshirish mumkin, ya'ni transformatorli sxemada M o'zaro induktivlikni oshirish, $L_{bog'}$ bog'lanish induktivligini oshirish, ichki sig'im bog'lanishli sxemada $C_{bog'}$ bog'lovchi sig'imini kamaytirish va tashqi sig'im bog'lanishli sxemada $C_{bog'}$ bog'lovchi sig'imini ko'paytirish hisobiga amalga oshiriladi.

5.3. Bog'langan konturlarning kirish qarshiligi

Generatorning \mathcal{E}_1 elektr yurgazuvchi kuchi birlamchi konturning Z_1 to'liq qarshiligidagi kuchlanish tushuvini shu konturning I_1 tokidan va $Z_{bog'}$ bog'lovchi qarshilikdagi kuchlanish tushuvini ikkilamchi konturning I_2 tokidan kompensatsiya laydi.

Xususan, Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha

$$\mathcal{E}_1 = I_1 Z_1 + I_2 Z_{bog'} \quad (5.6)$$

Ikkilamchi konturda faqatgina EYuK mavjud, u $Z_{bog'}$ bog'lovchi qarshilikdagi birlamchi konturning I_1 toki hisobiga hosil bo'lgan. Bu EYuK ikkilamchi konturning Z_2 to'liq qarshiligi da I_2 tok hosil qiladi va shuning uchun I_2 tokdan $Z_{bog'}$ bog'lovchi qarshilik va I_2 tokdan Z_2 qarshilikdagi kuchlanish tushuvi yigindisi nolga teng:

$$\begin{aligned} 0 &= I_1 Z_{bog'} + I_2 Z_2 \\ I_2 &= -I_1 \cdot \frac{Z_{bog'}}{Z_2} \end{aligned} \quad (5.7)$$

(5.7) formulani (5.6) formula o'rniga qo'yishni amalga oshiramiz:

$$\mathcal{E}_1 = I_1 Z_1 + I_2 Z_{bog'} = I_1 \left(Z_1 - \frac{Z_{bog'}^2}{Z_2} \right).$$

Qavs ichidagi ifoda bog'langan konturlarning kirish qarshiligini ifodalaydi, chunki to'liq qarshilikka ta'sir ko'rsatuvchi generator tokini hisoblab topish uchun, generatorning \mathcal{E}_1 EYuK-sini I_1 generator tokiga bo'lish kerak. Z_{kir} kirish qarshiligini birlamchi konturning r_2 aktiv, X_2 reaktiv qarshiliklari va $X_{bog'}$ reaktiv bog'lovchi qarshiliklar orqali ifodalash mumkin, agarda quyidagini inobatga olsak:

$$Z_1 = r_1 + jx_1, \quad Z_2 = r_2 + jx_2, \quad Z_{bog'} = r_2 + jx_2;$$

$$Z_{kir} = Z_1 - \frac{Z_{bog'}^2}{Z_2} = r_1 + jx_1 - \frac{(jx_{bog'})^2}{r_2 + jx_2} = r_1 + jx_2 + \frac{x_{bog'}^2}{r_2 + jx_2}.$$

Bog'langan konturning kirish qarshiligi aktiv R_{kir} va reaktiv X_{kir} tashkil etuvchilarini ajratib olish uchun quyidagi o'zgartirishlarni amalga oshiramiz va to'liq kirish qarshiligini olamiz:

$$Z_{kir} = R_{kir} + jX_{kir}.$$

Bu yerda aktiv tashkil etuvchi:

$$R_{kir} = r_1 + \frac{x_{bog'}^2}{Z_2^2} \cdot r_2, \quad (5.8)$$

reaktiv tashkil etuvchi esa:

$$X_{kir} = X_1 + \frac{x_{bog'}^2}{Z_2^2} \cdot X_2, \quad (5.9)$$

ga teng.

Konturlar tizimining kirish qarshiligida R_{kir} va X_{kir} tashkil etuvchilarning mavjudligi \mathcal{E}_1 EYuK generatori faza bo'yicha I_1 tok generatoriga nisbatan:

$$U_{kir} = \text{arc tg} \frac{X_{kir}}{R_{kir}}, \quad (5.10)$$

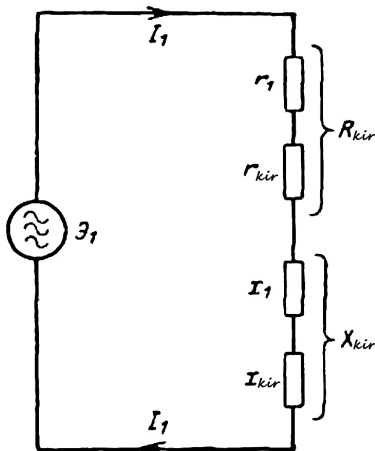
burchakka siljiganidan dalolat beradi.

Agarda ikkilamchi kontur bo'lmaganda edi, u holda $R_{kir} = r_1$, $X_{kir} = X_1$ teng bo'lar edi. Demak, (5.8) va (5.9) ifodalardagi ik-

kinchi yigindilar ikkilamchi kontur ta'sirida kelib chiqadi. Shuning uchun ular ikkilamchi konturdan birlamchiga kiritilgan qarshiliklar deb nomlanadi:

$$R_{kir} = r_1 + r_{ichki}, \quad X_{kir} = X_1 + X_{ichki}. \quad (5.11)$$

(5.11) ifoda bilan (5.8)ni, shundan so'ng (5.9) bilan ifodani tenglashtirib quyidagiga ishonch hosil qilish mumkin, ikkilamchi konturdan birlamchiga keltirilgan qarshiliklarning aktiv va reaktiv tashkil etuvchi qarshiliklari xususan tengdir:



$$r_{ichki} = \frac{X_{bog}^2}{Z_2^2} \cdot r_2; \quad (5.12)$$

$$X_{ichki} = \frac{X_{bog}^2}{Z_2^2} \cdot X_2. \quad (5.13)$$

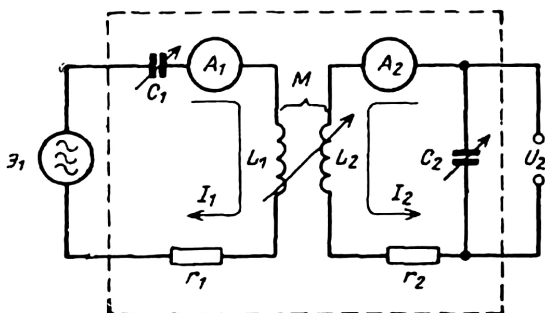
Ikkilamchi konturdan birlamchiga kiritilgan reaktiv qarshilik, ikkilamchi konturning reaktiv qarshiligiga qarama-qarshi ishorali ekanligini formuladagi manfiy belgi ko'rsatadi. Bog'langan konturlarning ekvivalent sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan.

5.3-rasm. Bog'langan konturlarning ekvivalent sxemasi

5.4. Xususiy rezonanslar

5.4-rasmda bog'langan konturlar to'rt qutblik ko'rinishida ko'rsatilgan, uning kirishiga E_1 EYuK berilgan, chiqish kuchlanishi U_2 esa $1/\omega \cdot C_2$ sig'im qarshiligidan olinadi. Chastota sohasi ω_0 konturning xususiy chastotasiga yaqin bo'lganda, qarshilik $1/\omega \cdot C_2 \approx 1/\omega_0 \cdot C = R_2$ va chiqishdagi kuchlanish $V_2 = I_2 P_2$ bo'ladi.

Bundan quyidagi hulosalar kelib chiqadi, kuchlanishning uzatish koeffitsiyentini nisbatan katta qilib olish uchun ikkinchi konturdagi I_2 tok maksimal bo'lishi kerak. Bunda ikkilamchi konturdagi tebranishlar quvvati ham maksimal bo'ladi.



5.4-rasm. Bog'langan konturlarning to'rt qutblik ko'rinishi

Ikkilamchi konturda kerak bo'lgan tok va kuchlanish konturlarni rezonansga sozlash bilan o'rnatiladi. Sozlovchi element bo'lib: birlamchi konturda – C_1 o'zgaruvchan sig'im kondensatori (u bilan X_1 reaktiv qarshilik boshqariladi), ikkilamchi konturda – C_2 o'zgaruvchan sig'im kondensatori (u bilan X_2 reaktiv qarshilik boshqariladi) va konturlar orasida M o'zaro induktivlik (u bilan r_{ichki} va X_{ichki} kiritilgan qarshiliklar) xizmat qiladi.

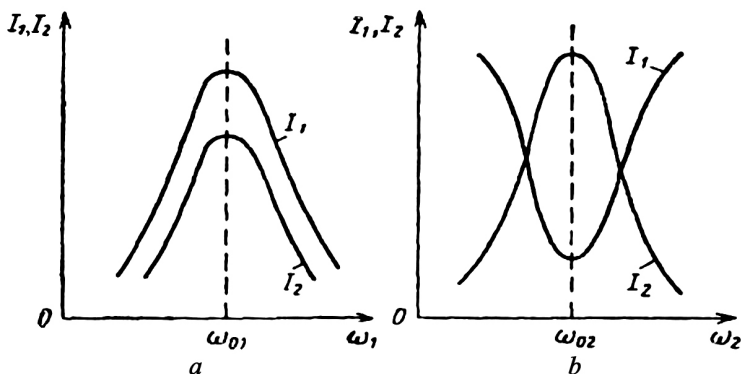
Rezonansning birnecha turlari mavjud.

Birinchi xususiy rezonans, bu degani tok va kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti maksimumi ikkilamchi konturda faqatgina birlamchi konturni sozlash bilan erishiladi.

Ikkinchi xususiy rezonansda maksimal tok va kuchlanishning uzatish koeffitsiyentini ikkilamchi konturda hosil qilishga asoslangan, bunda ikkinchi kontur sozlanadi. Birinchi va ikkinchi xususiy rezonanslarda bu maksimumlar kontur to'liq sozlanganda kuzatiladigan chegaraga yetib bormaydi.

Chastota va generator EYuK amplitudasini o'zgarimas qilib ushlab turamiz, faqat birlamchi konturning ω_1 xususiy chastotasini C_1 kondensator bilan o'zgartiramiz. Bunda birlamchi konturning X_1 reaktiv qarshiligi o'zgaradi, u bilan birga to'rt qutblikning kirish qarshiligi reaktiv tashkil etuvchisi $X_{kir} = X_1 + X_{ichki}$ ham o'zgaradi. Qachonki ω_1 xususiy chastota qandaydir ω_{01} katalikka teng bo'lganda, X_1 qarshilik son jihatidan X_{ichki} qarshi-

likka teng va ishora bo'yicha qarama-qarshi bo'ladi. U holda X_{ichki} nolga teng bo'ladi va shuning hisobiga birlamchi konturning I_1 toki maksimumga ega bo'ladi (5.5- a rasm). Bu o'z navbatida ikkilamchi konturdagi EYuK va I_2 tokni maksimumgacha ko'payishiga olib keladi, ya'ni birinchi xususiy rezonans bo'ladi. Bundan quyidagi xulosa kelib chiqadi: birlamchi konturning ω_1 xususiy chastotasi ω_{01} birinchi xususiy rezonans chastotaga yaqinlashganda ikkala konturdagi toklar o'sadi.



5.5-rasm. Birlamchi va ikkilamchi kontur toklarining xususiy chastota bog'liqligi

Endi birlamchi kontur ixtiyoriy saqlangan, shuningdek, amplituda va EYuK generatori chastotasidek doimiy deb hisoblaymiz. Bunda ikkinchi konturning ω_2 xususiy chastotasi C_2 kondensator bilan o'zgartiriladi, chunki ikkilamchi konturning X_2 reaktiv qarshiligi ω_2 chastotaga bog'liq. U holda bu usul bilan X_2 qarshilik birlamchi konturdan ikkilamchi konturga kiritilgan reaktiv qarshilikka son jihatidan teng va ishora bo'yicha qarama-qarshi bo'lishiga erishish mumkin. Ikkilamchi konturning to'liq qarshiligi sof aktiv va minimal bo'lib qoladi, bu konturdagi I_2 tok esa maksimal (5.5- b rasm), ya'ni ikkinchi xususiy rezonansga erishiladi.

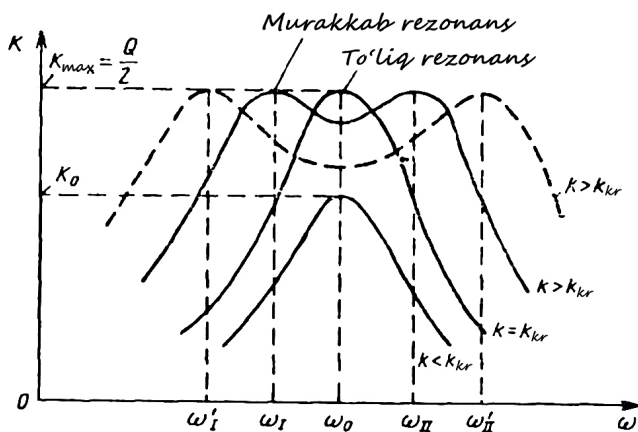
I_2 tokning o'sishi shu tok bilan birlamchi konturga induktivlanuvchi EYuK o'sishi bilan kuzatiladi. Induksiyalanuvchi EYuK bilan birga ikkilamchi konturdan birlamchi konturga ki-

ritilgan qarshilik ham ortadi. Natijada birlamchi konturda tok kamayadi. Demak, ω_2 xususiy chastotani ω_{02} xususiy ikkinchi rezonans chastotadan farq qilishi ikkilamchi konturdagi I_2 tokni kamayishiga olib kelsa, birlamchi konturda I_1 tokni o'sishiga olib keladi.

Konturdagi tok o'zgarishlari 5.5-rasmda ko'rsatilgan, u katta bo'lmagan kontur sozlanmaganligiga mos keladi.

5.5. Bog'langan konturlarning amplituda – chastota tavsifnomasi

Konturning amplituda – chastota tavsifnomasi ko'rinishi uning asilligi bilan aniqlanadi, bog'langan konturlarning amplituda – chastota tavsifnomasi esa yana bog'lanish koeffitsiyenti bilan ham aniqlanadi. Shu tavsifnomani ko'rib chiqamiz. Konturlar induktiv bog'langan, L , C , r ko'rsatkichlari bir xil va har bir konturning ω_0 xususiy chastotasi teng deb hisoblaymiz. k bog'lanish koeffitsiyentining uchta qiymati: teng, kichik va kritikdan katta (5.6-rasm) tavsifnomalarini ko'rib chiqamiz.



5.6-rasm. Bog'langan konturlar qiymati

Kritik bog'lanishda ($k = k_{kr}$) va $\omega = \omega_0$ generator chastotasida to'liq rezonans kuzatiladi. Kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti

$K_u = Q/2$ maksimal chegaraga ega bo'ladi. Bu aktiv qarshiliklarning tengligi tufayli hosil bo'ladi: ikkilamchi konturdan birlamchiga kiritilgan r_{ichku} va birlamchi kontur r_1 :

$$\frac{\omega_0^2 \cdot M_{kr}^2}{r_0} = r_1.$$

Generator chastotasi ω ning o'zgarishi ω_0 qiymatiga nisbatan konturlarning sozlanmaganligi, hamda x_1, x_2 reaktiv qarshiliklarni o'sishiga olib keladi va shuning hisobiga konturlardagi toklar kamayadi, o'z navbatida sxemadagi kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti ham kamayadi.

Kritikdan kichik bog'lanishda ($k < k_{kr}$) amplituda – chastota tavsifnomasi xuddi shunday ko'rinishga ega, ammo tavsifnomaning maksimumi $k = k_{kr}$ dan pastda joylashgan. Buning sababi shundaki, ikkilamchi konturda maksimal quvvat olishning shartiga rioya qilinmaydi: r_1 qarshilik oldingiday qoladi, o'zaro induktivlik $M \leq M_{kr}$ bo'lgani uchun kiritilgan qarshilik esa r_1 dan kichik bo'ladi:

$$r_{ichki} = \frac{\omega_0^2 M^2}{r_2} < \frac{\omega_0^2 M_{kr}^2}{r_2} = r_1.$$

Agar bog'lanish kritikdan katta bo'lsa ($k \geq k_{kr}, M \geq M_{kr}$), u holda $\omega = \omega_0$ da K kuchlanishning uzatish koeffitsiyent moduli oldingi holdagiday $K_{tav} = Q/2$ ga kichik bo'ladi. Buning sababi r_{ich} va r_1 qarshiliklar o'zaro teng emas, chunki $M = M_{kr}$ faqatgina tengsizlikdagi ishora endi teskari ($r_{ich} = r_1$) bo'ladi:

$$r_{ichki} = \frac{\omega_0^2 M^2}{r_2} > \frac{\omega_0^2 M_{kr}^2}{r_2} = r_1.$$

$r_{ichki} > r_1$ tengsizlik ω generator chastotasi ω_0 ga nisbatan o'zgarganda susayadi, chunki ikkilamchi konturning sozlanmaganligi uning X_2 reaktiv qarshiligining o'sishi bilan kuzatiladi, bu esa kiritilgan qarshilikni kamaytiradi:

$$r_{ichki} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2} = \frac{\omega_0^2 M_{kr}^2}{r_2^2 + x_2^2} \cdot r_2.$$

Natijada ma'lum bir chastotalarda $\omega = \omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega = \omega_{II} = 2\pi f_{II}$ va $r_{ichki} = r_1$ tenglik hosil bo'ladi. Bu chastotalar bog'lanish chastotalari deb ataladi:

$$\frac{\omega_{I(II)}^2 \cdot M_{kr}^2}{Z_2^2} \cdot r_2 = r_1. \quad (5.14)$$

Shular bilan bir qatorda ikkilamchi konturdagi quvvat, undagi tok va kuchlanishning uzatish koeffitsiyenti o'zining chegaraviy maksimumiga erishadi:

$$I_{2 \max} = \frac{\mathcal{A}_1}{2\sqrt{r_1 \cdot r_2}}, \quad K = K_{\max} = \frac{Q}{2}.$$

(5.14) tenglik bog'lanish chastotalariga ($\omega = \omega_I$, ω_{II}) mos keladigan bog'lanish qarshiligini aniqlash imkonini beradi:

$$\omega_{I(II)} M = Z_2 \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}. \quad (5.15)$$

Bu yerda birlamchi konturni kiritilmagan qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi:

$$X_{ichki} = -\frac{\omega_{I(II)}^2 M^2}{Z_2^2} \cdot X_2 = -\frac{Z_2^2 \frac{r_1}{r_2}}{Z_2^2} \cdot X_2 = -\frac{r_1}{r_2} X_2$$

ga teng.

Bir xil konturlarda ($r_1 = r_2$; $X_1 = X_2$):

$$X_{ichki} = -\frac{r_1}{r_2} \cdot X_1 = -X_1,$$

ya'ni birlamchi konturga reaktiv qarshilik kiritiladi, u birlamchi konturning xususiy reaktiv qarshiligiga son jihatidan teng va ishorasi bo'yicha qarama-qarshi, bog'langan konturlar tizimi kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi esa nolga teng:

$$X_{ichki} = X_1 + X_2 = X_1 - X_2 = 0.$$

Bu ma'lum bo'lganidek, rezonans belgisi ushbu holda mu-rakkab deb nomlanadi.

Shunday qilib, kritikdan kichik bog'lanishda amplituda – chastota tavsifnoma bitta maksimumga ega, u ($K_0 \leq K_{lav}$) chegaraviydan past; kritik bog'lanishda bu maksimum K_{lav} sath-

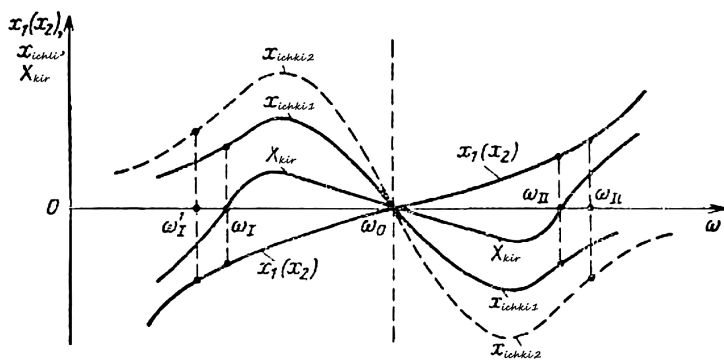
ning eng yuqori maksimumiga erishadi (to'liq rezonans), kritik bog'lanishdan katta bo'lganda esa, K_{lav} sathda ikki maksimumga erishadi (murakkab rezonans).

Agarda (5.15) formulaga murakkab rezonans uchun chiqarilgan $X_1=0$ va $X_2=0$ ni qo'ysak, u holda to'liq rezonans sharti olinadi:

$$\omega_{I(II)} \cdot M = Z_2 \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} = \sqrt{r_2^2} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} = r_2 \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} = \sqrt{r_1 \cdot r_2} = \omega_0 M_{kr}.$$

Demak to'liq rezonans – murakkab rezonansning xususiy holati. Natijada to'liq rezonans ko'rsatkichlar bir xil ($I_z = I_{2mm}$, $K = K_{max}$), tebranishlar chastotasi ($\omega = \omega_0$), ammo konturlar orasidagi kritik bog'lanishda ($M = M_{kr}$, $X_{bog's} = X_{bog's.kr} = \sqrt{r_1 \cdot r_2}$) kuzatiladi va konturning murakkab rezonansi esa $\omega_I < \omega_0$, $\omega_{II} > \omega_0$

bo'lganda va nisbatan kuchli bog'lanishda $M > M_{kr}$, $X_{bog's} = Z_2 \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$ kuzatiladi:



5.7-rasm. Kontur reaktiv qarshiliklarining generator chastotasiga bog'liqligi

Bog'lanish chastotalari. Ko'rib chiqilayotgan ikki kontur sxemalari ketma-ket. Shuning uchun har birining (X_1 , X_2) reaktiv qarshiliklarining ω generator chastotasiga bog'liqligi (5.7-rasm) ketma-ket konturning kirish qarshiligining generator chastotasiga bog'liqlik grafigiga o'xshash:

$$X_{ichki} = -\frac{\omega^2 M^2}{r_2^2 + X_2^2}. \quad (5.16)$$

Formulaga binoan kiritilgan qarshilikning reaktiv tashkil etuvchi X_2 qarshilikning ishorasiga teskari rezonansda ($\omega = \omega_0$) nolga teng va absolyut qiymati bo'yicha o'sadi hamda ω_0 chastotadan uzoqlasha borishi bilan kamayadi.

Xususiy X_1 va kiritilgan X_{ichki} qarshiliklarning algebraik yig'indisi kirish qarshiligining X_{kir} reaktiv tashkil etuvchisini ifodalaydi. Yig'indi natijasi k bog'lanish ko'effitsiyentiga bog'liq. Agar $k = k_{kr}$ bo'lsa, X_{ichki} kiritilgan qarshilik kichik va $|X_1| = |X_2|$ tenglik faqat bitta chastotada bajariladi ($\omega = \omega_0$), u holda $|X_1| = |X_2| = 0$, $X_{kir} = X_1 + X_{ichki} = 0$.

Bu to'liq rezonansga mos keladi. Agarda bog'lanish kritikdan katta bo'lsa, u holda X_{ichki} qarshilik katta $|X_1| = |X_{ichki}|$ va $X_{kir} = 0$ tenglik ($\omega = \omega_I$) va ($\omega = \omega_{II}$) chastotalarda bajariladi. Bu bog'lanishlar chastotasi bo'lib, murakkab rezonansga mos keladi.

Murakkab rezonans shartidagi ma'lum o'zgartirishlardan so'ng:

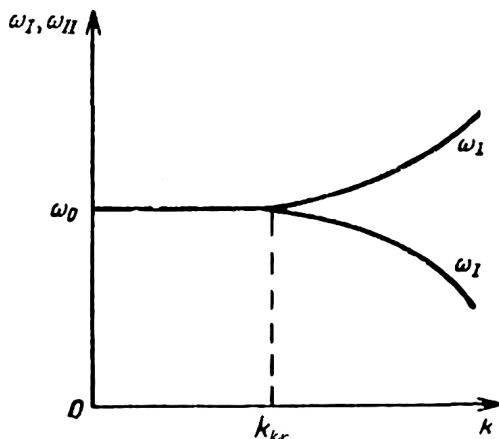
$$X_{ichki} = X_1 - \frac{X_{bog}^2}{r_2^2 + X_2^2} = 0.$$

Bog'lanishlar chastotasi aniqlanadi:

$$\omega_I = \frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}}, \quad \omega_{II} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}. \quad (5.17)$$

(5.17) formuladan kelib chiqib, har bir konturning ω_0 xususiy chastotasiga nisbatan, bog'lanishlar ko'effitsiyenti qanchalik katta bo'lsa ω_I bog'lanishlar chastotasi shunchalik kichik va ω_{II} bog'lanishlar chastotasi shunchalik katta. Buni ifodalash uchun 5.7-rasmda X_{ichki} kiritilgan qarshiliklarning ikkita egri chizig'i ko'rsatilgan: uzluksiz – kichik bog'lanishlar ko'effitsiyenti uchun. Birinchi holda kiritilgan qarshilik kam shuning uchun $|X_{ichki}| = |X_1|$ tenglik ω_I , ω_{II} bog'lanishlar chastotasida hosil bo'ladi. Kritik bog'lanish ko'effitsiyenti ω_I va ω_{II} chastotalardagiga nisbatan ω_0 xususiy chastotadagiga yaqin (5.6-rasmga

qarang). Ifodalangan bog'lanishlar koeffitsiyentining bog'lanishlar chastotasiga bog'liqligi 5.8-rasmda ko'rsatilgan.



5.8-rasm. Bog'lanishlar koeffitsiyentining bog'lanishlar chastotasiga bog'liqligi

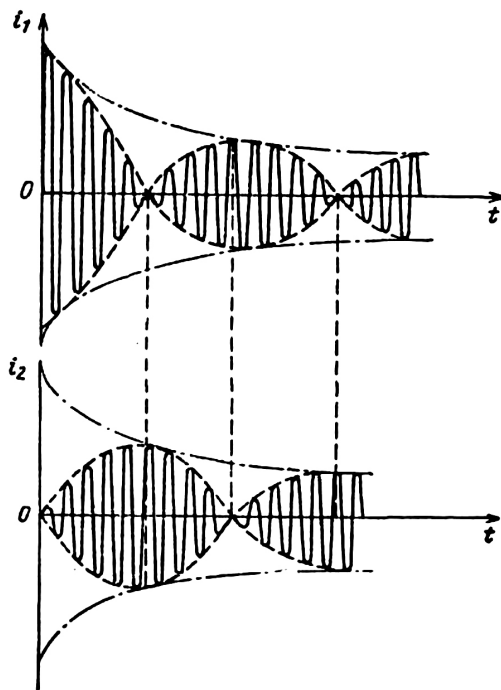
Bog'langan konturlarda ikki ω_I va ω_{II} chastotalarning mavjudligi ularda sodir bo'ladigan o'tish jarayonlariga ma'lum ta'sir ko'rsatadi. Agar ko'rsatgichlar bir xil bo'lgan ikkita konturlar tizimini yakka qisqa impuls bilan uyg'otsa, u holda ω_I va ω_{II} bog'lanishlar chastotasiga yaqin bo'lgan ikki turli chastotali erkin so'navchi tebranishlar hosil bo'ladi.

Agarda bog'lanishlar koeffitsiyenti k nisbatan katta bo'lmasa, ω_I va ω_{II} chastotalar bir-biridan katta farq qilmaydi va natijaviy tebranishlar og'ishlar (bieniya) hosil qiladi. To'ldirishlar chastotasi ω_I va ω_{II} larning yig'indisi yarimiga teng, ya'ni amaldagi har bir konturning xususiy chastotasiga teng $\left(\frac{\omega_I + \omega_{II}}{2} \approx \omega_0\right)$,

egilishlar chastotasi esa $\omega_{II} - \omega_I$ chastotalar farqiga teng.

Konturdagi i_1 va i_2 toklarni solishtirib (5.9-rasm), shuni ko'rish mumkinki, birlamchi konturdagi maksimal tok amplitudasida ikkilamchi konturdagi tok amplitudasi nolga teng va aksincha. Bu quyidagicha tushuntiriladi, bir konturda zaxiralanagan elektromagnit energiyasi chorak davrda boshqa kon-

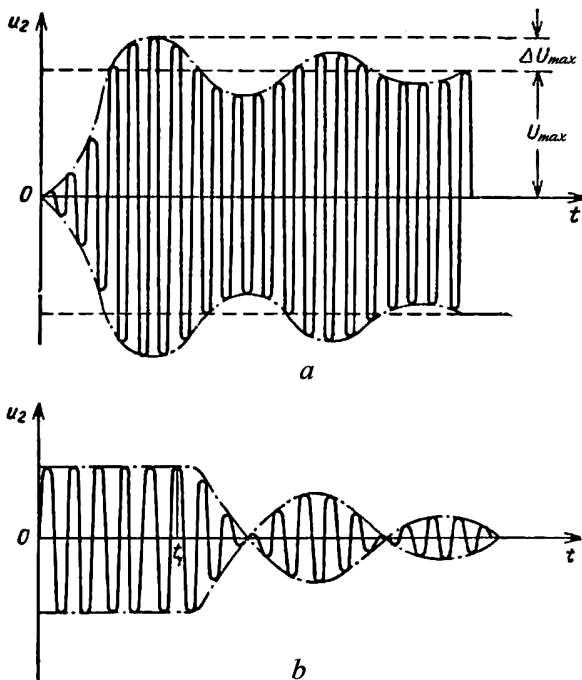
turga o'tadi, shundan so'ng, aksincha, birlamchi konturga va hokazo.



5.9-rasm. Konturda toklar nisbati

Bog'langan konturlar sxemasiga sinusoidal EYuK generatori ulangan holda o'tish jarayoni generatorning ω_0 chastotali majburiy tebranishlar jamlanishi va erkin tebranish to'ridagi og'ishlar (биение) dan iborat bo'ladi (5.10- a rasm). Natijada og'ishlar yakka konturdagidek monoton o'smasdan, balki U_t stasionar qiymatga nisbatan so'nuvchi ΔU_t o'zgarishga ega bo'ladi. Bog'lanishlar koeffitsiyenti k qanchalik katta bo'lsa, so'nuvchi o'zgarishlar ham shunchalik katta bo'ladi. Masalan, birinchi ΔU_t o'zgarish ($k = k_{kr}$) kritik bog'lanishda $0,04U_t$ ga teng, $k = 2,41k_{kr}$ maksimal ruxsat etilgan bog'lanishda esa $\Delta U_t = 0,27U_t$ kattalikka yetadi. Amplituda o'zgarishlari ahamiyatsiz bo'lib, bog'lanishlar koeffitsiyentini cheklashni talab qiladi.

Sinusoidal EYuK tugatilgandan so'ng ham bog'langan konturlardagi erkin tebranishlar (биение) ko'rinishiga ega bo'ladi (5.10- b rasm).



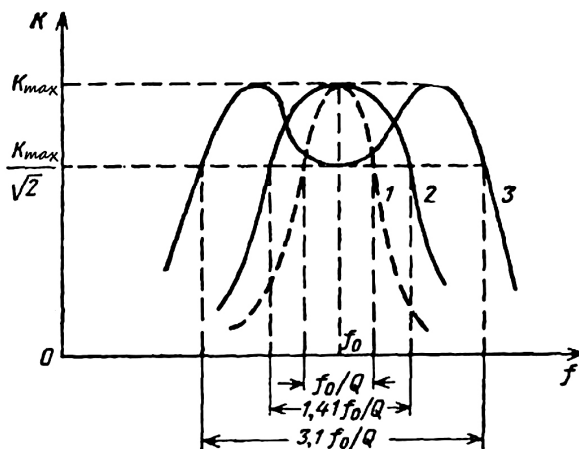
5.10-rasm. Bog'langan konturlardagi erkin tebranishlar

5.6. Konturlarning o'tkazuvchanlik polosasi

Bog'langan konturlarning o'tkazish polosasi $f_{o'tk}$ yakka konturniki singari amplituda – chastota tavsifnomasining ko'rinishiga bog'liq, shuning uchun u nafaqat konturning Q asilligiga va xususiy f_0 chastotaga, balki uning bog'lanish koeffitsiyenti k ga ham bog'liq.

Yakka konturning o'tkazish polosasi bizga ma'lum bo'lganidek, $\Delta f_{o'tk} = \frac{f_0}{Q}$ ga teng. Bu 5.11-rasmdagi amplituda chasto-

ta tavsifnomasi 1-egri chizig'iga to'g'ri keladi. Agarda bog'langan yakka konturdagi kabi uzatish koeffitsiyenti maksimumini $1/\sqrt{2} = 0,707$ deb olsak, u holda bog'lanish koeffitsiyentini nisbatan kichikdan k_{kr} gacha o'sishida (2-tavsifnoma) o'tkazish polosasi f_0/Q kichikdan to $1,41 f_0/Q$ gacha bo'lgan kattalikka o'sishini kuzatamiz. Yakka konturning polosasiga nisbatan o'tkazish polosasini torayishi quydagicha tushuntiriladi. Ikki-lamchi konturning sozlanmaganligi oqibatida bir vaqtning o'zida birlamchi kontur ham sozlanganlik holatidan chiqadi, bu esa I_1 tokni va unda induksiyanuvchi \mathcal{E}_2 EYuKni kamaytiradi. Bu o'z navbatida I_2 tok, U_2 kuchlanish va K kuchlanishning uzatish koeffitsiyentini yanada kamayishiga olib keladi. Xuddi shu sababga ko'ra o'tkazish polosasining kengayishi f_0/Q dan yuqori bo'lganda, bog'langan konturlarning tanlovchanligi yakka konturnikiga nisbatan yomonlashmasligiga sabab bo'ladi.



5.11-rasm. Konturning amplituda chastota tavsifnomasi

Bog'lanish kritikdan katta bo'lganda tavsifnomada ikkita o'rkach hosil bo'ladi (3-egri chiziq) va o'tkazuvchanlik polosasi yanada kengayadi. Kamayish amplituda – chastota tavsifnomasi $K_{tav}\sqrt{2}$ sathga tushgunicha kuzatiladi. Bu 3-tavsifnomaning

bog'lanish koeffitsiyenti $k = 2,41 k_{kr}$ va maksimal o'tkazish polosi $\Delta f_{o'tk.max} = 3,1f_0/Q$ ga to'g'ri keladi.

Keltirilgan raqamlarni to'g'riligiga bog'langan konturlarning amplituda – chastota tavsifnomasi tenglamasidan ishonch hosil qilish mumkin.

Shunday qilib konturlar orasidagi bog'lanishni boshqarish orqali o'tkazish polosasini katta oraliqlarda o'zgartirish mumkin: yakka kontur kichik qiymatlaridan 3,1 marotaba katta bo'lgan qiymatlarga. Bu bog'langan konturlarning birinchi afzalligi hisoblanadi.

Ikkinchi afzalligi uning amplituda – chastota tavsifnomasining ko'rinishi bilan ifodalanadi: yakka konturdan bog'langan tizimga o'tishda, konturlarning yuqori asilligida bir xil o'tkazish polosasini olish imkoni yuzaga keladi.

Bu esa amplituda – chastota tavsifnomasidagi qiyaqlikni ortishiga olib keladi va uning ko'rinishi to'g'ri to'rtburchakka yaqinlashadi. Shu bilan tanlovchanlik va o'tkazish polosi orasidagi qarama-qarshilikka to'liq barham beriladi.

VI bob. ELEKTR FILTRLAR

6.1. Elektr filtrlarning klassifikatsiyasi va ko'rsatkichlari

Elektr filtr, deb passiv to'rt qutblikka aytiladi, u ma'lum bir tok chastota polosasini katta bo'lmagan so'nish bilan o'tkazib, qolgan barcha toklar chastota polosasini katta so'nish bilan o'tkazadi.

O'tkazuvchanlik va o'tkazmaslik polosasini ajratib turuvchi chastota sinish chastotasi yoki chegaraviy chastota, deb ataladi.

O'tkazuvchanlik chastota polosasiga ko'ra elektr filtrlar quyidagi turlarga bo'linadi:

1) past chastotali filtrlar, ular chastota toklarini o'tkazadilar; demak, bu filtrlar noldan f_k sinish chastotasigacha bo'lgan chastota toklarini, shu bilan birga doimiy tokni ham o'tkazadi;

2) yuqori chastotali filtrlar, ular f_k sinish chastotasidan katta bo'lgan chastota toklarini o'tkazadilar, demak, bu filtrlar f_k sinish chastotasidan cheksizlikkacha bo'lgan chastota toklarini o'tkazadi;

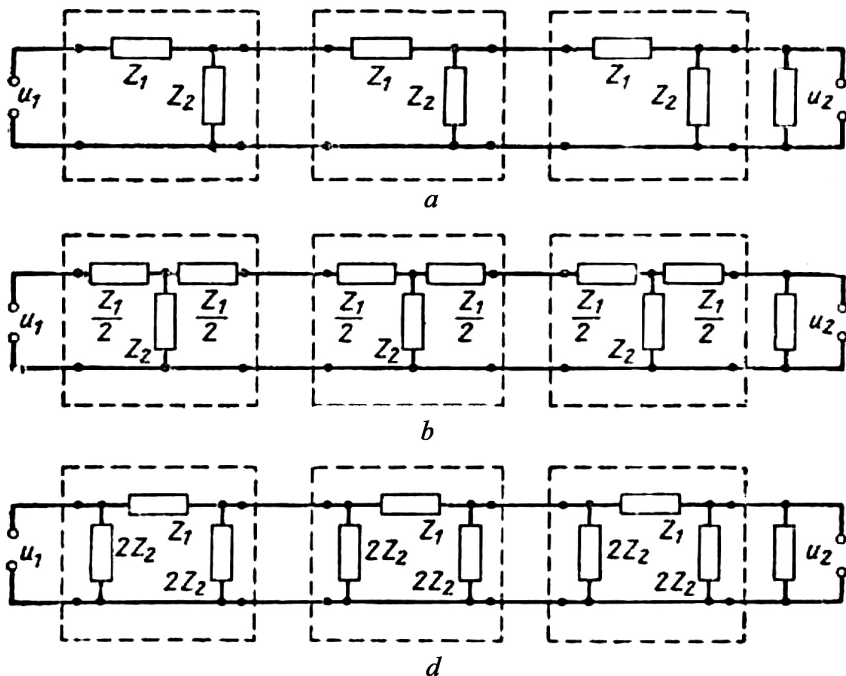
3) polosali filtrlar, f_1 chastotadan f_2 chastotagacha bo'lgan polosa chastotasi toklarini o'tkazadi;

4) to'suvchi filtrlar, f_1 chastotadan f_2 chastotagacha bo'lgan polosa chastotasi toklarini o'tkazmaydi va qolgan barcha chastotalarni o'tkazadi.

Oldin ko'rib chiqilgan yakka va bog'langan tebranish konturlari tebranishlar chastotasini filtrlash imkoniga ega. Ammo ularning tanlovchanligi, o'tkazuvchanligi yoki o'tkazmaslik chastota polosasida maksimal chastotani minimal chastotaga nisbati yetarlicha katta emas va sinish chastotasida so'nish o'zgarishi yetarlicha tez emas. Agarda bu talab qilinsa, u holda to'rt qutbli chiziqli zanjir turidagi filtrlarga murojat qilinadi (6.1-rasm).

Har bir zveno zanjiri Z_1 ketma-ket ulangan va Z_2 parallel ulangan qarshilikdan iborat. Bu qarshiliklarning sxemada joylashishi bo'yicha filtrlar Γ simon (6.1- a rasm), T simon (6.1- b rasm) va Π simon (6.1- d rasm)larga bo'linadi. Ulardan eng sod-

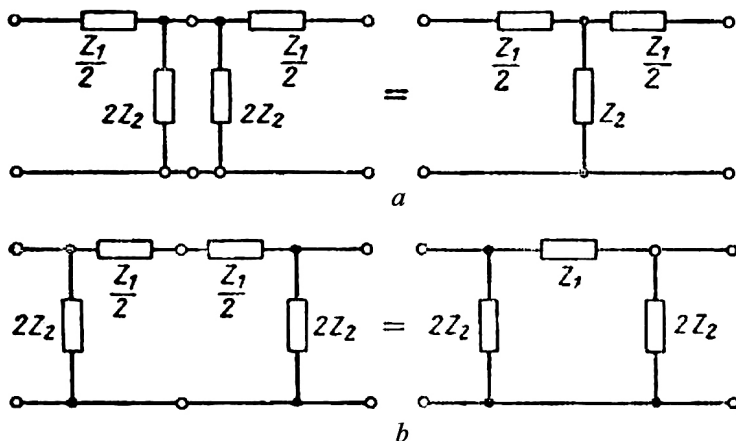
dasi Γ simondir. Chunki T simon va Π simon filtrlarni Γ simon filtrlar yordamida hosil qilish mumkin.



6.1-rasm. To'rt qutbli chiziqli zanjir turidagi filtrlar

Agarda T simon filtrda Z_2 qarshilikni ikkita parallel ulangan $2Z_2$ qarshiliklar bilan (6.2- a rasm), Π simon filtrda esa Z_1 qarshilikni ikki ketma-ket ulangan $Z_1/2$ qarshiliklar bilan (6.2- b rasm) almashtirsak, u holda ular istalgan ikkita Γ simon filtrga ekvivalent bo'лади.

Π va T simon filtrlarning sxemalari murakkab bo'lishiga qaramasdan, ularni keng qo'llash qabul qilingan. Ularning afzaligi kirish va chiqishning simmetrikligida, bu esa generator va toklarni o'rnini almashtirish imkonini beradi. Ikki simli liniyalar ham xuddi shunday xususiyatlarga ega. Shuning uchun simmetrik filtrlar va ikki simli liniyalar nazariyasida ko'pgina umumiyliklar mavjud.



6.2-rasm. Filtrlarda qarshiliklarning ulanish usullari

O'tkazuvchanlik polosasida filtr signalni imkon boricha kamroq susaytirish uchun zvenolar qarshiligi reaktiv bo'lishi kerak. Qarshiliklar bog'liqligi chastotaga teskari bo'lib, $Z_1 Z_2$ ko'paytmasi chastota o'zgarishi bilan ham o'zgarmaydi, ya'ni $Z_1 \cdot Z_2 = k^2$. Bu yerda k doimiy kattalik. Bunday elementli filtr k turdagi filtr deb ataladi. Unda qarshiliklardan biri induktivli, boshqasi esa sig'imli, masalan: $Z_1 = j\omega L$, $Z_2 = 1/j\omega C$ yoki $Z_1 = 1/j\omega C$, $Z_2 = j\omega L$.

Elektr filtrlar quyidagilardan tashkil topishi mumkin:

a) induktivlik g'altigidan va kondensatordan, bu filtrlar LC filtrlar deb ataladi;

b) rezonatorlardan qo'llaniladigan rezonator turlariga ko'ra bu filtrlar pyeoelektrik va magnitostriksionlarga bo'linadi;

d) kondensator va aktiv qarshiliklardan, bunday filtrlar induktivliksiz yoki RC filtrlar deb ataladi.

Hozirda radiotexnika moslamalarida filtrlar sifatida aktiv filtrlarni keng qo'llash qabul qilingan. Ular IMSlarda bajariladi.

Filtrlarning asosiy sifat ko'rsatkichlari so'nish va chastota tavsifnomasidir.

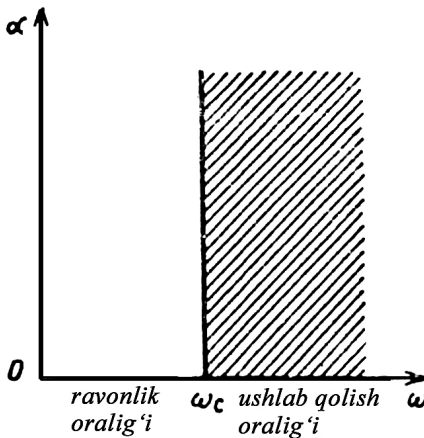
So'nish α kuchlanish amplitudasini kirishga (U_{1m}) nisbatan chiqishda (U_{2m}) qanchalik kamayishi darajasini ko'rsatadi.

$$\alpha = \frac{U_{1\max}}{U_{2\max}}.$$

Soʻnishning asosiy oʻlchov birligi nepyer (nep), ammo amaliyotda oʻnlik lagorifmlarga asoslangan boshqa oʻlchov birligi, detsibel (dB)an foydalaniladi.

$$\alpha(\text{dB}) = 20 \lg \frac{U_{1\max}}{U_{2\max}}.$$

Filtrning chastota tavsifnomasi kirish kuchlanishi chastotasi ω ni α soʻnishga bogʻliqligini koʻrsatadi. Agar filtr ideal boʻlganda, oʻtkazuvchanlik polosasida soʻnish $\alpha = 0$ boʻlsa, oʻtkazmaslik polosasida esa soʻnish $\alpha \rightarrow \infty$ boʻlar edi. Bunda bir polosadan boshqasiga oʻtish toʻliq ω_k sinish chastotasida amalga oshiriladi (6.3-rasm).

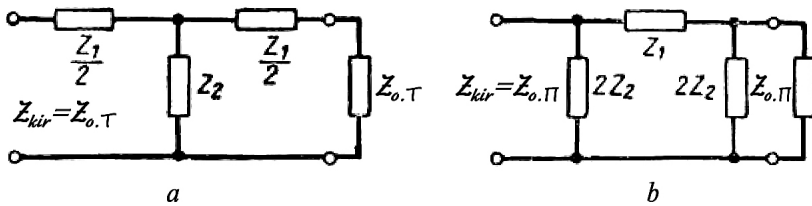


6.3-rasm. Filtrning chastota tavsifnomasi

Real holatda filtr bunday chastota tavsifnomasiga ega emas, chunki bu holatda sxemada energiya yoʻqolishlari mavjud va ularni bartaraf qilishning iloji yoʻq.

Agarda istalgan zvenoning chiqishidagi qarshiligi keyingi zvenoning kirishidagi qarshilikka teng boʻlsa, bunday filtrlar moslashtirilgan hisoblanadi. Moslashtirilgan filtrning kirish qarshiligi xarakteristik yoki toʻlqinli deb ataladi va Z_0 bilan belgilanadi.

T va Π simon filtrlarning xarakteristik qarshiligi formulasini quyidagicha chiqarish mumkin. Har bir filtr zvenosining Z_{kir} kirish qarshiligi Z_0 xarakteristik qarshilikka yuklangan va uning qarshiligiga teng. Aynan xuddi shunday filtr zvenolari 6.4-rasmda koʻrsatilgan.



6.4-rasm. Moslashtirilgan filtr

$$Z_{o.T} = \sqrt{0,25 \cdot Z_1^2 + Z_1 \cdot Z_2}, \quad (6.1)$$

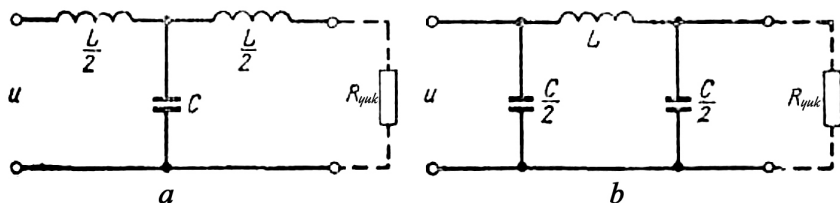
$$Z_{o.Pi} = \sqrt{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}}. \quad (6.2)$$

Z_1 va Z_2 qarshiliklar (6.1), (6.2) formulalarning o'ng qismiga kiradi, ular chastotaga bog'liq, u holda filtrning Z_o xarakteristik qarshiligi barcha o'tkazuvchanlik polosasida R_{yu} aktiv yuklama qarshiligiga teng bo'lishi va chastotaga bog'liq bo'lmasligi kerak. Zvenoning L va C elementlarini shunday qilib tanlash mumkinki, istalgan vaqt momentida elektr va magnit maydoni energiyasi zvenoda bir xil bo'lsin, u holda Z_o kirish qarshiligi aktiv bo'ladi. Ammo uni chastotaga bog'liq bo'lmasligini amalga oshirish mumkin emas va uning uchun $Z_o = R_{yu}$ tenglik o'tkazuvchanlik polosasida faqatgina bitta chastotada kuzatiladi. Bu filtrning real chastota tavsifnomasi ideal bilan mos kelmasligining ikkinchi sababi bo'lib hisoblanadi.

Uchinchi sababi filtr o'tkazmaslik polosasida cheksiz katta so'nishni ta'minlab bera olmasligida, bunga erishish uchun istalgan chastotada ketma-ket ulangan Z_1 qarshiligi cheksiz katta bo'lsa, parallel ulangan Z_2 qarshilik nolga teng bo'lishi kerak. Bunday Z_1 va Z_2 qiymatlari eng yaxshi holatda ham faqatgina o'tkazmaslik polosasining bitta chastotasida olinishi mumkin.

6.2. Past chastotali filtrlar

Past chastotali filtrlarning o'tkazuvchanlik polosasi nol chastotadan sinish chastotasigacha bo'lib, undan yuqori chastotalarni filtr katta so'nish bilan o'tkazadi (6.5-rasm).



6.5-rasm. Past chastotali filtr zvenolari

Filtr elementlari quyidagilarni inobatga olgan holda belgilangan: zvenoning umumiy induktivligi L ga teng, umumiy sig'imi esa C ga teng: T simon zveno ikkita har biri $L/2$ induktivlikdan va C sig'imdan tashkil topgan, Π simon zveno esa – bitta L induktivlikdan va ikkita har biri $C/2$ ga teng bo'lgan sig'imdan tashkil topgan. Bitta zvenoning Z_1 va Z_2 qarshiliklari teng.

$$Z_1 = j\omega L \text{ va } Z_2 = 1/j\omega C.$$

T simon filtrning xarakteristik qarshiligi esa

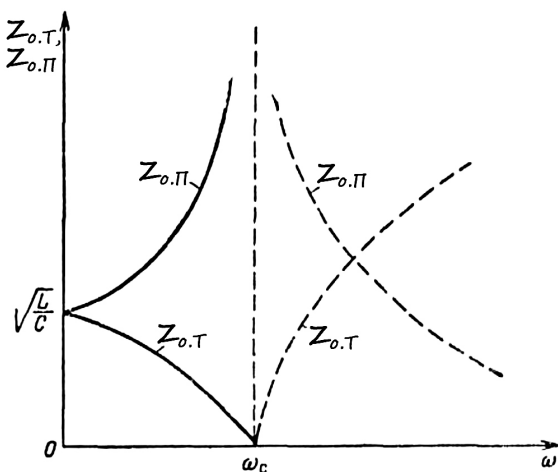
$$Z_{o,\Pi} = \sqrt{0,25 \cdot Z_1^2 + Z_1 \cdot Z_2} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C} - 0,25\omega^2 L^2} = \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{\omega^2 L^2}{4}} \quad (6.3)$$

6.6-rasmda past chastotali filtrning xarakteristik qarshiligini chastotaga bog'liqligi ko'rsatilgan, u (6.3) ifoda bo'yicha hisoblangan.

Agarda $\omega = 0$ bo'lsa,

$$Z_{o,T} = \sqrt{L/C}$$

ga teng, ω chastotaning o'sishi bilan $Z_{o,T}$ xarakteristik qarshilik nolgacha kamayib boradi, shundan so'ng reaktiv xarakterga ega bo'ladi. Bu o'tish $\omega = \omega_{qir}$ sinish chastotasida kuzatiladi, chunki filtrning o'tkazuvchanlik polosasida xarakteristik qar-



6.6-rasm. Past chastotali filtrning xarakteristikasi

shilik faqat aktiv bo'lishi mumkin (reaktiv qarshilik generator energiyasini qaytaradi). Endi agar (6.3) ifodaga $\omega = \omega_{qir}$ ni qo'ysak, u holda $Z_{o.T} = 0$, ya'ni:

$$\frac{L}{C} = \frac{\omega_{qir}^2 L^2}{4}.$$

Qirqish chastotasi esa

$$\omega_{qir} = \sqrt{\frac{4L}{L^2 C}} = \frac{2}{\sqrt{LC}}, \quad (6.4)$$

$\sqrt{-\omega^2} = \sqrt{(j\omega)^2} = j\omega$ ekanligini nazarda tutib, (6.3) ifodani o'zgartiramiz.

$$Z_{o.T} = \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{\omega_k^2 L^2}{4}} = \sqrt{-\omega^2 \left(\frac{L^2}{4} - \frac{L}{\omega^2 C} \right)} = j\omega \sqrt{\frac{L^2}{4} - \frac{L}{\omega^2 C}}. \quad (6.5)$$

$j\omega$ ko'paytma shuni ko'rsatadiki, ildiz ostidagi ifodaning musbat qiymatlarida, ya'ni ω tebranishlar chastotasi sinish chastotasidan katta bo'lganda T simon filtrning xarakteristik qarshiligi induktiv xarakterga ega ($Z_{o.T} = j\omega L_{ekv}$, bu yerda L_{ekv} – ekvivalent induktivlik).

$$L_{ekv} = \sqrt{\frac{L^2}{4} - \frac{L}{\omega^2 C}} \quad (6.5)$$

ifodadan ko'rinib turgandek chastotani ω_k dan ∞ gacha o'sishida induktivlik qarshiligi 0 dan ∞ gacha ortadi (6.6-rasmda $Z_{o,\Pi}$ egri chizig'i punktir chizig'i bilan ko'rsatilgan).

Π simon filtrning xarakteristik qarshilik formulasini past chastotali filtr uchun qabul qilamiz:

$$Z_{o,\Pi} = \sqrt{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}} = \sqrt{\frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{1 + \frac{j\omega L \cdot j\omega C}{4}}} = \sqrt{\frac{L/C}{1 - \frac{\omega^2 LC}{4}}}. \quad (6.6)$$

Agarda $\omega=0$ bo'lsa, $Z_{o,\Pi} = \sqrt{L/C}$ bajariladi; sinish chastotasi $\omega = \omega_k = \sqrt{L/C}$, qarshilik $Z_{o,\Pi} = \infty$, ω chastotaning o'sishi bilan $Z_{o,\Pi}$ xarakteristik qarshilik reaktiv xarakterga ega bo'ladi (6.6-rasm).

Aniqlik kiritish uchun (6.6) formulani o'zgartiramiz:

$$\begin{aligned} Z_{o,\Pi} &= \sqrt{\frac{L/C}{1 - \frac{\omega^2 LC}{4}}} = \sqrt{\frac{L/C}{-\omega^2 \left(\frac{LC}{4} - \frac{1}{\omega^2} \right)}} = \\ &= \frac{1}{j\omega} \sqrt{\frac{L/C}{\frac{LC}{4} - \frac{1}{\omega^2}}} = \frac{1}{j\omega} \sqrt{\frac{L/C}{\omega_{qir}^2 - \frac{1}{\omega^2}}}. \end{aligned}$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, Π simon filtrning xarakteristik qarshiligi $\omega > \omega_k$ chastotalarda sig'imli xarakterga ega va

$$Z_{o,\Pi} = \frac{1}{j\omega C_{ekv}}$$

ga teng. Bu yerda C_{ekv} – ekvivalent sig'im,

$$C_{ekv} = \sqrt{\frac{LC/4 - 1/\omega^2}{L/C}},$$

chastotani ω_{qir} dan ∞ o'sishida $Z_{o,\Pi}$ sig'imli qarshilik absolyut kattalik bo'yicha ∞ dan 0 gacha kamayadi.

Shunday qilib, past chastotali filtrlarning xarakteristik qarshiligi o'tkazuvchanlik polosasida,

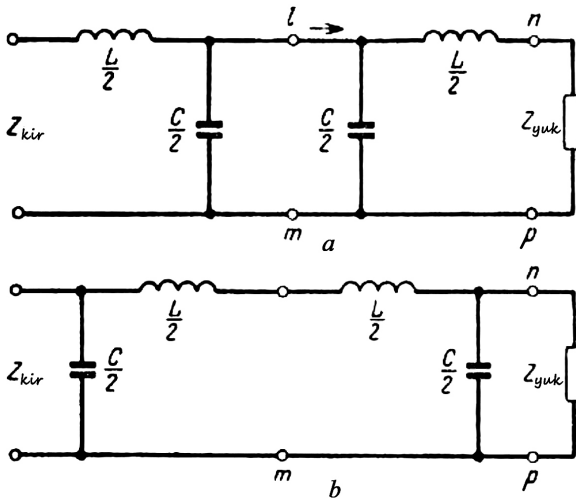
$\sqrt{L/C}$ dan nolgacha bo'lgan oraliqda (T simon filtrlar uchun)

va $\sqrt{L/C}$ dan cheksizlikkacha bo'lgan oraliqda (Π simon filtrlar uchun) aktiv xarakterga ega.

O'tkazmaslik sohasida esa bu qarshilik reaktiv, xususan T simon sxema uchun induktivli, Π simon sxema uchun sig'imli.

Filtrda elastik balans. $\omega=0$ filtr yuklamasi moslashtirilgan ($Z_{yuk} = Z_{o,T}$ va $Z_{yuk} = Z_{o,\Pi}$) ya'ni yuklama qarshiligi sof aktiv va $Z_{yuk} = R = \sqrt{L/C}$ ga teng. Doimiy tok uchun sig'imli qarshilik esa nolga teng, filtrning sig'imlarida va yuklamada kirish kuchlanishi V bir xil (6.7- a rasm).

Demak, zvenoning C sig'imli energiyasi $W_g = \frac{CU^2}{2}$ bo'lgan doimiy elektr maydonga ega. Bir vaqtning o'zida yuklamadan o'tayotgan L induktivlik orqali xuddi shunday I tok o'tadi, ya'ni $I = U/R_{yuk} = U\sqrt{L/C}$. Bu tok energiyasi $W_M = \frac{LI^2}{2}$ bo'lgan magnet maydon hosil qiladi.



6.7-rasm. Yuklamasi moslashtirilgan filtrlar

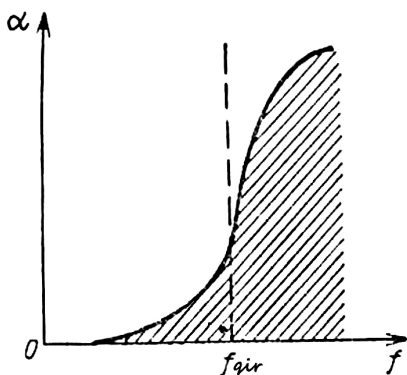
$W_M = W_C$ elektr va magnit maydon energiyalarining tengligi shunday moslashtiriladiki, ushbu sharoitda filtr o'tkazuvchan, uning Z_{kir} kirish qarshiligi Z_{yuk} yuklama qarshiligiga teng va bir vaqtning o'zida filtrning xarakteristik qarshiligi hisoblanadi:

$$Z_{kir} = Z_{yuk} = \sqrt{L/C} = Z_{o.T} = Z_{o.П.}$$

Endi sxemaga ω chastotali sinusoidal kuchlanish beramiz. Ushbu vaqt momentida T simon filtrning sig'imidagi kuchlanish $u = U$ (6.7- a rasm). U holda zvenoning elektr maydon energiyasi W_{gr} , $\omega = 0$ holatidagi kabi, magnit maydon energiyasi esa kam bo'ladi, chunki induktiv qarshiligi ωL bu vaqtda nolga teng emas, shuning hisobiga LR_{yuk} zanjirdagi tok kamayadi. Demak, $W_e = W_m$ energiyalar tengligiga faqat W_m tokni ko'paytirish yo'li bilan erishish mumkin.

Shu maqsadda, ω chastota qanchalik katta bo'lishiga qarab, yuklama qarshiligi R_{yuk} ni nisbatan kichik va filtrning $Z_{o.T}$ xarakteristik qarshiligini unga teng qilib olish kerak. Bunday kamayish chegarasi ($Z_{o.T} = Z_{yuk} = 0$) ω tebranishlar chastotasi ω_{qir} sinish chastotasiga teng bo'lganda hosil bo'ladi.

U holda quyidagi savol paydo bo'ladi: ko'rsatilgan xarakteristik qarshilikning chastotaga bog'liqligida yuklama qarshiligini qanday qilib tanlash kerak? Ko'pincha, $R_{yuk} = \sqrt{L/C}$ qilib tanlanadi, ya'ni $\omega = 0$ chastotada filtrning to'liq moslashtirishi ta'minlanadi.



6.8-rasm. Filtrda rezonansni vujudga kelishi

ω chastotaning o'sishi bilan moslashtirish buziladi, ketma-ket ulangan induktivliklarda kuchlanish tushuvi ortadi (ωL qarshilik ortadi) va parallel ulangan sig'imlarda kuchlanish tushuvi kamayadi ($1/\omega C$ qarshilik kamayadi). Bu filtrning α so'nishini o'sishiga olib keladi va filtrda rezonans kuzatiladi (6.8-rasm).

Filtrning L va C elementlari berilgan $\omega_{qir} = 2\pi f_{qir}$ sinish chastotasi va R_{yuk} yuklama qarshiligi bo'yicha hisoblanadi.

Quyidagi:

$$\omega_{qir} = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad \text{va} \quad R_{yuk} = \sqrt{L/C}$$

ekvivalentligini inobatga olib induktivlik va sig'imni topamiz.

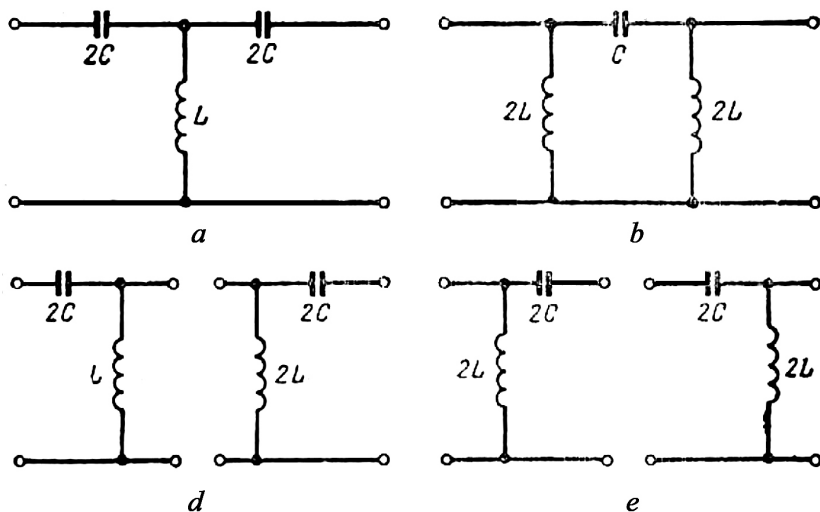
$$L = \frac{2R_{yuk}}{\omega_{qir}} = \frac{R_{yuk}}{\pi f_{qir}}, \quad (6.7)$$

$$C = \frac{2}{\omega_{qir} R_{yu}} = \frac{1}{\pi f_{qir} R_{yu}}. \quad (6.8)$$

6.3. Yuqori chastotali filtrlar

Yuqori chastotali filtrlar, deb sinish chastotasidan cheksiz katta bo'lgan chastotalarni o'tkazadigan filtrga aytiladi.

Yuqori chastotali filtrda ketma-ket ulangan qarshilik sig'imli xarakterga ega, parallel ulangani esa induktivlik xarakteriga ega (6.9-rasm).



6.9-rasm. Yuqori chastotali filtr

Shundan kelib chiqib, bu holda $Z_1 = 1/j\omega C$ va $Z_2 = j\omega L$ ga teng. T simon zvenoni hosil qilish uchun ikkita har biri $2C$ bo'lgan sig'imdan va bitta L induktivlikdan foydalanamiz. II simon zveno uchun bitta C sig'imdan va ikkita har biri $2L$ bo'lgan induktivlikdan foydalanamiz.

$Z_1 = 1/j\omega C$, $Z_2 = j\omega L$ ni (6.1) va (6.2) formulaga qo'yib T simon filtrning xarakteristik qarshiligini topamiz:

$$\begin{aligned} Z_{oT} &= \sqrt{Z_1 \cdot Z_2 + 0,25Z_1^2} = \sqrt{\frac{1}{j\omega C} \cdot j\omega L - \frac{0,25}{\omega^2 C^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{1}{4\omega^2 C^2}} = \sqrt{\frac{L}{C} \left(1 - \frac{1}{4\omega^2 LC}\right)}, \end{aligned} \quad (6.9)$$

va II simon filtrning xarakteristik qarshiligi:

$$Z_{o\Pi} = \sqrt{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C \cdot \left(1 + \frac{1}{4j\omega C \cdot j\omega L}\right)}} = \sqrt{\frac{L}{C \left(1 - \frac{1}{4\omega^2 LC}\right)}}. \quad (6.10)$$

Kutganimizdek, yuqori chastotali filtr past chastotali filtrning aksi, o'tkazmaslik chatotasida Z_{oT} va $Z_{o\Pi}$ xarakteristik qarshiliklar reaktiv xarakterga ega bo'lib, faqatgina chastotalar sinish chastotasidan katta bo'lgandagina bu qarshiliklar aktiv bo'ladi. $\omega = \omega_{qir}$ sinish chastotasida

$$1 - \frac{1}{4\omega_{qir}^2 LC} = 0$$

bo'ladi.

Bu yerda,

$$\omega_{qir} = \sqrt{\frac{1}{4LC}} = \frac{1}{2\sqrt{LC}}. \quad (6.11)$$

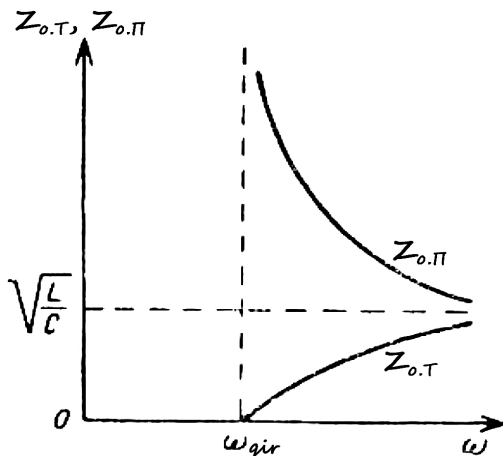
6.9- b, e rasmdan ko'rinib turganidek, bu chastota rezonansli. Bu yerda har bir zveno $2L$ va $2C$ ko'rsatkichli tebranish konturi bo'lib, uning xususiy chastotasi sinish chastotasiga teng:

$$\frac{1}{\sqrt{2L \cdot 2C}} = \frac{1}{2\sqrt{LC}} = \omega_{qir}.$$

(6.9) va (6.10) formulalarga binoan, $\omega = \omega_{qir}$ chastotalarda T simon filtrning xarakteristik qarshiligi $Z_{o,T} = 0$ bo'lsa, Π simon filtrniki esa $Z_{o,\Pi} = \infty$ bo'ladi (6.10-rasm).

Chastotaning cheksiz katta qiymatgacha o'sishida bu qarshiliklar bir xil qiymatga intiladi:

$$Z_{o,T} = Z_{o,\Pi} = \sqrt{LC}.$$



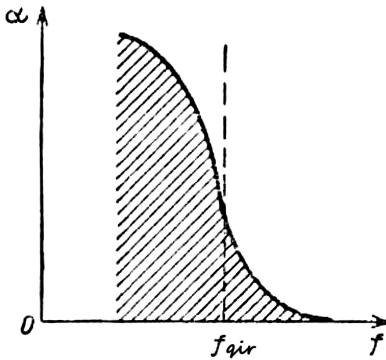
6.10-rasm. Filtrning xarakteristik qarshiliklari

Yuqori chastotali filtrning fizik jarayonlardagi tebranishlarni o'tkazmaslik va o'tkazuvchanligi past chastotali filtrlarniki kabi.

Yuklama qarshiligi ham xuddi shunday tanlanadi:

$$R_{yuk} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (6.12)$$

Shuning uchun yuqori chastotali filtr $\omega = \infty$ da moslashtirilgan bo'ladi. Chastotaning kamayishi bilan ketma-ket ulangan sig'implar qarshiligi o'sadi, parallel ulangan induktivliklar qarshiligi esa kamayadi. Sig'implardagi kuchlanish tushuvi ortadi, induktivliklarda esa kamayadi va chiqishdagi kuchlanish ham kamayib boradi. Ayniqsa, filtrning α so'nishi sinish chastotasidan past chastota polosasiga o'tishda ortadi (6.11-rasm).



6.11-rasm. Filtr so'nishining sinish chastotasiga bog'liqligi

(6.11) va (6.12) ifodalardan foydalanib, filtrning induktivligini va sig'imini hisoblash formulalarini keltirib chiqaramiz

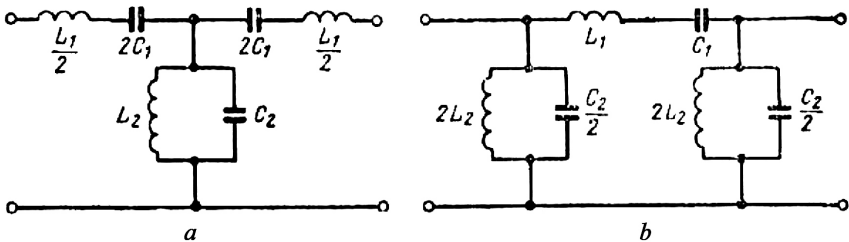
$$L = \frac{R_{yuk}}{2\omega_{qir}} = \frac{4}{4\pi f_{qir}}, \quad (6.13)$$

$$C = \frac{1}{2\omega_{qir} R_{yuk}} = \frac{1}{4\pi f_{qir} K_{yuk}}. \quad (6.14)$$

6.4. Polosali va to'suvchi filtrlar

Polosali filtr, deb o'tkazuvchanlik polosasi ikkita ω_{qir1} va ω_{qir2} sinish chastotalari bilan chegaralangan filtrlarga aytiladi.

Polosali filtrning har bir zvenosi Z_1 qarshilikni hosil qiluvchi $L_1 C_1$ ketma-ket konturdan va Z_2 qarshilikni hosil qiluvchi $L_2 C_2$ parallel konturdan iborat (6.12-rasm).



6.12-rasm. Polosali filtrlar

Bu ikkala kontur bir xil rezonans chastotaga ega:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}, \quad (6.15)$$

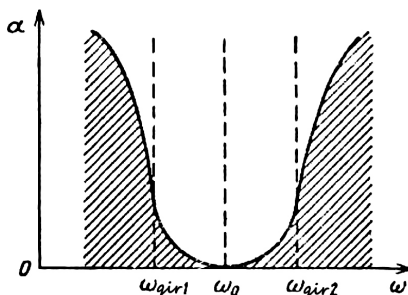
shuning uchun ularning nisbati doimiy kattalikni beradi.

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{C_1}{C_2} = P. \quad (6.16)$$

Polosali filtrni ikkita filtr sifatida ko'rish mumkin: C_1 sig'imli, L_2 induktivli va ω_{qir1} sinish chastotali yuqori chastotali filtr va L_1 induktivli, C_2 sig'imli va ω_{qir2} sinish chastotali past chastotali filtr. Filtrning L_1, C_1, L_2, C_2 ko'rsatkichlari shunday qilib tanlanadiki, ω_{qir2} chastota ω_{qir1} chastotadan katta bo'lishi, $\omega_{qir2} - \omega_{qir1}$ farq esa talab qilingan o'tkazuvchanlik polosasiga teng bo'lishi kerak.

Polosali filtrning chastota tavsifnomasi 6.13-rasmda ko'rsatilgan.

Tavsifnomaning chap shoxchasi yuqori chastotali filtr hosil qilgan elementlarga to'g'ri keladi, o'ng shoxchasi esa past chastotali filtr hosil qilgan elementlarga to'g'ri keladi. Sinish chastotalari orasida filtrning so'nishi minimal. ω chastota



6.13-rasm. Polosali filtrning chastota tavsifnomasi

chastota ω_{qir1} (kamayish tomonga) va ω_{qir2} chastotadan (ko'payish tomonga) qanchalik katta farq qilsa, ketma-ket konturlarning kirish qarshiligi shunchalik katta va parallel konturlarining kirish qarshiligi shunchalik kichik bo'ladi. Shuning natijasida chiqish kuchlanishi kamayadi va filtrning kiruvchi so'nishi ortadi.

Sinish chastotalari farqini, ya'ni filtrning o'tkazuvchanlik polosasini aniqlaymiz.

$$\omega_{qir2} - \omega_{qir1} = 2\omega_0\sqrt{P} = \frac{2}{\sqrt{L_2C_2}} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{2}{\sqrt{L_1C_2}}. \quad (6.17)$$

Bu polosada, garchi aktiv xarakterini saqlab qolsada, barcha xarakteristik qarshiliklar o'zgaradi. Bunday sharoitlarda filtrni R_{yuk} aktiv qarshilik bilan moslashtirish faqatgina bitta chastotada amalga oshirilishi mumkin. Bu chastota ω_0 bo'lib hisoblanadi, agarda:

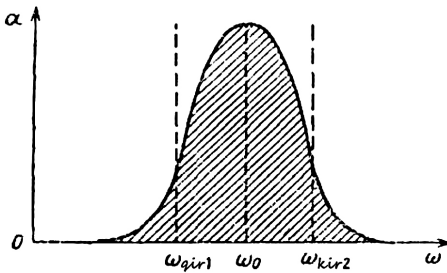
$$R_{yuk} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} \quad (6.18)$$

bo'lsa, (6.17) va (6.18) ifodalardan filtr elementlarini hisoblash uchun foydalaniladigan formulalarni chiqaramiz:

$$L_1 = \frac{2R_{yuk}}{\omega_{qir2} - \omega_{qir1}}; C_1 = \frac{\omega_{qir2} - \omega_{qir1}}{2R_{yuk}\omega_0^2};$$

$$L_2 = \frac{R_{yuk} \cdot (\omega_{qir2} - \omega_{qir1})}{2\omega_0^2}; C_1 = \frac{2}{R_{yuk}(\omega_{qir2} - \omega_{qir1})}. \quad (6.19)$$

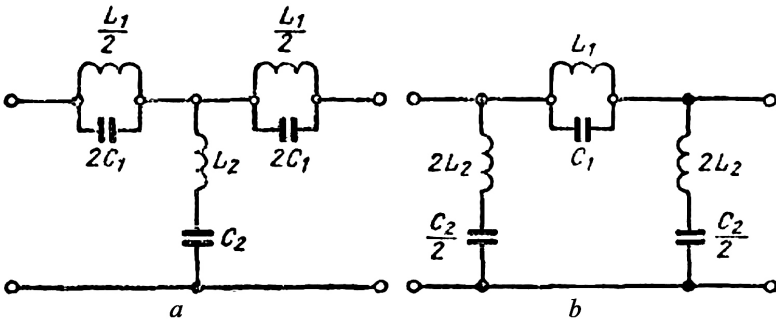
To'suvchi filtrlar zvenolar tarkibi va ishlatilishi bo'yicha polosali filtrlarga teskari bo'lgan filtrdir. To'suvchi filtrlar $\omega_{qir1} - \omega_{qir2}$ sinish chastotalari orasida maksimal so'nishga ega bo'lib, ular-



6.14-rasm. To'suvchi filtr xarakteristikasi

dan tashqari chegaralarda minimal so'nishga egadir (6.14-rasm).

Shuning uchun to'suvchi filtrlar yuklamaga ketma-ket ulangan L_1C_1 parallel konturdan va yuklamaga parallel ulangan L_2C_2 ketma-ket konturdan hosil qilinadi (6.15-rasm).



6.15-rasm. To'suvchi filtrlarni hosil qilish usullari

Barcha bu konturlar rezonans $\omega_0 = \sqrt{\omega_{qir1} \cdot \omega_{qir2}}$ chastotaga sozlangan. Rezonansda ($\omega = \omega_0$) L_1, C_1 konturlar maksimal kirish qarshiligiga ega, L_2, C_2 konturlar esa minimal kirish qarshiligiga egadirlar. U holda ketma-ket ulangan konturlarda katta kuchlanish tushuvi hosil bo'lsa, parallel ulangan konturlarda esa kichik kuchlanish tushuvi hosil bo'ladi, ya'ni ω_0 chastotaga yaqin polosada tebranishlar to'sib qolinadi. Konturlarning sozlanmaganligi katta bo'lganda, yani $\omega_{qir1} > \omega > \omega_{qir2}$ bo'lsa, filtr o'tkazuvchan bo'ladi. Bu chastota polosasida L_2, C_2 konturlar filtrning liniyasini mutlaq shuntlamaydi, L_1, C_1 konturlar esa unda ma'lum bir qiymatdagi kuchlanish tushuvi hosil qilmaydi.

To'suvchi filtrni ham polosali filtr kabi ikkita elementar filtrlardan tashkil topgan deb hisoblash mumkin: ω_{qir1} qirqilish chastotali L_1, C_2 past chastotali filtr va ω_{qir2} qirqilish chastotali L_2, C_1 yuqori chastotali filtr. Bunda ω_{qir2} qirqilish chastotasi ω_{qir1} qirqilish chastotasidan katta. Natijada bizga ma'lum bo'lgan chastota tavsifnomasi olinadi. Uning chap shoxchasi birinchi elementar filtrga, o'ng shoxchasi esa ikkinchi elementar filtrga to'g'ri keladi.

Boshqa turdagi filtrlar singari, o'tkazuvchanlik polosasining faqat bitta chastotasida, R_{yuk} yuklama qarshiligi filtrning xarakteristik qarshiligiga aniq moslashtiriladi. Bu holda $\omega = 0$ va $\omega = \infty$ chastotalar

$$R_{yuk} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}}$$

ga teng bo'ladi.

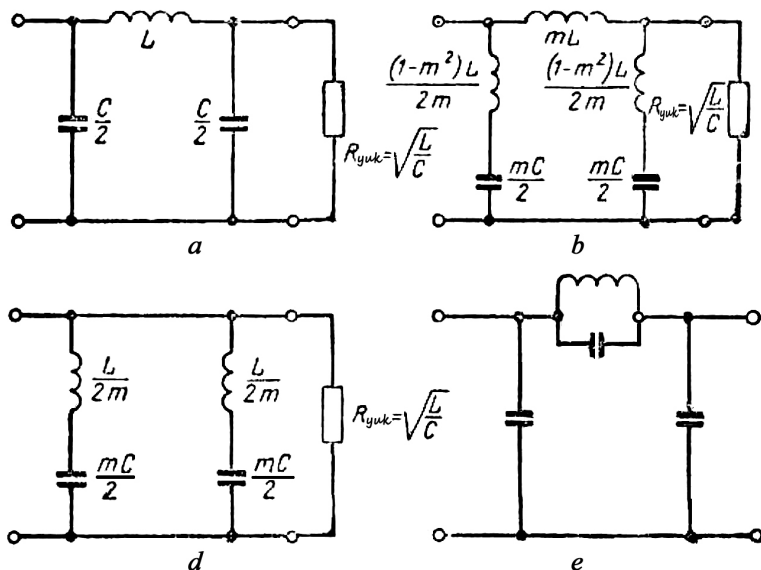
6.5. m turidagi filtrlar

Yuqorida ko'rib chiqilgan bir zvenoli K turidagi filtrlar: chegaraviy chastotadan o'tishda chastota tavsifnomasining qiyligi kichik va o'tkazuvchanlik polosasida xarakteristik qarshilikning nisbatan o'zgarishi kabi ikkita kamchilikka ega.

Birinchi kamchiligini bartaraf etish uchun zvenolar sonini ko'paytirish kerak, chunki zvenolarning ortishi o'tkazmaslik polosasida filtrning so'nishini o'sishiga sabab bo'ladi. Bu o'z navbatida chegaraviy chastota yonida chastota tavsifnomasi qiyaqligining o'sishiga olib keladi.

Filtr zvenolari qanchalik ko'p bo'lsa, uning o'lchamlari va og'irligi ham shunchalik katta bo'ladi. Shuning uchun ko'p holda filtrlarning yuklama blan moslashtirilganligi va chastota tavsifnomasining yaxshilanishi ularning sxemalari murakkablashishi evaziga emas, balki zvenolar soni hisobiga amalga oshiriladi. Xususan bunday filtrlarga m turidagi filtrlar kiradi. m turidagi filtrlarning k turidagi filtrlardan farqi shundaki, reaktiv qarshiliklar har bir zvenoning ketma-ket va parallel yelkalar orasida taqsimlanadi.

m turidagi past chastotali filtrlarda bitta L induktivlik o'rniga ikkitasi ulanadi (6.16- *a* rasm), induktivlikning biri zvenoning ketma-ket yelkasida qolsa, ikkinchisi parallel yelkaga kiritiladi (6.16- *b* rasm).



6.16-rasm. m turidagi past filtrlar

m filtrning $Z_{1\max}$, $Z_{2\max}$ qarshiliklari va dastlabki k filtrning Z_1 , Z_2 qarshiliklari orasida quydagi nisbat bajarilishi kerak

$$Z_{1\max} = mZ_1, \quad Z_{2\max} = \frac{Z_2}{m} + \frac{1-m^2}{4m} \cdot Z_1. \quad (6.20)$$

Birinchi tenglik bajarilishi uchun P simon zvenoning ketma-ket yelkasiga mL induktivlik ulanadi, ikkinchi tenglik bajarilishi uchun esa, parallel yelkaga $mC/2$ kattalikdagi ikkita sig'im va har biri $\frac{1-m^2}{2m}L$ kattalikka ega bo'lgan ikkita induktivlik ulanadi.

Demak, m ko'rsatkich, dastlabki filtrning ketma-ket yelkadagi induktivligi umumiy induktivlikning qancha qismini tashkil etishini ko'rsatadi.

Agar $m=1$ deb qabul qilsak, u holda (6.20) formula bo'yicha $Z_{1\max} = mZ_1$ va $Z_{2\max} = mZ_2$, $Z_{2\max} = Z_2$, ya'ni oddiy past chastotali filtrni olamiz (6.16- a rasm). Umumiy holda $0 < m < 1$ (6.16- b rasm) bo'lsa, parallel yelka elementlari ketma-ket kontur hosil qiladi, ununig xususiy chastotasi:

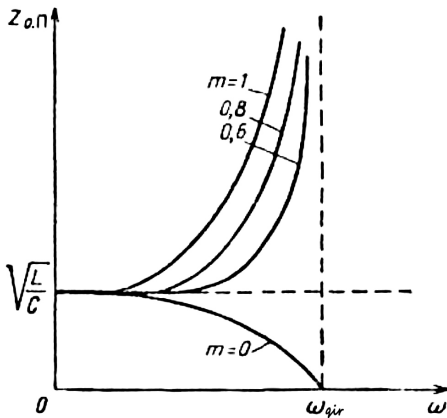
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\frac{(1-m^2)L}{2m} \cdot \frac{mC}{2}}} = \frac{2}{\sqrt{LC\sqrt{1-m^2}}} = \frac{\omega_{qir}}{\sqrt{1-m^2}} \quad (6.21)$$

bu yerda ω_{qir} – past chastotali filtrning sinish chastotasi.

$m \rightarrow 0$ ketma-ket ulangan mL induktivlik cheksiz kichik qiymatga ega bo'lganligi uchun uni inobatga olmasa ham bo'ladi, ammo parallel shoxchadagi konturlar saqlab qolinadi va ularning ω_0 xususiy chastotasi (6.21) formulaga binoan ω_{qir} qirqilish chastotasiga teng bo'lib qoladi (6.16- d rasm).

Bu filtrning xarakteristik qarshiligi xuddi T simon k turidagi sxemaning chastota o'zgarishidek o'zgaradi. Xususan, doimiy tok uchun ($\omega = 0$) sig'imlar hisobiga ikkala shoxchalar cheksiz katta qarshilikka ega, shuning uchun xarakteristik qarshilik yuklama qarshiligiga teng:

$$R_{yuk} = \sqrt{L/C}.$$



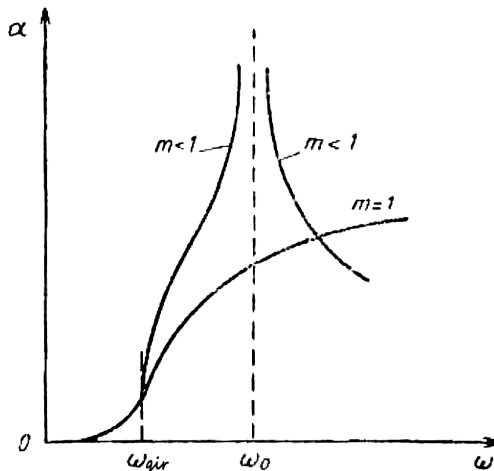
6.17-rasm. Ketma-ket konturlarda rezonans

Agarda ω chastota ω_{qir} qirqilish chastotasiga yetib borsa, ketma-ket konturlarda rezonans hosil bo'ladi. Buning natijasida yuklama qisqa tutashtiriladi va xarakteristik qarshilik nolga cha kamayadi (6.17-rasm).

$m=1$ holda $Z_{o,\Pi}$ xarakteristik qarshilikni chastotaga bog'liqligi ma'lum: ω chastotani 0 dan ω_{qir} qirqilish chastotasigacha o'sishi da $Z_{o,\Pi}$ qarshilik $\sqrt{L/C}$ dan ∞

gacha o'sadi. Shunday qilib, $m=0$ va $m=1$ bo'lganda, $Z_{o,\Pi}$ chastotaga teskari xarakterda ekanligi kuzatiladi, bu esa m biron-bir oraliq qiymatga ega ekanligidan dalolat beradi. Bunda xarakteristik qarshilik o'tkazuvchanlik polosasida nisbatan bir tekisda hisoblanadi. Bu optimal ko'rsatkich $m=0,6$ atrofida bo'ladi.

Endi m turida filtrning chastota tavsifnomasiga murojaat etamiz (6.18-rasm).



6.18-rasm. m turida filtrning chastota tavsifnomasi

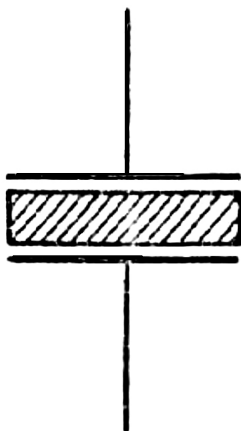
Ko'rsatkich $m < 1$ bo'lgani uchun filtrning bitta shoxchasidagi xususiy chastota $\omega_0 > \omega_{qir}$ bo'ladi va ω chastotani noldan o'sishi α so'nishga, bu ketma-ket kontur shoxchalarni rezonansga yaqinlashishi hisobiga amalga oshadi. Rezonans hosil bo'lganda ($\omega = \omega_0$) kontur shoxchalarni qisqa tutashtiradi va α so'nish cheksiz katta qiymatga erishadi. Bu esa filtrning filtrlash xususiyatini yo'qolishiga olib keladi. Shuning uchun $\omega > \omega_0$ bo'lganda so'nishni kamaytirish uchun m turidagi filtrga k turidagi oraliq zveno kiritiladi. Ayrim hollarda m turidagi filtrlarni hosil qilishda ketma-ket va parallel yelkalar orasida sig'imni taqsimlash yo'lidan foydalaniladi, (6.16- e rasm).

m turidagi filtrlar hosilali filtrlar, deb ham yuritiladi. Chunki ketma-ket yelkaga parallel qilib ulangan reaktiv element va parallel yelkaga ulangan ketma-ket reaktiv element hosila hosil qiladi. Shuning uchun ketma-ket yelkaga parallel ulangan reaktiv elementli sxema parallel hosilali sxema deb nomlanasa (6.16- e rasm), parallel yelkaga ketma-ket ulangan reaktiv elementli sxema ketma-ket hosilali sxema deyiladi (6.16- b rasm).

6.6. Elektromexanik filtrlar

Ko'rsatkichlari L, C bo'lgan k va m turidagi polosali filtrlarni juda tor polosa chatotasida qo'llash mumkin emas. Shuningdek, bu L, C turidagi tebranish konturlariga ham taalluqli, chunki ularning o'tkazuvchanlik polosasi uning o'rtacha chastotasining o'n foiz qismini tashkil qiladi. Bunday tor polosani faqat maxsus filtrlar yordamida olish mumkin. Maxsus filtrlar bajarilishiga ko'ra pyezoelektrik va magnitostriksion filtrlarga bo'linadi.

Pyezoelektrik filtrlarning ishlash asosi kvars yoki sun'iy bajarilgan kristallarning to'g'ri va teskari pyezoelektrik effektiga asoslangan. Kvars kristallarning o'qiga nisbatan to'g'ri to'rtburchak ko'rinishidagi plastina kesib olinadi. Hosil bo'lgan plastinani sxemaga ulash uchun metallardan kvars ushlagichi bajariladi (6.19-rasm).



6.19-rasm.
Pyezoelektrik filtr

Agarda kvars plastinani mexanik ta'sirida deformatsiyalansa (siqilsa), u holda uning uchlarida elektr zaryadlari hosil bo'ladi. Bu hodisa to'g'ri pyezoeffekt deb nomlanadi. Teskari pyezoeffekt hosil qilish uchun kvars uchlariga kuchlanish beriladi. Kvars plastinasiga o'zgaruvchan kuchlanish berilsa, unda mexanik tebranishlar natijasida plastina uchlarida o'zgaruvchan zaryadlar hosil bo'ladi va zanjirda o'zgaruvchan tok paydo bo'ladi. Tashqaridan berilgan kuchlanish ta'sirida kvars plastinasida pyezoelektrik tok hosil bo'lishida, plastina o'zini elektr zanjiri sifatida ishlashini ko'rsatadi.

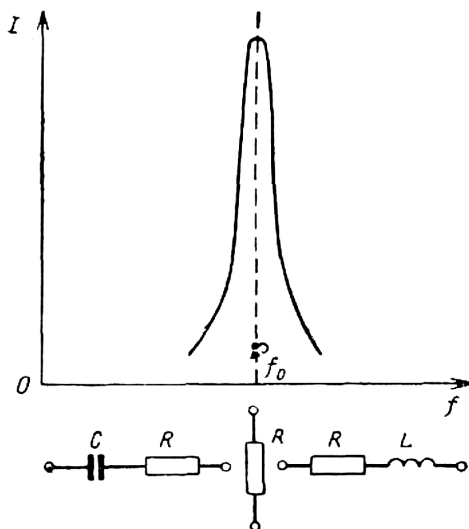
Kvars plastinasi qattiq jism bo'lishi bilan birga aniq f_0 rezonans chastotasiga ega. Bu chastota plastinaning d qalinligiga bog'liq bo'lib, quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$f_0(\text{MHz}) = \frac{1,6 \div 3,6}{d[\text{mm}]} \quad (6.22)$$

Koeffitsiyent $1,3 \div 3,6$ ning son qiymati plastinaning sinish turiga qarab aniqlanadi.

Agar tashqari kuchlanish chastotasi $f = f_0$ bo'lsa, u holda plastinaning mexanik tebranishlari intensiv va pyezoelektrik tok maksimal bo'ladi. Hosil bo'lgan tok faza bo'yicha berilgan kuchlanish bilan to'g'ri keladi, ya'ni kvars plastinasi aktiv qarshilikka ekvivalent. f chastota f_0 rezonans chastotasidan farq qilganda mexanik tebranishlar kamayadi va pyezoelektrik tok ham kamayadi. $f < f_0$ chastota polosasida tok faza bo'yicha kuchlanishdan o'zadi (plastina CR zanjirga ekvivalent), $f > f_0$ bo'lganda esa tok faza bo'yicha kuchlanishda ortda qoladi va plastina LR zanjirga ekvivalent bo'ladi (6.20-rasm).

Bizga ma'lum bo'lganidek, bunday xususiyat ketma-ket kontrlarga xos.



6.20-rasm. Pyzeoelektrik filtrlarning xarakteristikasi

Bu konturning ko'rsatkichlari: L_{kv} induktivligi o'nlab Genri hosil qiladi, C_{kv} sig'im pikofaradlarning o'nlik qismidan ortmaydi, r_{kv} aktiv qarshiligi esa $1 \div 10$ Om larni tashkil etadi. Natijada kvarts platinasining ekvivalent konturi asilligi nisbatan katta bo'lib, o'ngminglarni hosil qiladi. Bunday yuqori sahillikda o'tkazuvchanlik polosasi juda tor, polosaning stabiligi esa juda yuqori bo'ladi. Ayniqsa, yuqori stabillik kvarts plastinasini qiya kesilishida kuzatiladi, chunki bunda tashqi harorat o'zgarishi kvarts ko'rsatkichlariga unchalik ta'sir ko'rsatmaydi.

Kvarts konturining to'liq sxemasi yuqorida ko'rsatilgan L_{kv} , C_{kv} , r_{kv} elementlaridan tashqari kvarts ushlagichi plastinasini hosil qiladigan C_0 statik sig'imdan ham iborat (6.21- a rasm). C_0 statik sig'im birdan o'ngacha nanofaradga teng.

Shu sababli L_{kv} , C_{kv} , r_{kv} ketma-ket konturning rezonans chastotasi:

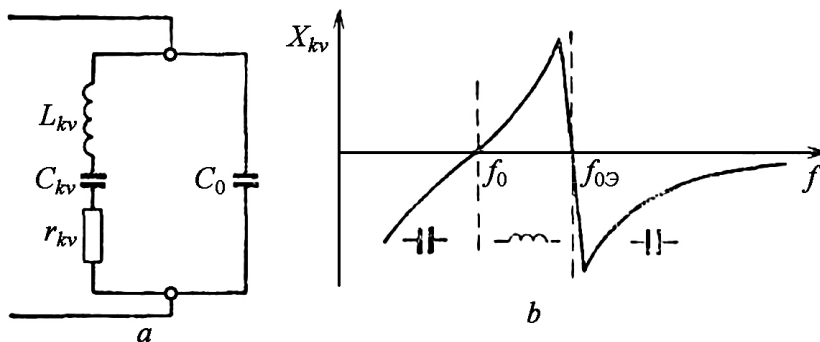
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{kv}C_{kv}}}$$

ga teng va L_{kv} , C_{kv} , r_{kv} parallel konturning rezonans chastotasi:

$$f_{0\mathcal{D}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{kv}C_{\mathcal{D}}}},$$

bu yerda, $C_{\mathcal{D}} = \frac{C_0 C_{kv}}{C_0 + C_{kv}}$ – ketma-ket ulangan C_0 va C_{kv} sig'imi-
larning umumiy sig'imi $C_0 \gg C_{kv}$ bo'lgani uchun $C_{\mathcal{D}} \approx C_{kv}$ ga
teng, buning uchun f_0 rezonans chastotasi $f_{0\mathcal{D}}$ rezonans chastota-
sidan unchalik farq qilmaydi.

Chastota f_0 ga yaqin bo'lganda, yoki kichik bo'lganda C_0
sig'imga ega bo'lgan shoxchada tok shunchalik kichikki, uning
xususiyatlari L_{kv} , C_{kv} ketma-ket kontur sxemasini ifodalaydi. Bu
shuni ifodalaydiki, f tashqi kuchlanish chastotasi o'sishi f_0 qiy-
mat orqali o'tadi, barcha sxemaning X_{kv} kirish qarshiligining
reaktiv tashkil etuvchisi nol orqali o'tadi, hamda o'z xarakterini
sig'imdan induktivga o'zgartiradi (6.21- b rasm).



6.21-rasm. Kvars konturining to'liq sxemasi va uning xarakteristikasi

Nisbatan yuqori chastota polosasida C_0 sig'im toki o'zgaradi
va $f_{0\mathcal{D}}$ parallel rezonans chastotasida X_{kv} qarshilik yana nol-
ga teng bo'ladi, bu qarshilikning xarakteri, har qanday parallel
konturdagi singari induktivdan sig'imga o'zgaradi.

Kvarsli filtrning o'tkazuvchanlik polosasi kengligi $f_{0\mathcal{D}} - f_0$
chastotalar farqiga teng va C_0 sig'im yordamida ma'lum ora-
liqda boshqarilishi mumkin.

Chunki $f_{0\mathcal{D}}$ va f_0 chastotalar bir-biridan unchalik katta farq

qilmaydilar, shuning uchun kvarsli filtrlarning o'tkazuvchanlik polosasi juda tor, kvarsli konturning yuqori sahilligi bu polosaning yuqori stabilligini ta'minlaydi.

Magnitostriksion filtr ferromagnit material o'qdan iborat bo'lib, u o'tkazuvchan magnit maydon magnitlovchi g'altakda hosil qilgan tok ta'sirida mexanik tebranishlar hosil qiladi. Mexanik tebranishlar xuddi shu usulda elektromagnit tebranishlarga o'zgartiriladi. Chunki magnitlovchi o'q faqat rezonans chastotaga yaqin bo'lgan chastotalarda yoki rezonans chastotasiga teng bo'lgan chastotalarda intensiv tebranaadi. Shuning uchun moslamaning chiqishidan tor polosaga ega bo'lgan tebranishlar o'tadi.

Magnitostriksion filtrlarni pyezoelektrik filtrlarga nisbatan keng qo'llash imkoniyati yo'q, bu tebranish zanjirining sahilligi nisbatan pastligi va chastota diapazonining nisbatan torligidanidir. Ularni qo'llash diapazoni chegaralangan bo'lib, u rezonator o'lchamlariga bog'liq: 10 *kHz* dan kichik chastotalarda rezonator o'lchamlari juda katta va 1000 *kHz* dan yuqori chastotalarda rezonator o'lchamlari juda kichik.

VII bob. ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLARI VA ULARNING NURLANISHI

7.1. Elektromagnit maydon nazariyasining boshlang‘ich qoidalari

Harakatlanuvchi elektr zaryadlarini o‘rab olgan fazoda magnit maydoni vujudga keladi. Magnit maydoni boshqa harakatlanuvchi elektr zaryad (toklar)iga ta‘sir qiluvchi mexanik kuchning mavjudligi hamda magnit maydonida o‘tkazgichlarda harakatlanuvchi EYuKning vujudga kelishi orqali aniqlanadi.

Magnit maydoni liniyalari na boshlanishi, na oxiriga ega bo‘lmagan tutash egri chizig‘i bilan elektr tokini qamrab oladi. Ma‘lumki, bunday maydon vixr maydoni deb ataladi.

Magnit maydoni magnit kuchlanganligi, deb yuritiluvchi vektor kattalik bilan baholanadi. Magnit maydoni kuchlanganligi va bu maydonni yuzaga keltiruvchi tok orasidagi aloqa to‘la tok qonuni orqali o‘rnatiladi.

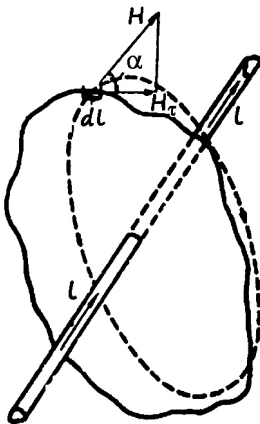
Faraz qilaylik, magnit maydonida u orqali i toki oqib o‘tadigan qandaydir yuzani chegaralovchi tutash kontur mavjud

(7.1-rasm). Kontur uzunasi dl bo‘lgan elementar sath ajratamiz. Rasmda aniq chiziq bilan shu sathni kesib o‘tuvchi magnit maydoni liniyasi ko‘rsatilgan.

Maydon liniyasiga urinma bo‘lgan magnit maydoni kuchlanganligi vektori H va dl elementiga urinma bo‘lgan uning tangensial tashkil etuvchisi H_τ oralig‘idagi burchak α ga teng. Shu sababli

$$H_\tau = H \cos \alpha$$

H_τ ni dl qirqimiga ko‘paytiramiz va bu jarayonni konturning qolgan barcha elementar sathlari uchun qaytaramiz. Shundan so‘ng hosil bo‘lgan ko‘paytmalarni algebraik yig‘amiz. dl ni cheksiz kamaytiri



7.1-rasm. To‘la tok qonunini rasmda tasvirlash

rish va mos ravishda tashkil etuvchilar yig'indisining chegarasi tutash kontur bo'yicha magnit maydoni kuchlanganligi vektorining integrali deyiladi. Bu integralni $\oint H_{\tau} dl$ bilan belgilaymiz.

To'la tok qonunida shunday deyiladi: hosil bo'lgan integral kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan to'la tok i ga teng:

$$\oint H_{\tau} dl = i$$

Faradeygacha elektr va magnit hodisalarni tahlil qilishda olimlar uzoqlik ta'siri nazariyasiga asoslanganlar. Bu nazariyaga asosan ma'lum bir masofada kuzatilayotgan elektr va magnit jarayonlari o'sha onning o'zida tarqaladi va tashqi muhit xususiyatlariga bog'liq emas. Faradeyning gipotezasiga ko'ra elektr va magnit o'zaro ta'siri o'tkazgichni o'rab olgan fazoda elektr va magnit maydoni orqali amalga oshadi. Bundan quyidagi xulosaga kelingan: elektr va magnit o'zaro ta'siri bir onda sodir bo'lmaydi, balki muhit xususiyatlariga bog'liq holda ma'lum bir tezlik bilan amalga oshadi.

Faradey gipotezasi nazariy asoslangan va Maksvell ish natijalari bilan umumlashtirilgan. Maksvell nazariyasining asosiy qoidalari quyidagi elektrodinamika qonunlari bilan chambarchas bog'liq.

1. To'la tok qonuni quyidagicha ifodalanadi

$$\oint H_{\tau} dl = i.$$

Bu qonunni muhitni ΔS elementar yuzasini chegaralovchi tutash konturga qo'llaymiz. Bu yuza orqali zichligi δ ga teng bo'lgan to'la tok i o'tadi, ya'ni $i = \delta \Delta S$, demak tutash kontur bo'yicha magnit maydoni kuchlanganligi vektorining integrali

$$\oint H_{\tau} dl = \delta \Delta S.$$

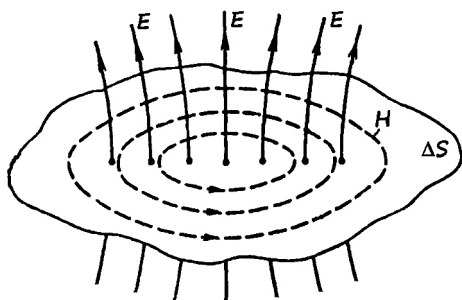
Maksvell to'la tok tushunchasiga nafaqat o'tkazish toki zichligini $\delta_{zich} = \gamma \mathcal{E}_{zich}$ shu bilan bir qatorda siljitish toki zichligini ham kiritdi:

$$\delta_{sil} = \epsilon_a \frac{d\mathcal{E}_{oniy}}{dt}.$$

Ideal dielektrikda bo'sh zaryadlar ($\gamma=0$) yo'q va o'z o'rnida o'tkazish toki ham yo'q ($i_{zich} = \gamma\Delta S = 0$). Bunday dielektrik uchun $\delta = \delta_{sil}$ shu sababli

$$\oint H_{\tau} dl = \delta_{sil} \Delta S = \partial_a \frac{d\mathcal{E}_{oniy}}{dt} \Delta S.$$

Maksvell tenglamasining chap qismi magnit maydoni tangensial tashkil etuvchilarini, o'ng qismi esa $d\mathcal{E}_{oniy}/dt$ ko'paytuvchini o'z tarkibiga oladi. Bundan Maksvellning birinchi tenglamasi shuni anglatadiki, elektr maydonining vaqt bo'yicha barcha o'zgarishlari ($d\mathcal{E}_{oniy}/dt$) fazoda magnit maydonining paydo bo'lishi bilan boradi. Boshqacha qilib aytganda, siljitish toki xuddi o'tkazish toki kabi magnit maydonini qo'zg'atadi. Bunga tajriba asosida ham ishonch hosil qilish mumkin: agarda magnit kompasini kondensatorli sxemaga yaqin olib kelinsa, u holda kompas strelkasi nafaqat o'tkazish toki ta'sirida yuzaga kelgan magnit maydoniga ega o'tkazgich yaqinida, balki o'zgaruvchan elektr maydoni (siljitish toki) orqali qo'zg'atiladigan kondensator yaproqlari oralig'idagi magnit maydoni tasirida ham buriladi.



7.2-rasm. Elektr maydonining o'zgarishi natijasida magnit maydoni hosil bo'lishi

7.2-rasmda siljitish toki bo'yicha ΔS elementar yuzani sizib o'tayotgan elektr kuch chiziqlari E orqali, qo'zg'atilayotgan magnit maydoni H bo'yicha esa siniq chiziq bilan belgilangan konsentrik aylalalar orqali xulosa chiqarish mumkin. Uning o'ziga xos xususiyati shundaki, magnit maydoni chiziqlari

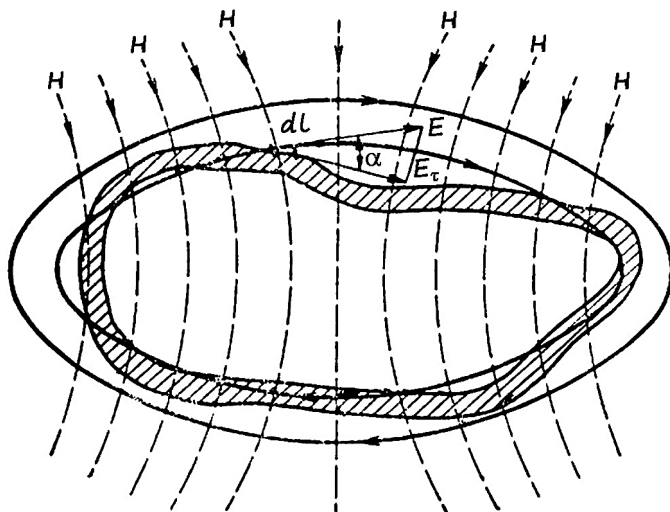
siljitish tokiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda joylashganlar.

2. Elektromagnit induksiya qonuni o'tkazuvchi konturda induktorlanadigan EYuK E hamda konturni kesib o'tayotgan magnit oqimi F orasidagi bog'liqlikni belgilaydi:

$$\mathcal{E} = -\frac{dF}{dt}. \quad (7.1)$$

Quyidagiga e'tiborni qarataylik, Faradey qonuniga asosan EYuK E o'zgaruvchan magnit maydoniga joylashtirilgan o'zgaruvchan konturda induktorlanadi. Maksvell esa elektromagnit induksiya qonunini har qanday muhitda va shu bilan birga vakuumda joylashgan ixtiyoriy yuza uchun umumlashtirdi. Maksvell nazariyasiga asosan EYuKni induktorlash uchun bu yuzani o'tkazuvchan kontur bilan chegaralash va shu bilan birga har qanday o'tkazgichning bo'lishi ham shart emas.

Dastavval tutash o'tkazuvchan kontur o'zgaruvchan magnit maydonida joylashgan, deb faraz qilamiz (7.3-rasm).



7.3-rasm. Magnit maydonning o'zgarishi natijasida elektr maydoni hosil bo'lishi

Faradey qonuni bo'yicha (7.1) magnit maydoni konturda tokni chaqiruvchi EYuK E ni induktorlaydi. Bu EYuK konturning barcha elementar sathlarida induktorlangan EYuKlar yig'indisidir. Har qanday dl ma'lum bir α burchak ostida elektr kuch chizig'i bilan kesishadi. Kuzatilayotgan sathda elektr maydoni E_t kuchlanganligining tangensial

tashkil etuvchisi bu maydonning to'la kuchlanganligi E bilan quyidagicha bog'langan:

$$E_{\tau} = E \cos \alpha.$$

E_{τ} ni dl uzunligiga ko'paytirib sath tomonlari oralig'idagi potentsiallar farqini topamiz. Agarda ko'paytma $E_{\tau} dl$ ni barcha tutash konturi bo'yicha integrallasa konturda induktorlanadigan to'la EYuK E olinadi:

$$\mathcal{E} = \oint E_{\tau} dl.$$

Endi elektromagnit induksiya (7.1) qonunini elektr maydon kuchlanganligi orqali ifodalaymiz:

$$\oint E_{\tau} dl = - \frac{dF}{dt}. \quad (7.2)$$

Maksvellning ikkinchi tenglamasi deb yuritiluvchi bu tenglama chuqur fizik ma'noga ega: o'tkazuvchi konturda EYuK va tok vujudga keldi, chunki bu kontur elektr maydon ta'sirida qoldi, buni integral belgisi ostidagi E_{τ} ko'rsatadi; agarda o'zgaruvchan magnit maydonida qandaydir o'tkazgich bo'lmaganda ham elektr maydoni induktorlanadi. Bundan, magnit maydonining vaqt bo'yicha (dF/dt) har qanday o'zgarishi elektr maydonini yuzaga kelishi bilan kuzatiladi.

3. Gauss-Ostrogradskiy teoremasi tutash yuza orqali o'tayotgan elektr maydon kuchlanganligi vektori oqimi va bu yuza ichida joylashgan elektr zaryadi orasidagi bog'liqlikni belgilaydi:

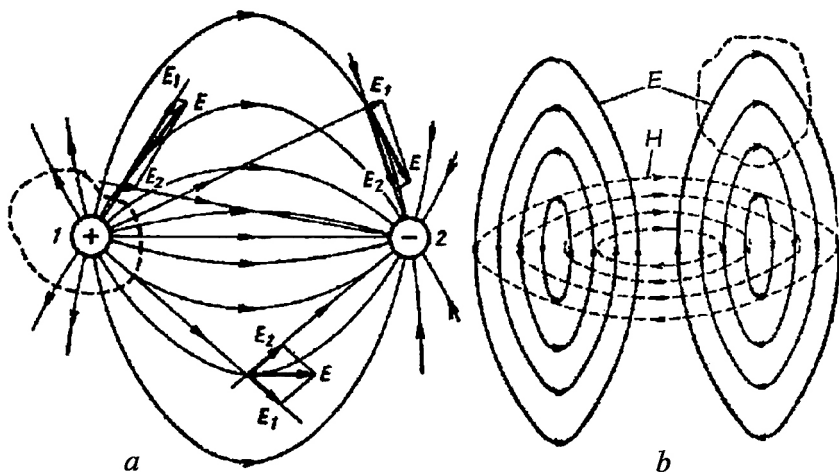
$$F_E = - \frac{Q}{\mathcal{E}_a}$$

Ideal dielektrikda erkin elektr zaryadlari ($Q=0$) mavjud emas, demak, elektr maydoni kuchlanganligi oqimi $F_E = 0$ ham yo'q. Ammo Maksvell nazariyasining ikkinchi qoidasiga asosan ideal dielektrikda elektr maydoni mavjud bo'lishi mumkin: buning uchun magnit maydonini o'zgartirish yetarli. Yuzaga kelgan qarama-qarshilikni hal qilish uchun mazkur holatda elektr maydoni vixr xususiyatiga ega bo'lishi kerak.

Solishtirish uchun ikki - musbat va manfiy zaryadlar ora-

lig'idagi elektr maydonini ko'ramiz (7.4- *a* rasm). Bu maydonning kuch chiziqlari E vektoriga urinma bo'yicha yo'nalgan. E vektori musbat zaryad maydoni vektori E_1 va manfiy zaryad maydoni vektori E_2 larning geometrik yig'indisiga teng.

7.4- *a* rasimga ko'ra E_1 va E_2 vektorlar o'zlarining zaryadlariga nisbatan radial yo'nalgan va ularning uzunligi mos ravishda zaryadlarga nisbatan masofa kvadratiga teskari proporsional. Bunday E maydonga xos xususiyat, uning ixtiyoriy sathida tutash yuziga kirayotgan va undan chiqayotgan (ulardan biri siniq chiziqlar bilan chizib ko'rsatilgan) kuch chiziqlari soni turlicha, ya'ni oqim $F_E \neq 0$.



7.4-rasm. *a* – elektrostatik va *b* – vixr elektr maydonlari

Vixr maydonida boshqacha holat kuzatiladi (7.4- *b* rasm), bu yerda tutash yuziga kirayotgan va undan chiqayotgan kuch chiziqlarining tengligi kuzatiladi, hamda elektr maydonining mavjudligiga qaramay, oqim $F_E = 0$. Xulosa: Gauss-Ostrogradskiy teoremasi bilan bog'liq bo'lgan maksvell nazariyasining uchinchi qoidasiga ko'ra magnit maydonining o'zgarishi natijasida hosil bo'lgan elektr maydoni vixr xususiyatga ega.

4. Magnit maydoni har doim vixr xususiyatiga ega. Demak, magnit maydoni o'zgarimas tok yoki o'zgaruvchan elektr may-

doni ta'sirida yuzaga kelishidan qat'iy nazar magnit maydoni kuch chiziqlari har doim tutash va bu kuch chiziqlarida chiqish va kirish (boshlanishi va oxiri)lari yo'q.

Maksvell nazariyasi juda katta nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Xususiyl holda, bu nazariya elektromagnit to'liqlarini paydo bo'lishining fizik mohiyatini ko'rsatib beradi.

Erkin elektromagnit maydoni nurlatgichdan barcha yo'nalishlar bo'yicha yorug'lik tezligida tarqaladi. Elektromagnit maydoni nurlatgich zaryadlariga bog'liq bo'lmagan holdagina erkin hisoblanadi.

Agarda vibratorga (simli antenna) o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilgan bo'lsa, u holda vibrator yaqinida o'zgaruvchan elektr maydoni mavjud bo'ladi, vibrator orqali oqib o'tayotgan tok esa o'zgaruvchan magnit maydonini yuzaga keltiradi.

Bu maydonlar o'zaro bog'langan: ular zaryadlar va vibrator toki bilan hosil bo'ladi va yo'qoladi. Ammo vibrator elektromagnit maydoni o'zgaruvchan ekan, Maksvellning birinchi tenglamasiga asosan o'zaro bog'langan maydon elektr tashkil etuvchisining o'zgarishi mazkur nuqta va uning atrofida magnit maydonini chaqiradi, Maksvellning ikkinchi tenglamasiga asosan esa o'zaro bog'langan maydon magnit tashkil etuvchisining o'zgarishi mazkur nuqtada va uning atrofida elektr maydonini chaqiradi.

Yangi hosil bo'lgan maydonlar erkindir, ular vaqt bo'yicha uzluksiz o'zgaradi va shunga asosan ochiq fazoda elektromagnit to'liqlarini tashkil etib, yorug'lik tezligi bilan tarqaladi. Maksvell nazariyasining uchinchi va to'rtinchi qoidalari ga asosan elektromagnit to'liqlarining ikki tashkil etuvchilari vixr xususiyatga ega va tutash chiziqlar bilan tasvirlanadi.

Shuni yodda tutish lozimki, elektromagnit to'liqlari materiyaning alohida shaklini namoyon etadi. Elektromagnit to'liqlarining filosofik nuqtayi nazarda materiya ekanligi shundaki, ular real mavjuddir, radiotexnikada sodir bo'ladigan hodisalarni yengil tahlil qilish uchun o'ylab topilmagan.

Elektromagnit to'liqlarining materiya ekanligining muhim sifati shundaki, elektromagnit maydoni hatto ochiq fazoda ham

mavjud bo'la oladi (har qanday jism yoki zaryadlangan elektr zarrachalari bo'lmagan muhitda ham). "Ochiq fazo" termini-ga nisbiy dielektrik o'tkazuvchanligi $\varepsilon = 1$ (ya'ni $\varepsilon_a = \varepsilon_0$) va nisbiy magnit o'tkazuvchanligi $\mu = 1$ (ya'ni $\mu_a = \mu_0$) bo'lgan vakuum to'la javob beradi. Ammo vakuum unda elektromagnit to'lqinlari paydo bo'lishi bilan bo'shliq holatini yo'qotadi, chunki elektromagnit maydon nafaqat filosofik, balki fizik ma'noda ham materiyadir.

Erkin elektromagnit maydoni to'lqin yordamida yorug'lik tezligi bilan ko'chuvchi ma'lum bir energiyaga ega. Bunday katta tezlikda hech qanday narsa bir yerdan ikkinchi yerga ko'chish imkoniga ega emas.

Maksvell nazariyasining asosiy qoidalari 1888-yilda Gers tomonidan amaliy isbotlangan. Gers o'zining tajribalarida elektromagnit to'lqinlarini hosil qilgan va ularni yorug'lik kabi urilib qaytish va sinish imkoniyatlarini namoyish etdi. Gers tomonidan katta metall plastinasidan yuguruvchi elektromagnit to'lqinlarini urilib qaytishi bilan turg'un to'lqinlari olingan.

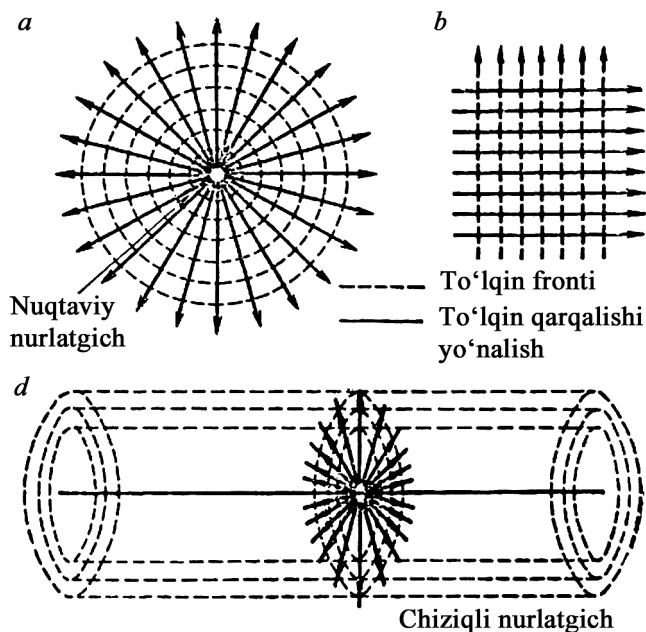
Elektromagnit to'lqinlarini radioaloqada foydalanish imkoniyati birinchi bo'lib Aleksandr Stepanovich Popov tomonidan joriy etilgan.

7.2. Nur, front va elektromagnit to'lqinining qutblanishi

Elektromagnit to'lqini nazariyasida nur, front va to'lqinning qutblanishi kabi tushunchalar ishlatiladi.

Nur, deb uzunasi bo'yilab elektromagnit to'lqini tarqaladigan liniya tushuniladi. Bir jinsli izotrop muhitda, ya'ni barcha nuqtalari va barcha yo'nalishlarda bir xil parametr-ga ega bo'lgan muhitda to'lqinlar o'zgarmas tezlik bilan to'g'ri chiziqli harakatlanadilar. Masalan, nuqtaviy (izotrop) nurlatgich nurlari to'g'ri chiziq bo'yilab radial yoyiladi (7.5- a rasm).

Elektromagnit to'lqinlari bir xil fazaga ega bo'lgan nuqtalar geometrik o'rinlari to'lqin fronti deyiladi. To'lqin fazasining elektromagnit energiya uzatish yo'nalishiga nisbatan siljish tezligi faza tezligi v deyiladi.



7.5-rasm. *a* – sferik; *b* – yassi; *d* – silindrik to‘lqinlar

Ko‘ndalang elektromagnit to‘lqini TEMda faza tezligi barcha to‘lqinning tarqalish tezligidan farq qilmaydi ($v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}}$), chunki bu ko‘ndalang to‘lqin va uning fronti energiya tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar. Ko‘ndalang elektromagnit to‘lqini TEM uchun $v = s = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Agarda izotrop muhitga nuqtaviy nurlatgichni joylashtirsa va xayolan uning atrofiga ixtiyoriy radiusli sfera chizilsa, u holda sferaning barcha nuqtalariga to‘lqin bir xil kechikish bilan yetib keladi (barcha yo‘nalishlarda faza tezligi bir xil). Boshqacha so‘z bilan aytganda, sfera sathi bir xil fazali nuqtalarning geometrik o‘rni sanaladi. Shu sababli fronti sfera ko‘rinishli to‘lqin sferik deyiladi. Sferik to‘lqin uchun elektr (magnit) maydon kuchlanganligi nurlatgichdan bo‘lgan masofaga teskari proporsional.

Nurlatgichdan katta masofalarda qabul qiluvchi antenning aktiv maydoni to'liq sferik frontining juda oz qismini tashkil etadi. Bunday sharoitlarda frontni yassi, nurlarni esa ular doimo frontga perpendikulyar bo'lgani uchun parallel deb qabul qilish mumkin (7.5- *b* rasm). Nurlarning parallelligi shuni anglatadi, ya'ni elektromagnit to'liq energiyasi tarqalish jarayonida sochilmaydi. Demak, yassi to'liq maydon kuchlanganligi amplitudasi o'zgarmas va masofaga bog'liq emas.

Tabiatda yassi to'liqlar mavjud emas, ammo ko'p masalalarni yechishda elektromagnit to'liqini yassi deb qarash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

To'liq fronti silindr ko'rinishiga ega bo'lgan silindrik to'liqlar ham mavjud (7.5- *d* rasm). Bunday to'liqlar manbasi katta uzunlikdagi to'g'ri chiziqli nurlatgich hisoblanadi. Silindrik to'liq nurlari nurlatgich o'qiga perpendikulyar tekisliklar bo'yicha radial tarqaladi. Bu yerda nurlarni frontga perpendikulyarligi ham bajariladi.

To'liqni qutblanishi elektr maydon vektori E ning to'liq tarqalish yo'nalishi va sanoq tekisligiga nisbatan joylashishiga ko'ra aniqlanadi. Chiziqli (tekis) va elliptik qutblangan to'liqlar mavjud, shular qatorida aylanma qutbli to'liqlar ham bor, ammo ular elliptik qutblangan to'liqlarning xususiy holi hisoblanadi.

Chiziqli (tekis) qutblanishda elektr (magnit) maydon vektori to'liq tarqalish jarayonida o'zining o'zgarmas yo'nalishini saqlaydi. Vektor E va u bo'ylab elektromagnit to'liqini tarqaluvchi o'q x orqali o'tuvchi tekislik qutblanish tekisligi deb ataladi. Chiziqli qutblanishda bu tekislikning ochiq fazodagi holati o'zgar olmay saqlanadi.

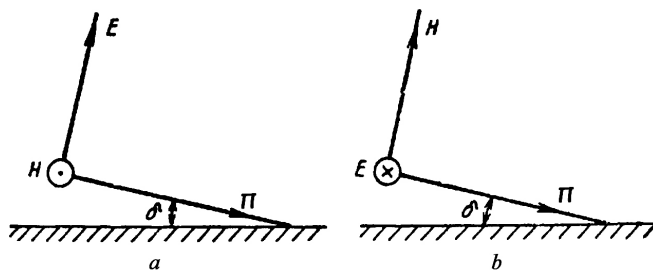
Ko'p hollarda qutblanishning sanoq tekisligi sifatida Yer xizmat qiladi. U holda chiziqli-qutblangan to'liqlarning ikki turi: *vertikal* va *gorizontal qutblangan* to'liqlar katta qiziqish uyg'otadi. Birinchi to'liqda qutblash tekisligi vertikal joylashgan, ikkinchisida esa – elektr maydon vektori E gorizontal joylashgan.

Nima uchun birinchi holda qutblanish tekisligi, ikkinchi holda esa – E vektori haqida so'z boradi? Chunki qutblash tekis-

ligida nafaqat E vektori, balki x o'qi ham joylashgan. Agarda Ox yo'nalishi Yerga parallel bo'lsa, u holda vertikal qutblangan to'lqinlarda ham qutblash tekisligi, ham elektr maydon vektori E vertikal joylashgan. Gorizonttal qutblangan to'lqinlarda ham qutblash tekisligi, ham elektr maydon vektori E gorizonttal joylashgan.

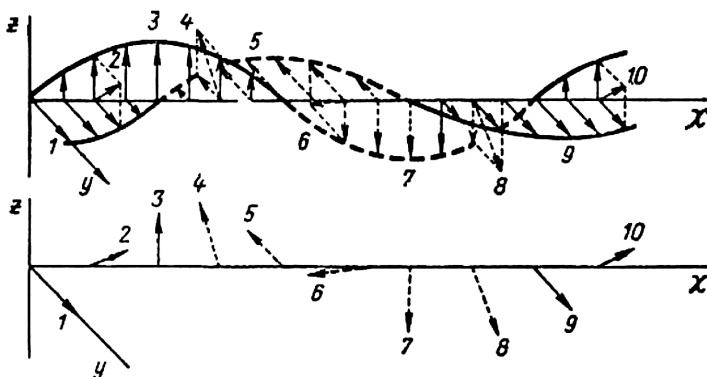
Agarda nur Π Yer tekisligiga qandaydir δ burchak ostida og'gan bo'lsa, u holda vertikal-qutblangan to'lqinlarda (7.6- *a* rasm) qutblash tekisligi vertikal, ammo E vektori vertikal tekislikda joylashgan bo'lishiga qaramay Yer tekisligiga perpendikulyar emas. Xuddi shunday yo'nalishga ega bo'lgan gorizonttal-qutblangan to'lqinni ko'ramiz (7.6- *b* rasm). Bunda faqat E vektori gorizonttal, E va P orqali o'tuvchi qutblash tekisligi esa Yer tekisligi bilan δ burchak hosil qiladi.

Agar ikki yassi-qutblangan to'lqinlar teng chastota, turlicha intensivlik, faza bo'yicha o'zgarmas siljish va o'zaro perpendikulyar qutblash tekisligiga ega bo'lsa, u holda elliptik qutblangan to'lqin hosil bo'ladi. Bunday to'lqinda elektr va magnit maydon vektorlari o'zaro perpendikulyarlikni saqlab qoladilar, ammo har bir vektor to'lqin tarqalishi jarayonida fazoda elliptik spiral chizadi. Xususiyl holda yassi-qutblangan to'lqin tashkil etuvchilari intensivligi bir xil va faza bo'yicha siljish 90° ga teng bo'lganida aylanma qutblanish hosil bo'ladi.



7.6-rasm. *a* – vertikal; *b* – gorizonttal qutbli to'lqinlar

7.7-rasmda yuqorida keltirilgan shartlarni qoniqtiruvchi ikki to'lqinni qo'shilishi natijasida aylanma qutblanishli to'lqinni olish jarayoni ko'rsatilgan.



7.7-rasm. Aylanma qutblanishli to'liq olishni tasvirlovchi diagrammalar

To'liqning ikki tashkil etuvchisi teng maydon amplitudasiga ega va x o'qi bo'ylab bir yo'nalishda tarqaladi. Birinchi to'liq elektr maydon vektorlari z o'qiga parallel, ikkinchi to'liq elektr maydon vektorlari y o'qiga parallel. Boshqacha so'z bilan aytganda, birinchi to'liq zx tekisligida, ikkinchi to'liq esa unga perpendikulyar bo'lgan yx tekisligida qutblangan. Ikki to'liq maydonlari oralig'idagi faza bo'yicha farq 90° ga teng, shu sababli x o'qining shunday bir qirqimlarida birinchi to'liq maydoni maksimal bo'lsa, ikkinchi to'liq maydoni nolga teng.

Agarda ikki to'liq elektr maydon vektorlarini geometrik qo'shilsa, shunga ishonch hosil qilish mumkinki, natijaviy to'liqning 1-, 9-vektorlari y o'qiga parallel, 5-vektor teskari tomonga yo'nalgan, 3-vektor z o'qiga parallel, 7-vektor teskari tomonga yo'nalgan, qolgan 2-, 4-, 6-, 8-, 10-... vektorlar oraliq holatni egallaydi. Shunday qilib, natijaviy to'liqni λ masofaga tarqalish jarayonida, elektr maydon vektorining tugash yeri aylanma spiral chizadi.

Mazkur holda o'ng qutblangan nur hosil bo'ladi, chunki to'liq tarqalishida natijaviy maydon vektori soat strelkasi bo'yicha aylanadi. Agarda aylanish soat strelkasiga qarshi sodir bo'lsa, u holda nur chap qutblangan deyiladi.

7.3. Qabul qilish nuqtasida elektr maydon kuchlanganligini aniqlash

Signalni qabul qilish nuqtasida kerakli maydon kuchlanganligini (qabul qilish antenasida mos ravishda EYuK) olish uchun uzatish punktida uni P_{Σ} quvvatda nurlatish lozim bo'ladi.

Markazida nuqtaviy nurlatgich joylashgan r radiusli sfera-niing birlik sirti orqali o'tuvchi quvvat Umov-Poyting vektori bilan aniqlanadi:

$$\Pi = \frac{P_{\Sigma}}{4\pi r^2}. \quad (7.3)$$

Hamma real antennalar ma'lum yo'nalganlikka ega bo'lib, u yo'nalish koeffitsiyenti D orqali hisobga olinadi, ya'ni:

$$D = 10 \lg \frac{P_{real}}{P_{izotrop}}, \quad (7.4)$$

bu yerda, P_{real} – yo'nalgan antenaning nurlanish quvvati;

$P_{izotrop}$ – izotrop, mutlaq yo'nalmagan antenaning nurlanish quvvati.

U holda kerakli yo'nalishdagi energiyani quyidagi ifoda bo'yicha aniqlash mumkin:

$$\Pi = \frac{P_{\Sigma} \cdot D}{4\pi r^2}. \quad (7.5)$$

Elektr va magnit maydonlardagi energiyaning hajmiy zichliklari o'zaro teng bo'ladi, ya'ni:

$$\frac{1}{2} \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} \mu E^2, \quad (7.6)$$

bu yerda, $\varepsilon = (1/36\pi)10^{-9} \text{ f/km}$ – fazoning magnit singdiruvchanligi;

$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/km}$ – fazoning elektr singdiruvchanligi.

(7.6) ifodadan quyidagini olamiz:

$$\dot{H} = \frac{\dot{E}}{120\pi}. \quad (7.7)$$

Qoidaga binoan:

$$\dot{H} = \frac{1}{2} \frac{\dot{E}}{120\pi}, \quad (7.8)$$

U holda (7.7) ifodani hisobga olganda:

$$\dot{H} = \frac{1}{2} \frac{\dot{E}^2}{120\pi}. \quad (7.9)$$

ga ega bo'lamiz.

(7.5) va (7.9) ifodalarni birgalikda yechib, uzatgichdan r masofada joylashgan qabul qilish nuqtasidagi kuchlanganlikning qiymatini aniqlaymiz:

$$\frac{1}{2} \frac{\dot{E}^2}{120\pi} = \frac{P_{\Sigma} D}{4\pi r^2}.$$

Bundan:

$$\dot{E}^2 = \frac{60 P_{\Sigma} D}{r^2} \quad \text{yoki} \quad \dot{E} = \frac{\sqrt{60 P_{\Sigma} D}}{r}. \quad (7.10)$$

Oxirgi (7.10) ifoda Vvedenskiy ifodasi deb yuritiladi.

Qabul qilinayotgan nuqtadagi tebranish fazasi uzatilayotgan nuqtadagi tebranish fazasiga nisbatan:

$$\omega \Delta t = \omega \frac{r}{C} = \frac{2\pi}{T} \frac{r}{C} = \frac{2\pi}{\lambda} r = \beta r,$$

burchakka kechikadi.

Bu yerda, Δt – yorug'lik tezligi C da r masofaga elektromagnit to'lqinni tarqatishga kerak bo'ladigan vaqt; $\lambda = T \cdot C$ – to'lqin uzunligi;

$\beta = 2\pi/\lambda$ – fazaviy o'zgarmas (fazaviy koeffitsiyent).

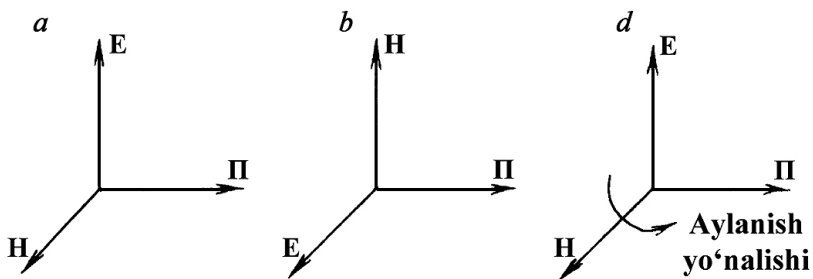
Qabul qilish nuqtasidagi elektr maydon kuchlanganligi kompleks amplitudasini:

$$\dot{E} = E_m e^{-j\beta r} = \frac{\sqrt{60 P_{\Sigma} D}}{r} e^{-j\beta r}. \quad (7.11)$$

ifoda orqali aniqlash mumkin.

7.4. Elektromagnit to'liqining qutblanishi tushunchasi

Elektromagnit to'liqining muhim parametrlaridan biri uning qutblanishidir. Agar vektor \vec{E} va vektor \vec{H} lar vertikal tekislikda joylashgan bo'lsa, u holda to'liqni vertikal-qutblangan to'liq deb ataladi (7.8- *a* rasm). Agar vektor \vec{E} va vektor \vec{H} lar gorizontal tekislikda joylashsa, unda to'liq gorizontal qutblanishga ega bo'ladi (7.8- *b* rasm). Bulardan tashqari \vec{E} vektor to'liqning bitta davri davomida aylanma harakatda bo'lsa, u holda aylanma qutblanishli to'liqlar ham bo'lishi mumkin (7.8- *d* rasm).



7.8-rasm. Elektromagnit to'liqining qutblanishi

Har qanday boshqa qutblanishli to'liqlarni chiziqli-qutblangan to'liqlarning geometrik yig'indisi yoki turli aylanma yo'nalish bo'yicha aylanma qutblanishli ikkita to'liq ko'rinishida tasavvur qilish mumkin (7.8-rasm).

7.5. Elektromagnit to'liqning kuchsizlanish ko'paytiruvchisi va uning tashkil etuvchilari

Real maydon sharoitlarida radioto'liqlarning tarqalishi ularning erkin fazoda tarqalishidan anchagina farq qiladi. Maydonning erkin fazodagi tarqalishdan ko'ra kuchsizlanishi kuchsizlanish ko'paytiruvchisi V bilan xarakterlanadi. Shuning uchun (7.10) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_\Sigma DV}}{r}. \quad (7.12)$$

Kuchsizlanish ko'paytuvchisini aniqlashda radioto'lqinlarning tarqalishida yuz beradigan hodisalardan yutilish, sinish, qaytish, difraksiya, interferensiya va dequtblanish kabi hodisalarni hisobga olishga to'g'ri keladi.

Radioaloqa trassasida radioto'lqinlarni tarqalish xarakteri o'zgarmasdan qolmaydi (masalan, meteo sharoitning o'zgarishi harakatdagi obyektlar bilan radioaloqada obyektlar harakati tufayli), shu sababli kuchsizlanish ko'paytuvchisini umuman olganda tasodifiy kattalik deb qarash kerak. Amalda kuchsizlanish ko'paytuvchisining o'rtacha qiymatidan foydalaniladi.

Fazoda elektromagnit to'lqinlar energiyasi yutilishi atmosfera, mikrozzarrachalar (changlar) va suv bug'larining isishidan vujudga keladi.

Bir jinsli muhitda radioto'lqinlar to'g'ri chiziqli tarqaladi. To'lqinlar bir muhitdan ikkinchi bir muhitga o'tishda ular optika qonunlariga muvofiq qaytish va sinishlarga duch keladilar.

Muhit chegarasida to'lqinlarning sinishi sinus qonuniga bo'ysunadi (7.9-rasm), ya'ni:

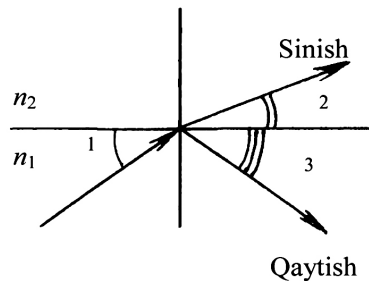
$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2, \quad (7.13)$$

bu yerda, $n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}$, $n_2 = \sqrt{\varepsilon_2}$ – muhitlarning sindirish koeffitsiyentlari;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – muhitlarning nisbiy dielektrik sindiruvchanligi.

Muhit chegaralaridan qaytishda $\varphi_1 = \varphi_3$ tenglik o'rinli bo'ladi.

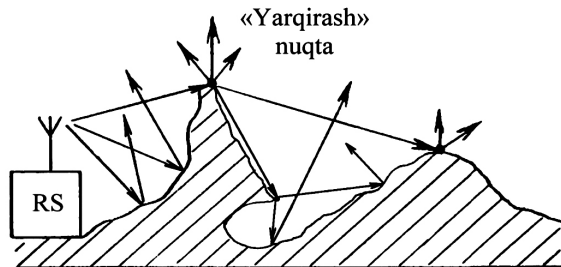
Agar radioto'lqinlar o'z yo'llarida to'siqlarga duch kelsalar, u holda bu to'siqlardagi vujudga keladigan toklar tufayli ularda o'z navbatida to'siqlar nurlanishi kabi ikkilamchi maydon paydo bo'ladi. Shunday qilib, to'siqlar



7.9-rasm. Muhit chegarasida to'lqinlarning sinishi

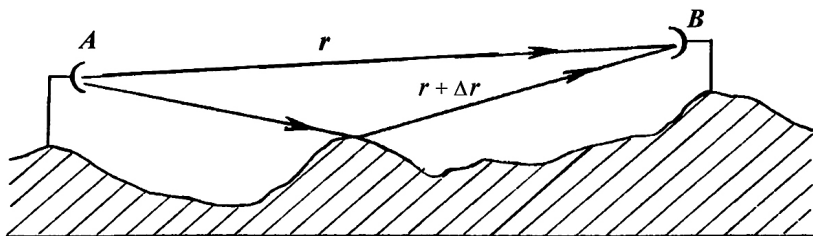
orqasida (hatto dielektrik bo'lmagan ideal o'tkazgichlar orqali birlamchi maydon o'tganda) ham elektromagnit maydon mavjud ekan. Buni tushuvchi birlamchi maydonda to'siqlarning egilishi deb qabul qilish kerak.

Yuqorida ko'rilgan effektни radioto'lqinlarning to'siqlardagi diffraksiyasi deb yuritiladi (7.10-rasm).



7.10-rasm. Radioto'lqinlarning to'siqlardagi diffraksiyasi

Agar qabul qilinayotgan nuqtaga turli fazada bir xil chastotali har xil to'lqinlar keladigan bo'lsa, natijaviy maydon to'lqinlar interferensiyasi bilan belgilanadi (7.11-rasm), ya'ni natijaviy maydon to'lqinlarning maydon kuchlanganliklari vektorlarini geometrik qo'shilmasidan iborat bo'ladi.

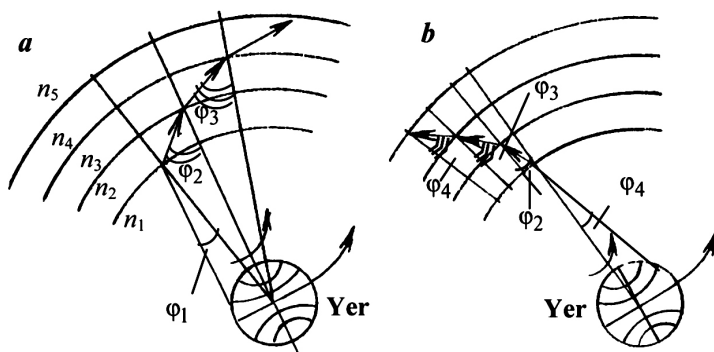


7.11-rasm. To'lqinlar interferensiyasi

To'lqinlar yerga tushganda unda siljish va o'tkazuvchanlik toklari vujudga keladi. Tuproqning xususiyati shundayki, kilometrli va gektometrli (3–30 kHz, 30–300 kHz) oraliqdagi to'lqinlarda o'tkazuvchanlik toklari ko'proq bo'ladi, shuning uchun yerni taxminan ideal o'tkazgich deb hisoblash mumkin.

Ultra qisqa to'liqin oralig'ida tuproqda siljish toklari ko'proq bo'ladi, shu sababli UQT va bundan ham qisqa to'liqinlarda yerni dielektrik deb hisoblasa bo'ladi. Dekametrlri oraliqda esa yer yarim o'tkazgichli xususiyatga ega. To'liqin qanchalik qisqa bo'lsa, tokning yerga kirib borish chuqurligi shunchalik katta bo'ladi. Yer yuzasi bo'ylab tarqaladigan radioto'liqinlarni yerli yoki yuzali to'liqinlar deb yuritiladi. Yerli to'liqinlarning tarqalishi yer qatlamida toklarning vujudga kelib ikkilamchi nurlanishni paydo bo'lishi bilan bog'liq. To'liqin uzunligi qanchalik katta bo'lsa, yerli to'liqin shunchalik uzoqqa tarqaladi.

Radioto'liqinlar troposferada ham tarqalishi mumkin. Troposfera yer sathidan 10–15 km gacha balandlikda joylashgan bo'lib, balandlik oshgan sari troposferada suv bug'lari keskin kamaya boshlaydi hamda gazning harorati va bosimi o'zgarib, balandlikning oshishi ϵ ning o'zgarishiga olib keladi. Shu bilan birga sinish koeffitsiyenti $n = \sqrt{\epsilon}$ ham kamayadi, ya'ni qatlamlar chegarasida to'liqinning sinishi yuz berib, elektromagnit to'liqinlarning tarqalish nuri yo'li qiyshayadi. Bu hodisa to'liqinlar refraksiyasi deb yuritiladi (7.12-rasm).



7.12-rasm. To'liqinlar refraksiyasi

Amalda nur yo'li o'ziga xos siniq chiziq emas, balki sillik egri chiziq hisoblanadi, chunki n kattalik uzluksiz o'zgaradi. Agar nur Yer tomon qiyshaysa musbat refraksiya (7.12- a rasm), aksincha, nur yerga qarama-qarshi tomon qiyshaysa mos ravishda

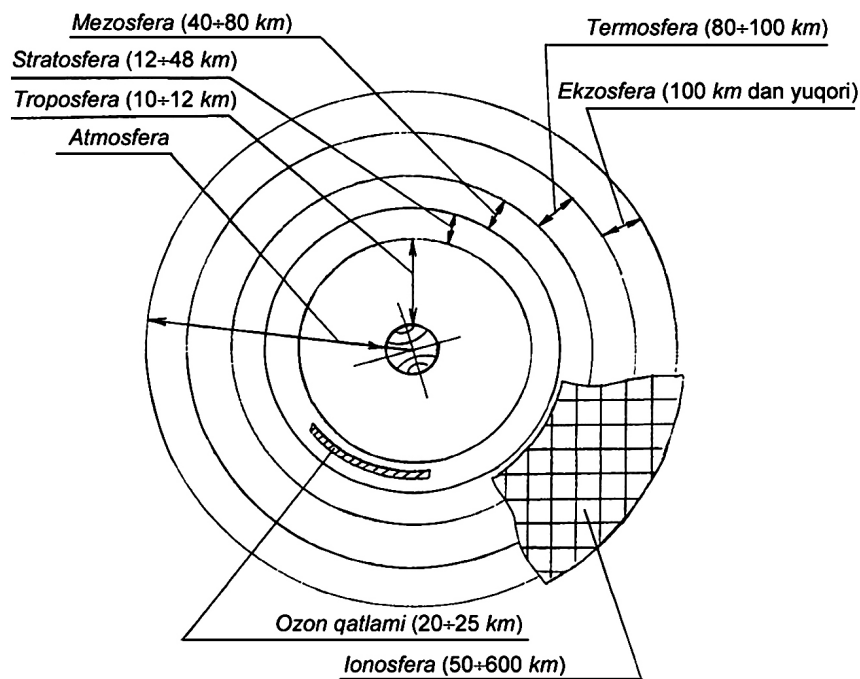
manfiy refraksiya (7.12- b rasm) deyiladi. Yerni atmosfera o'rab turadi, uning tuzilishi 7.6-rasmda tasvirlangan.

Atmosfera – Yerning havoli atrof-muhiti, uning massasi $5,15 \cdot 10^{15}$ t; 20 km gacha bug'dan iborat bo'lib, yer yuzasida 3 %, tropikda $2 \cdot 10^{-5}$; 78,1 % – azot, 21% – kislorod, 0,9 % – argon va boshqa gazlarlar mavjud.

Yerning magnitosferasi kunduzgi vaqtdan kechki vaqtga o'tishi onida radioto'lqinlarning tarqalish sharoitiga muhim ta'sir ko'rsatadi.

50 km dan yuqori balandlikda joylashgan ionosferada Quyoshning ultrabinafsha va rentgen hamda korpuskulyar nurlanishi ta'sirida gaz atomlarining ionlanishi sodir bo'ladi.

Ionosferada balandlikka bog'liq ravishda turli ionli konsentrativiyali qatlamlar ajratiladi. Ma'lum sharoitlarda ionosferada radioto'lqinlarning butunlay qaytishi sodir bo'ladi.



7.13-rasm. Ionosfera qatlamlari

Muhitning ionlanishi uchun:

$$n = \sqrt{1 - 80,8 \frac{N_{\max}}{f_{kr}^2}}, \quad (7.14)$$

bundan:

$$f_{kr} = \sqrt{\frac{80,8 N_{\max}}{\cos \varphi_0}}, \quad (7.15)$$

ligi kelib chiqadi. Bu yerda, N_{\max} – ionosferaning elektronli konsentratsiyasi; f_{kr} – chastota, kHz da, $\cos \varphi_0 = 1/(n^2 - 1)$.

Agar (7.15) ifoda orqali aniqlanadigan f_{kr} chastotada nurlatilsa, u holda tulqin Yerga qaytib tushadi.

Agar to'liqin chastotasi f_{kr} dan oshiq bo'lib, u burchak ostida tushsa, u holda ionosferada to'liqin qaytishi kuzatilmaydi va u kosmik fazoga g'oyib bo'ladi.

Kilometrli va undan uzun to'liqinlar ionosferaning D va E past qatlamlaridan, gektometrli to'liqinlar E va F_1 qatlamlaridan, dekametrlil to'liqinlar F_2 qatlamlaridan qaytadi. Ultraqisqa to'liqinlar ionosferadan o'tib ketadi va shuning uchun ulardan ionosfera to'liqinida aloqa uchun foydalanilmaydi.

Kalit so'zlar

1. Yer atmosferasi – Yer bilan birgalikda bir butun bo'lib aylanadigan yer atrofidagi gazli (havoli) muhit hisoblanib, uning massasi $5,15 \cdot 10^{15}$ t atrofida bo'ladi. Yerning atmosfera sirti tarkibida quyidagilar mavjud: 78,1 % – azot, 21 % – kislorod, 0,9 % – argon, oz miqdorda karbonad angdirid gazi, vodorod, geliy, neon va boshqa gazlar.

2. Vertikal (gorizontal) qutblangan elektromagnit to'liqinlar – elektr maydon kuchlanganligi vektori mos ravishda vertikal (gorizontal) tekislikda joylashgan to'liqinlardir.

3. To'liqinlar depolyarizatsiyasi – elektromagnit to'liqinlar qutblanish darajasining kamayishi. Masalan, vertikal qutblangan to'liqinlarning gorizontal qutblangan to'liqinlarga va boshqalarga o'tishi.

4. To'liqlar difraksiyasi – to'siq to'liqlar tomonidan to'liqlar fronti uzluksizligining buzilishi va egilishiga olib kelishi natijasida vujudga keladigan hodisalar.

5. To'liqlar interferensiyasi – fazoda ikkita (yoki bir nechta) to'liqlarning qo'shilishi natijasida, uning turli nuqtalarida natijaviy to'liqin amplitudasining kuchayishi yoki susayishi hodisasi.

6. Yer ionosferasi – Yer atmosferasining yuqori qatlami hisoblanib, u 50–80 km dan boshlanib, magnitosfera chegarasigacha kirib boradi. Ushbu qatlam tarkibida juda kup atmosfera ionlari va ozod elektronlar mavjudligi bilan xarakterlanadi.

7. Antennaning yo'nalgan ishlash koeffitsiyenti – Har ikkala antenna bir xil nurlatish quvvatiga ega bo'lganida, berilgan yo'nalishda real antennaning nurlatish quvvatini aynan shu yo'nalishda izotrop antennaning nurlatish quvvatiga nisbati.

8. Doiraviy qutblanish – elektromagnit to'liqlarning qutblanishi bo'lib, bunda bitta davr mobaynida elektr maydon kuchlanganligi vektorining burilishi sodir bo'ladi.

9. Yer magnitosferasi – fazoning sayyora atrofi sohasti hisoblanib, uning fizik xususiyati Yerning magnit maydoni va uning kosmosdan keladigan zaryadlangan zarrachalar oqimiga ta'siri bilan xarakterlanadi.

10. Monoxromatik nurlanish – bitta belgilangan va qat'iy an o'zgarmas chastotali elektromagnit nurlanish.

11. To'liqlar qaytishi – tarqalish yo'nalishining o'zgarishi bilan kechadigan to'siqlardan to'liqlarning qayta nurlanishi.

12. Qutblanish tekisligi – elektr maydon kuchlanganligi E joylashgan tekislik.

13. To'liqlarning yutilishi – elektromagnit to'liqlarning jismda tarqalganda, to'liqin energiyasining jismning ichki energiyasiga yoki boshqa spektral tarkibli hamda boshqa tarqalish yo'nalishli ikkilamchi nurlanish energiyaga aylanishi tufayli energiyaning kamayish hodisasi.

14. Qutblangan elektromagnit to'liqlar – fazoda elektr va magnit maydoni kuchlanganliklari vektorlari yo'nalishlari o'zgarmas yoki davriy ravishda belgilangan qonun bo'yicha

o'z yo'nalishlarini o'zgartirib turadigan elektromagnit to'lqinlar.

15. Ko'ndalang to'lqin – elektr va magnit maydonlari hamma vaqt o'zaro perpendikulyar bo'lgan elektromagnit to'lqinlar.

16. To'lqinlar sinishi – sinish ko'rsatgichi turlicha bo'lgan muhitlar chegarasida yuz beradi. Yassi monoxromatik to'lqining turli xususiyatli ikki birjinsli muhit chegarasiga tushganda to'lqining oynali aksi va sinishi sodir bo'ladi.

17. To'lqinlar refraksiyasi – sindirish ko'rsatgichi uzluksiz o'zgaradigan muhitda elektromagnit to'lqinlar tarqalish yo'nalishining egilish hodisasi.

18. Troposfera – Yerning quyi asosiy qatlami hisoblanib, qutbda 8–10 km, o'rtasida 10–12 km va tropik kenglikda 16–18 km ni tashkil qiladi. Unda Yer atmosferasi massasining 4/5 qismi to'plangan bo'ladi.

Nazorat savollari

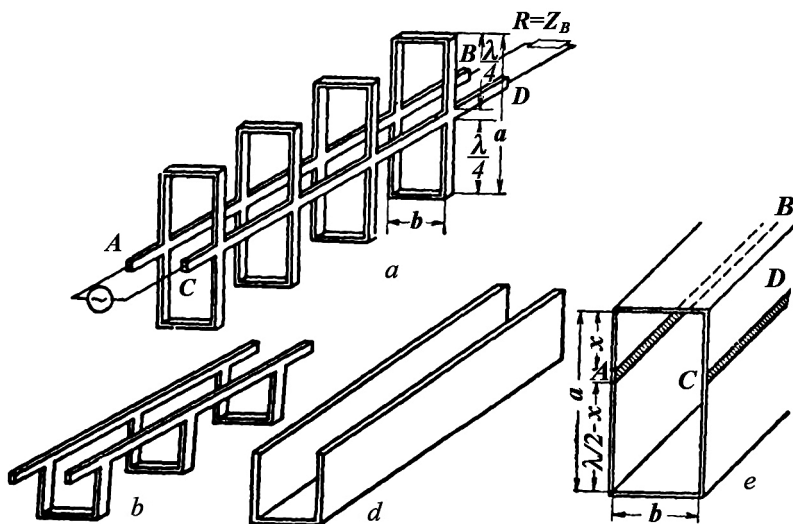
1. *Umov-Poyting vektorini ta'riflang va uni hisoblash ifodasini yozing.*
2. *Yo'nalgan ishlash koeffitsiyentining fizik ma'nosini tushuntiring.*
3. *Izotrop antenna nima?*
4. *Vvedenskiy ifodasini yozing va unga kirgan parametrlarning fizik ma'nosini tushintiring?*
5. *Elektromagnit to'lqinlarning gorizontal, vertikal va doiraviy qutblanishini ta'riflang.*
6. *Susayish ko'paytirgichini aniqlashda qanday hodisalarni hisobga olish kerak?*
7. *Elektromagnit to'lqinlarning difraksiyasi va refraksiyasining fizik ma'nosini tushintiring.*
8. *Elektromagnit to'lqinlarning interferensiya va depolyarizatsiyasining fizik ma'nosini tushintiring.*
9. *Yer atmosferasida elektromagnit to'lqinlar nima hisobiga yutiladi?*
10. *Yer atmosferasi tuzilishining xususiyatlari?*
11. *Magnitosferaning tuzilish xususiyatlari?*
12. *Magnitosferaning ichki sohasida Yerning radiatsion belbog'i qanday vujudga kelishini tushuntiring.*
13. *Quyosh shamoli nima?*

VIII bob. RADIOTO'LIQIN UZATGICHLAR VA HAJMLI REZONATORLAR

8.1. To'liqin uzatgichda kuchlanish va tok

To'liqin uzatgich, deb elektromagnit energiyani uzatishga mo'ljallangan metall truba yoki dielektrik sterjenga aytiladi. Amalda ko'proq to'g'ri burchak va doira qirqimli metall to'liqin uzatgichlar qo'llaniladi. Metall to'liqin uzatgichlarning ichki sathi yuqori o'tkazuvchanlikka ega.

Yuqori chastotali energiyani to'liqin uzatgichlar yordamida uzatish imkoniyatining asosini quyidagicha ko'rsatish mumkin. Faraz qilaylik, ikki simli AB , CD liniya to'liqin qarshiligiga teng aktiv qarshilik bilan tutashtirilgan (8.1- *a* rasm).



8.1-rasm. Bir qancha metall izolyatorlarga tayangan ikki simli liniyadan to'g'ri burchakli to'liqin uzatgichni tuzish

Bunday liniya bo'yilab yuguruvchi to'liqinlar o'tadi. AB , CD liniyani chorak to'liqinli qisqa tutashgan shleyflar qatoriga qo'yamiz (8.1- *b* rasm). Modomiki shleyflarning har biri metall

izolyatorlardan iborat va amalda cheksiz kirish qarshiligiga ega ekan, ularning soni har qancha katta bo'lishi mumkin. Metall izolyatorlar sonini orttira borib 8.1- d rasmda ko'rsatilgan yaxlit konstruksiyani hosil qilish mumkin.

Agarda izolyatorlarni liniyaga yuqori tomondan ham ulansa, u holda ular fazoni to'rt tomondan tutashtiradi va keng devori a , tor devori v o'lchpmga ega bo'lgan to'g'ri burchakli to'lqin uzatgich hosil qiladi.

a o'lchamni o'zgartirmay turib, xayolan ikki simli AB , CD liniyani shu o'lcham bo'ylab o'zgartirish mumkin, ammo bunda shleyflar liniyani shuntlamaydi (8.1- e rasm).

Agarda bitta qisqa tutashtirilgan shleyf x uzunlik va mos ravishda:

$$z_1 = jz_B t_g \frac{2\pi}{\lambda} x$$

kirish qarshiligiga ega bo'lsa, u holda boshqa shleyf $\lambda/2 - x$ va uning kirish qarshiligi:

$$z_2 = jz_B t_g \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{\lambda}{2} - x \right) \right] = jz_B t_g \left(\pi - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) = -jz_B t_g \frac{2\pi}{\lambda} x;$$

shu sababli shleyflarning umumiy qarshiligi:

$$z = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2} = \frac{-j^2 z_B^2 t_g^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)}{jz_B \left(t_g \frac{2\pi}{\lambda} x - t_g \frac{2\pi}{\lambda} x \right)} = \infty.$$

Shunday qilib, to'lqin uzatgichning bo'ylama yo'nalishida qisqa tutashgan shleyflar yuguruvchi to'lqinlarni tarqalishiga qarshilik qilmaydilar, ammo ular to'lqin uzatgichning ko'ndalang qirqimlarida turg'un to'lqinlarni yuzaga keltiradi. Shunisi bilan to'lqin uzatgich faqat yuguruvchi to'lqinlarga ega bo'lgan moslashtirilgan ikki simli liniyadan juda katta farq qiladi.

Shleyflar balandligini qo'shib $\lambda/2$ uzunlikdan katta bo'lgan a o'lchamni olishimiz mumkin. a ning bunday o'lchamida to'lqin uzunligi λ ma'lum bir qiymat $\lambda_{sr} = 2a$ dan ortib ketishi kerak emas, buni to'lqinning kritik uzunligi deb ataladi. Agarda $a > \lambda/2$ bo'lsa, u holda $a - \lambda/2$ farqni mavhum ikki simli liniyaning eni

deb qarash mumkin. Agarda $a < \lambda/2$ bo'lsa, shleyflar balandligi $\lambda/4$ ga nisbatan kichik, ularning kirish qarshiliklari ham yetarlicha kamayadi, yuguruvchi to'liqlarga katta so'nish kiritiladi va energiyani to'liqin uzatgich bo'ylab uzatish amalda mumkin bo'lmay qoladi.

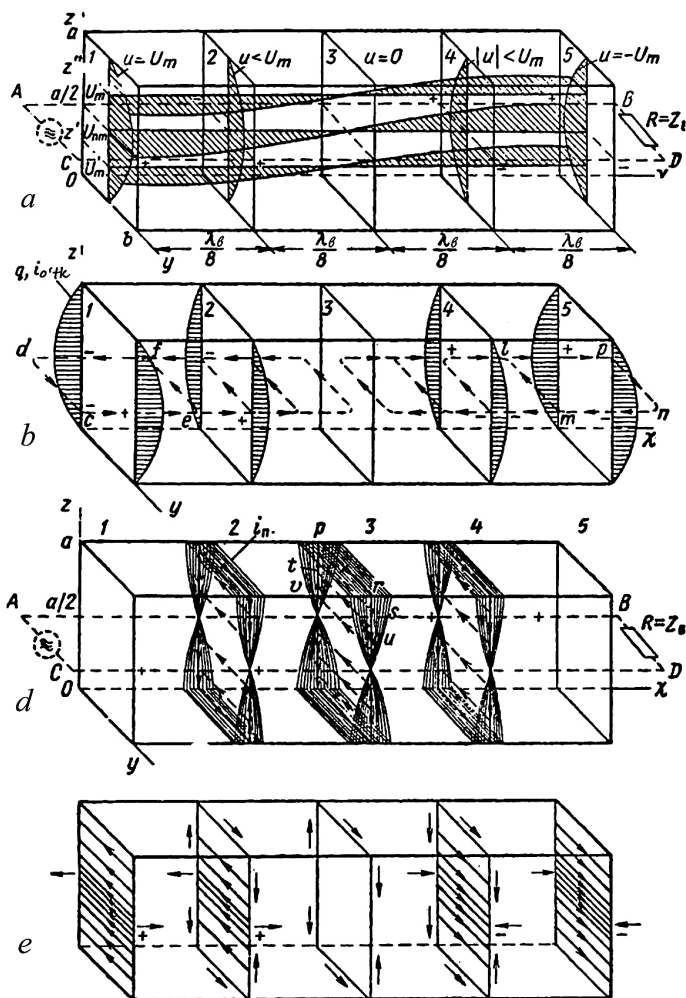
To'g'ri burchakli to'liqin uzatgich yarimto'liqin qirqimida ($\lambda_B/2$) kuchlanish va toklarning taqsimlanishini ko'ramiz. To'g'ri burchakli to'liqin uzatgich nisbatan x, y, z koordinata o'qlariga mo'ljallangan (8.2- a rasm).

Ko'rilayotgan bo'lakda beshta ko'ndalang qirqim 1, 2, 3, 4, 5 x o'qi bo'yicha $\lambda_B/8$ interval bilan ajratilgan. Kuchlanish U deganda to'liqin uzatuvchi keng devorlarining qarama-qarshi nuqtalari orasidagi potentsiallar farqi tushuniladi.

Ayni vaqtda, mavhum AB, CD ta'minlovchi sinusoidal EYuK generatori 1-qirqimda amplitudasi U_{nm} ga teng kuchlanishi U ni hosil qilmoqda. U holda shu qirqimning boshqa sathlarida (z ning boshqa qiymatlarida) kuchlanish sinusoidal bo'ladi, ammo kamroq amplituda bilan ($U = U_{nm}$): turg'un to'liqin qonuni bo'yicha shleyflarning qisqa tutashgan nuqtasida ($z = 0, z = a$) kuchlanish tugunlari ($U_{nm} = 0$) kuzatiladi, undan $\lambda/4$ masofada ($z = a/2$) – kuchlanish ($U_m = U_{nm}$), oraliq sathlarida esa kuchlanish U_m noldan katta, ammo U_{nm} dan kichik.

Uzunasi bo'yicha U kuchlanishi yuguruvchi to'liqin qonuniga ko'ra o'zgaradi: 1-qirqimda u U_m amplitudaga teng, so'ngra kamayib boradi (2-qirqim), 3-qirqimda nolga teng bo'lib qoladi, teskari belgi bilan ortib boradi (4-qirqim) va $-U_m$ amplitudaga 5-qirqimda erishadi. Har bir sath, 1-qirqim kuchlanishi bilan aniqlanadigan, yuguruvchi to'liqin amplitudasi U_m ga ega. Masalan, $z = a/2$ sathda $U_m = U_{nm}$, $z = z'$ sathda $U_m = U'_m < U_{nm}$ va $z = z''$ sathda amplituda $U_m = U''_m$. Shtrixlangan epyuralar ko'ndalang 1-, 2-, 3-, 4-, 5- qirqimlarda kuchlanish qanday taqsimlanishini va z ning uchta qiymatida ($z = z'; a/2; z''$) u uzunasi bo'yicha qanday o'zgarishini ko'rsatadi.

8.2- b rasmda zaryadlarni va bo'ylama tokni to'liqin uzatgich devorlarida taqsimlanishi ko'rsatilgan. Har qanday nuqta potentsiali shu nuqtaga joylashtirilgan zaryadga to'g'ri pro-



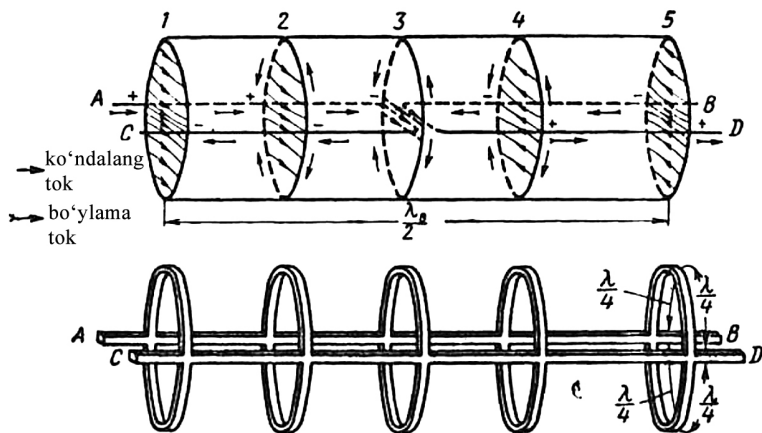
8.2-rasm. To'g'ri burchakli to'lqin uzatgichda kuchlanish va toklarning taqsimlanishi

porcional. Bundan, zaryad q ning o'zgarish qonuni kuchlanish o'zgarish qonuni bilan bir xil va zaryadlar va potentsiallar belgisi teng.

Bo'ylama o'tkazish toki $i_{o'tk}$ bo'ylama yo'nalishda to'lqin uzatgich devorlari harakatlanuvchi zaryadlar orqali aniqlana-

di. Bu albatta, yuguruvchi to'liqin toki va o'z o'rnida u kuchlanish U zaryad q bilan fazasi bo'yicha mos tushadi; 8.2- b rasmda ko'rsatilgan chiziqlar zaryad va bo'ylama tok taqsimlanishi ni tasvirlaydi. Tok yo'nalishi quyidagicha ko'rsatilgan, agarda yuguruvchi to'liqin chapdan o'ngga harakat qilsa, u holda musbat zaryadlar toki ham shu yo'nalishda, manfiy zaryadlar toki esa teskari yo'nalishda harakat qiladi. Boshqacha so'z bilan aytganda, to'liqin uzatgichning qarama-qarshi nuqtalarida zichligi bo'yicha bo'ylama toklar teng va yo'nalishi bo'yicha teskari.

To'liqin uzatgichni tuzishda to'g'ri burchak shaklidagi metall izolyatorlari bilan bir qatorda yarim doira izolyatorlaridan ham foydalanish mumkin, bunda to'liqin uzatgichlarning ko'ndalang qirqimi doira shaklida bo'ladi (8.3-rasm).



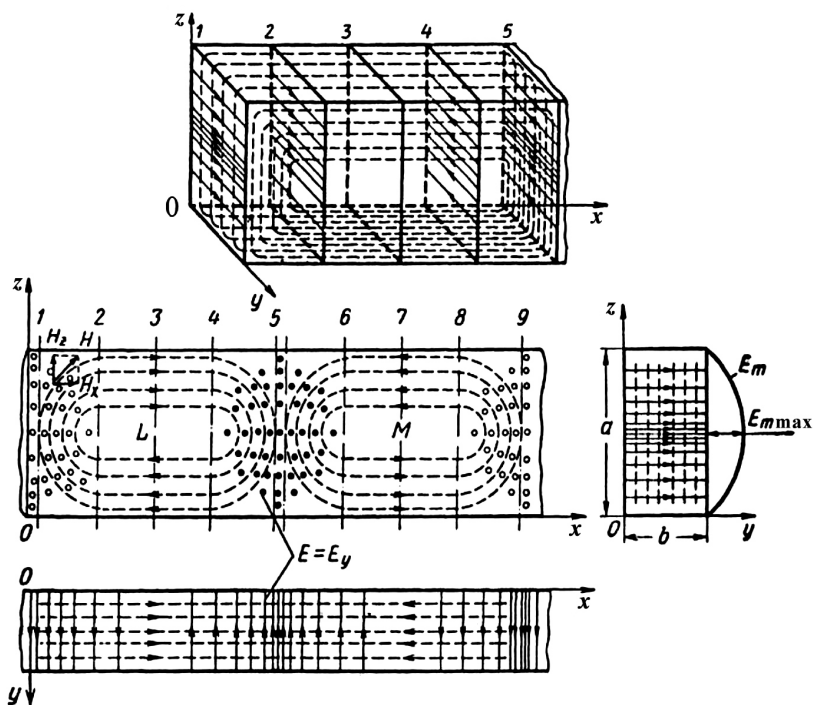
8.3-rasm. Doira shaklidagi to'liqin uzatgichning tuzilishi

8.2- va 8.3-rasmlarni taqqoslab kuchlanish hamda to'g'ri burchakli va doira to'liqin o'tkazgichlar sirtida bo'ylama va ko'ndalang toklarning taqsimlanishi o'xshashligiga ishonch hosil qilish mumkin; bunda to'liqin uzatgichlarda mavhum ikki simli AB , CD liniyalar va chorak to'liqinli qisqa tutashgan ulagichlarni joylashgan o'rnini e'tiborga olish kerak bo'ladi. 1- va 5-qirqimlarda kuchlanish hamda bo'ylama tok maksimal va 3-qirqimda nolga teng. Oraliq 2-, 4-qirqimlarda barcha kuchlanish va toklar oraliq

kattaliklarga ega. Doira hamda to'g'ri burchakli to'lqin uzatgich devorlari oralig'ida o'tkazish toklari siljitish toklariga o'tadilar. 8.3-rasmda to'lqin o'tkazgich bo'lagi o'rtasida siljitish tokining to'rtta liniyasi ko'rsatilgan. Bu siljitish toki liniyalaridan ikkitasi ko'ndalang o'tkazish toklari, qolgan ikkitasi esa bo'ylama o'tkazish toklarini tutashtiradi.

8.2. To'lqin uzatgichlarda elektr va magnit maydonlari

To'lqin uzatgichda (8.4-rasm) elektromagnit maydon strukturasi uning ichki tekislikliklaridagi kuchlanish va toklardan kelib chiqqan holda o'rnatish mumkin (8.3-rasmga qarang). Bunga asos sifatida magnit maydoni kuchlanganligi va tok ora-



8.4-rasm. To'g'ri burchakli to'lqin uzatgichda elektr va magnit maydonlarining taqsimlanishi

laridagi, hamda elektr maydoni va kuchlanish oralaridagi o'x-shashlikni ko'rsatsa bo'ladi.

Elektr maydoni kuchlanishga mos ravishda bitta tashkil etuvchi E_y ga ega, qolgan tashkil etuvchilar esa $E_x = 0$ va $E_z = 0$, ya'ni elektr kuch chiziqlari musbat zaryaddan boshlanadi va to'lqin uzatgich qarama-qarshi devoridagi o'ziga yaqin manfiy zaryadda tugaydi. Elektr kuch chiziqlari to'la ko'ndalang tekisliklarda joylashgan va y o'qiga parallel.

Modomiki to'lqin uzatgich o'qi bo'ylab yuguruvchi to'lqinlar tarqalar ekan, u holda elektr maydon kuchlanganligining o'z qiymati quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$E_{y \text{ oniy}} = \left[E_{m \text{ max}} \sin\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right] \sin(\omega t - \beta_B x).$$

Kvadrat qavsda ifoda ko'ndalang qirqimda ($x = \text{const}$) turg'un yarimto'lqin (kuchlanish ham) ko'rinishida taqsimlanuvchi elektr maydon E_m kuchlanganligi amplitudasiga mos keladi. Keng devor o'rtasida, ya'ni $z = a/2$, amplituda E_m o'zining maksimumiga ega:

$$E_m = \left[E_{m \text{ max}} \sin\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right] = E_{m \text{ max}} \sin\left(\frac{\pi}{a} \frac{a}{2}\right) = E_{m \text{ max}},$$

to'lqin uzatgich keng devorlari qirralarida, ya'ni $z = 0$ va $z = a$, $\sin\left(\frac{\pi}{a} z\right) = 0$, amplituda $E_m = 0$.

Agarda elektr maydoni ko'ndalang qirqimda bir tekisda (z ga bog'liq bo'lmaganda) bo'lganida, u holda kuch chiziqlari to'lqin uzatgich tor devorlari bilan tutashib ketardi va chegara shartlari bajarilmagan bo'lardi.

Yuguruvchi to'lqin tarqalishida x masofada elektr maydon fazasi quyidagi burchakga orqada qoladi:

$$\beta_B x = \frac{2\pi}{\lambda_B} x,$$

bunda, λ_B - to'lqin uzatgichda to'lqin uzunligi; $\beta_B = \frac{2\pi}{\lambda_B}$ - to'lqin uzatgich uchun faza koeffitsiyenti.

Ayni t vaqtda faza burchagi $\omega t - \beta_b x$ quyidagicha, 1-, 5-, 9-qir-qimlarda elektr maydoni kuchlanganligi maksimal, 3-, 7-qir-qimlarda esa nolga teng. Vaqt bo'yicha elektr maydonining sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarishiga ko'ra vaqtning t oni uchun bu o'zgarishning tezligi 1-, 5-, 9-qir-qimlarda nolga teng va 3-, 7-qir-qimlarda maksimal qiymatga ega. Siljitish toki elektr maydonining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lgan quyidagi zichlikka ega:

$$\delta_{SM} = \varepsilon_a \frac{d E_{y \text{ oniy}}}{dt}.$$

Shu sababli, 8.4-rasmda ko'rsatiganidek, siljitish toki 3-qir-qimda eng katta qiymatga, 1- va 5-qir-qimlarda esa nolga teng. Magnit maydoni siljitish toki yordamida qo'zg'atiladi. Magnit maydon liniyalari siljitish toki liniyalariga perpendikulyar bo'lgan tekislikda joylashgan va uni barcha tomondan o'rab turadi. Siljitish toki ko'ndalang bo'lganligi sababli magnit kuch chiziqlari zOx koordinat tekisligiga parallel joylashgan, bunda ular 3-, 7-qir-qim markazi atrofida to'planadilar. Magnit maydonining tashqi liniyalari ichki liniyalarga ko'ra ko'proq siljitish toki liniyalarini qamrab oladi, shu sababli tashqi liniyalarga ichki liniyalarga ko'ra katta kuchlanganlik mos keladi.

Magnit maydoni H , zOx proeksiyada ko'rsatilgani kabi, ikki tashkil etuvchiga ega: Oz o'qiga parallel bo'lgan ko'ndalang H_z va Ox o'qiga parallel bo'lgan bo'ylama H_x tashkil etuvchilar. H_z tashkil etuvchi bo'ylama o'tkazish tokiga o'tuvchi siljitish toki liniyalari orqali, H_x tashkil etuvchi esa ko'ndalang o'tkazish tokiga o'tuvchi siljitish toki liniyalari orqali yuzaga keladi. Shu sababli magnit maydonining ko'ndalang tashkil etuvchisi bo'ylama o'tkazish tokiga to'g'ri proporsional, magnit maydonining bo'ylama tashkil etuvchisi ko'ndalang o'tkazish tokiga to'g'ri proporsional.

Bo'ylama o'tkazish toki 1- va 5-qir-qimlar keng tomonlari o'rtasida maksimumga ega, 3-qir-qimda esa nolga teng. Magnit maydoni ko'ndalang tashkil etuvchisi H_z yuqoridagiga o'xshash tarzda taqsimlangan: u ko'ndalang qir-qim a tomon o'rta-

sida ($z = a/2$) maksimal, qirqim qirralari bo'yicha ($z = 0$ va $z = a$) $H_z = 0$, ya'ni magnit maydoni ko'ndalang tashkil etuvchi amplitudasi quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$\left[H_{z \max} \sin\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right],$$

va yuguruvchi to'lqin x o'qi bo'yicha tarqalar ekan, u holda bu tashkil etuvchining oniy qiymati quyidagiga teng:

$$H_{z \text{ oniy}} = \left[H_{z \max} \sin\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right] \sin(\omega t - \beta_B x).$$

Magnit maydoni bo'ylama tashkil etuvchi amplitudasi ko'ndalang o'tkazish toki amplitudasi kabi $z = 0$ hamda $z = a$ larda maksimal va $z = a/2$ da nolga teng, ya'ni quyidagi ifoda bilan ta'minlanadi:

$$\left[H_{z \max} \cos\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right].$$

Magnit maydoni bo'ylama tashkil etuvchisi oniy qiymati quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

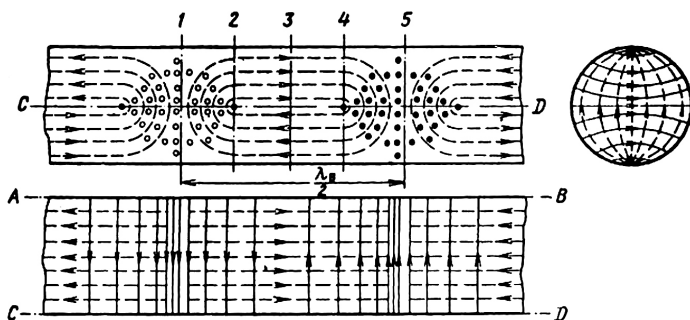
$$\begin{aligned} H_{x \text{ oniy}} &= \left[H_{x \max} \cos\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right] \sin\left(\omega t - \beta_B x - \beta_B \frac{\lambda_B}{4}\right) = \\ &= \left[H_{x \max} \cos\left(\frac{\pi}{a} z\right) \right] \sin\left(\omega t - \beta_B x - \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned}$$

Magnit maydoni bo'ylama tashkil etuvchisi maksimumini magnit maydoni ko'ndalang tashkil etuvchisi maksimumiga nisbatan $\lambda_B/4$ ga surilganini hisobga olish uchun $\pi/2$ argument kiritilgan.

Magnit maydoni tashkil etuvchisi $H_y = 0$, chunki magnit kuch chiziqlari 0_u o'qiga perpendikulyar. Ular x o'qiga parallel, to'g'ri chiziq kabi yx tekisligiga proeksiyalanadilar. Shu qatori z o'qiga parallel, to'g'ri chiziq kabi zy tekisligiga proeksiyalanadilar (8.4-rasm).

Doira to'lqin uzatgichda maydon yuqorida ko'rilganiga o'xshash tarzda taqsimlanadi. Buni 8.5- va 8.3-rasmlarni solishtirish natijasida ko'rish mumkin, bunda AB va CD mavhum ikkismli liniyani tashkil etadi.

Elektr maydoni to'la ko'ndalang tekislikda joylashadi, va u kuchlanishga to'g'ri proporsional bo'lganligi sababli, 1- va 5-qirqimlarda maksimal va 3-qirqimda nolga teng. Magnit maydoni liniyalari siljitish toki atrofida tutashadilar. Magnit maydonining ko'ndalang tashkil etuvchilari 1- va 5-qirqimlarda maksimal, ya'ni elektr maydoni kuchlanganligi va ko'ndalang magnit maydonini belgilovchi bo'ylama tok bilan faza bo'yicha mos tushadi. Magnit maydonining bo'ylama tashkil etuvchisi 3-qirqimda maksimumga ega va 1- va 5-qirqimlarda nolga teng, ya'ni ko'ndalang tok bilan faza bo'yicha mos tushadi. Elektr va magnit maydoni 2- va 4-qirqimlarda oraliq kattaliklarga ega.



8.5-rasm. Doira to'liqin uzatgichda elektr va magnit maydonlarining taqsimlanishi

Ta'riflangan to'liqin uzatgichlarda maydonlarni taqsimlanishini chegaraviy shartlar bilan ideal o'tkazuvchi tekislikka moslashtirish mumkin. Elektr kuch chiziqlari to'liqin uzatgich ichki tekisligiga perpendikulyar va u bilan hech qayerda qo'shilib ketmaydi, magnit maydoni liniyalari bu tekislikka parallel. To'liqin uzatgichning barcha nuqtalarida elektr va magnit maydoni kuch chiziqlari o'zaro perpendikulyar.

8.3. Hajmli rezonatorlar

Hajmli rezonator, deb bo'shliq ko'rinishidagi, ichki tomondan yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan metall tekisligi bi-

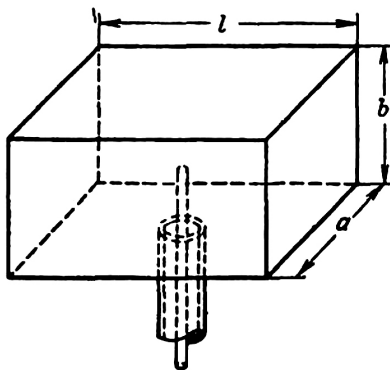
lan chegaralangan tebranish sistemasiga aytiladi. Birinchi bo'lib hajmli rezonatorlar M.S. Neyman (1937-y.) tomonidan ham nazariy, ham amaliy tadqiq qilingan. Bu sohada V.I. Bunimovich, G.V. Kisunko, N.N. Krimov va boshqa olimlar ishini ko'rsatish mumkin.

Hajmli rezonatorlar o'ta yuqori chastota diapazonida ishlatiladi. Bulardan to'lqin uzatuvchi, koaksial va toroidal rezonatorlar juda keng qo'llaniladi.

To'lqin uzatuvchi rezonatorlar. Bunday rezonatorlar sifatida bo'yi bo'yicha chegaralangan to'lqin uzatuvchi va barcha tomonlaridan devor bilan tutashtirilgan, ichki yuzasi (tekisligi) yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qurilmalarni ko'rsatish mumkin.

8.6-rasmda to'g'ri burchakli to'lqin uzatgich asosida qurilgan to'g'ri burchakli hajmli rezonator ko'rsatilgan. Rezonator qo'zg'atuvchini rezonator bilan bog'lovchi, koaksial liniya ichki simining davomi bo'lgan shtir yordamida qo'zg'atiladi.

Hajmli rezonatorlarda maydonlar va to'lqinlar to'lqin uzatgichdagi kabi taqsimlanmaydi. Agarda rezonator uzunligi $l/2 = \lambda_B/4$ shartini qoniqtirsa, u holda maydonlar shtirdan yon devorgacha va undan qayta shtirgacha harakati davomida o'z fazasini 180° ga o'zgartiradi; to'lqinlar urilib qaytish onlarida



8.6-rasm. Parallelepiped shakliga ega hajmli rezonatorni qo'zg'atish sxemasi

elektr maydoni fazasini qo'shimcha 180° ga o'zgartiradi. Natijada hajmli rezonatorlarda shtir yaqinida elektr maydoni bog'lami hamda magnit maydoni uzeli va yon devorlarda magnit maydoni bog'lami va elektr maydoni uzeli bilan turg'un to'lqinlar o'rnatiladi.

Agarda shtirdagi elektr maydoni kuchlanganligini magnit maydoni kuchlanganligiga taqsimlasa, bu rezonatorning kirish qarshiligi juda yuqoriligini

ko'rish mumkin. Bunday qarshilik rezonansga sozlangan parallel kontur uchun xos. Ehtimol, parallel rezonansni nafaqat $l = \lambda_B/2$ da, balki $l = \lambda_B, 3\lambda_B/2, 2\lambda_B, \dots$, ya'ni:

$$l = p \frac{\lambda_B}{2}$$

da olish mumkin, bunda p – har qanday butun son.

Hajmli rezonatorlarda rezonans chastotalarning juda ham ko'pligi tabiiy holdir. Bu barcha doimiy taqsimlanganli sistemalar uchun xos. r ning barcha qiymatlarida rezonatorda qo'zg'atuvchi shtir elektr maydoni maksimal, magnit maydoni esa nolga teng bo'lgan yerda turishi kerak.

To'g'ri burchakli hajmli rezonatorning rezonans to'lqin uzunligini topamiz. To'lqin uzatuvchida to'lqin uzunligi quyidagiga teng:

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{KR}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{KR}}\right)^2}},$$

bundan:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_B}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{KR}}\right)^2}}.$$

Bu formulaga rezonans sharti $l = p\lambda_B/2$ ga mos bo'lgan λ_B qiymatini qo'yamiz, va u holda ochiq fazodagi to'lqin uzunligi λ hajmli rezonatorning rezonans to'lqin uzunligiga javob beradi:

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{p}{2l}\right)^2 + \left(\frac{1}{\lambda_{KR}}\right)^2}}.$$

To'g'ri burchakli to'lqin uzatgich uchun:

$$\lambda_{KR} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}},$$

ekanligini e'tiborga olib quyidagini olamiz:

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{p}{2l}\right)^2 + \frac{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}{4}}}$$

Yuqorida keltirilgan ifodalarni e'tiborga olib quyidagini topamiz:

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}}$$

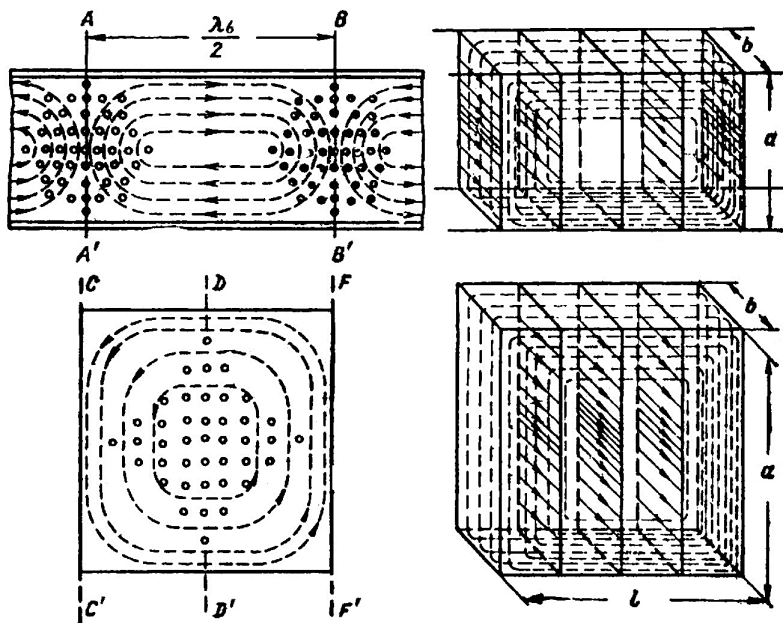
Hajmli rezonatorlarda to'liqlar $H_{m.o'tk}$ yoki $E_{m.o'tk}$ harflari bilan belgilanadi. To'g'ri burchakli hajmli rezonator uchun m – rezonator a tomonidagi turg'un yarimto'liqlar soni, n – rezonator b tomonidagi turg'un yarimto'liqlar soni, p – rezonator bo'yi l bo'yicha turg'un yarimto'liqlar soni.

Silindr rezonator uchun m – yarim doira bo'ylab maydon maksimumlari soni, n – radius bo'ylab maydon maksimumlari soni (doira to'liqin uzatgichlaridagi kabi) va p – rezonator bo'yi bo'yicha maydon maksimumlari soni.

To'g'ri burchakli to'liqin uzatgichdagi N_{10} (8.7- *a* rasm) va to'g'ri burchakli hajmli rezonatoridagi N_{101} (8.7- *b* rasm) maydonlarni solishtiramiz. Ikki holatda ham chegaraviy shartlar bir xil. Ko'rilayotgan holat uchun $n=0$ ekan, u holda b tomon bo'ylab elektr maydoni o'zgarmaydi va uning kuch chiziqlari rezonatorning bu tomoniga parallel.

$m=1$ va $p=1$ indekslar shuni bildiradi, ya'ni rezonatorlarda a va l tomonlar o'rtasida elektr maydoni kuchlanganligi maksimal, qirralari bo'ylab esa nolga teng. Magnit liniyalar elektr kuch liniyalariga perpendikulyar, va rezonator devorlari yaqinida tutashib, chegaraviy shartlar talab qilganidek, devorlarga parallel joylashadilar.

To'liqin uzatgich va rezonatorlarda maydonlarni solishtirib, ular orasidagi katta farqni ko'ramiz: to'liqin uzatgichda magnit maydoni ko'ndalang tashkil etuvchisi va ko'ndalang bo'lgan elektr maydoni faza bo'yicha mos tushadi (AA' , BB' qirqimlar-



8.7-rasm. To'g'ri burchakli to'liqin uzatgichda (N_{10} to'liqin) va to'g'ri burchakli hajmli rezonatorida (N_{101} to'liqin) elektr va magnit maydonlarining o'zaro joylashishi

ga qarang); rezonatorida esa, DD' qirquimdagi maydon CC' va FF' qirquimlardagi maydonlarga nisbatan farqiga ko'ra, bu tashkil etuvchilar orasida $\lambda_B/4$ ga teng surilish bor.

Bu jarayonning fizik mohiyatini aks ettiradi. Yuklama bilan moslashtirilgan, to'liqin uzatgich o'qi bo'ylab yuguruvchi to'liqinlar tarqaladi, ular uchun elektr va magnit maydonlarni vaqtga nisbatan va fazoda faza bo'yicha mos tushishi xosdir. Hajmli rezonatorida turg'un to'liqinlar mavjud va ular uchun elektr va magnit maydoni orasidagi vaqtga nisbatan chorak davrga hamda fazoda $\lambda_B/4$ ga teng surilish xos.

Kalit so'zlar

1. **To'liqin uzatgich** – elektromagnit energiyani uzatishga mo'ljallangan metall truba yoki dielektrik sterjen.

2. To'g'ri burchakli to'lqin uzatgich – yarimto'lqin qirqimida ($\lambda_B/2$) kuchlanish va toklarning taqsimlanishini ko'rish mumkin. To'g'ri burchakli to'lqin uzatgich nisbatan x, y, z koordinat o'qlariga mo'ljallangan.

3. Zaryadlarni va bo'ylama tokning to'lqin uzatgich devorlarida taqsimlanishi – har qanday nuqta potentsiali shu nuqtaga joylashtirilgan zaryadga to'g'ri proporsional. Bundan zaryad q ning o'zgarish qonuni kuchlanish o'zgarish qonuni bilan bir xil va zaryadlar va potentsiallar belgisi teng.

4. Yarim doira izolyatorlar – bunda to'lqin uzatgichlarning ko'ndalang qirqimi doira shaklida bo'ladi.

5. Magnit maydoni bo'ylama tashkil etuvchi – amplitudasi ko'ndalang o'tkazish toki amplitudasi kabi $z=0$ hamda $z=a$ larda maksimal va $z=a/2$ da nolga teng tashkil etuvchi tushuniladi.

6. Hajmli rezonator – bo'shliq ko'rinishidagi, ichki tomondan yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan metall tekisligi bilan chegaralangan tebranish sistemasi.

7. Hajmli rezonatorlarda rezonans chastotalar – ularning juda ham ko'pligi tabiiy hol, bu barcha doimiy taqsimlanganli sistemalar uchun xos.

Nazorat savollari

1. To'lqin uzatgich deb nimaga aytiladi?
2. Yarim doira izolyatorlar qanday shaklga ega?
3. Magnit maydoni bo'ylama tashkil etuvchi amplitudasi qanday qiymatlarni qabul qiladi?
4. Qanday qurilmalar hajmli rezonator deb ataladi va u qanday tashkil etiladi?
5. Birinchi bo'lib hajmli rezonatorlar kimlar tomonidan ham nazariy, ham amaliy tadqiq qilingan?
6. Hajmli rezonatorlar qanday diapazonlarda ishlatiladi va ularning qanday turlari ma'lum?

IX bob. TURLI DIAPAZONDAGI RADIOTO‘LQINLARNING TARQALISHI

9.1. Radioto‘lqin tarqalishiga ta‘sir etuvchi atmosfera va yer sathining xususiyatlari

Biz radioto‘lqinlarni nurlanish jarayoni, ularni urilib qaytishi va to‘lqin uzatgichlar chegaralangan ichki bo‘shlig‘ida ularning tarqalishi bilan tanishmiz. Radioto‘lqinning ochiq fazoda nurlovchi qurilmadan tarqalishini ko‘ramiz. Radioto‘lqin nurlovchi qurilmadan uzoqlashishi bilan qandaydir axborot (telefon, radiolokatsion va h.k.) ma‘lum masofaga uzatiladi.

Cheksiz ochiq fazoni, ya‘ni solishtirma o‘tkazuvchanligi $\sigma = 0$, nisbiy magnit singdiruvchanligi $\mu = 1$ va nisbiy dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 1$ ga teng bo‘lgan muhitni tasavvur qilamiz. Bu fazoda radioto‘lqinlarni to‘g‘ri chiziqli va barcha yo‘nalishlar bo‘yicha bir tekisda nurlovchi qurilma joylashgan. Bunday qurilmani izotrop nurlovchi deb atash mumkin. Bu qurilmaning nurlatish quvvati R_{Σ} .

Nurlatgichdan ma‘lum bir r masofada uzatilgan axborotni qabul qilishga mo‘ljallangan qabul qiluvchi qurilma joylashgan bo‘lishi mumkin. Bunday hollarda qabul qilish ta‘minlanadimi, degan savol yuzaga keladi.

Qabul qiluvchi qurilmaga radioto‘lqin ta‘sirini baholash uchun qabul qilish punktida radioto‘lqinlar ega bo‘lgan elektr maydoni E kuchlanganligi kattaligini bilish talab etiladi. Maydon kuchlanganligi nurlatgichdagi tokka to‘g‘ri proporsional va nurlatgichdan qabul qilish punktigacha bo‘lgan masofaga teskari proporsional.

Nurlatish quvvati o‘z o‘rnida tok kvadratiga proporsionaligini hisobga olib, izotrop nurlatgich uchun quyidagi munosabatni olish mumkin:

$$E = 5,5 \frac{\sqrt{P_{\Sigma}}}{r}. \quad (9.1)$$

Bunda, E – voltni metrغا (v/m) nisbati bilan ifodalanadigan, to‘lqin elektr maydoni kuchlanganligining haqiqiy qiymati; P_{Σ} –

vatlarda (vt) nurlatish quvvati; r – metrlarda (m) masofa. Nurlatgichdan juda katta masofalarda maydon juda kuchsiz sodir bo'ladi va uning kuchlanganligini mikrovoltni metrga (mkv/m) nisbati orqali ifodalash qulay bo'lishi mumkin.

Misol tariqasida ochiq fazoda, 5000 km masofada, nurlatish quvvati 10 kvv bo'lsa izotrop nurlatgichning maydon kuchlanganligini aniqlaymiz:

$$E = 5,5 \frac{\sqrt{10^4}}{5 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ v/m} = 110 \text{ mkv/m}.$$

Radioqabul qilish imkoniyatlari nuqtayi nazaridan maydon kuchlanganligiga baho berish uchun uni qabul qiluvchi qurilmaga ta'sir qilayotgan xalaqit darajasi bilan solishtirish kerak. Amaliyotdan kelib chiqqan holda quyidagini keltirish mumkin: radioeshituvchilar badiiy radioeshittirishlarini yuz va ming mikrovolt/metr maydon kuchlanganligida qabul qiladilar; kasbiy aloqada radioqabul qilish uchun ba'zi vaqtda o'n va hatto birnecha mikrovolt/metr maydon kuchlanganligi ham yetarli hisoblanadi; bundan ham kichik maydon kuchlanganligi qiymatlari kosmik tadqiqotlarda foydalaniladigan maxsus yuqori sezgirlikka ega qabul qiluvchi qurilmalar bilan qoniqtiriladi.

(9.1) ifodani ba'zida *ideal radiouzatish ifodasi* deb atashadi. Kosmos–Kosmos radiolinialarni hisoblashda qo'llanilishiga ko'ra bu ifoda amaliy mazmunga ham ega bo'lishi mumkin.

Ochiq fazoda izotrop nurlatgich *sferik to'lqinlar* hosil qiladi: nurlatish punktida joylashgan markazi bilan berilgan vaqt onida bir xil maydon kuchlanganlikka (bir xil amplituda va fazaga) ega bo'lgan tekislik sharsimondir. Bu to'la tushunarli: to'lqinlar barcha yo'nalishlar bo'yicha bir tekisda tarqaladilar, ochiq fazoda ixtiyoriy yo'nalish uchun ularning tarqalish tezligi bir xilda. Bir xil fazali tekislik *to'lqin fronti* deb ataladi.

Masofaning ortishi bilan maydon kuchlanganligining kuchsizlanish sababi: nurlatgichdan uzoqlashgan sari uning quvvati ortib borayotgan sferik tekislik bo'yicha taqsimlanib borishi va har bir metr kvadratga to'g'ri keladigan quvvat kattaligining kamayishi bilan tushuntiriladi (9.1-rasm).

Energiya fazoda sochiladi degan ibora ishlatiladi. Nurlatgichdan katta masofaga uzoqlashilganda sferik frontning nisbatan kichik maydonini tekis deb qabul qilish mumkin.

Aniq izotrop nurlanishni yaratish mumkin emas, amaliyotda buni keragi ham yo'q. Bizga ma'lum, real antennalar yo'naltirilgan nurlanishga ega; maksimal nurlatish yo'nalishida quvvat oqimi o'rtacha quvvat oqimiga nisbatan necha barobar ko'pligini ko'rsatuvchi *yo'naltirilgan ta'sir koeffitsiyenti* D bilan ta'riflanadi.

Quvvat oqimi (yoki energiya oqimi zichligi), bu radionur tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar, bir metr kvadrat yuzadan o'tuvchi, elektromagnit maydon quvvatidir; quvvat oqimi elektr maydoni kuchlanganligi kvadratiga (yoki elektr maydoni bilan birgalikda tarqalayotgan magnit maydoni kuchlanganligi kvadratiga) proporsional.

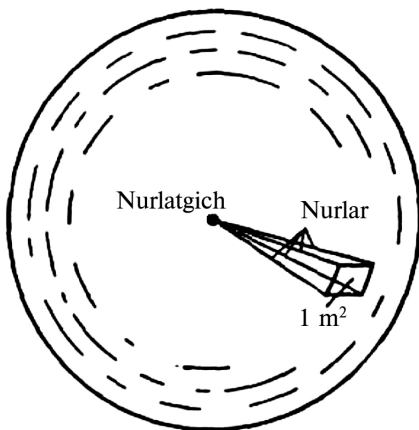
Ochiq fazo uchun real antenna maksimal nurlatish yo'nalishida maydon kuchlanganligi quyidagiga teng:

$$E \approx 5,5 \frac{\sqrt{P_{\Sigma} \cdot D}}{r}. \quad (9.2)$$

Demak, antenna nurlatish yo'nalganligi samaradorligi nurlatish quvvatini D marotaba oshirish bilan teng baholi, ya'ni maksimal nurlatish yo'nalishida qabul qilish juda qulay.

Agarda nazorat punktidan o'tuvchi, radioto'lqin maydon oniy qiymatlarini ifodalash zarur bo'lsa, u holda maydon kuchlanganligi amplituda qiymatini (ya'ni $\sqrt{2}E$) topish va bu

qiymatni $\cos \omega \left(t - \frac{r}{v} \right)$ ga ko'paytirish kerak bo'ladi. Bu yerda,



9.1-rasm. To'lqinning sferik fronti

$\omega = 2\pi f = 2\pi/T = 2\pi/v\lambda$ – to‘lqin uzatgich toki aylanma chastotasi;
 $v = 3 \cdot 10^8$ (m/s) – tarqalish tezligi; λ (m) – to‘lqin uzunligi.

Shunday qilib,

$$E_{oniy} \approx 7,75 \frac{\sqrt{P_{\Sigma} \cdot D}}{r} \cos \omega(t - \frac{r}{v}).$$

Bu tenglama ochiq fazoda yuguruvchi radioto‘lqin elektr maydonini ifodalaydi.

(9.1) va (9.2) ifodalarda maydon kuchlanganligi kattaligi to‘lqin uzunligiga bog‘liq emas. Ammo bu cheksiz ochiq fazo uchun to‘g‘ri, lekin har qanday vibrator nurlatish quvvati P_{Σ} yetarli darajada to‘lqin uzunligiga bog‘liqligini bilamiz.

Agarda ideallashtirilgan holatdan real radiouzatish liniyalariga murojaat qilinsa, yer sharoitida taqsimlanish qonunlari to‘lqin uzunligi bilan mahkam bog‘langanini ko‘rish mumkin. Birinchidan, radioto‘lqinlarni tarqalishi Yer atmosferasida sodir bo‘ladi, va bu muhitning xususiyatlari ochiq fazo xususiyatlaridan ancha farq qilishi mumkin. Ikkinchidan, radioto‘lqinlar turli notekisliklar, qabariq shaklga ega bo‘lgan va na mukammal o‘tkazgich va na mukammal dielektrik bo‘lmagan Yer yuzasi bo‘ylab tarqaladilar.

Atmosfera ham, Yer yuzasi ham radioto‘lqin tarqalishi qonunlariga katta ta‘sir etadi va qabul qilish punktlarida maydon kuchlanganligini to‘lqin uzunligidan murakkab bog‘liqligiga olib keladi. Shu sababli, maydon kuchlanganligi berilgan nurlatish quvvati va antenna yo‘nalganlik koeffitsiyenti kattaliklarida qandaydir punktda turli to‘lqin uzunliklari uchun turlicha bo‘ladi.

Radioto‘lqinlarni diapazonlarga bo‘lishda birinchi navbatda ularni tarqalish xususiyatlariga e‘tibor qaratilishi lozim. Albatta, turli diapazonli radioto‘lqinlarni tarqalish xususiyatlari bu diapazonlarni vazifasi va amalda qo‘llash sohalarini tanlash uchun xizmat qiladi.

Radiochastota (radioto‘lqin) shkalasining diapazonlarga taqsimlanishi va ularni o‘ziga xos sohalarda qo‘llanilishi 9.1-jadvalida ko‘rsatilgan.

9.1-jadval

Radioto'lqin diapazoni nomi	To'lqin diapazoni chegaralari	Chastota diapazoni chegaralari	Asosiy qo'llanilish sohalari
O'ta uzun	10–100 km	30–3 kHz	Radionavigatsiya, radioaloqa
Uzun	1–10 km	300–30 kHz	Radioaloqa, radioeshittirish
O'rta	100–1000 m	3–0,3MHz	Radioeshittirish, radioaloqa
Qisqa	10–100 m	30–3 MHz	Radioaloqa, radioeshittirish
Metrl	1–10 m	300–30 MHz	Radioaloqa, teleko'rsatuv
Detsimetrli	1–10 dm	3–0,3 GHz	Radiolokatsiya, radiorele aloqa, radionavigatsiya, teleko'rsatuv
Santimetrli	1–10 sm	30–3 GHz	Radiolokatsiya, radioaloqa
Millimetrli	1–10 mm	300–30 GHz	Maxsus qo'llash
Submillimetrli	1 mm dan kam	300 GHz dan ko'p	Maxsus qo'llash uchun o'zlashtirish

Infraqizil va optik to'lqinlar bundan ham qisqa bo'lib, ular elektromagnit hisoblanadi, ammo ularni radioto'lqinlar safiga kiritib bo'lmaydi.

Metr, detsimetr va santimetrli to'lqinlar “ultraqisqa” to'lqinlar nomi bilan birlashtirilgan (“o'tayuqori” chastotalar), ammo bu uchta diapazonning tarqalish xususiyatlari va ayniqsa, apparat tuzilishidagi farqlari hamda millimetr va submillimetr to'lqinlarni amalda qo'llashning boshlanishi ularga “ultraqisqa” to'lqinlar nomini beradi.

Radiohavaskorlik aloqasi va radiohavaskor tajribalari uchun qisqa, metr, detsimetr va santimetr to'lqin diapazonlarida quyidagi uchastkalar ajratilgan: 3,5–3,65 MHz; 7–7,1 MHz; 14–14,35 MHz; 21–21,45 MHz; 28–29,7 MHz; 144–146 MHz; 430–440 MHz; 1215–1300 MHz; 5650–5670 MHz; 10–10,5 GHz; 21–22 GHz.

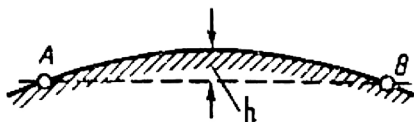
Havaskorlik boshqariluvchi modellar uchun 27,12 MHz ($\pm 0,05$ %) chastota ajratilgan. Shunday qilib, radiohavaskorlar radiotexnikaning turli sohalari rivojlanishida yordam berish imkoniyatiga ega.

Quyidagini yodda olib qolish foydali hisoblanadi: 1 gigagers (GHz) = 10^3 megagers (MHz) = 10^6 kilogers (kHz) = 10^9 gers (Hz).

Yer sathi yer atmosferasining radioto'lqin tarqalishiga ta'sirini ifodalash uchun, avvalo, Yer va atmosfera xususiyatlarini ko'ramiz.

Yer deyarli sharsimon jism bo'lib, radiusi taxminan 6400 km ga teng. Katta doira uzunligi, o'z o'rnida, 40 000 km ni tashkil etadi. Shu sababli hatto bir biridan birnecha o'n kilometr masofada joylashgan ikki nuqta uchun yer sathini tekis deb hisoblash mumkin emas.

Masalan, agar A va B nuqtalar 250 km masofada joylashgan bo'lsa, ularni ajratib turgan, qabariqlik balandligi h 1 km dan ortiq bo'ladi (9.2-rasm) va to'lqinlar bir nuqtadan ikkinchisiga to'g'ri chiziq bo'ylab tarqala olmaydi.



9.2-rasm. Yer sathining qabariqligi

Yer qabariqligi (tog', tepalik, o'rmon va hokazo kabi yer sathidagi to'siqlar) natijasida bir biri bilan to'silgan punktlar oraliq'ida aloqa quyidagi shartlardan biri bajarilganida o'rnatilishi mumkin: yoki to'lqin tarqalish yo'nalishi egri chiziqli (qabariqlikni og'uvchi) bo'lishi, yoki "to'g'ri chiziqli ko'rinishni" ta'minlash uchun nurlovchi va qabul qiluvchi antennalar yetarlicha balandga ko'tarilishi, yoki korrespondentlar oraliq'ida radiosignallarni qabul qilish va qayta nurlatish (retranslyator) imkoniyatiga ega bo'lgan qurilmalar bilan ta'minlanganda aloqa o'rnatilishi lozim.

Yer sathi bo'ylab tarqalayotgan va uning qabariq yerlarini og'ib o'tuvchi to'lqinlarni *ustki* (yoki *yer ustki*) to'lqinlar deb ataladi. Ustki to'lqinlar o'zining yo'lida notekisliklarga duch keladi va ular ta'sirini to'siqlar balandligini to'lqin uzunligi bilan solishtirish natijasida aytish mumkin.

Masalan, uzun to'lqinlar uchun yer sathining barcha notekisliklari (tog' bular qatoriga kirmaydi) to'lqin uzunligidan ki-

chik, shu sababli ular to'siq bo'la olmaydi. Detsimetr yoki santimetr diapazonlarida hatto yerdagi kichik o'simlik yoki dengiz sathida ko'tarilgan to'lqin radioto'lqin tarqalishiga qarshilik ko'rsata oladilar.

Ayniqsa, binolar ko'pkarrali urilib qaytishni yuzaga keltiradigan shaharda ustki to'lqinlarning tarqalish sharoiti juda murakkab.

9.2. Radioto'lqinni yer ustida atmosferada tarqalishining umumiy qonuniyatlari

Elektromagnit to'lqinlar to'siqlarni og'ib o'tish xususiyatiga ega. Bu xususiyat (*difraksiya – og'ish*) fizikada optik diapazondagi to'lqinlarga qo'llash orqali o'rganiladi. Difraksiyani tadqiq qilishda Gyugens asoslaridan kelib chiqqan holda xulosa qilinadi: qandaydir birlamchi manba yordamida nurlatilgan to'lqin fronti har bir nuqtasi yangi (ikkilamchi) sferik to'lqin manbasi hisoblanadi. Radioto'lqinlar yorug'lik to'lqiniga nisbatan uzun, shu sababli ular difraksiyasi kuchliroq namoyon bo'ladi.

Yer sharining qabariqligi nisbatan uzoq yer usti radioliniyalari uchun o'tib bo'lmaydigan to'siq hisoblanadi. Bunda faqat uzun radioto'lqinlarga og'ish imkoniyatiga ega. Hatto o'ta uzun to'lqinlar amalda olish mumkin bo'lgan eng katta quvvatda 3000–4000 km dan ko'p bo'lmagan difraksion tarqalish uzoqligini ta'minlay olishini akademik V.A. Fok o'z tadqiqotlarida ko'rsatdi. Ammo amaliyotda uzun to'lqinlarda hatto antipodlar oralg'ida, ya'ni 20000 km gacha bo'lgan masofada ham aloqani amalga oshirish mumkin. Bunday imkoniyatlarni tushuntirish uchun ionosfera ta'sirini hisobga olish zarur.

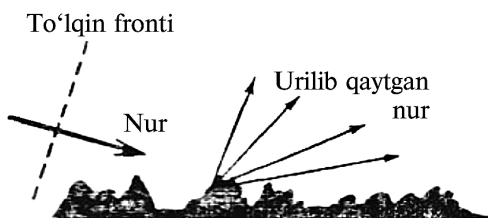
Yer usti to'lqinlari tarqalayotgan Yer yuzasi mahalliy notekisliklar bilan ta'riflanadi. Agarda notekisliklar o'lchami to'lqin uzunligidan ancha katta bo'lsa, bu notekisliklar to'lqin tarqalishiga to'siq bo'lib xizmat qiladi bunday to'siqlardan to'lqinlarning "ko'zguli" urilib qaytishi sodir bo'ladi.

To'lqin uzunligi bilan tenglasha oladigan ancha kichik no-

tekisliklar (g'adir-budur yuza) to'liqinni sochib qaytarishni hosil qiladi.

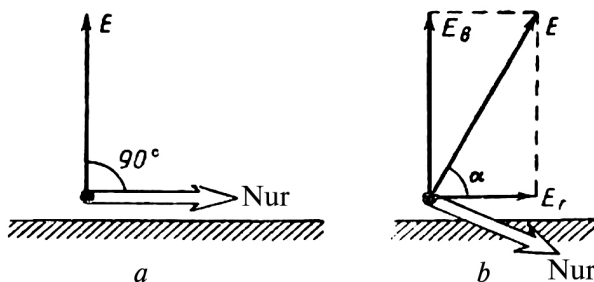
9.3-rasmda g'adir-budur yuzaning o'rta qismiga nisbatan ma'lum bir qiyalikda tushayotgan to'liqin nuri ko'rsatilgan.

Sochilish qabul qilish punktiga yetib keladigan oqim quvvatini kamaytiradi. Notekisliklar balandligi qancha kichik va tushayotgan nur qanchalar yotiq yo'naltirilgan bo'lsa, berilgan to'liqin uzunligida shuncha kam sochilish sodir bo'ladi.



9.3-rasm. G'adir-budur yuzada sochib qaytarish

Faraz qilaylik, yer bilan tutashtirilgan nosimmetrik vibrator tekis yer yuzasi bo'ylab radioto'liqlar tarqalmoqda. Agar ustki qatlam ideal o'tkazgich ($\sigma = \infty$) bo'lganda, to'liqlar aniq vertikal qutblanar edi (9.4- a rasm). Yuqori o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgich sathida gorizontel elektr maydoni nolga teng, aks holda maydon o'tkazgich ustki qatlamida noreal katta o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi. Vertikal maydon liniyalari tekislik sathida tugaydi.



9.4-rasm. Yer usti to'liqlarining tarqalishi:
a – ideal tuproq ustida; *b* – real tuproq ustida

Aslida yerning ustki qatlami yarimo'tkazuvchan hisoblanadi, ya'ni birdan farqli bo'lgan, tub o'tkazuvchanlikka va birmuncha dielektrik o'tkazuvchanlikka ega. Radioto'lqin o'zgaruvchan elektr maydoni tuproqqa kirib boradi va o'tkazuvchanlik toki hamda siljitish toki orqali uni isitish uchun energiyasini sarflaydi. Demak, to'lqin nuri, ya'ni oqim quvvati yo'nalishi qiya holatga keladi (9.4- b rasm): energiyaning bir qismi tuproqqa beriladi, qolgan qismi esa yuza bo'ylab harakatini davom ettiradi. Ammo elektr maydoni kuchlanganlik vektori E har doim nurga perpendikulyar. Demak, elektr maydoni ham o'z vektori qiyaligini to'lqin harakati bo'ylab oldinga qarata oladi.

Vektor E ni ikki vektor tashkil etuvchilariga ajratish mumkin – vertikal E_B va gorizontal E_r . Tuproq ideal o'tkazgichdan qancha ko'p farq qilsa, vektor E ning qiyaligi shuncha ko'p va ideal sharoitda tarqalishdagi maydonga nisbatan qabul qilish punktida shuncha kam maydon kuchlanganligi hosil bo'ladi. Tuproqdagi yo'qolishlar to'lqin uzunligiga ham bog'liq.

Dengiz suvi uzun to'lqinlar uchun idealga juda yaqin tarqalish sharoitini yaratadi. Umuman yer usti nurlari bilan uzoqqa boradigan aloqani amalda faqat uzun to'lqinlar yordamida amalga oshirish mumkin.

Bu yerda yana bir xususiyat yuzaga keladi: agar aniq vertikal qutblangan to'lqinlarni vertikal qabul qiluvchi antennaga, unda o'zgaruvchan tok hosil qilish uchun qabul qilish kerak bo'lsa, u holda qiya maydon o'zining gorizontal tashkil etuvchisi bilan to'lqin harakati yo'nalishi bo'ylab joylashgan gorizontal qabul qiluvchi simda ham tok tug'diradi. Gorizontal simga qabul qilish antenna ancha past joylashgan sharoitlarda juda foydali.

E'tiborni radioto'lqin tarqalishiga yer sathi ta'siri ta'riflaridan yer atmosferasi ta'siri ta'riflariga qaratamiz.

Faraz qilaylik, radioto'lqinlar neytral gaz sohasidan ionlashgan gaz sohasiga o'tmoqda. Ko'ndalang (ya'ni nurga perpendikulyar) elektr maydoni ionlashgan muhit erkin elektronlarini harakatga keltiradi.

Harakatlanuvchi elektron zaryadlari elektromagnit maydoni radioto'lqin maydoni bilan o'zaro ta'sir etadi va natijada ular-

ning nur yoʻnalishlari oʻzgaradi. Fizikada nur yoʻnalishini bunday oʻzgarishi sinish deyiladi. Neytral qatlamdan ionlashgan qatlama nurni oʻtishida sinish koeffitsiyenti fizikadan maʼlum munosabat orqali aniqlanadi:

$$n = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2},$$

bunda, δ_1 – tushish burchagi; δ_2 – sinish burchagi (9.5-rasm).

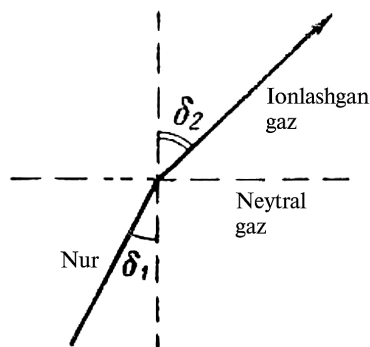
Radiotoʻlqin sinish koeffitsiyenti ikkinchi va birinchi qatlam dielektrik singdiruvchanliklari munosabatlari kvadrat ildiziga proporsional; agarda neytral gaz singdiruvchanligi taxminan birga teng boʻlsa, u holda quyidagini yozishimiz mumkin:

$$n = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \approx \sqrt{\varepsilon_{i.gaz}}, \quad (9.3)$$

Bunda $\varepsilon_{i.gaz}$ – ionlashgan gazning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi.

Agarda $\varepsilon_{i.gaz} < 1$ boʻlsa, u holda $\delta_2 > \delta_1$, bu radiotoʻlqin nurlari ionlashgan qatlamda atmosferaning pastki qatlamlaridagiga koʻra ancha yotiq ketishini anglatadi. Xuddi shunday sinish holati 9.5-rasmda koʻrsatilgan.

Barcha qattiq, suyuq va gazsimon moddalar birdan katta boʻlgan dielektrik singdiruvchanlikka ega; u faqatgina vakuum uchun birgacha kamayadi. Bu yerda ionlashgan gaz uchun birdan kichik boʻlishini tasdiqlashimiz mumkin. Demak, ionlashgan gaz oʻziga xos dielektrikdir. Radiotoʻlqin ionlashgan muhit orqali oʻtganida erkin elektronlar toʻlqin maydoni taʼsirida harakatga keltiriladi.



9.5-rasm. Radiotoʻlqinlarning sinish qonuni

Hozircha elektronlarni gaz molekulari va ionlari bilan toʻqnash kelish imkoniyatlarini eʼtiborga olmay turamiz. Bunda quyidagini tasdiqlash mumkin: ionlash zichligi qancha yuqori (birlik hajmda

erkin elektronlar soni) va radioto'liqin chastotasi qancha past bo'lsa (ya'ni yarimto'liqinni elektronga ta'sir vaqti davomida uning yugurish yo'li qancha katta bo'lsa), elektron toki odatdagi siljish tokini shunchalar kuchliroq bostiradi. Natijaviy tok kamayadi, ya'ni ionosfera dielektrik singdiruvchanlikning kamayishiga mos keladi. Matematik tarzda u quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$\varepsilon_{i.gaz} \approx 1 - 81 \frac{N}{f^2}, \quad (9.4)$$

bunda, $N - 1 \text{ sm}^3$ hajmda elektronlar soni; f - kilogerslarda, to'liqin manba chastotasi.

(9.4) va (9.3) formulalarni birlashtirib, radioto'liqin sinish koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani beramiz:

$$n = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \approx \sqrt{1 - 81 \frac{N}{f^2}}. \quad (9.5)$$

Bu formuladan radioto'liqlarni ionosferada tarqalish jarayonini tadqiq qilish uchun keng foydalanish mumkin.

Agarda elektronlarni ionlar bilan rekombinatsiyasi oqibatida ionlashish yo'qolsa, u holda to'liqlarning sinishi ham nihoyasiga yetadi. Uzun to'liqlar (kichik chastotali) qisqa to'liqlarga nisbatan kuchliroq sinadi, ultraqisqa to'liqlar (juda yuqori chastotali) uchun hatto amalda kuzatiladigan juda yuqori ionlash darajasida ham to'liqlarni sinishi kuzatilmaydi. Xullas, tushish burchagi δ_1 ning qandaydir qiymatida (radioto'liqlarni qatlamlar bo'linish chegarasiga yetarlicha yotiq tushganlarida) sinish δ_2 burchagi 90° ga teng bo'lishi kerak; bu nur δ_1 burchagidan boshlab ionlashgan muhitga kirmasligini, balki yanada yotiqroq tushganida to'la pastga, yerga qaytishini anglatadi.

9.3. Kilometrli (1–10 km) to'liqlarda radioaloqa

Radioqabul qilish sharti qabul qilgich chiqishidagi signalning mutlaq qiymati bilan belgilanmasdan, balki signal kuchla-

nishini (quvvati P_s) xalaqit kuchlanishiga (quvvati P_n) nisbati bilan belgilanadi. Turli radioaloqa ko'rishlaridan radiotelefon, radiotelegraf, televideniye va boshqalarni amalga oshirish uchun P_s/P_n ning ma'lum munosobati talab qilinadi. Ushbu munosobat modulyatsiyaning turlariga bog'liq bo'lib, u quyidagini tashkil qiladi:

$$AM \text{ da } P_s/P_n \geq 10;$$

$$ChM \text{ da } P_s/P_n \geq 5;$$

$$FM \text{ da } P_s/P_n \geq 3.$$

Aloqa turg'un bo'lishi uchun uzatuvchi qurilma qabul qilish nuqtada talab etilgan signal/xalaqit (P_s/P_n) munosobatni ta'minlab berishi lozim. Quyida turli oraliqlarda elektr maydon kuchlanganligi E ni hisoblash ifodalari keltirilgan.

Uzunligi 1–10 km bo'lgan radioto'lqinlar kilometrli radioto'lqinlar deyilib, Yer ushbu oraliqda o'zining elektr xususiyatlariga binoan ideal o'tkazgichga yaqin bo'ladi. Yerga tushadigan radioto'lqinlarning hammasi deyarli qaytadi.

Aloqa uzunligi 300–400 km ni tashkil qilganda kilometri to'lqinlar uchun bu to'siqni hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki h balandlik to'lqinning uzunligi λ ga nisbatan juda kichik bo'lib, ushbu holat uchun Yerni tekis yuzali deb hisoblash mumkin. Bu oraliqda antennalarni to'lqin uzunligiga ($\lambda = 1 - 10$ km) teng balandlikka ko'tarishning hech qanday iloji yo'q. Shuning uchun hisoblashlarda antenna bevosita Yer yuzasida joylashgan deb faraz qilinadi.

Qabul qilinayotgan joyda maydon kuchlanganligi quyidagi Vvedenskiy ifodasi orqali aniqlanadi:

$$E_{\max} = \frac{V\sqrt{60P_s D}}{r}, \quad (9.6)$$

$$V = \frac{2 + 0,3x}{2 + x + 0,6x^2}. \quad (9.7)$$

Bu yerda, V – kuchsizlanish ko'paytuvchisi bo'lib, u (9.7) empirik ifoda yordamida hisoblanadi.

Kattalik x ni quyidagi ifoda:

$$x = \frac{100\pi r}{6\lambda^2\sigma}, \quad (9.8)$$

orqali aniqlanadi.

Bu yerda, r – radioaloqa liniyasining uzunligi, km; P_{Σ} – antenaning nurlanish quvvati, Vt; D – antenaning FIKi; λ – to‘lqin uzunligi, m;

σ – tuproqning solishtirma o‘tkazuvchanligi, sm/m.

Balandlik h to‘lqin uzunligi λ ga yaqin bo‘lganda $r > 400$ km masofada yerli to‘lqinning maydon kuchlanganligini hisoblashda Yerning sferik yuzasi atrofidagi to‘lqin difraksiyasini hisobga olishga to‘g‘ri keladi.

Bunday holatda erkin fazoda maydonning kuchsizlanish ko‘paytuvchisi quyidagi munosabat bo‘yicha aniqlanadi:

$$V = U(x), \quad (9.9)$$

bu yerda,

$$x = r / \left(\sqrt{\frac{R_0^2 \lambda}{\pi}} \right); \quad (9.10)$$

R_0 – Yerning radiusi.

$U(x)$ ning qiymatlari 9.6-rasmda keltirilgan.

300–400 km masofadan boshlab qabul qilish nuqtada yerli to‘lqinlar bilan birga ionosferaning D pastki qatlami sohasidan qaytgan ionosfera to‘lqini ham keladi (kechasi, D soha yo‘q bo‘lgan sohasida, u holda E soha qatlamidan keladi).

To‘lqinlar amalda ionosfera qobig‘igacha kirib bormaydi va shu sababli kilometrli to‘lqinlarning ionosferadan qaytgan energiyasi uncha katta bo‘lmaydi.

9.4. Gektometrli (100–1000 m) to‘lqinlarda radioaloqa

Bu to‘lqinlar uchun tuproq o‘tkazuvchanligi shundayki, ular Yer ostiga juda chuqur kirib boradi. Bunda to‘lqin uzunligi qancha ko‘proq kilometrli bo‘lsa, yer qa‘riga shunchalik kuchliroq

yutiladi. Shu tufayli yerli to'liqlar 500-700 km dan ortiq masofaga tarqala olmaydi.

Radioaloqa katta masofalarga ionosfera to'liqlari orqali amalga oshiriladi. To'liqlar ionosferaning E oblastidan qaytadi, chunki D sohada elektronlar konsentratsiyasi gektometrli to'liqlarning qaytishi uchun yetarli bo'lmaydi.

To'liqin D sohasidan ikkinchi marotaba o'tayotganda ular kuchli yutiladi, shuning uchun qabul qilish nuqtasida kunduzi ionosfera to'liqlarining intensivligi kichkina bo'lib, aloqa yerli to'liqida amalga oshiriladi.

Yerli to'liqinni hisobga olmasa ham bo'ladigan zonada ionosfera to'liqinning maydon kuchlanganligi tajriba yo'li bilan olingan quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$E_{\max} = 14,5 \sqrt{\frac{P_{\Sigma} D}{r}} e^{-0,894 \cdot 10^{-4} \lambda^{-0,26} r}. \quad (9.11)$$

Agar qabul qilish punkti 1 zonada joylashgan bo'lsa, tun tushishi bilan bu nuqtaga 2 ionosfera to'liqini tushishi mumkin. Bunday holda 1 nuqtadagi maydon yerli va ionosfera to'liqlari interferensiyasidan aniqlanadi.

Ionosferadagi elektronlar konsentratsiyasi o'zgarmas bo'lmaydi va sutka davomida fluktatsion tebranishlar ta'sirida bo'ladi. Δr ning o'zgarishi $\Delta \varphi = \beta \Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$ ning o'zgarishiga sabab bo'lib, E_{\max} ning so'nishiga olib kelishi ham mumkin. So'nishda 1 s – 10 s vaqt oralig'ida E_{\max} ning qiymati o'nlab marta o'zgarishi mumkin. Bundan tashqari, qabul qilish nuqtasiga bir nechta ionosfera to'liqlarning kelishi hisobiga ham interferensiya sodir bo'lishi mumkin.

So'nishga qarshi kuchaytirishni avtomatik sozlash qurilmalaridan (KAS) hamda faqat Yer bo'ylab nurlanadigan maxsus antenalardan foydalaniladi.

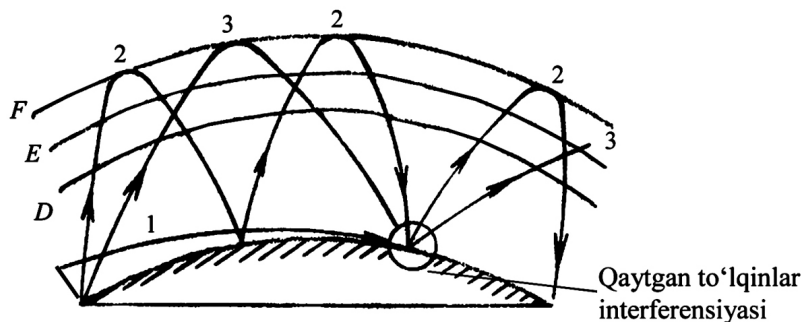
9.5. Dekametrlil (10–100 m) to'liqlarlarda radioaloqa

Yer to'liqini tezda so'nib, kuchsiz difraksiyalanadi. Yer to'liqini bo'lgan dekametrli to'liqlar energiyasining isrofi yarim

o'tkazuvchan Yer yuzasi ustida juda yuqori bo'ladi va u birnecha o'nlab kilometr masofada so'nadi.

Maydon kuchlanganligi (9.6, 9.7) ifodalar bo'yicha aniqlanib, bu ifodalardagi x parametr quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$x = \frac{1000\pi r}{\lambda\sqrt{\epsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}}. \quad (9.12)$$



9.6-rasm. To'liqlarning Yer ionosferasidan ko'p martalab qaytishi

Ionosfera to'liqini to'liqlarni uzoq masofalarga tarqatishning asosiy uslubi hisoblanadi. Normal sharoitlarda deka-metrli to'liqlar F sohasidan qaytadi, qolgan holatlarda chastota oshishi bilan pasayadigan energiyaning yutilishi kuzatiladi.

To'liqlarning Yer ionosferasidan ko'p martalab qaytishi uzunligi uzoq bo'lgan radio liniyalarni tashkil etish imkonini beradi (9.9-rasm).

Kalit so'zlar

1. So'nish chuqurligi – 10 % vaqtda maydon kuchlanganligining sathi.

2. Radioto'liqlarning so'nishi (feding) – maydon kuchlanganligining vaqt bo'yicha nostabilligi.

3. Ionosfera – yerdan 60 km yuqori balandlikda joylashgan atmosferaning yuqori qatlami.

4. Ionosfera to'liqlari – ionosferada refraksiya tufali vujudga keladigan to'liqlar.

5. Uzatuvchi antenaning kuchaytirish koeffitsiyenti – uzatuvchi antenaning yo'nalgan ishlash koeffitsiyentini foydali ish koeffitsiyentiga ko'paytmasi.

6. Nur – chiziq bo'lib, uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi radioto'liqlarning tarqalish yo'nalishiga, ya'ni energiyani ko'chish yo'nalishiga mos bo'ladi

7. Maksimal qabul qilinadigan chastota – ionosfera to'liqining Yerga burilishi hali davom etadigan eng kiska to'liqin.

8. Sekin-asta so'nish – kuzatishning oylik intervalida baholanadigan to'liqlar so'nishi darajasi.

9. Susayish ko'paytirgichi – uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar orasidagi masofaga bog'liq bo'lgan yig'indi maydon kuchlanganligining interferensiyalar xarakterdagi o'zgarishini aks ettiradi.

10. Nurlanish quvvati – qandaydir manbadan berilgan nurlatgichning energiya miqdorini energiyani berish davom etgan vaqt oralig'iga nisbati.

11. Sirtqi (yer usti) radioto'liqlar – yer usti bo'ylab tarqaladigan to'liqlar.

12. Radioto'liqlar – to'liqin uzunliklari $5 \cdot 10^{-5}$ dan 10^{10} m gacha bo'lgan elektromagnit to'liqlar.

Nazorat savollari

1. Qanday hodisalar hisobiga sirtqi va ionosfera to'liqlari vujudga kelishini tushuntirib bering.

2. Radioto'liqlarning so'nishi nimadan?

3. Ionosferaning tuzilishini tushuntirib bering.

4. Uzun, o'rta, qisqa va o'ta qisqa to'liqlar qaysi qatlamlardan qaytadi?

5. Radioto'liqlar tarqalayotganda susayish ko'paytirgichning fizik ma'nosini tushuntirib bering.

6. Troposfera va stratosferada qanday hodisalar kuzatiladi?

7. Jimlik zonasi nima deb ataladi?

X bob. ANTENNALAR

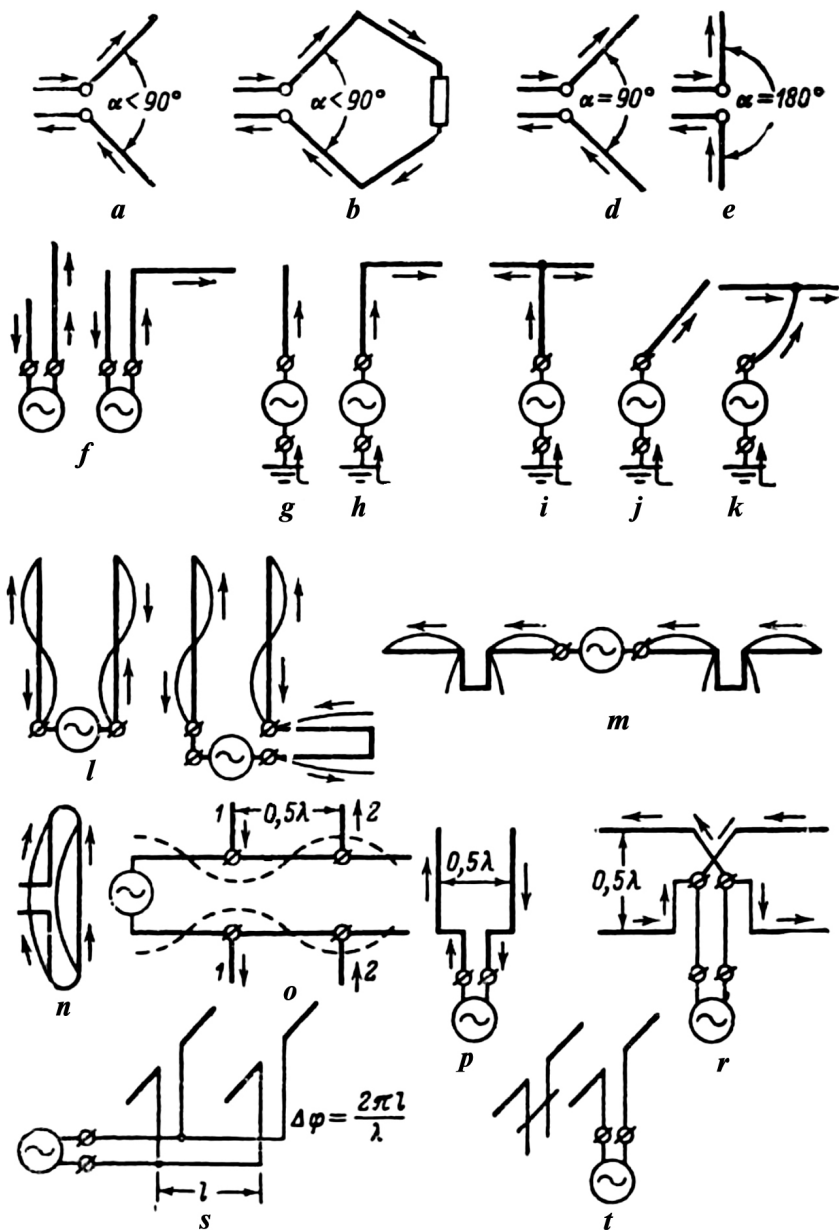
10.1. Nurlovchi sistemalar

Statik elektr zaryadlari o'zini o'rab olgan fazoda statik elektr maydoni, o'zgarmas elektr toki esa o'zgarmas magnit maydoni hosil qiladi. Ochiq fazoda tarqalayotgan o'zgaruvchan elektromagnit maydoni o'zgaruvchan elektr toki orqali paydo bo'ladi. Bu jarayonni eng oddiy usul, o'zgaruvchan EYuK generatori qisqichlariga bir juft simni ulash orqali hosil qilish mumkin.

Maydon nurlatish jadalligi (intensivnost) simga beriladigan shaklga ko'ra turlicha bo'lishi mumkin. Energiyani generator-dan yuklamaga uzatish maqsadida quriladigan fider liniyalarda nurlanishni har taraflama kamaytirishga harakat qilinadi. Buning uchun liniya simlarini parallel va bir-biriga yaqin joylashtiriladi. Bunda ikki kattaliklari bo'yicha bir xil, ammo qarama-qarshi fazalarga ega hamda qarama-qarshi yo'nalgan toklar maydoni o'zaro kompensatsiya bo'ladi. Natijada, amalda atrof fazoda energiyani nurlanishi kuzatilmaydi.

Koaksial kabeldan foydalanilganda nurlatish to'la bartaraf etiladi. Bunday kabellarda maydon ichki sim va tashqi simning ichki yuzasi oralig'ida qamrab olingan.

Antenna qurilmalarini yaratishda bir-biriga zid bo'lgan masala o'rtaga tashlanadi: imkoni boricha katta nurlanishni olish. Buning uchun fiderni nurlatish xususiyatini chegaralovchi sabablardan birini yo'qotib, uzun liniyalardan foydalanish mumkin. Masalan, liniya simlarini ma'lum bir burchakka surish, natijada ularning maydoni bir-birini kompensatsiya qilmaydi. V tasvirli va romb-tasvirli antennalarning ishlashi shunga asoslangan, ularda nurlovchi simlar bir-biriga nisbatan o'tkir burchak ostida joylashadi (10.1- *a* va *b* rasm), liniya simlari orasidagi burchak 90° ga teng bo'lgan Pistol Kors burchak antenasi (10.1- *d* rasm) va liniya simlarini ikki tomonga 180° burchakka surish natijasida hosil bo'ladigan simmetrik vibrator (dipol) (10.1- *e* rasm). 10.1-rasmda strelkalar yordamida simlardagi tok yo'nalishi ko'rsatilgan.



10.1-rasm. Nurlatuvchi qurilmalarning asosiy turlari

Fider simlaridan birini kompensatsiyalash ta'sirini uni qisqartirib yoki tizim tarkibidan chiqarib tashlash orqali kamaytirish mumkin. Fider simlaridan birini qisqartirish birinchi bo'lib M.A. Bonch-Bruyevich tomonidan taklif qilingan "*yuqori yorug'lik antennalari*" da qo'llanilgan edi (10.1- *d* rasm).

Ikkinchi simni tizim tarkibidan to'la chiqarib tashlash no-simmetrik vibratori hosil qilishga olib keladi (10.1- *e* rasm). Bunday ishlash usulidan foydalanuvchi barcha antennalar no-simmetrik antennalar sinfiga taalluqli. Bu sinfga shular qatorida Γ tasvirli antennalar (10.1- *j* rasm), T tasvirli antennalar (10.1- *z* rasm), nishab antennalar (10.1- *i* rasm) va boshqa bir qator antennalar kiradi. Odatda bunday antennalarni ta'minlash maqsadida generatorning ikkinchi qisqichi yerga tutashtiriladi (yer ikkinchi sim vazifasini bajaradi).

Agarda fider ikki simi qo'shni uchastkalari faza bo'yicha mos tushuvchi, maydonlari bir-birini kuchaytiruvchi toklar bilan qamrab olingan bo'lsa, bunday holatda u nurlaydi. Buning uchun masalan, ikki simdan birini yarim to'lqin uzunligiga teng uchastkasini nurlamaydigan shleyfga bukish yetarli hisoblanadi (10.1- *l* rasm). Xuddi shu prinsipga asoslangan sinfaz antennalar (10.1- *m* rasm) hamda F.F. Pistolkors tomonidan taklif qilingan shleyf-vibratorlar (10.1- *n* rasm) amalda juda keng tarqalgan.

Agarda simlar oralig'idagi masofa to'lqin uzunligi atrofida bo'lsa, albatta fider nurlaydi. Bu holda, ikki sim orqali ma'lum bir yo'nalishda nurlanayotgan to'lqinlar ancha katta tarqalish yo'li farqiga ega bo'ladi va to'la yo'q bo'lmaydi. Bundan tashqari, simlar oralig'idagi masofani shunday tanlash mumkinki, bu holda, ba'zi yo'nalishlar bo'yicha ikki sim to'lqinlari qo'shilishi sodir bo'ladi.

Bu usul ko'p sonli *qarama-qarshi fazali antennalarda* ishlatiladi. 10.1- *o* rasmdagi antennada 1- va 2-simlarda toklar fazalari qarama-qarshiligi ularni fiderga yarimto'lqin masofada ulash bilan ta'minlanadi. 10.1- *p* rasmda tasvirlangan antenna tugash yeri kengaytirilgan fiderni tasvirlaydi. 10.1- *r* rasmda tasvirlan-

gan antennada toklar fazalari qarama-qarshiligi ta'minlovchi simlarni o'zaro kesishtirish orqali amalga oshiriladi.

Parallel simlarda toklar fazalarini va ular oralig'idagi masofani o'zgartirib, nurlashni kuchaytirish mumkin. Bir nechta simmetrik vibratorlarda toklar fazalarini keraklicha surish 10.1- s rasmda tasvirlangan sistemada amalga oshirish mumkin. Bunga vibratorlarni ta'minlovchi fiderga ulanish nuqtalari oralig'idagi masofani tanlash yoki undagi tok boshqa vibrator orqali kiritiladigan shleyf yordamida (10.1- t rasm) vibratorni sozlash va nurlashni kuchaytirish mumkin.

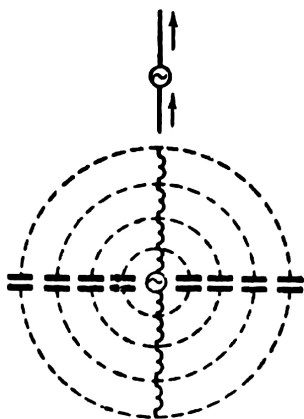
10.2. Simmetrik vibratorlar (dipollar)

Simmetrik vibratorni uzun liniya, tugash yeri ajratilgan, simlari 180° ga yoyilgan tizim kabi tasavvur qilish mumkin (10.2-rasm).

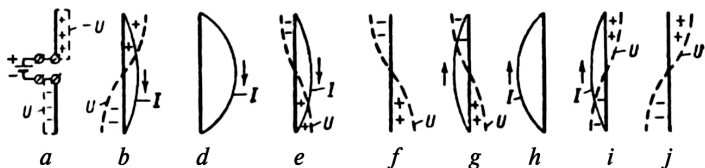
Shunga ko'ra ikkala yarim vibrator simmetrik nuqtalarida toklar yo'nalishi bir xil. Vibrator simlarida maksimal tok o'z o'rnida, maksimal nurlash hosil qilish uchun rezonansdan foydalaniladi, ya'ni vibrator da tok chastotasini vibrator o'z tebranish chastotasiga teng qilib o'rnatiladi.

Simmetrik vibrator da erkin elektr tebranish jarayonini ko'ramiz. Vibrator ikkala yarmini o'zgar mas EYuK manba qisqichlariga ulaymiz (10.3- a rasm).

Vibrator simlari taqsimlangan sig'imlari zaryadlanganidan so'ng va uning yarimlari oralig'ida potentsiallar farqi yuzaga kelganidan so'ng ta'minlovchi manbani o'chiramiz va vibrator ikkala yarimlarini qisqa ulagich yordamida tutashtiramiz (10.3- b rasm). Bunda taqsimlangan sig'imlar qisqa ulagich orqali razryadlana boshlaydilar.



10.2-rasm. Simmetrik vibrator va uning ekvivalent sxemasi



10.3-rasm. Simmetrik vibratoroda erkin tebranishlar

Ehtimol, o'rtaga joylashgan vibrator simi bo'laklari orqali eng katta elektr zaryadi oqadi va shu sababli ularda razryad toki eng katta qiymatga ega bo'ladi; sim oxiriga borib tok nolga cha kamayadi. Simda tok asta-sekin o'sadi, shu sababli taqsimlangan induktivlikda o'zinduksiya EYuK yuzaga keladi.

Vibrator o'rtasidan bir xilda uzoqlashgan nuqtalar oralig'ida potentsiallar farqi, bu nuqtalar o'rtadan qancha uzoq bo'lsa, shuncha ko'p. Boshqacha ta'riflaganda simning taqsimlangan induktiv qismlari qancha ko'p ishtirok etsa nuqtalar oralig'ida potentsiallar farqi shuncha ko'p (10.3- b rasm).

Vibrator o'rta nuqtasiga nisbatan ikki tomonida potensial belgisi turlicha, chunki vibrator birinchi yarmida tok unga qarab oqsa, ikkinchi yarmida esa undan qarshi tomonga oqadi.

Taqsimlangan sig'im razryadlanib borgan sari simda tok o'sib boradi va sig'im to'la razryadlanib bo'lganida tok o'zining maksimumiga erishadi. Bunda elektr maydonning sig'im orqali zaxiralangan barcha energiyasi taqsimlangan induktivlikning magnit maydon energiyasiga o'tadi (10.3- d rasm). Agarda jarayon boshlanishida vibrator simlari induktivligi tok o'sishiga to'sqinlik qilgan bo'lsa, endi u tokni kamayishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli tok avvalgi yo'nalishini saqlagan holda asta-sekin kamayadi (10.3- e rasm). Shunga ko'ra taqsimlangan sig'imni qayta zaryadlanishi bo'lib o'tadi, va tok nolga qadar tushganida, sig'im qayta zaryadlangan hisoblanadi (10.3- f rasm). Shundan so'ng jarayon teskari yo'nalishda bo'lib o'tadi (10.3- g, h, i, j rasm).

Shunday qilib, vibratoroda erkin elektr tebranishlari yuzaga keladi. Bunda vibratoroda tok va kuchlanishning turg'un to'lqin-

lari o'rnatiladi va uning bo'yi bo'ylab tok va kuchlanishning yarim turg'un to'lqinlari joylashadi. Shuning uchun simmetrik vibrator o'z tebranishlari to'lqin uzunligi λ_0 uning bo'yi l dan ikki barobar katta, ya'ni:

$$\lambda_0 = 2l. \quad (10.1)$$

Shu sababli simmetrik vibratorni *yarim to'lqin vibrator* deb ataladi, bu bilan u o'z tebranish to'lqin uzunligidan ikki barobar qisqaligi ta'kidlanadi.

Liniya nurlovchi sistemaga-antennaga aylanishi bilan energiyaning qaytarilmaydigan yo'qotishlari ortadi. Issiqlik yo'qotishlar R_p ga nurlashdagi yo'qotishlar R_Σ ham qo'shiladi.

Sistemada qaytarilmaydigan yo'qotishlarning ortishi uning aktiv qarshiligining ortishi deb qarash mumkin, ya'ni antenna to'la aktiv qarshiligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R_A = R_p + R_\Sigma, \quad (10.2)$$

bunda, R_p – issiqlik yo'qotish qarshiligi; R_Σ – nurlash qarshiligi.

Shunday qilib, antenna talab qiladigan quvvat

$$P_A = P_p + P_\Sigma. \quad (10.3)$$

Tok va kuchlanish nuqtalar oralig'ida o'zgarib boruvchi doimiysi taqsimlangan sistemalarda aktiv qarshilikni energetik ko'rsatkichlar orqali aniqlash maqsadga muvofiq. Buning uchun ko'p hollarda quvvatni tok va qarshilik bilan bog'lovchi Joul–Lens qonuni ishlatiladi, ya'ni:

$$P = I_m^2 \cdot R / 2.$$

Antenna aktiv qarshiligi shunday qarshiliklar to'plamiga tengki, undan antenna maksimal tokiga teng tok oqib o'tganida antennadagiga teng quvvat ajraladi deb qabul qilamiz. U holda:

$$R_A = \frac{2P_A}{I_{mA}^2} = \frac{2P_p}{I_{mA}^2} + \frac{2P_\Sigma}{I_{mA}^2}, \quad (10.4)$$

Bunda, I_{mA} – antennada turg'un to'lqin bog'lamidagi tok amplitudasi.

(10.3) ifoda asosida quyidagini yozish mumkin:

$$R_P = \frac{2P_P}{I_{mA}^2} \quad \text{va} \quad R_\Sigma = \frac{2P_\Sigma}{I_{mA}^2}. \quad (10.5)$$

Antenna energiyani o'zgartiruvchi sifatida xizmat qilganligi sababli, nur quvvatini keltirilgan quvvat munosabatiga teng FIK uning eng asosiy ta'rifi hisoblanadi:

$$\eta_A = \frac{P_\Sigma}{P_\Sigma + P_P}. \quad (10.6)$$

(10.6) va (10.5) ifodalarga ko'ra quyidagini yozish mumkin:

$$\eta_A = \frac{P_\Sigma}{P_\Sigma + R_P} = \frac{1}{1 + \frac{R_P}{R_\Sigma}}. \quad (10.7)$$

Shu sababli issiqlik yo'qotish qarshiligiga nisbatan nurlash qarshiligi qancha katta bo'lsa antenna FIK shuncha katta. Ammo nurlash qarshiligining absolyut qiymati ham muhim ahamiyatga ega.

Barcha tebranish sistemalaridagi kabi, rezonansda tok va kuchlanish hamda antennaning rezonans xususiyatlari aktiv qarshilikka jiddiy ravishda bog'liq. Aktiv qarshilik qancha katta bo'lsa, rezonansda, generatorning berilgan quvvatida, antennada tok amplitudasi shuncha kam. Ammo antennada tok qancha kichik bo'lsa, kuchlanish ham shuncha kam. Antennada kuchlanishning kam bo'lishi juda foydali, chunki antenna izolyatsiyasiga qo'yiladigan talablarni kamaytiradi.

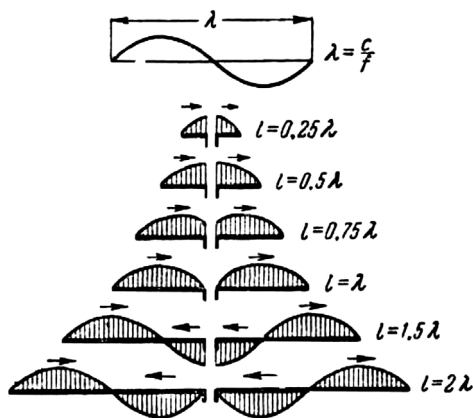
Antennani nurlash xususiyati, demak, nurlash qarshiligi ham nurlayotgan simda tokning taqsimlanish xususiyatiga bog'liq. Antennada majburiy tebranish holatida ularning chastotasi antennaga qo'yilayotgan EYuK chastotasi bilan aniqlanadi. Antenna simi bo'ylab tok va kuchlanishning taqsimlanishi turlicha bo'lishi mumkin.

Antennada qo'zg'atilgan tok va kuchlanish to'lqinlari antenna simlari oxiridan qaytariladi va tugash yerlari ajratilgan uzun liniyalardagi kabi turg'un to'lqinlar hosil qiladi. Majburiy tebranish ish tartibida tok va kuchlanishni taqsimlanish ta-

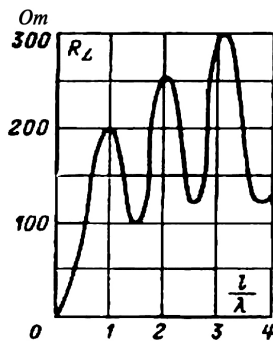
biatini aniqlash uchun generator chastotasi va sim bo'ylab elektromagnit to'lqinlarini taqsimlanish tezligi bo'yicha qo'zg'atilgan to'lqin uzunligini aniqlash kerak. Shundan so'ng mos mashtabda bajarilgan antenna tasvirida, tok tugunlari va kuchlanish bog'lami joylashgan, ajratilgan oxiridan boshlab turg'un to'lqinlar grafigini qurish lozim (10.4-rasm).

Vibrator uzunligi noldan to $l = \lambda$ gacha o'zgarishi bilan nurlash qarshiligi uzluksiz ortib boradi (10.5-rasm).

Faraz qilaylik, vibrator $l > \lambda$ uzunlikka ega, bunda uning har bir yarim qismiga bitta butun yarim va to'lqin davomining bir qismi joylashadi. Bunda antenna simining o'rtalarida shunday uchastkalar paydo bo'ladiki, ularda chetki uchastkalaridagi tok yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lgan tok hosil bo'ladi. Bu uchastkalarining nurlanishi chetki uchastkalar nurlanishini qisman kuchsizlantiradi, va nurlash qarshiligi birmuncha kamayadi. Ammo vibrator uzunligi ortishi bilan nurlash qarshiligi yana ortadi va vibrator uzunligi $l = 2\lambda$ da yangi maksimumga erishadi.



10.4-rasm. Turli uzunlikdagi simmetrik vibratorlarda tokning taqsimlanishi



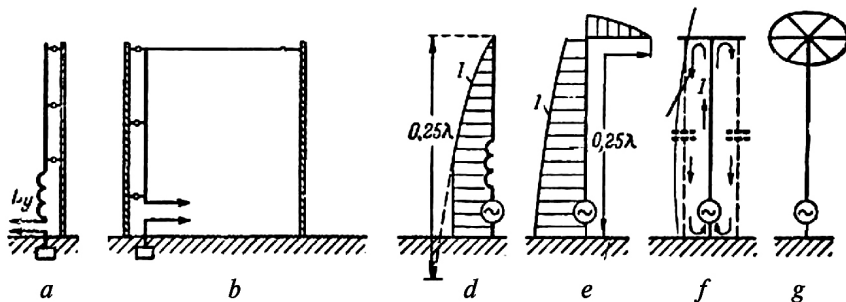
10.5-rasm. Simmetrik vibrator elektr uzunligidan nurlash qarshiligining bog'liqligi

10.3. Uzun va o'rta to'lqin antennalar

Uzun va o'rta to'lqinlarda yer sathi odatda yaxshi o'tkazuvchanlikka ega. Yaxshi o'tkazgich yuzasida esa elektr maydoni uning yuzasiga faqat perpendikulyar yo'nalgan bo'lishi mumkin. Shu sababli, ham uzatuvchi, ham qabul qiluvchi antennalar bunday to'lqinlar uchun mukammal vertikal qisimlarga ega bo'lishi lozim.

Antenna rezonansli bo'lishi hamda yetarlicha katta nurlash qarshiligi va FIK ga ega bo'lishi uchun uning o'lchamlari juda bo'lmaganda $0,25\lambda$ ga yaqin bo'lishi kerak, ya'ni uzun to'lqinlarda uning balandligi birnecha yuz metrga teng bo'lishi kerak. Amalda 200–300 m dan baland bo'lmagan antenna (machta) larni qurish imkoniga ega bo'linadi. Shu sababli 1000 m dan uzun bo'lmagan to'lqinlarda, qoida bo'yicha, uzunligi rezonansidan kichik bo'lgan antennalar bilan ishlashga to'g'ri keladi.

Buning oqibatida antenna kirish qarshiligi sig'im xususiyatli reaktiv tashkil etuvchiga ega bo'ladi. Reaktiv tashkil etuvchini kompensatsiya qilish uchun antennaga ketma-ket induktivlik g'altagi ulanadi (10.6- a rasm). Bu g'altaklarni *uzaytiruvchi* deb yuritiladi.



10.6-rasm. Uzun va o'rta to'lqin antennalar:

- a* – uzaytirilgan g'altakli yerga tutashtirilgan vibrator;
- b* – T tasvirli antenna; *d* – g'altakli antennada tokning taqsimlanishi;
- e* – T tasvirli antennada tokning taqsimlanishi; *f* – T tasvirli antenna;
- g* – “yulduzli” antenna.

Elektr uzunligi kichik bo'lgan antennalarda nurlash qarshiligi juda kichkina. Shu bilan bir vaqtda uzaytiruvchi katushkalar aktiv qarshiliklari yetarlicha katta. Shu sababli antenna zanjirida yo'qotish qarshiligi katta bo'lib boradi. Ammo (10.7) ifodaga binoan antenna FIK juda kichik bo'lib chiqadi.

O'rta to'liqlarda antenna keng chastota diapazonida ishlaganida unga qo'yilayotgan tebranish chastotasi rezonansdan kichik bo'lib chiqishi mumkin. Bunday holatda uning kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi induktiv xususiyatga ega va antennani sozlash uchun *qisqartiruvchi* deb ataladigan kondensatorni qo'llash kerak bo'ladi.

Antenna maksimal FIKni olish nuqtayi nazaridan eng foydalisi, albatta qisqartiruvchi kondensator bilan ishlash, ammo bu har doim ham katta uzunlikdagi antennalarni yaratishdagi qiyinchiliklar sababli mumkin emas.

Sozlash elementlarini qo'llash uning elektr uzunligi bilan aniqlanuvchi antenna nurlash qarshiligini o'zgartirmaydi va shu sababli qisqa antennalar bilan ishlaganda nurlash qarshiligi har doim katta emas. Buning natijasida katta nurlash quvvatini olish uchun bunday antennalarda katta toklarni qo'zg'atish kerak bo'ladi. Nurlash qarshiligining kichikligi antenna rezonans xarakteristikasini juda o'tkir bo'lishiga olib keladi; buning natijasida antennani sozlash juda og'ir. Bundan tashqari juda kichik nurlash qarshiligida antenna pastki uchini yerga tutashtirishni ayniqsa, puxta bajarish kerak bo'ladi, aks holda sistema FIK keskin pasayib ketadi.

FIKni oshirish uchun induktiv g'altak ishlatish o'rniga ko'pincha, antenna uzunligini rezonansgacha uzaytiriladi va uni machta balandligida to'g'ri burchak ostida bukiladi, qolgan qismi esa gorizontaal uchastkani hosil qiladi. Bunday Γ tasvirli antenna uzaytiruvchi g'altakli to'g'ri antennalarga nisbatan yaxshi nurlaydi, ammo u ikkinchi machtani o'rnatishni talab etadi (10.6- b rasm).

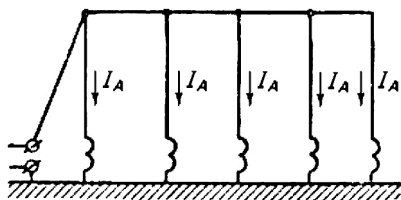
Agarda Γ tasvirli antenna ilgak balandligi katta bo'lmasa, u holda uning gorizontaal qismi amalda nurlamaydi, chunki u o'zining ko'zg'uli tasviri bilan ikkisimli liniyani tashkil etadi.

Lekin nurlovchi vertikal qismida tokning taqsimlanishi sezilarli darajada yaxshilanadi. Unda, bog'lamga yaqin turgan tok turg'un to'liqining bir qismi joylashadi, va bog'lam nurlash uchun eng qulay sharoitda bo'lgan antenna yuqori qism oxiriga joylashadi.

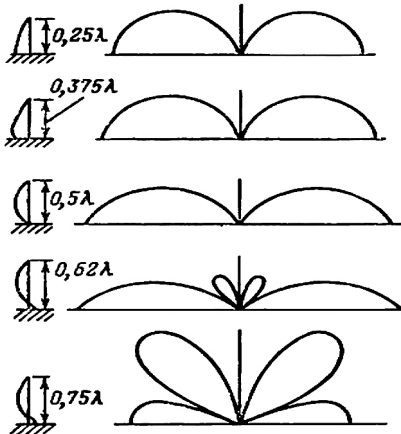
Antenna oxirida tok amplitudasini, ikki gorizontaal nur ko'rinishida qo'shimcha gorizontaal qism tuzish (T tasvirli antenna, 10.6- f rasm) yoki ko'p nur ko'rinishidagi ("yulduzli" antenna, 10.6- g rasm) antennalarni yaratish bilan oshirish mumkin. Barcha hollarda gorizontaal elementlar yer bilan birmuncha sig'im hosil qiladi. Shunga ko'ra antenna vertikal qismi oxirida tok nolga teng emas va u bo'ylab tokning taqsimlanishi ancha tekis holatga keladi. Tok maydoni, shunga ko'ra antenna amaldagi balandligi ham ortadi.

Nurlash qarshiligini oshirish uchun radioeshittirish antennalari ko'pincha, bitta generator orqali ta'minlanadigan, birnecha vertikal vibratorlar ko'rinishida bajariladi. Vibratorlar to'liq uzunligiga nisbatan ancha kam masofada joylashtiriladi va yuqori gorizontaal qism orqali bog'lanadi (10.7-rasm). Bunday sistemani murakkab bog'langan T tasvirli va Γ tasvirli antennalar deb qarash mumkin.

Turli uzunlikdagi (10.8-rasm) yerga tutashtirilgan vibratorlar yo'nalish diagramma-



10.7-rasm. Birnecha bir-biriga yaqin joylashgan nurlagichlardan tashkil topgan uzun to'liqlik antenna



10.8-rasm. Turli uzunlikdagi yerga tutashtirilgan vibratorlarning vertikal tekislikda yo'nalganlik diagrammalari

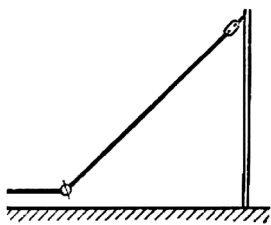
larini solishtirishdan ko'rinadiki, gorizontga nisbatan kichik burchak yo'nalishlarida elektr uzunligi $l/\lambda = 0,5$ dan $l/\lambda = 0,62$ gacha bo'lgan vibratorlar eng katta nurlash imkoniga ega. Bu masala ustidagi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, eng foydali antenna uzunligi $l = 0,528\lambda$ bo'lishi kerak. O'rta to'lqinlarda bunday antennani yaratish mumkin.

10.4. Qisqa to'lqin antennalar

To'lqin qancha qisqa bo'lsa, foydalaniladigan antenna turlari shunchalik xilma-xildir. Qisqa to'lqinlar uchun tuproq o'tkazuvchanligi yomonlashadi, va buning oqibatida yerga tutash-tiruvchi elementlarda yo'qotish ortib ketadi. Shu sababli bu to'lqinlarda odatda yerga tutashtirilgan vibratorlardan foydalanmaslikka harakat qilinadi. Faqat katta suv yuzalari yaqinida yoki radiostansiya nam tuproqqa joylashtirilganida yerga tutashtirilgan vibratorlar yaxshi natija beradi. Eng yaxshi natijalar vibrator uzunligi yarimto'lqinga teng bo'lganida olinadi. U holda, tutash yerda tok tuguni joylashgan va hatto katta o'tish qarshiliklarida ham unda yo'qotishlar juda kichik bo'ladi.

Agarda machta balandligini kamaytirilsa, u holda vibrator bir qismini to'g'ri burchak ostida bukib Γ tasvirli antenna tuzish, yoki antennani qiya qilish (10.9-rasm) imkoni tug'iladi.

Qisqato'lqinli antennalarning eng ko'p tarqalgan turi gorizontalar yarimto'lqinli vibrator hisoblanadi. Maksimal aloqa uzoqligini olish uchun gorizontga kichik burchak ($10^\circ - 20^\circ$) ostida samarali nurlovchi antennaga ega bo'lish maqsadga muvofiq.



10.9-rasm. Qiyalatilgan sim

Shunga ko'ra gorizontalar vibratorlar ilgak balandligi $0,5\lambda$ va undan baland bo'lganida yaxshi yo'nalish diagrammalariga ega bo'ladi, ammo ilgak balandligini $h = \lambda$ dan oshirish ancha qiyinchilik tug'diradi.

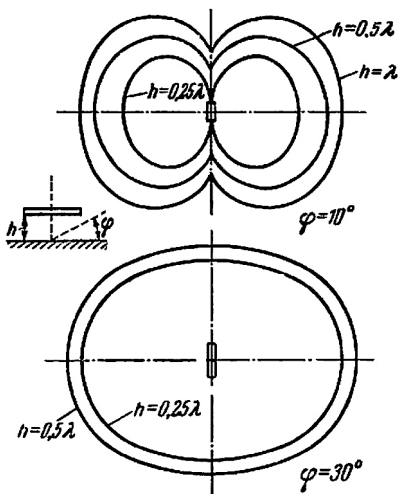
Antenna gorizontalar tekislikda notekis yo'nalish diagrammasiga ega; gorizontga φ burchak ostida joylashgan tekisliklarda notekislik kattaligi antenna ilgak

gi balandligi va burchak φ kataligiga bog'liq holda o'zgaradi (10.10-rasm).

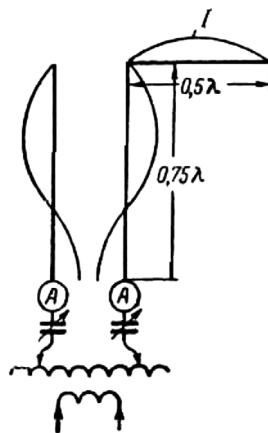
Antenna o'rnatilayotganda notekis yo'nalish diagrammasini hisobga olish juda zarur, ya'ni nurlash maksimumlarini nihoyatda muhim aloqa liniya yo'nalishlari bo'yicha mo'ljalga olish kerak bo'ladi.

Vibrator kirish qarshiligi 73 Om ga yaqin, fider esa birnecha yuz Om ga teng to'lqin qarshiligiga ega, maxsus choralar ko'rilmasa, ularning moslashmaganligi sababli turg'un to'lqinlar yuzaga keladi. Fider ayrim uchastkalarida turg'un to'lqinda kuchlanishni ortishi va uning FIKni yomonlashishi hamda fider kirish qarshiligini uning uzunligidan keskin bog'liqligi bunday ta'minlash usulining eng asosiy kamchiligi hisoblanadi. Agarda fider liniyani uzunligi $3\lambda - 4\lambda$ dan oshmasa, u holda yuqorida keltirilgan kamchiliklarni e'tiborga olmasa bo'ladi. Ammo bir qator holatlarda, fider uzunligi kichik bo'lganda moslashtirishni amalga oshirish kerak bo'ladi.

Bir qator holatlarda konstruktiv nuqtayi nazaridan ta'minlovchi fiderni yarimto'lqin vibrator tugash yeriga ulash juda qulay. Vibrator tugash yerida tok tuguni bo'lganligi sababli fider simmetriyasini saqlash uchun, ya'ni uning ikkinchi sim bo'sh tugash yerida tok tugunini



10.10-rasm. Ilgakning turli balandliklarida gorizontga nisbatan turli burchaklarda, gorizont tekislikda gorizont yarimto'lqin vibratorning yo'nalganlik diagrammalari



10.11-rasm. Gorizont yarimto'lqin vibrator tugash yeriga fiderni ulash sxemasi

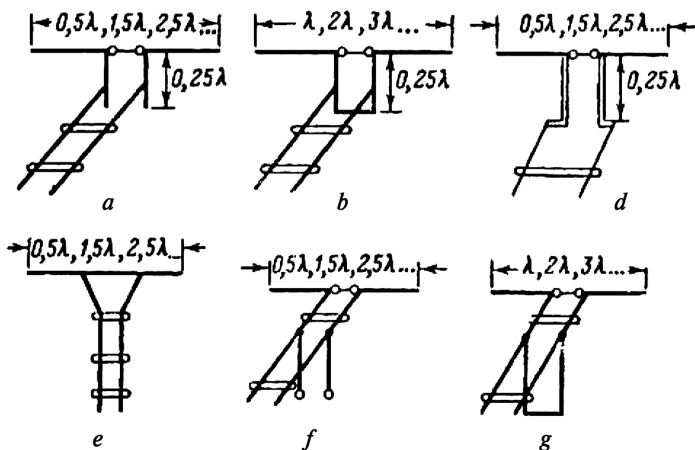
olish uchun bu tugash yerni izolyatorga mahkamlanadi (10.11-rasm).

Agarda birlashtiruvchi fider uzunligi $3\lambda - 4\lambda$ dan katta bo'lsa, moslashmagan holda yo'qotishlar juda katta bo'ladi va fiderni antenna bilan moslashtirish uchun kerakli choralarni ko'rish zarur hisoblanadi. Odatda, bunda moslashtiruvchi transformatorlar yordamida erishiladi.

Misol tariqasida 10.12- *a* rasmda yuqoriomli havo fideri va past kirish qarshiligiga ega vibratorni chorakto'liqlik ajratilgan liniya ko'rinishidagi transformator yordamida moslashtirish keltirilgan. Moslashtirish fider chiqishini transformatorga ulanish nuqtalarini o'zgartirish orqali erishiladi. Ular transformator liniyasi ajratilgan tomoniga qancha yaqin bo'lsa, antenna-transformator sistemasi kirish qarshiligi shuncha yuqori bo'ladi.

10.12- *b* rasmda katta kirish qarshiligiga ega bo'lgan vibrator bilan havo liniyasini moslashtirish usuli tasvirlangan. Bu holda transformatorni qisqatutashgan liniyaning bir bo'lagi sifatida qo'llashga to'g'ri keladi.

10.12- *d* rasmda tasvirlangan sistemada vibrator kirish qarshiligini moslashtirish oraliq chorakto'liqlik liniya to'liq qarshiligini tanlash yo'li orqali erishiladi.



10.12-rasm. Gorizontall vibratorlarni ikkisimli fider bilan moslashtirish

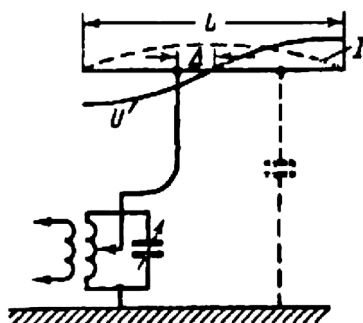
10.12- *d* va *e* rasmda ajratilgan va qisqatutashtirilgan liniyalar bo'laklari ko'rinishidagi reaktiv shleyf yordamida moslashtirish usuli ko'rsatilgan. Bu yerda moslashtirish shleyf uzunligi va uni fiderga ulash joyini tanlash yo'li orqali erishiladi.

Yarimto'lqin vibratorlarni ajraladigan liniya bo'lagi yordamida moslashtirish usuli, ayniqsa, keng qo'llaniladi (10.12- *f* rasm). Bu yerda moslashtirish, birinchidan, liniyani vibratorga ulash nuqtasi o'rnini o'zgartirish yo'li bilan erishilsa, ikkinchidan esa, ajraladigan liniya bo'lagi to'lqin qarshiligini o'zgartirish yo'li bilan erishiladi. Vibrator tugash yerlariga fider kiritish yerlari qancha yaqin bo'lsa, uning kirish qarshiligi shuncha ko'p bo'ladi.

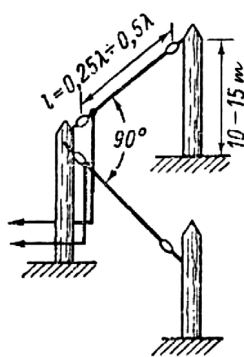
Birsimli fiderga ega vibratorlarni moslash asosi qilib shu prinsip olingan (10.13-rasm), bunda moslashtirish vibrator markazidan fider kiritish yeri surilishi Δ ni tanlash orqali erishiladi. Moslashtirishda energiya liniya bo'ylab ko'chiriladi va yuklamada yutiladi, shu sababli birsimli fiderda nurlanish katta emas.

Pistolkors burchakli antenasi (10.14-rasm) qisqa to'lqinli stansiyalarda keng tarqalgan. Uning birinchi yarim qismi ikki tomonga 180° ga emas, balki 90° (ba'zida 120°)ga ochilgan simmetrik vibratorni tasvirlaydi. Bunda nurlash qarshiligi bir muncha kamayadi, ammo bir chiziqqa tortilgan, simli vibratorlarga nisbatan gorizontalk tekislikda yo'nalish diagrammasi anchagina tekis olinadi; bu antennani amalda yo'nalmagan deb hisoblash mumkin.

Antenna keng chastota diapazonida muvaffaqiyatli ishlashi uchun to'lqin uzunligi



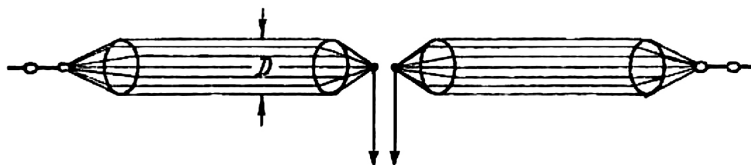
10.13-rasm. Bir simli fiderli gorizontalk vibratorni moslashtirish



10.14-rasm. Pistolkors burchakli antenasi

o'zgariganida o'zining yo'nalish diagrammasini va kirish qarshiligi kattaligini nisbatan kam o'zgartirishi kerak. Katta diametrli vibratorlardan tashkil topgan, kichik to'lqin qarshilikli antennalar ana shunday xususiyatga ega.

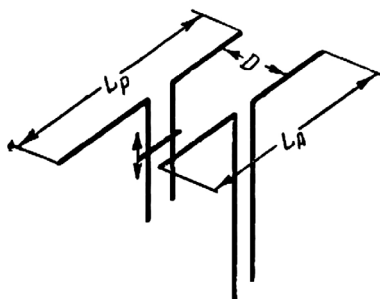
Keng tarqalgan Nadenenko antenna-dipoli shu prinsipga asoslangan (10.15-rasm). Nurlovchi diametri $D = 0,03\lambda$ ga teng holatda dipol to'lqin qarshiligi 300 Om ga yaqin va antenna 200 Om li fider bilan keng chastota diapazonida qoniqarli moslashadi. Fider sifatida, odatda, to'rtsimli liniya ishlatiladi.



10.15-rasm. Nadenenko antenna-dipoli

Bunda antennani yaxlit o'tkazgichdan qurishga mutlaqo ehtiyoj yo'q.

Qisqa to'lqin diapazonida vibratorlar uzunligining qisqaligi sababli yo'naltirilgan antennalarni yaratish imkoniyatlari mavjud. Bular orasida eng soddasi reflektorli antenna hisoblanadi. Reflektorli va direktorli antennalar juda qo'pol chiqadi va nisbatan kam ishlatiladi. 10.16-rasmda passiv reflektorli gorizontalar yarimto'lqinli vibrator ko'rsatilgan.



10.16-rasm. Passiv reflektorli gorizontalar yarimto'lqinli vibrator

Agarda ular oralig'idagi masofa normal bo'lsa, u holda rasmda keltirilgan ikkivibratorli sistema o'lchamlari quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$L_A = \frac{143,4}{f}; L_P = \frac{146,6}{f}; D = \frac{75}{f}. \quad (10.8)$$

Bunda L_A , L_P va D metrlarda, f esa megagerslarda berilgan.

Passiv vibratorni sozlashda aniq korreksiya uchun V.V. Tatarinov taklifi bo'yicha ko'pincha reaktiv shleyflar ishlatiladi.

Qisqa to'lqinlarda vibratorlar oralig'idagi chorakto'lqin masofa juda katta hisoblanadi, shu sababli ko'pincha, vibratorlar oralig'ida qisqartirilgan sistemalar ishlatiladi. Vibratorlarning bir-biriga ta'siri sezilarli bo'lgani sababli sistemaning eng yaxshi, aniq o'lchamlarini ko'rsatish mumkin emas. Undan tashqari ular sistemaning ayrim xususiyatlariga bog'liq: ilgakning yerdan balandligi, tuproqning xususiyati, simning qalinligi va hokazolar. Ular antennani sozlash davomida tajriba asosida topiladi.

Kichiklashtirilgan masofalarda uchvibratorli antennalarni ham tuzish mumkin. Bu holda, aktiv vibrator va reflektor oralig'idagi masofani odatda, $0,15\lambda$, aktiv vibrator va direktor oralig'idagi masofani esa $0,1\lambda$ ga teng qilib olinadi. Bunday sistema to'g'ri sozlanganda asosiy yo'nalishda yo'nalganlik ta'sir koefitsiyentini 10 db ga oshirishi va teskari yo'nalishda nurlashni 30 db ga kamaytirishi mumkin.

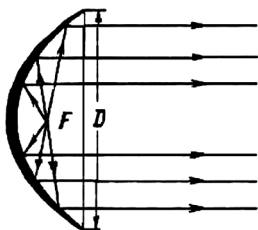
Qisqa to'lqin diapazonida yuguruvchi to'lqinli antennalar keng tarqalgan. Antenna sistemalarida yuguruvchi to'lqin ish tartibi ularni to'lqin qarshiligiga teng, antenna tugash yeridagi toza aktiv qarshilikka yuklanishi bilan belgilanadi. Yuguruvchi to'lqinli simning yo'nalganlik diagrammasi to'lqin harakati yo'nalishiga egilgan, tor bargsimon ko'rinishga ega bo'ladi. Diagramma o'tkirligi va bargning egilish burchagi sim elektr uzunligining ko'payishi bilan ortadi.

10.5. Ultraqisqa to'lqin antennalar

Ultraqisqa to'lqinda hech bo'lmaganda bir tekislikda o'tkir yo'nalganlikka ega bo'lgan antennalar ishlatiladi. Kichik to'lqin uzunligida bunday antennalar yetarli darajada ixcham bo'ladi va katta texnik qiyinchiliklarsiz ularni aylanadigan qilish mumkin. Shunga ko'ra, quvvat bo'yicha katta yutuqqa erishgan holda hamda radiostansiyalar o'zaro xalaqitini kamaytirib, barcha istagan yo'nalishlar bo'yicha aloqa o'rnatish imkoniyati bo'la-

di. Metr to'liqin diapazonida ko'pincha yuqorida ta'riflangan sinfaz va fazalari qarama-qarshi sistemalar ishlatiladi.

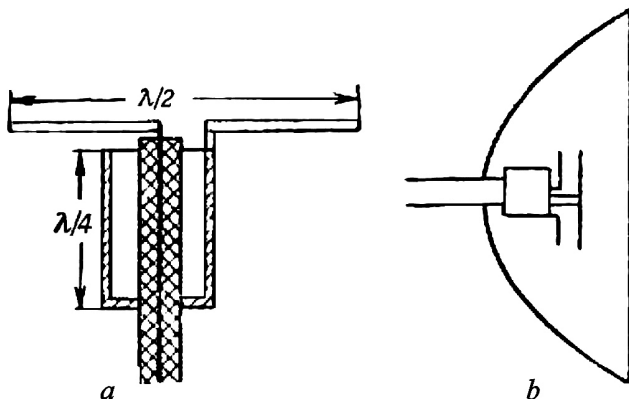
Detsimetr va santimetr to'liqin diapazonida o'tkir yo'nalish hosil qilish uchun har xil turdagi qaytaruvchilar keng qo'llaniladi. Ayniqsa, dyuralyumin listidan bajariladigan, parabolik ko'zgu tez-tez qo'llaniladi. Ularni ishlash prinsipi ma'lum parabolik ko'zgu xususiyatiga asoslangan, ya'ni ko'zgu o'qiga parallel ketayotgan nurlar, ular oldida turgan va qaytaruvchi fokus deb nomlanadigan bir nuqtada yig'iladilar.



10.17-rasm. Nuqtaviy nurlagich nurlarini parallel nurlarga parabolik qaytargich yordamida fokuslash

Albatta, agarda sistemani teskari tartibda ishlatilsa, ya'ni ko'zgu fokusi F ga nurlovchi o'rnatilsa, u holda uning nurlari qaytaruvchi yordamida parallel bog'lamga yig'iladi (10.17-rasm).

Ammo bunday holat faqat ideal nuqtali nurlovchida uchraydi. Real nurlovchilar odatda koaksial kabel orqali ta'minlanuvchi va chorakto'liqlik transformatori simmetriyalovchi yarimto'liqin vibratorni tasavvur etadi. Bu yerda transformator vibrator yarimlaridan birini kabel tashqi o'ramlaridan himoya qiladi (10.18- a rasm).



10.18-rasm. Parabolik antenna vibrator:

a – koaksial kabelga ulash; *b* – kontrreflektorli vibratorni o'rnatish.

Yoʻnalish diagrammasini yanada koʻproq toraytirish va yon barglarni yoʻqotish uchun qaytaruvchi oʻlchamlari (uning diametri D) nurlovchi oʻlchami l dan bir qancha katta, yaʼni $D \gg l = \lambda/2$ boʻlishi kerak.

Tor yoʻnalish diagrammasini faqat yuqori daraja aniqlik bilan parabolik koʻzguni tayyorlash orqali olish mumkin. Yoʻnalish diagramma kengligi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\theta = 60 \frac{\lambda}{D}. \quad (10.9)$$

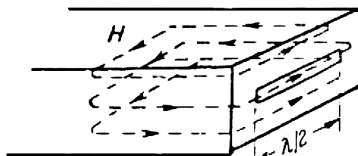
Bu formula koʻzgu diametri yetarlicha katta boʻlsa juda tor yoʻnalish diagrammasini olish mumkinligini koʻrsatadi. Masalan, santimetr va hatto detsimetr toʻlqinlarida toʻla amalga oshirish mumkin boʻlgan $D = 20\lambda$ da nur kengligi $\theta = 3^\circ$ ga teng.

Yoʻnalish diagrammasining buzilishi vibrator barcha nurlari qaytaruvchiga tegmasligi oqibatida ham yuzaga keladi; uning yarmiga yaqini sust yoʻnalgan vibratorlardan barcha tomonlarga sarf boʻladi. Bu kamchilikni yoʻqotish uchun koʻpincha vibrator oldiga kontrreflektor oʻrnatiladi (10.18- b rasm).

Elektr nurlovchi, deb shartli nomlash mumkin boʻlgan metall vibratorlarda nurlanish elektr zaryadlarining koʻchishi va sinusoidal qonun boʻyicha oʻzgaruvchi hamda vibrator boʻylab yoʻnalgan maydon orqali yuzaga keladi. Faraz qilaylik, yaratilgan qurilmada fazoning bir qismi xuddi oʻsha vibrator shaklini olsin, agarda u sinusoidal qonun boʻyicha oʻzgaruvchan magnit maydoni bilan toʻldirilsa, u holda bu magnit vibrator elektrli kabi elektr maydoni oʻrniga faqat magnit maydonini nurlay boshlaydi.

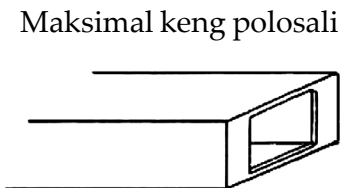
Bunday qurilmaga toʻgʻri burchakli toʻlqin uzatkich ostida, uning keng tomoniga parallel ochiladigan yarimtoʻlqinli tirqish misol boʻlib xizmat qilishi mumkin (10.19-rasm).

Bu holda tirqish boʻylab yoʻnalgan magnit kuch chiziqlari kabi



10.19-rasm. Yarimtoʻlqinli tirqishli antenna (magnitli vibrator)

elektr kuch chiziqlari ham metall dipol bo'ylab yo'naladi. Shuning uchun bunday nurlatgichni magnit dipoli deb atash mumkin. Magnit maydoni elektr maydoniga o'zgartirilganda uning rezonans va nurlash xususiyatlari o'sha shakldagi metall dipolniki bilan to'la mos tushadi. Masalan, rezonansga sozlash uchun u xuddi metall vibratordek, ammo birmuncha qisqartirilgan bo'lishi kerak.



10.20-rasm. To'lqin uzatgichning ochiq tomonini sozlash

Maksimal keng polosali vibrator olish uchun tirqishlarni iloji boricha kattaroq qilish zarur. Eng yaxshi keng polosali vibrator bu bor kengligi bo'yicha tirqish vibrator ochilgan hisoblanadi. Uni sozlash uchun tirqishni yetarlicha qisqartirish, ya'ni to'lqin uzatgich chiqishini qisman berkitish talab etiladi (10.20-rasm).

Metall yuza tirqishidan nurlashni qo'llash birinchi bo'lib M.S. Neyman tomonidan taklif qilingan va u bunday antennaga difraksion nurlovchi deb nom bergan. Hozirgi vaqtda santimetr diapazonida bu turdagi nurlovchilar keng qo'llaniladi.

Yuqorida aytilganlarga ko'ra, to'lqin uzatuvchining ochiq tomoni, u chiziqli vibratorga o'xshash bo'lgani uchun kichik burchakli nurlash yo'nalishiga ega bo'lishi kerak. Ko'pincha to'lqin uzatuvchi oxiriga qo'yiladigan rupor nurlash yo'nalganligini oshiradi (10.21- a rasm).

Rupor tirqishi qancha keng va uning uzunligi katta bo'lsa, tor to'lqin uzatgichdan ochiq fazoga o'tish shuncha tekis va uning yo'nalish diagrammasi juda tor bo'ladi. Bu holda rupor tirqishi bir chiziqqa tortilgan sinfaz magnit vibratorlari sistemasini tasavvur etadi (10.21- b rasm). Bunday sistemalar o'zining nurlash xususiyati bo'yicha perpendikulyar yo'nalishda joylashgan sinfaz elektr vibratorlari soni teng sistema bilan bir xil baholanadi. Shu sababli rupor o'z o'qi yo'nalishi va birnecha yon barglarda maksimumlarga ega bo'ladi (10.21- d rasm).

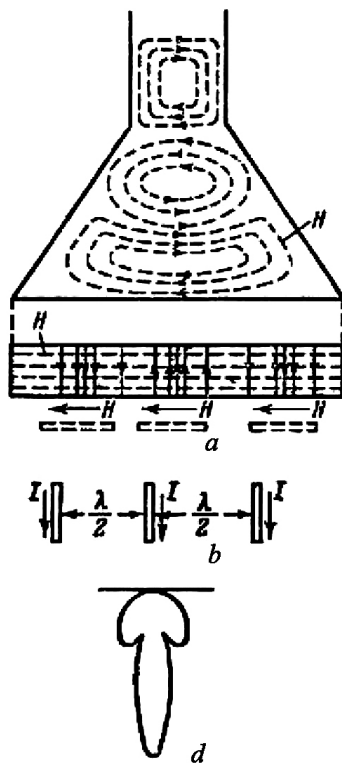
Yuqori yo'nalganlikni olish uchun rupor uzunligi to'lqin uzunligidan ancha katta bo'lishi kerak. Masalan, 50° ga teng

yoʻnalganlik diagramma kengligini olish uchun $8\lambda - 10\lambda$ uzunlikdagi ruporga ega boʻlish kerak. Yoʻnalganlik diagrammasini 2 marta toraytirish uchun rupor uzunligini 5 marotaba uzaytirish kerak boʻladi. Albatta, buni texnik tomondan faqat santimetr va millimetr toʻlqinlarda amalga oshirish mumkin. Rupor uzunligi qancha katta boʻlsa, berilgan tirqish oʻlchamlari va yoʻnalganlik koeffitsiyentini olish uchun uning rastvor burchagini shuncha kichik qilish mumkin.

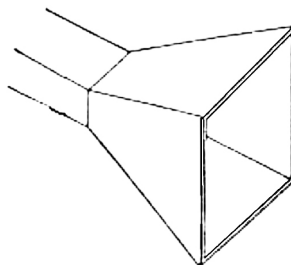
10.21-*a* rasmda tasvirlangan rupor sektorli deb nomlanadi, chunki uni oʻstirish faqat bir tomon boʻyicha amalga oshiriladi. Bu turdagi ruporlar faqat bir tekislikda yoʻnaltirish taʼsiriga ega. Yuqorida koʻrilinganga nisbatan perpendikulyar tekislikda yoʻnalganlik diagrammasini toraytirish uchun bu tekislikda ham rupor rastvorini tashkil etish kerak. Shunday qilib, hosil boʻlgan piramidal rupor (10.22-rasm) koʻp etajli sinfaz magnitli vibratorlar sistemasini tashkil qiladi.

Bunday sistema ikki yoʻnalish boʻyicha toraytirilgan yoʻnalganlik diagrammasiga ega. Doira toʻlqin uzatgichlardan foydalanilganda rupor qirqilgan konus koʻrinishini oladi (10.23-rasm).

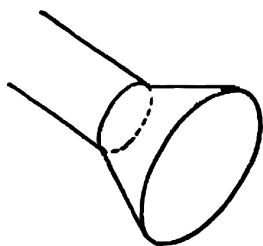
Koʻp holatlarda gorizonta yoʻnalishda asosiy nurlanish bilan birgalikda vertikal tekislikda oʻtkir yoʻnal-



10.21-rasm. Ruporli antenna:
a - tuzilishi; *b* - rupor tirqishi xuddi sinfaz magnit vibratorlari tizimi kabi;
d - yoʻnalish diagrammasi.

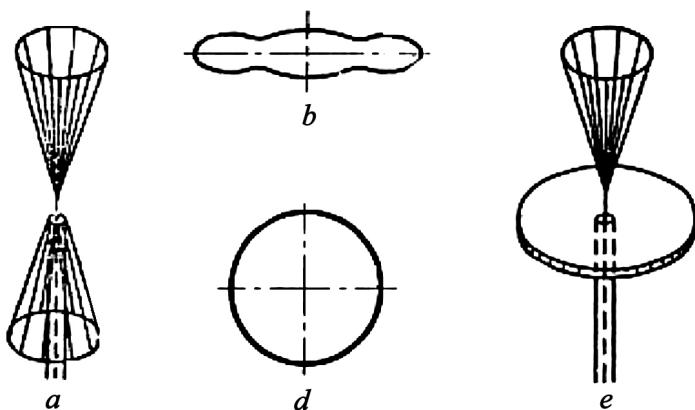


10.22-rasm. Piramida koʻrinishidagi rupor



10.23-rasm.
Konussimon rupor

ganlik va gorizontal tekislikda yoʻnal- tirilgan nurlanishga ega boʻlish zarura- ti tugʻiladi. Bu qisqa toʻlqinlarda aloqa maksimal uzoqligini hosil qilish uchun juda zarur. Bu vazifani bikonus (bikoni- cheskiy) ruporlar yordamida muvoffa- qiyatli hal etish mumkin. Ulardagi ikki konus (10.24- *a* rasm) koaksial kabel or- qali taʼminlanadi. Rupor elektr uzunli- gi qancha katta va uning rastvor burcha- gi kichik boʻlsa, vertikal tekislikda (10.24- *b* rasm) yoʻnalganlik diagrammasi shuncha tor boʻladi.



10.24-rasm. Bikonus antenna:

a – bikonus rupor; *b* – vertikal tekislikda yoʻnalganlik diagrammasi;
d – gorizontal tekislikda yoʻnalganlik diagrammasi;
e – diskokonusli antenna.

Gorizontal tekislikda (10.24- *d* rasm) antenna barcha yoʻna- lishlar boʻyicha bir xil nurlaydi. Bunday simmetrik antenna oʻrniga ancha sodda, yuqori yarmining koʻzgu tasvirini hosil qiluvchi, pastki yarmi oʻtkazuvchi tekislik bilan almashtirilgan (10.24- *e* rasm) nosimmetrik antennani qoʻllash mumkin. Bun- day antenna diskokonus nomini olgan.

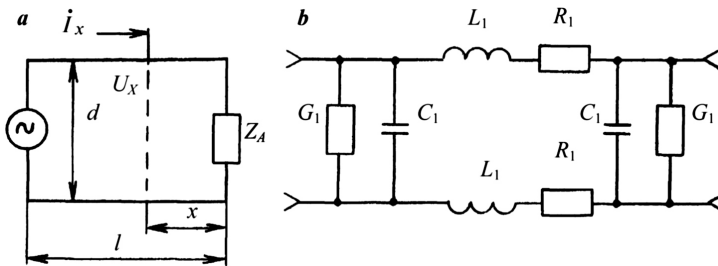
10.6. Radiochastota toki energiyasini uzatish

Qoidaga ko'ra uzatgichning chiqish kaskadi va antenna bir-biridan anchagina uzoqda joylashgan bo'ladi. Bunday holatda radiochastota toki energiyasini uzatgichdan antennaga fider orqali uzatish muammosi tug'iladi. Fiderni konstruksiyasiga bog'liq bo'lmagan holda uzunligi l oralaridagi masofa d dan ancha katta bo'lgan ikkita parallel o'tkazgich ko'rinishida tasavvur qilish mumkin (10.25- a rasm). Umuman olganda, fider, induktivligi L_1 , aktiv qarshiligi R_1 , sig'imi C_1 va simlari orasidagi o'tkazuvchanligi G_1 bo'lgan tarqalgan parametrlil uzun liniya (10.25- b rasm) sinfiga mansub bo'lib, uning $R_1=0$, $G=0$ dagi kompleks kuchlanishi va toki quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \dot{U}_X = \dot{U}_2 \cos \alpha x + j \dot{I}_2 \sin \alpha x; \\ \dot{I}_X = \dot{I}_2 \cos \alpha x + j \frac{\dot{U}_2}{\rho} \sin \alpha x, \end{cases} \quad (10.10)$$

Bu yerda, $\rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ - liniyaning to'lqin qarshiligi; $\alpha = \omega\sqrt{L_1C_1}$

- faza doimiysi.



10.25-rasm.

Agar $\frac{f}{1} = \lambda$ belgilash kiritsak, u holda quyidagi ifo-

$$\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

daga ega bo'lamiz: $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$, bu yerda, λ – to'lqin uzunligi;

$\dot{U}_2 = U_{2m}e^{j\omega t}$, $\dot{I}_2 = I_{2m}e^{j\omega t}$ – mos ravishda liniya oxiridagi kuchlanish va tokning kompleks amplitudalari.

To'lqin qarshilik ρ bilan yuklama qarshiligi Z_A munosobati bog'liq ravishda liniya yuguruvchi, turuvchi yoki aralash to'lqinlar rejimida ishlashi mumkin.

10.7. Antenna fiderida yugiruvchi to'lqinlar rejimi

Liniya bilan yuklama muvofiqlashganda, ya'ni uning aktiv qarshiligi to'lqin qarshiligiga teng bo'lganda ($R_A = \rho$) liniyada yuguruvchi to'lqin o'rnatiladi. Bunday holatda qaytuvchi to'lqinlar

paydo bo'lmaydi, $\dot{I}_2 \rho = \dot{U}_2$ va (10.10) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{cases} \dot{U}_x = U_{2m}e^{j(\omega t + \alpha x)}; \\ \dot{I}_x = I_{2m}e^{j(\omega t + \alpha x)}. \end{cases}$$

Agar u_x va i_x o'zgaruvchanlarni haqiqiy qiymatga o'tkazadigan bo'lsak, u holda quyidagi ko'rinishlarni olamiz:

$$\begin{cases} u_x = U_{2m} \sin(\omega t + \alpha x); \\ i_x = I_{2m} \sin(\omega t + \alpha x). \end{cases} \quad (10.11)$$

Demak, liniyaning har bir kesimida kuchlanish va tok o'zaro sinfaz bo'lib, vaqt bo'yicha sinusoidal qonunda o'zgaradi. u_x (i_x) ning fazasi manbadan uzoqlashgan sari u_1 (i_1) fazasidan $\alpha(l-x)$ burchakka orqada qoladi. Bu degani, kuchlanish (tok) to'lqini manbadan yuklama tomon $V = 1/\sqrt{LC}$ tezlikda harakatlanadi. u_x va i_x larning faza mosligi hisobiga liniya manba uchun aktiv qarshilik hisoblanadi, ya'ni:

$$R_{kir} = \rho = U_{m1}/I_{m1}$$

Real liniyalarda u_x va i_x larning amplitudalari yuklama tomon yaqinlashgan sari

$$\begin{cases} \dot{U}_{mx} = U_{m1} e^{-\beta(l-x)}; \\ \dot{I}_{mx} = I_{m1} e^{-\beta(l-x)}, \end{cases} \quad (10.12)$$

qonun bo'yicha kamayadi. Bu yerda, $\beta = \frac{R_1}{2\rho} = \frac{G_1}{2}$ – liniya bo'ylab tarqalganda energiya sarfini xarakterlaydigan so'nish koefitsiyenti.

10.8. Antenna fiderida turuvchi to'lqin rejimi

Liniyada turuvchi to'lqinlar rejimi yuklama bilan liniya muvofiqlashganda o'rnatiladi (masalan, liniya oxirida qisqa tutashev yoki uzilish bo'lganda). Oxirgi holatda, ya'ni $Z_A \rightarrow \infty$, $I_A = 0$ da qaytgan to'lqin vujudga kelib, ularning oniy qiymati (10.10) ifodani hisobga olganda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} u_x &= (U_{m2} \cos \alpha x) \sin \omega t; \\ i_x &= \left(\frac{U_{m2} \sin \alpha x}{\rho} \right) \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned} \quad (10.13)$$

Shu bilan birga bu rejimda liniyaning har bir kesimida u_x va i_x lar vaqt bo'yicha sinusoidal qonunda o'zgarib, ular orasidagi faza siljisi 90° bo'ladi. Liniya bo'ylab $u_x(i_x)$ ning amplitudasi ni o'zgarishi tushuvchi (padayushchiy) va qaytuvchi to'lqinlarning interferensiyasi bilan tushuntiriladi, ya'ni liniyaning sinfazli nuqtalarida maksimum kuchlanish (tok), qarama-qarshi fazali nuqtalarida esa minimum kuchlanish (tok) vujudga keladi. Bunda $u_x(i_x)$ ning fazasi liniyaning hamma kesimida bir xil bo'ladi, ya'ni kuchlanish (tok) bitta vaqt onida maksimum yoki minimumga erishadi. Bu to'lqinning fazoviy harakatsizligi bilan teng kuchli bo'lib, rejim nomi shundan kelib chiqqan. Isrofsiz uzuq liniya u_x va i_x orasidagi faza siljishi hisobiga reaktiv xarakterda bo'ladi ($x = l$), ya'ni;

$$Z_{kir} = i_{xkir} = -ip \operatorname{ctg} \alpha l. \quad (10.14)$$

10.9. Antenna fiderida aralash to'liqlar rejimi

Agar antenning R_A aktiv qarshiligi liniyaning to'liqlar qarshiligi ρ bilan mos bo'lmasa, u holda liniyada aralash to'liqlar rejimi vujudga keladi. Uning xarakteristikasi uchun yuguruvchi (K_{yug}) va turuvchi (K_{tur}) to'liqlar koeffitsiyentlari kiritiladi. $R_A > \rho$ da $K_{yug} = R_A / \rho$, $K_{tur} = \rho / R_A$ bo'lib, $R_A < \rho$ da esa, K_{yug} va K_{tur} lar R_A va ρ bilan teskari munosabatda bo'ladi.

Fider orqali energiyani uzatishning samaradorligi chiqishdagi (antennada) quvvatni ($R_2 = 0,5 U_{2m} I_{2m}$) kirishdagi quvvatning ($P_1 = 0,5 U_{1m} I_{1m}$) nisbatiga teng bo'lgan FIK bilan xarakterlanadi. Yuklama bilan moslashtirilgan liniyada ($R_A = \rho$), isroflarni hisobga olganda ($R_1 \neq 0$, $G_1 = 0$), (10.12) ifodaga muvofiq:

$$\eta_F = \frac{R_2}{R_1} = e^{-\beta l} \quad (10.15)$$

bo'ladi.

Agar liniya yuklama bilan muvofiqlashmagan bo'lsa (ya'ni, $R_A \neq \rho$), u holda qaytuvchi va tushuvchi to'liqlar interferensiya hisobiga R_2 va η_F larning yana qo'shimcha kamayishi kuzatiladi. Ya'ni:

$$\eta_F = \frac{4K_{erk} e^{-bl}}{(K_{erk} + 1)^2 - (1 - K_{erk})^2 e^{-4bl}}. \quad (10.16)$$

Fiderning FIKini ko'paytirish uchun, qaytgan to'liqlarni kompensatsiyalab, shu bilan birga yuguruvchi to'liqlar rejimini ta'minlaydigan moslashtiruvchi qurilmalardan foydalanib, turuvchi to'liqlar koeffitsiyenti kamaytiriladi. Bunday qurilmalarga to'rt to'liqlinli transformatorlar va qisqa tutashgan shleyflar kiradi.

Konstruksiya nuqtayi nazardan qaraganda, fiderlar ikki o'tkazgichli va koaksiyal liniyalar ko'rinishida amalga oshiriladi. Ikki o'tkazgichli liniyalar past, o'rta va yuqori chastota uzatgichlarida qo'llanilib, uning to'liqlar qarshiligi:

$$\rho = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\xi}} \ln \frac{d}{r}}{\pi}, \quad (10.17)$$

bo'ldi. Bu yerda, E , μ – izolyatorning mos ravishda dielektrik va magnit singdiruvchanligi.

Juda katta yuqori chastotalarda nurlanishdagi (antenna effekti) isrofnı bartaraf qilish uchun to'liqın qarshiligi:

$$\rho = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\xi}} \ln \frac{D}{\alpha}}{2\pi}. \quad (10.18)$$

ga teng bo'lgan koaksial liniyalar qo'llaniladi.

O'ta yuqori chastota oralig'ida energiya uzatgichdan antennaga maxsus volnovodlar bo'yicha uzatiladi.

Kalit so'zlar

1. Antenna – radioto'liqinlarni nurlatuvchi (uzatuvchi) va qabul qiluvchi qurilma.

2. Antenna fideri – uzatgich yoki qabul qilgichni antennaga ulashga xizmat qiladigan, yuqori chastota tebranishlari energiyasini iloji boricha isrofsiz uzatishga mo'ljallangan ikki o'tkazgichli (ba'zi hollarda murakkab) liniya yoki yuqori chastota kabeli.

3. Yuguruvchi elektromagnit to'liqınlar – manbadan iste'molchi (yuklama) tomon yo'nalish bo'ylab energiyani tarqatadigan to'liqınlar.

4. Uzatish liniyaning to'liqın qarshiligi – to'liqınlar tarqalayotgan liniyaning istalgan nuqtasidagi kuchlanishning tokka nisbati.

5. Uzun liniya – uzunligi odatda tarqalayotgan elektromagnit tebranishlari to'liqın uzunligidan anchagina katta bo'lgan elektr liniya.

6. To'liqınlar interferensiyasi – fazoda ikkita (yoki bir nechta) to'liqınlarning qo'shilishi natijasida, uning bir nuqtasida natijaviy to'liqınlar amplitudasi kuchayib, boshqa bir nuqtasida susayish hodisasi.

7. Yuguruvchi to'liqın koeffitsiyenti – yuguruvchi to'liqın rejimiga yaqinlashish darajasini xarakterlovchi koeffitsiyent

bo'lib, u yuguruvchi to'liqin rejimida birga, tik turuvchi to'liqin rejimida esa mos ravishda nolga teng bo'ladi.

8. Fiderning foydali ish ko'effitsiyenti – fider orqali antenna-ga o'tkazilayotgan quvvat qiymatini fiderga berilayotgan quvvat qiymatiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalik.

9. Tarqalgan parametrlil liniya – uzunlik birligida parametri tarqalgan (liniya uzunligi bo'ylab induktivlik va qarshilik, ko'ndalang yo'nalishda esa sig'im va o'tkazuvchanlik) elektr zanjiri.

10. Teskari fazali to'liqinlar – boshlang'ich fazalari o'zaro 180° ga siljigan to'liqinlar.

11. Tik turuvchi to'liqinlar dastasi – tarqalgan parametrlil liniyaning tik turuvchi to'liqin amplitudasi maksimumga teng bo'lgan nuqtasi.

12. Yuguruvchi to'liqin rejimi – yuklama unga yo'naltirilgan energiyani qaytarmay to'liqligicha o'zida singdiradigan rejim (muvofiqlangan yuklama).

13. Tik turuvchi to'liqin rejimi – yuklama unga yo'naltirilgan energiyani to'liqligicha qaytaradigan rejim.

14. Sinfazli to'liqinlar – boshlang'ich fazalari o'zaro mos bo'lgan to'liqinlar.

15. Tik turuvchi elektromagnit to'liqinlar – tarqalgan parametrlil liniyalarda amplitudalari bir xil ammo tarqalish yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lgan ikkita yuguruvchi to'liqinlar interferensiyasi natijasida yuzaga keladigan to'liqinlar

16. Tik turuvchi to'liqin tuguni – tarqalgan parametrlil liniyaning tik turuvchi to'liqin amplitudasi nolga teng bo'lgan nuqtasi.

Nazorat savollari

1. *Antenna fiderining ta'rifini bering.*
2. *Antenna fiderida bo'ladigan to'liqin jarayonlar nimaga asoslangan?*
3. *Liniyaning to'liqin qarshiligi va uzatish o'zgarmas ko'effitsiyentining fizik ma'nosini tushuntiring.*
5. *So'nish va faza ko'effitsiyentlarining fizik ma'nosini tushuntiring.*
6. *Qanday holatlarda fiderda yuguruvchi, tik turuvchi va aralash to'liqinlar rejimi vujudga keladi?*

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Казаринова Ю.М. Радиотехнические системы: Учебное пособие для вузов / Под Ред. –М.: Высшая школа, 1990.
2. Калмыкова В.В.. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов / Под ред. –М.: 1990.
3. Волков В.В. Радиопередающие устройства. 2002.
4. Шмитинский В.В., Глушко В.П. Многоканальные системы передачи. –М.: Маршрут. 2002.

Mundarija

Kirish	3
I bob. Radioaloqa haqida umumiy ma'lumot	7
II bob. Konturda erkin tebranishlar	
2.1. Ideal konturda erkin tebranishlar	12
2.2. Ideal konturdagi erkin tebranish xususiyatlari	15
2.3. Real konturda erkin tebranishlar	17
III bob. Ketma-ket konturda majburiy tebranishlar	
3.1. Umumiy ma'lumotlar	22
3.2. Ketma-ket konturda rezonans	27
3.3. Ketma-ket konturning kirish qarshiligi	31
3.4. Ketma-ket konturning amplituda – chastota tavsifi	36
3.5. Ketma-ket konturning amalda qo'llanilishi	42
IV bob. Parallel konturda majburiy tebranishlar	
4.1. I turdagi parallel kontur	44
4.2. Parallel konturning II, III va umumiy turlari	48
4.3. Parallel konturda rezonans	51
4.4. Parallel konturning kirish qarshiligi sozlanmaganda	54
4.5. Rezonansda va sozlanmaganlikda parallel konturning kuchlanishini uzatish koeffitsiyenti	59
V bob. Bog'langan konturlarda majburiy tebranishlar	
5.1. Bog'langan konturlarning sxemalari	63
5.2. Bog'lanish koeffitsiyenti	65
5.3. Bog'langan konturlarning kirish qarshiligi	68
5.4. Xususiy rezonanslar	70
5.5. Bog'langan konturlarning amplituda – chastota tavsifnomasi	73
5.6. Konturlarning o'tkazuvchanlik polosasi	80
VI bob. Elektr filtrlar	
6.1. Elektr filtrlarning klassifikatsiyasi va ko'rsatkichlari	83
6.2. Past chastotali filtrlar	88
6.3. Yuqori chastotali filtrlar	93
6.4. Polosali va to'suvchi filtrlar	96

6.5. <i>m</i> turidagi filtrlar	99
6.6. Elektromexanik filtrlar	103

VII bob. Elektromagnit to‘lqinlari va ularning nurlanishi

7.1. Elektromagnit maydon nazariyasining boshlang‘ich qoidalari	108
7.2. Nur, front va elektromagnit to‘lqinining qutblanishi	115
7.3. Qabul qilish nuqtasida elektr maydon kuchlanganligini aniqlash	120
7.4. Elektromagnit to‘lqinining qutblanishi tushunchasi	122
7.5. Elektromagnit to‘lqinning kuchsizlanish ko‘paytiruvchisi va uning tashkil etuvchilari	122

VIII bob. Radioto‘lqin uzatgichlar va hajmli rezonatorlar

8.1. To‘lqin uzatgichda kuchlanish va tok	130
8.2. To‘lqin uzatgichlarda elektr va magnit maydonlari	135
8.3. Hajmli rezonatorlar	139

IX bob. Turli diapazondagi radioto‘lqinlarning tarqalishi

9.1. Radioto‘lqin tarqalishiga ta’sir etuvchi atmosfera va yer sathining xususiyatlari	145
9.2. Radioto‘lqinni yer ustida atmosferada tarqalishining umumiy qonuniyatlari	151
9.3. Kilometrli (1–10 km) to‘lqinlarda radioaloqa	155
9.4. Gektometrli (100–1000 m) to‘lqinlarda radioaloqa	157
9.5. Dekametrlil (10–100 m) to‘lqinlarda radioaloqa	158

X bob. Antennalar

10.1. Nurlovchi sistemalar	161
10.2. Simmetrik vibratorlar (dipollar)	164
10.3. Uzun va o‘rta to‘lqin antennalar	169
10.4. Qisqa to‘lqin antennalar	172
10.5. Ultraqisqa to‘lqin antennalar	177
10.6. Radiochastota toki energiyasini uzatish	183
10.7. Antenna fiderida yuguruvchi to‘lqinlar rejimi	184
10.8. Antenna fiderida turuvchi to‘lqin rejimi	185
10.9. Antenna fiderida aralash to‘lqinlar rejimi	186

Foydalanilgan adabiyotlar	189
---------------------------------	-----

**A.A. Xalikov, F.F.Umarov,
A.U. Tursunboyev**

RADIOTEXNIKA ASOSLARI

*Muharrir N. Artiqova
Badiiy muharrir M. Odilov
Kompyuterda sahifalovchi A. Tillaxo'jayev*

Nashr lits. AI № 174, 11.06.2010.
Bosishga ruxsat 27.08.2013da berildi. Bichimi 60×84¹/₁₆.
Ofset qog'ozi №2. Times garniturası. Shartli b.t. 11,16.
Nashr-hisob t. 12. Adadi 634 dona.
35-buyurtma.

«IQTISOD-MOLIYA» nashriyotida tayyorlandi.
100084. Toshkent. Kichik halqa yo'li, 7-uy.

«HUMOYUNBEK-ISTIQLOL MO'JIZASI» bosmaxonasida
ofset usulida chop etildi.
100003. Toshkent. Olmazor, 171-uy.