

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI

ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELEKTR MASHINALARI
fanidan amaliy mashg‘ulotlar o‘tkazish uchun
metodik qo‘llanma

TOSHKENT 2015

Mustafakulova G.N., Tuychibayev O.A.

Elektr mashinalari fanidan amaliy mashg'ulotlarni o'tkazish uchun metodik qo'llanma. –T.: ToshDTU, 2015, - 44 b.

Mazkur metodik qo'llanmada elektr mashinalarining sinxron mashinalariga oid amaliy mashg'ulotlarda va mustaqil ta'lim uchun $n = n_N$ yoki $f = f_N$ va $\varphi = const$ bo'lgandagi yakor zanjiri kuchlanishi – U_a va toki – I_a , hamda qo'zg'atish toklari I_q turg'un ish rejimlaridagi bog'liqligini ko'rsatuvchi – rostlash, tashqi va V–simon xarakteristikalarini Potye diagrammasi asosida qurish namunasi ko'rsatilgan va mustaqil yechish uchun variantlar berilgan.

Qo'llanma «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari», «Elektr energetikasi», va «Kasb ta'limi (elektr energetikasi)» hamda «Kon elektromexanikasi» yo'nalishlarining talabalari uchun mo'ljallangan.

Taqrizchilar: U.T. Berdiyev – Toshkent temir yo'l muhandislari institutining «Elektr transporti va yuqori tezlikdagi elektr harakat tarkibi» kafedrasini mudiri dotsent, t.f.n.

A.T. Imomnazarov – Toshkent Davlat Texnika Universiteti «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari» kafedrasini dotsenti, t.f.n.

Kirish

O‘zbekiston Respublikasining kelajakda rivojlanishining asosiy masalalaridan biri, xalq xo‘jaligining turli sohalari uchun malakali mutaxassislar tayyorlashdir. Buning uchun oliy o‘quv yurtlarida o‘quv jarayonini yanada takomillashtirish, talabalarni mustaqil ishlashga o‘rgatish, kasbiy qobiliyatlarini rivojlantirish lozim bo‘ladi. Talabalarni o‘quv yili davomida tekshirib borish, bajarilayotgan uy vazifalarini va mustaqil ishlarini kuzatib borish, dars vaqtida ta‘lim olishda aktiv bo‘lishlarini o‘rgatish, ularning chuqur bilimli mutaxassis bo‘lishlariga olib keladi. Talabalarning mustaqil ish, uy ishlarini va dars vaqtlarida qanday bilim olayotganlarini tekshirib turishning shakllaridan biri amaliy mashg‘ulotdir.

Metodik qo‘llanma «Elektr mashinalari» va «Elektr mexanika» fanlarini o‘rganuvchi barcha yo‘nalishdagi talabalarga amaliy mashg‘ulotlarda, hamda mustaqil ish masalalarni yechishda yordam beradi.

1. Sinxron generatorning xarakteristikallari haqida umumiy tushunchalar.

Sinxron generatorning turli xarakteristikallari ichida $n = n_N$ yoki $f = f_N$ va $\varphi = const$ bo'lgandagi yakor zanjiri kuchlanishi – U_a va toki – I_a , hamda qo'zg'atish toklari I_q turg'un ish rejimlaridagi bog'liqligini ko'rsatuvchi – rostdash, tashqi va V–simon xarakteristikallari alohida o'rin tutadi. Bu xarakteristikalar sinxron generatorlarning asosiy ish xossalarni aniq ko'rsatib beradi.

Sinxron generator EYK larining amaliy (Potye) diagrammasi.

Nominal yuklama bilan ishlab turgan SG ning yuklamasi birdaniga uzib qo'yilgandan keyin rotorning aylanish chastotasi va qo'zg'atish tokining qiymati o'zgartirilmay qoldirilsa SG ning chiqish klemmalaridagi kuchlanish nominal qiymatiga nisbatan ΔU kattalikka oshadi. Buni grafik usulda *EYK larning amaliy (Potye) diagrammasidan* aniqlash mumkin.

Buning uchun bitta grafikda salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikallari quriladi. Amaliy diagrammada kattaliklar nisbiy birliklarda beriladi va uni aktiv-induktiv xarakterli yuklama ulangan noayon qutbli sinxron generator uchun qurish tartibi quyidagidan iborat:

1) Ordinatalar o'qiga $OA = \underline{U}_N$ vektori chiziladi;

2) kuchlanish \underline{U}_N dan φ_N burchakka orqada qoluvchi \underline{I}_{1N} vektori chiziladi;

3) \underline{U}_N vektorga mashinaning aktiv ($\underline{I}_{1N} \cdot r_1$) va induktiv ($j \underline{I}_{1N} \cdot x_p$) qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishi vektorlarini geometrik qo'shib nominal yuklamada ishlayotgan SG ning EYK $OC = \underline{E}_{yu}$ aniqlanadi, ya'ni

$$\underline{E}_{yu} = \underline{U}_N + \underline{I}_{1N} \cdot r_1 + j \underline{I}_{1N} \cdot x_p,$$

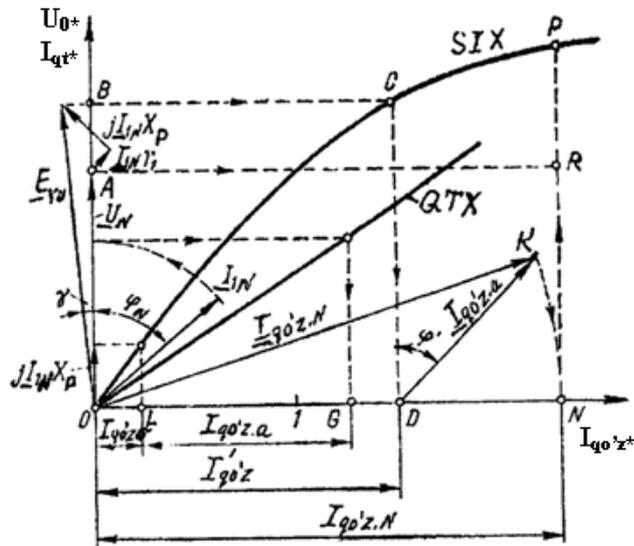
bunda x_p – reaktiv uchburchagidan aniqlangan Potye qarshiligi (bu qarshilik odatdagi tarqoq induktiv qarshilikdan nisbatan kattaroq bo'lib qo'zg'atish chulg'amida hosil bo'lgan tarqoq magnit oqim tufayli magnit o'zakning qo'shimcha magnit to'yinishini hisobga oladi);

4) O nuqtadan OC radiusida chizib ordinatalar o'qida B nuqta hosil qilinadi va undan abstsissalar o'qiga yordamchi (punktir) parallel chiziq o'tkazamiz va uning salt ishlash xarakteristikasi bilan kesishgan nuqtasini «K» bilan belgilab, bu nuqtadan abstsissalar o'qiga perpendikulyar bo'lgan yordamchi (punktir) chiziq o'tkazib D nuqta

hosil qilinadi va EYK \underline{E}_{yu} ni hosil qiluvchi qo'zg'atish toki $0D = I'_{qo'z}$ aniqlanadi. SG salt ishlagandagi EYK \underline{E}_0 yuklama ulangan mashinaning EYK \underline{E}_{yu} dan bo'ylama yakor reaksiyasi EYK \underline{E}_{ad} qiymatga katta bo'ladi, ya'ni

$$\underline{E}_0 = \underline{E}_{yu.N} + \underline{E}_{ad};$$

5) yakor reaksiyasi EYK \underline{E}_{ad} qiymatni hisobga olish uchun yakor reaksiyasining bo'ylama magnitsizlovchi ta'siriga mos keladigan qo'zg'atish toki $I_{qo'z.a}$ ni aniqlaymiz (buning kattaligi 1-rasmda qisqa tutashuv tajribasidan grafik usulda aniqlangan mashina bo'ylama yakor reaksiyasini kompensatsiyalovchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z.a}$ kabi aniqlanadi); bu kattalik 1-rasmda boshqa masshtabda $LG=I_{qo'z.a}$ belgilangan;



1-rasm. Noayon qutbli sinxron generator EYK larining amaliy (Potye) diagrammasi

6) so'ngra D nuqtadan CD ga $\varphi' = \varphi + \gamma$ burchak ostida vektor $\underline{DK} = I_{qo'z.a}$ ni o'tkazamiz. Markaz 0 dan OK radius bilan abstsissalar o'qi bilan N nuqtada kesishguncha yoy chiziladi. U holda $0N = I_{qo'z.N}$ qo'zg'atish tokining qiymati EYK $E_0 = NP$ ga mos keladi. A nuqtadan abstsissalar o'qiga parallel qilib AR chiziqni o'tkazib izlanayotgan ΔU_N ni olamiz:

$$\Delta U_N = [(NP - NR) / NR] \cdot 100 = [(E_0 - U_N) / U_N] \cdot 100.$$

1.1. Tashqi xarakteristikalar

Bu xarakteristikalar qo'zg'atish toki $I_{qo'z}=\text{const}$, $f=\text{const}$ (demak, aylanish chastotasi $n=n_N=\text{const}$) va $\cos\varphi=\text{const}$ bo'lganda generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish U_1 ning yuklama toki I_1 ga bog'liq holda o'zgarishini ko'rsatadi, ya'ni $U_1=f(I_1)$.

SG ning tashqi xarakteristikalari yuklamaning xarakteriga qarab har xil bo'ladi. 2-rasmda generatorning bu xarakteristikalari uch xil (aktiv, aktiv-induktiv va aktiv-sig'imiyy) xarakterli yuklamalarga tegishli $\cos\varphi$ uchun ko'rsatilgan. *Aktiv-induktiv* ($\varphi>0$) yuklamada mashina yakor reaksiyasining bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri tufayli yakor tokining ortishi bilan SG chiqish klemmasidagi kuchlanish kamayadi (bunda $E_0>U_1$), *aktiv-sig'imiyy* ($\varphi<0$) yuklamada esa yakor reaksiyasi mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi va I_1 tokning ortishi bilan kuchlanish ham ortadi (bunda $E_0<U_1$). Sof aktiv ($\varphi=0$) yuklamada esa yakor reaksiyasi mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha ta'sir qilib, bo'ylama o'qi bo'yicha yo'nalgan asosiy magnit oqimini deformatsiyalaydi, ya'ni uning qutb o'qiga nisbatan simmetrik taqsimlangan shaklini buzadi (bu holda burchak $\psi>0$ bo'ladi). Natijada rotorning aylanish yo'nalishiga bog'liq holda qutb o'qining bir tomonida magnit maydon susayadi, ikkinchi tomonida esa kuchayadi va mashina magnit zanjirining bu qismi magnit jihatdan to'yinadi. Bunda mashinaning *bo'ylama o'qi bo'yicha yo'nalgan* natijaviy magnit oqimi nisbatan kamayadi, demak, *bu holda ham* yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha bo'lar ekan. Shuning uchun yuklama toki I_1 ning ortishi bilan kuchlanish kamayadi ($E_0>U_1$).

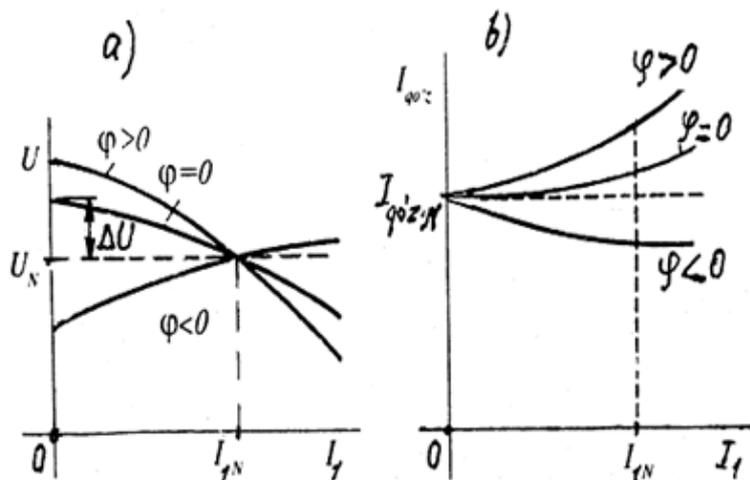
Agar SG ning tashqi xarakteristikasini tajribada olishda nominal yuklama ($I_1=I_{1N}$) dan salt ishlash rejimigacha kamaytirib olinsa, yakor reaksiyasi ta'sirining kamayishi tufayli kuchlanish oshadi ($U_0>U_{1N}$), agarda tashqi xarakteristikani tajribada olishda yuklamani nominalgacha oshirib olinsa unda kuchlanish ΔU ga kamayadi. Uning kattaligi foizda quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_{\%} = [(U_0 - U_{1N}) / U_{1N}] \cdot 100.$$

Odatda SG lar $\cos\varphi=0,85\div 0,9$ bilan kuchlanishdan orqada qoluvchi tokda ishlaydilar. Bu holda $\Delta U=20\div 30\%$ bo'ladi. Iste'molchilar nominal kuchlanish U_N va unga yaqin kuchlanish bilan ishlashi uchun

SG qo'zg'atishni avtomatik rostlash qurilmasi bilan ta'minlanib, kuchlanish rostlanib turiladi.

Bu xarakteristika agar qo'zg'atish toki va yuklamaning xarakteri o'zgarmas bo'lsa, yuklama toki oshgan sari generator qismlaridagi kuchlanishning o'zgarishini ko'rsatadi.



2-rasm. Sinxron generatorning yuklamasini kamaytirib olingan tashqi (a) va yuklamasini oshirib olingan rostlash (b) xarakteristikalari (bularda: $\varphi=0$ – aktiv, $\varphi>0$ – aktiv-induktiv va $\varphi<0$ – aktiv-sig'imiyl xarakterli yuklamalarga xos

Shu bilan birga φ burchagining oshishi bilan, ya'ni $\cos\varphi$ qiymati kamayishi bilan kuchlanish tushuvi oshadi.

Tashqi xarakteristikaga qarab, yuklamani nominaldan nolgacha o'zgarganda va qo'zg'atish toki o'zgarmagan holda generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish o'zgarishi ya'ni sinxron generator kuchlanishining nominal o'zgarishi – ΔU_N aniqlanadi:

$$\Delta U\% = \frac{E_{q0} - U_N}{U_N} \cdot 100\%.$$

1.2. Rostlash xarakteristikasi

Bu xarakteristika $U=U_N=\text{const}$, $\cos\varphi=\text{const}$ va $f=f_N=\text{const}$ bo'lganda, $I_{q0'z}=f(I_1)$ bog'liqlikni ifodalaydi.

2-rasmda SG ning uch xil xarakterli yuklamaga tegishli $\cos\varphi$ qiymatlari uchun *rostlash xarakteristikalari* ko'rsatilgan.

Aktiv-induktiv ($\varphi>0$) xarakterli yuklamada I_1 tokning ortishi bilan yakor reaksiyasining mashina bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi

ta'siri oshadi, sof aktiv ($\varphi=0$) yuklamada ham, tashqi xarakteristikaning tahlilida ta'kidlanganidek mashinaning bo'yлама o'qi bo'yicha nisbatan kam miqdorda magnitsizlovchi ta'sir qiladi va SG ning chiqish klemmlaridagi kuchlanish pasayadi, shartga ko'ra esa, $U_1=\text{const}$ bo'lishi uchun qo'zg'atish tokini oshirish zarur bo'ladi. Aktiv-sig'imi ($\varphi<0$) xarakterli yuklamada yakor reaksiyasi magnitlovchi ta'sir qilishi tufayli kuchlanish ortadi, bu holda $U_1=\text{const}$ bo'lishini ta'minlash uchun esa qo'zg'atish tokini kamaytirish kerak bo'ladi.

Rostlash xarakteristikasi, yuklamani o'zgartirganda yakor chiqish uchlaridagi U_a – kuchlanish o'zgarmay qolishi uchun qo'zg'atish tokini qanday rostlash kerakligini ko'rsatadi. Rostlash xarakteristikasining ko'rinishi yakor reaksiyasining ta'siriga ham bog'liq bo'ladi.

1.3. V- simon xarakteristikalar

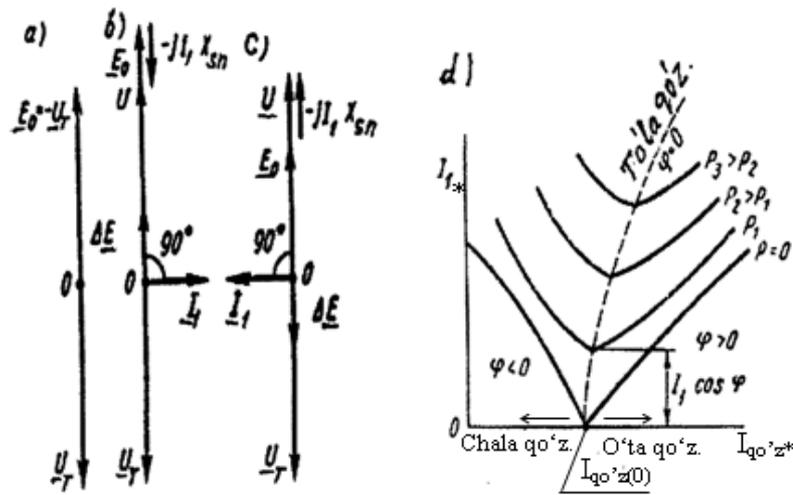
Kuchlanish $U=\text{const}$, $f_1=\text{const}$ va quvvat $P=\text{const}$ bo'lganda stator toki I_1 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligini, ya'ni $I_1=f(I_{qo'z})$ – sinxron mashinaning *V-simon xarakteristikalari* deyiladi.

Quyida elektr tarmog'i bilan parallel ulangan noayon qutbli SG ning salt ishlash (ya'ni $P=0$) rejimini ko'rib chiqamiz.

Generatorni tarmoqqa ulagandan so'ngra uning EYK \underline{E}_0 tarmoq kuchlanishi \underline{U}_T bilan muvozanatlashadi, ularning yig'indisi esa $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T = 0$ bo'ladi (3,a-rasm). Bu holda yakor zanjiridagi tok ham nolga teng bo'ladi, ya'ni salt ishlaydi. Agar mashinaning qo'zg'atish toki oshirilsa (o'ta qo'zg'atishda), E_0 oshadi va $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T > 0$ bo'ladi. Natijada yakor zanjirida I_1 tok hosil bo'ladi (3,b-rasm), bu tokning vektori EYK vektori \underline{E}_0 dan 90° ga orqada qoladi. Bunda elektromagnit quvvatning aktiv tashkil etuvchisi $E_0 \cdot I \cos\psi=0$ bo'ladi va generator faqat reaktiv quvvat ishlab chiqaradi va uni tarmoqqa beradi. Agar qo'zg'atish tokining qiymati oshirilsa reaktiv quvvatning qiymati oshadi, natijada EYK \underline{E}_0 ham ortadi.

Agar $\underline{E}_0=\underline{U}_T$ bo'lgan holda (3,c-pacm) qo'zg'atish toki kamaytirilganda EYK \underline{E}_0 ham kamayadi. Bu holda sinxron mashina chala qo'zg'atishli rejimda ishlaydi va teskari yo'nalishdagi kuchlanishlar farqi $\underline{\Delta U}$ vujudga keladi. Shu sababli yakor toki I_1 kuchlanish U dan 90° ga orqada qolib, EYK \underline{E}_0 dan esa $\psi=90^\circ$ oldinda keladi. Natijada reaktiv quvvat o'zining yo'nalishini o'zgartirib,

tarmoqdan generatorga uzatiladi. Qo‘zg‘atish tokining keyingi kamaytirilgan qiymatlarida esa yakor toki I_1 ortadi.



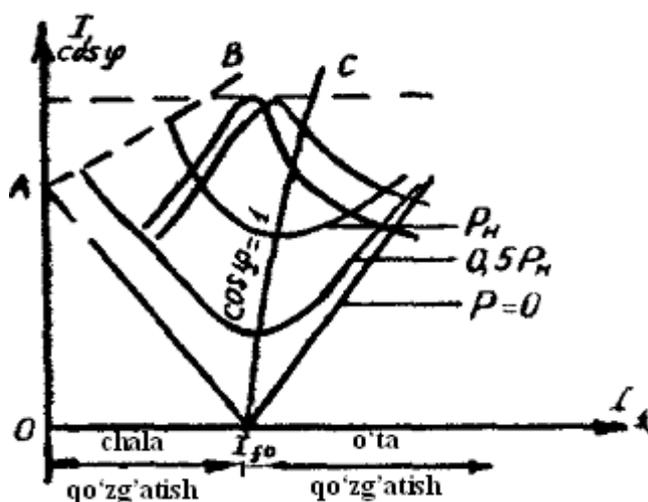
3-rasm. Aktiv yuklama $P=0$ bo‘lganda, tarmoq bilan parallel ishlayotgan noayon qutbli sinxron generatorning oddiy vektor diagrammalari (a, b, c) va V-simon xarakteristikalari

Shunday qilib, qo‘zg‘atish tokining o‘zgarishi, reaktiv quvvatning o‘zgarishiga olib keladi. O‘ta qo‘zg‘atish holatida ishlayotgan generator orqada qoluvchi tok, chala qo‘zg‘atish holatida esa oldinda keluvchi tok bilan ishlar ekan. 3,d-rasmda $I_1=f(I_{qo'z})$ bog‘liqlik, ya’ni V-simon xarakteristikalari ko‘rsatilgan. Yuklanish rejimda V-simon xarakteristikalaridagi yakor tokining minimum qiymati $\cos\varphi=1$ ga to‘g‘ri keladi. Generatorning tarmoqqa berayotgan aktiv quvvati P ortishi bilan V-simon xarakteristika oldingi aktiv quvvatda olingan mazkur xarakteristikadan yuqoriroqda joylasha boradi (3-rasm), chunki aktiv quvvatning ortishi stator tokining aktiv tashkil etuvchisini oshiradi. Bunda yakor tokining minimum nuqtalari ($\cos\varphi=1$) o‘ngga tomon siljiydi. Bunga sabab, aktiv quvvatning ortishi bilan stator toki aktiv tashkil etuvchisi I_{1a} ning ortishi tufayli statoridagi $I_{1a}x_{sn}$ kuchlanish pasayishi ham ortadi. Tarmoq kuchlanish $U_T=const$ bo‘lganligidan yoki oshayotgan $I_{a}x_{sn}$ kuchlanish pasayishini qoplash uchun qo‘zg‘atish tokini oshirib EYK \underline{E}_0 ni ham ko‘paytirishga to‘g‘ri keladi, chunki $\underline{E}_0=\underline{U}_1+jI_{1a}x_{sn}$.

4-rasmda $I, \cos\varphi=f(I_q)$ ayon qutbli sinxron generatorning V-simon xarakteristikalar aktiv quvvatning turli qiymatlari uchun berilgan.

Yakor tokining minimal qiymati har bir egrilik uchun shu tokning aktiv tashkil etuvchisini va quvvat kattaligini $P=mUI_a$ aniqlaydi.

Xarakteristikaning pastdagi egrilik $P=0$, ya'ni sinxron generatorning salt ishlashiga to'g'ri keladi. I_{qN} – qo'zg'atish tokining $E_q=U_N$ dagi qiymati.



4-rasm. Ayon qutbli sinxron generator V-simon xarakteristikalari

Xarakteristikadagi I_{qN} nuqtadan o'ng tomoni o'ta qo'zg'atish ($E_0 > U_T$) bo'lib, manbaga induktiv tok va reaktiv quvvat beradi.

Xarakteristikaning I_{qN} dan chap tomoni chala qo'zg'atish ($E_0 > U_T$) bo'lib, manbaga sig'im tok berib, reaktiv quvvat oladi. Minimum nuqtasini birlashtiruvchi xarakteristikalar oilasini $I_a = f(I_q)$, quvvatni oshirganda o'ng tomonga DS egrilik egiladi, chunki $IR_a + jIx_\sigma$ kuchlanish tushishi natijasida havo oralig'idagi EYK E_δ va $\cos\varphi=1$ bo'lgandagi qo'zg'atish toki oshadi.

DC- $\cos\varphi=1$ bo'lgandagi $I_q = f(I_a)$ sinxron generator rostdash xarakteristikasini beradi. A nuqta chala qo'zg'atishli mashinaning salt ishlash holatiga to'g'ri keladi. Bunda mashina manbadan magnitlovchi tok oladi:

$$I_a = \frac{U_\phi}{x_d} \quad (1)$$

AB egri chizig'ining chap tomonida sinxron generator sinxronizmdan chiqib ketadi. Mashina sinxronizmdan chiqadigan I_{qmin} – qo'zg'atish tokining minimum qiymati, mashinaning to'g'rilangan salt ishlash nominal nuqtasidan EYK ning E_{min} qiymati orqali aniqlanadi. E_{min} aktiv quvvat tenglamasidan analitik aniqlanadi. Hisoblar nisbiy birliklar tizimida (n.b.t) olib boriladi:

$$P = P_N = \frac{m \cdot U_N \cdot E_{\min}}{x_d} \sin \theta'_m + \frac{m U_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta'_m. \quad (2)$$

$\theta'_m = I_{q\min}$ to'g'ri keladigan kritik burchak 10–rasmdan topiladi. $U_N^*=1$ va $P_N = \cos \varphi_N$ deb olib, quyidagini hosil qilamiz:

$$E_{\min} = \frac{x_d}{\sin \theta'_m} \left[\cos \varphi_N - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta'_m \right] \quad (3)$$

O'ta qo'zg'atish rejimida qo'zg'atish tokining qiymati qo'zg'atish chulg'aming ruxsat etilgan qizishi bilan kifoyalanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, ayon qutbli sinxron mashinalar yuklama tushib ketish davrida manbadan induktiv tok va reaktiv quvvat olish kerak bo'lganida, sinxronizmdan chiqib ketmasdan, manfiy qo'zg'atish rejimida ham ishlay oladi. Turg'unlik chegarasiga to'g'ri keladigan manfiy chegaraviy (predel) qo'zg'atish toki va chegaraviy rotor burchagi qiymatlari quyidagiga aniqlanadi:

$$-I_{fT} = -\frac{x_d P_{\Sigma}}{U_N \sin \theta_{TP}} - U_N \left(\frac{x_d}{x_q} - 1 \right) \cos \theta_{np}, \quad (4)$$

$$\theta_T = \arcsin \left[\frac{P_{\Sigma}}{U_N^2 \left(1/x_q - 1/x_d \right)} \right]^{1/3},$$

bu yerda P_{Σ} – mexanik isrof yig'indisi (n.b.t).

1.4. Burchak xarakteristikasi, sinxronlovchi quvvat koeffitsiyenti va statik o'ta yuklovchanlik

$U_N = \text{const}$, $f_N = \text{const}$, $I_q = \text{const}$ bo'lgandagi elektr magnit aktiv quvvatni P_{em} burchak θ ga bog'liqligi, $P_{em} = f(\theta)$ burchak xarakteristikasi deyiladi.

Burchak xarakteristikasi, tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron mashinani ekspluatatsion xarakteristikalariga baho berishga imkon beradi. Shu bilan birga bu xarakteristika orqali statik o'ta yuklanishni baholaydigan asosiy ko'rsatkichlar aniqlanadi.

Tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning aktiv quvvati mashina valiga berilayotgan tashqi aylanuvchi moment orqali aniqlanadi. Turg'un rejimda (rotor sinxron tezlikda aylanayotgan bo'lsa) tashqi moment har doim M_{em} – elektr magnit momentning yig'indisi va M_o – salt ishlash momentlari bilan muvozanatda bo'ladi va aktiv quvvat $P=M_{em}\omega$ bo'ladi, bu yerda $\omega=2\pi n/60$ magnit maydonining burchak tezligi (n -tezlik [ayl/min]).

Agar qo'zg'atish toki o'zgartirilmasa $I_q=\text{const}$, hamda (to'yinishni hisobga olmaganda) $E_q=\text{const}$ bo'lsa, aktiv quvvatni rostlayotganda va parallel rejimda ishlayotgan sinxron generatorning kattaliklaridan faqat θ burchak o'zgaradi.

Aktiv quvvatning quyidagi tenglamasi orqali burchak xarakteristikasini hisobi va qurilishi amalga oshiriladi:

$$P = \frac{mU_N E_q}{x_d} \sin \theta + \frac{mU_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta, \quad (5)$$

bu yerda: E_q – sinxron mashina EYK 5-rasmdan to'g'rilangan salt ishlash xarakteristikasining nominal qiymati orqali topiladi; x_d, x_q – ko'ndalang va bo'ylama o'qlar bo'yicha sinxron induktiv qarshiliklar.

Aktiv quvvatning tenglamasi ikkita tashkil etuvchidan iborat, bittasi $mU_N E_q / x_d$ amplituda $\sin\theta$ ga proporsional o'zgaradi va asosiy deyiladi, ikkinchisi – $\frac{m \cdot U_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right)$ amplitudali $\sin 2\theta$ ga proporsional o'zgaradi va reaktiv (yoki qo'shimcha) deyiladi.

Aktiv quvvatning birinchi tashkil etuvchisi $E_q \neq 0$ bo'lganda qo'zg'atilgan mashinada, ikkilamchisi – faqat ayon qutbli sinxron mashinada bo'ladi, ya'ni $x_d \neq x_q$. Ayon qutbli mashinada birlamchi tashkil etuvchining amplitudasi ikkilamchi tashkil etuvchining amplitudasiga nisbati qancha katta bo'lsa birlamchi tashkil etuvchining ahamiyati shuncha katta bo'ladi:

$$n = \frac{2E_q x_q}{U(x_d - x_q)} \quad (6)$$

(7) tenglamadan θ bo'yicha hosilasini olib va 0ga tenglashtirilib,

$$\theta_m = \pm \arccos \frac{\sqrt{n^2 + 32} - n}{8} \quad (7)$$

hosil qilamiz, shu burchakda quvvat ekstremal bo‘ladi. Burchak θ_m va maksimal quvvat P_m larni grafik ravishda topilsa aniqlik darajasi yuqori bo‘ladi.

Nominal qo‘zg‘atishda va nominal kuchlanishda $\theta_m - M$ nuqtaning abtsissasidan, $P_m - M$ nuqtaning ortdinasidan topiladi (10-rasm). Sinxron generator uchun $\theta_m = 70 \div 80^\circ$ bo‘ladi.

Sinxron generator $0 < \theta < \theta_m$ oraliqda turg‘un ishlaydi.

θ_N – nominal burchakni ikki usul bilan aniqlash mumkin: a) burchak xarakteristikasidan quvvat nominal bo‘lganda grafik ravishda aniqlash, n.b.t.: $P_{N*} = \cos \varphi_{N*}$ b) elektr magnit quvvat tenglamasidan θ_N ni analitik aniqlash:

$$\theta_N = \arctg \frac{x_q \cos \varphi_N}{1 + x_q \sin \varphi_N} \quad (8)$$

(5) tenglamadan ko‘rinadiki, qo‘zg‘atish tokining oshishi va x_d ni kamayishi bilan quvvatning maksimal qiymati oshadi. Shuning uchun sinxron mashina loyihalashtirilayotganda o‘lchovlarni shunday tanlash kerakki, bunda maksimal quvvat nominal quvvatdan katta qilib olinishi va generator kerakli paytda o‘ta yuklanishga chidamli bo‘lishi kerak.

Elektr tarmog‘i bilan parallel ishlayotgan SG ning normal ish rejimi buzilsa, uning sinxron ishlashini ta‘minlovchi sinxronlovchi quvvat va moment bo‘lishi kerak, bu holda SG yuklanish burchagi θ ning ma‘lum bir o‘zgarish oralig‘ida o‘zining normal ishlashini saqlaydi. Demak, generatorga berilayotgan mexanik quvvat va uning elektromagnit quvvati orasidagi muvozanat buzilganda, generatorning sinxron ish rejimini tiklovchi quvvatga ***sinxronlovchi quvvat*** deyiladi.

Ayon qutbli sinxron mashina uchun sinxronlovchi quvvat

$$P_s = (mU E_o / x_d) \cdot \cos \theta + [m U^2 (1/x_q - 1/x_d)] \cdot \cos 2\theta, \quad (9)$$

sinxronlovchi moment esa

$$M_s = [mUE_o / (\omega_1 x_d)] \cdot \cos \theta + [(m U^2 / \omega) \times \\ \times (1 / x_q - 1 / x_d)] \cdot \cos 2\theta \quad (10)$$

$U_1=U_N$ ba $I_{qo'z}=I_{qo'z.N}$ bo'lganda maksimal quvvat P_{max} ning nominal quvvat P_N ga nisbatiga sinxron mashinaning *ortiqcha yuklama bilan ishlash qobiliyati* deyiladi va $k_{o.yu}$ bilan belgilanadi:

$$k_{o'.yu} = P_{max} / P_N = M_{max} / M_N . \quad (11)$$

$U_N = const, f_N = const, I_q = const$ bo'lganda $P_s = f(\theta)$ xarakteristikasi 10-rasmda berilgan.

1-Amaliyot mashg'uloti. Xarakteristikalarini qurish. Potye diagrammasini qurish tartibi

Rostlash, tashqi va V–simon xarakteristikalarini analitik va vektor diagrammalar yordamida qurish mumkin. Ushbu uslubiy qo'llanmada bu xarakteristikalarini Potye diagrammasi yordamida qurish tartibi ko'rsatilgan.

Potye diagrammasini va boshqa xarakteristikalarining hisobi va qurilishi nisbiy birliklar tizimi (n.b.t.) da olib boriladi. Bazis kattaliklar sifatida: nominal kuchlanish - U_N , nominal yakor toki - I_N , salt ishlashdagi nominal kuchlanishni ta'minlovchi qo'zg'atuvchi MYK - F_{q0} va shunga to'g'ri keladigan qo'zg'atuvchi tok I_{q0} berilgan.

Potye diagrammasini qurish uchun, salt ishlash xarakteristikasi, F_a - yakor MYK, k_{ad} - bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasi koeffitsiyenti, x_p - yakor chulg'ami hisobiy qarshiligi kerak bo'ladi.

$$x_p = x_\sigma + 0,053 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{F_a}{F_\delta} \quad (12)$$

bu yerda: x_σ - yakor chulg'aming tarqoq induktiv qarshiligi. Yakor chulg'aming aktiv qarshiligining ta'sirini hisobga olmaymiz (5-rasm).

Qurish tartibi:

1. Ordinata o'qi bo'yicha U_N vektor qo'yamiz (\overline{OA});
2. Kuchlanish vektoridan φ_N burchak bo'yicha I_N tokning vektorini qo'yamiz;

3. A nuqtadan I_N tok vektoriga perpendikulyar qilib, kuchlanish vektoriga $jI_N x_p$ (\overline{BA}) induktiv kuchlanish tushuvini qo'yamiz. $jI_N x_p$ vektori, tok vektoridan 90° ga oldinda keladi. Hosil bo'lgan \overline{OB} vektori natijaviy EYK E_δ ni beradi va u kuchlanish vektori γ burchakdan oldinda keladi;

4. E_δ – EYK ni hosil qilish uchun kerak bo'ladigan qo'zg'atuvchi MYK ni salt ishlash xarakteristikasidan topamiz, buning uchun koordinata o'qining boshidan OB radius bo'yicha yoyni ordinata v nuqtada kesishgunicha chizamiz va uni salt ishlash xarakteristikasi bilan kesishtirib, C nuqtani olamiz, C nuqtani abstsissa o'qiga tushirib, D nuqtani hosil qilamiz. $\overline{OD} = \overline{bC}$ kesim $F_{q\delta}$ bo'ladi.

5. Yakor MYK ta'siri: qo'zg'atish chulg'amiga keltirilgan MYK qiymatiga teng \overline{DN} vektorni $\varphi' = \varphi_N + \gamma$ burchak bo'yicha D nuqtadan masshtab bo'yicha chizamiz:

$$\overline{DN} = \dot{F}'_a = \dot{F}_a k_{ad} \quad (13)$$

6. $\overline{OD} = \dot{F}_{q\delta}$ va $\overline{DN} = \dot{F}'_a$ vektorlarni yig'indisini olib, $\overline{ON} = F_{qN}$ ni topamiz. \dot{F}_{qN} – qo'zg'atish chulg'amining nominal MYKi bo'lib abstsissa o'qida bu kattalikka \overline{OM} kesma to'g'ri keladi. Odatda $F_{qN} \leq 2 \div 2,5$ oraliqda bo'ladi.

Bu qo'zg'atish MYKi F_{qN} –yuklama tushib ketsa kuchlanishni $E_q = MK = OK'$ gacha oshishiga olib keladi.

Bunda kuchlanishning nominal o'zgarishi

$$\Delta U\% = \frac{E_{\kappa N} - U_N}{U_N} \cdot 100\% = \frac{MK - OA}{OA} 100\% \quad (14)$$

5–10-rasmlarda sinxron generatorning Potye diagrammasi, rostlash, tashqi, V–simon va burchak xarakteristikalarini quyidagi parametrlar bo'yicha qurish ko'rsatilgan. Nominal quvvat $S_N = 85300$ κBA ; nominal kuchlanish $U_N = 13,8$ kV; fazalar son $m=3$; chulg'am ulanish sxemasi –Y, tok chastotasi $f=50$ Gts; nominal aylanish tezligi

5-rasmda $U=U_N$; $I=I_N$; $\cos\varphi=\cos\varphi_N$ bo'lganda nominal ish rejimi uchun Potye diagrammasi keltirilgan.

Potye diagrammasini qurish uchun masshtab quyidagicha tanlangan:

kuchlanish uchun $U - 1 \text{ n.b.t.} = 100 \text{ mm}$.

MYK uchun $F_q - 1 \text{ n.b.t.} = 50 \text{ mm}$.

$$(12) \text{ dan: } x_{p^*} = 0,153 + 0,053 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{13004}{15134} = 0,188 ;$$

$$(13) \text{ dan: } \overline{DN} = F'_{a^*} = F_{a^*} \cdot k_{ad} = 0,72 \cdot 0,845 = 0,608 ;$$

$$\overline{OD} = F_{f_q^*} = 1,22 ;$$

$$\overline{ON} = \overline{OM} = F_{f_N^*} = 1,7 ;$$

$$\overline{MK} = \overline{OK'} = F_{f^*} = 1,265 .$$

$$(14) \text{ dan: } \Delta U\% = \frac{1,265 - 1}{1} \cdot 100\% = 26,5\% .$$

2-Amaliyot mashg'uloti. Rostlash xarakteristikasini qurish

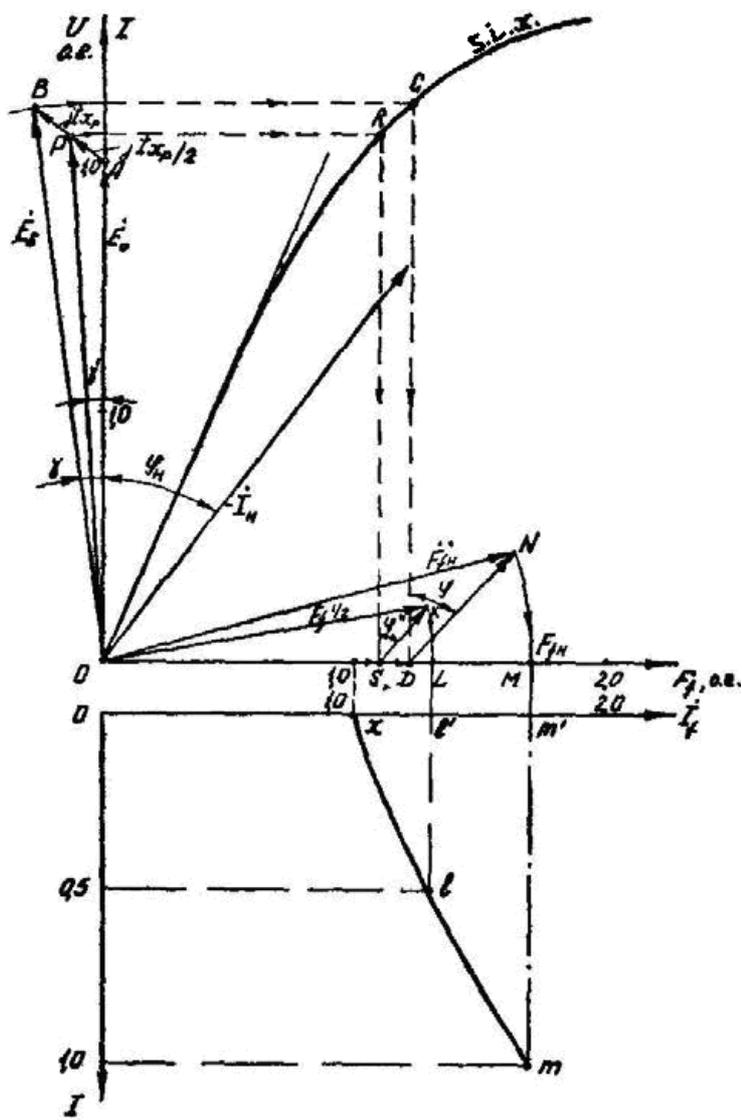
6-rasmda Potye diagrammasi yordamida rostlash xarakteristikasini $U_N = \text{const}$, $n_N = \text{const}$, $\cos\varphi_N = \text{const}$ bo'lgan hol uchun qurish ko'rsatilgan.

Yakor toki $I_a=0$ bo'lganda, salt ishlash MYK F_{f^*} to'g'ri keladigan I_{q^*} qo'zg'atish toki, $\overline{OX} = 1$ kesimi orqali topiladi.

Yuklama nominal ya'ni $I_* = 1$ bo'lganda, $Om' = 1,7$ kesimi orqali $I_{f_N^*}$ aniqlanadi. $\dot{i}_{q^*} = \dot{E}_{q^*}$ bo'lganligi uchun $\dot{i}_{qN} = \dot{F}_{qN}$, ya'ni $\overline{ON} = \overline{OM} = Om' = F_{f_N^*}$.

Yarim yuklanishda nominal kuchlanishni ta'minlaydigan qo'zg'atish toki analitik yo'l bilan aniqlanadi. $0,5jI_N x_p = \overline{AP}$ yarim yuklanishda kuchlanish tushuvining vektorini A nuqtadan hisobiy induktiv qarshilikni yakor tokiga perpendikulyar tushirib aniqlaymiz.

OP radius orqali P nuqtani ordinata o'qiga, keyin salt ishlash xarakteristikasiga ko'chiramiz. hosil qilingan R nuqtani abtsissa o'qigacha tushirib S nuqtani hosil qilamiz. S nuqtadan $\varphi'' = \varphi_N + \gamma'$ burchak bo'yicha, yarim yuklanishdagi yakor reaksiyasini e'tiborga oladigan $SK = 0,5 F'_a$ vektorini quramiz. \overline{OS} va \overline{SK} vektorlarni yig'indisidan, yarim yuklanishdagi $F_{q(0,5)} = \overline{OK} = \overline{OL}$ qo'zg'atish MYK ni topamiz. $I_a = 0,5$ da $\overline{O'l'}$ kesim orqali I_q qo'zg'atish toki topiladi.

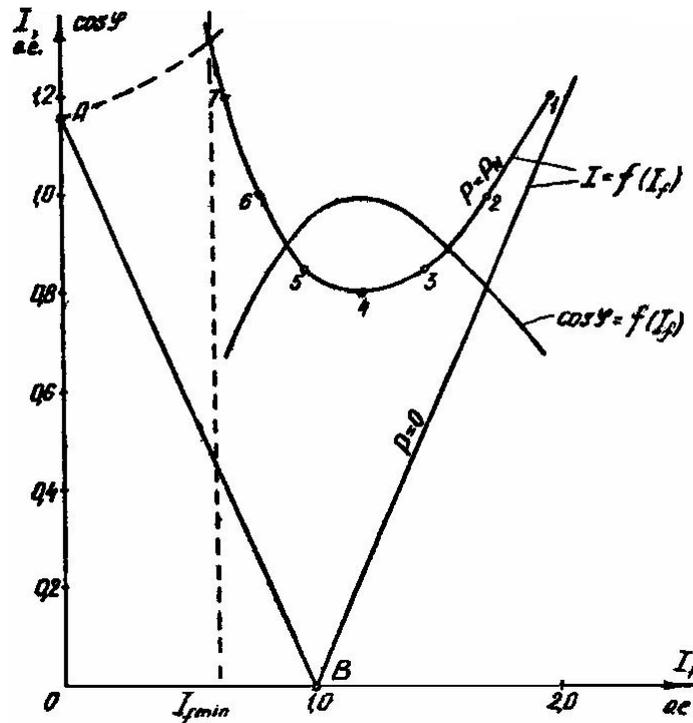


6-rasm. Potye diagrammasi yordamida roslash xarakteristikasini qurish

3-Amaliyot mashg'uloti. Tashqi xarakteristikani qurish

Tashqi xarakteristikasini qurish 7-rasmda ko'rsatilgan. Bu xarakteristika $I_{qN^*}=1,7=const$, $n=const$, $\cos\varphi_N=const$ uchun qurilganda $I_{N^*}=1$ yuklama nominal bo'lganda chiqish klemmlaridagi kuchlanish $U_{N^*}=1$ bo'ladi va bunga ordinata o'qidagi Om' kesim to'g'ri keladi. Salt ishlash rejimida ya'ni $I_a=0$ va $I_{qN^*}=const$ bo'lganda chiqish klemmlaridagi kuchlanish (Potye diagrammasidan) $E_{q^*}=1,265$ teng, bunga ordinata o'qidagi \overline{OK} kesim to'g'ri keladi.

Sinxron generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish kattaligini tokning $I_a=0,5$ kattaligi uchun aniqlashni ko'rib chiqamiz.



9-rasm. V-simon xarakteristikalar

(15) orqali $\cos\varphi$ qiymatlarini topib, $\cos\varphi = f(I_a)$ egriligini quramiz. Minimal qo'zg'atish toki I_{qmin} qiymati (statik barqarorlikning chap chegarasi) (3) dan aniqlanadi:

$$E_{min*} = \frac{0,87}{\sin 54^0} \left[0,8 - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,615} - \frac{1}{0,87} \right) \sin 2 \cdot 54^0 \right] = 0,62.$$

$\theta_m = 54^0 - 10$ - rasmdan grafik ravishda aniqlanadi. Salt ishlash xarakteristikasidan (8 - rasm) $E_{min*} = 0,62$ uchun $I_{qmin*} = 0,6$ ni topamiz.

5-Amaliyot mashg'uloti. Burchak xarakteristikasini hamda sinxronlovchi quvvatni qurish va hisoblash

Burchak xarakteristikasi va sinxronlovchi quvvat koeffitsiyentini hisoblashda $U = U_N = const$, $f_N = const$, $I_{qN} = const$ bo'ladi (10-rasm). Qurish va hisoblashlar n.b.t. amalga oshiriladi. (9) tenglamadan quvvat bo'yicha aktiv quvvat:

$$P = \frac{1 \cdot 1,7}{0,87} \sin \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,615} - \frac{1}{0,87} \right) \sin 2\theta = 1,954 \sin \theta + 0,238 \cdot \sin 2\theta,$$

bu yerda, $E_{f*} = 1,7$ - salt ishlash xarakteristikasi (5-rasm) orqali to'g'rilangan sinxron mashinalar EYK qiymati.

θ burchakka $0 \div 180^\circ$ qiymatlar berib, $\sin\theta$ va $\sin 2\theta$, quvvatning P_{as} – asosiy, $P_{qo'sh}$ – qo‘shimcha (reaktiv) hamda umumiy P_{um} qiymatlarini hisoblab 2- jadvalga yozamiz.

2–jadval

N _o		0	15	30	45	60	75	90
1.	$\sin\theta$	0	0,2588	0,5	0,707	0,866	0,966	1
2.	$\sin 2\theta$	0	0,5	0,866	1,0	0,866	0,5	0
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	0	0,506	0,977	1,38	1,69	1,89	1,954
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	0	0,119	0,206	0,238	0,206	0,119	0
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	0	0,625	1,183	1,618	1,896	2,01	1,954
N _o		105	120	135	150	165	180	
1.	$\sin\theta$	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0	
2.	$\sin 2\theta$	-0,5	-0,866	-1	-0,866	-0,5	0	
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0	
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	-0,119	-0,238	-0,238	-0,206	-0,119	0	
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	1,77	1,484	1,1428	1,771	0,387	0	

θ_N – nominal burchakni ikkita usul bilan aniqlaymiz:

a) burchak xarakteristika bo‘yicha grafik usulda (10-rasm)

$P_N = \cos\varphi_N = 0,8$ uchun $\theta = 19^\circ 30'$;

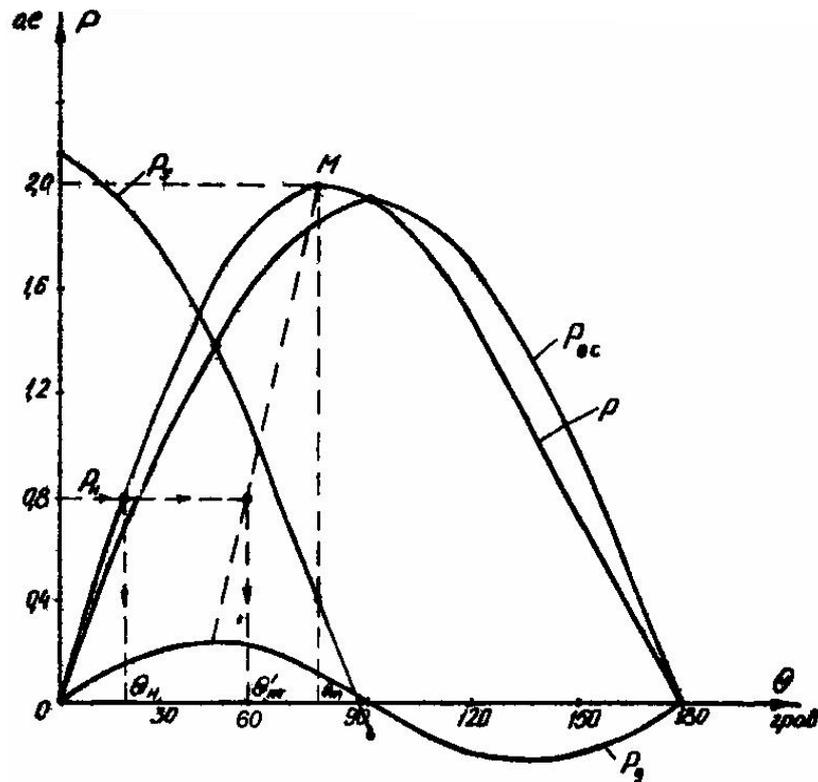
b) (10) bo‘yicha analitik:

$$\theta_N = \arctg \frac{0,615 \cdot 0,8}{1 + 0,615 \cdot 0,6} = \arctg 0,3367 = 19^\circ 46'$$

Nominal qo‘zg‘atishdagi maksimal burchak θ_m burchak xarakteristikasidan (10-rasm) grafik usulda M nuqtadan abstsissa o‘qiga perpendikulyar tushirib aniqlanadi: $\theta_m = 75^\circ$.

Nominal qo‘zg‘atishda va nominal kuchlanishdagi maksimal quvvatni burchak xarakteristikasidan (10-rasm) M nuqtani ordinata o‘qiga oborib topamiz. $P_s = f(\theta)$ bog‘liqlikdan $P_{m*} = 2,01$, sinxronlovchi quvvat koeffitsiyentini (9) formuladan analitik usulda topiladi va burchak xarakteristikasi bilan bitta grafikda quriladi.

$$P_s = 1,954 \cos\theta + 0,476 \cos 2\theta$$



10-rasm. Burchak xarakteristikasi

Hisoblashlarni 3–jadvalga yozamiz.

3–jadval

		0	15	30	45	60	75	90
1	$\cos\theta$	1	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0
2	$\cos 2\theta$	1	0,866	0,5	0	-0,5	0,866	-1,0
3	$1,954\cos\theta$	1,954	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0
4	$0,476\cos 2\theta$	0,476	0,412	0,238	0	-0,238	0,412	-0,476
5	P_s	2,43	2,302	1,928	1,38	0,739	0,094	-0,476

$k_{o',yu}$ – statik yuklanish koeffitsiyentini (13) topamiz:

$$k_{o',yu} = \frac{P_{m*}}{P_{N\bullet}} = \frac{2,01}{0,8} = 2,51.$$

Hisoblangan va qurilgan grafiklar asosida gidrogeneratorning quyidagi parametrlari aniqlandi:

Nominal qo‘zg‘atish MYK – $F_{qN*} = 1,7$;

% nominal kuchlanish tushuvi – $\Delta U_N = 26,5\%$;

Nominal yuklamadagi qo‘zg‘atish tokining minimal qiymati $I_{qmin*} = 0,54$.

Yuklama burchagining nominal qiymati: $\theta_N = 19^\circ 30'$;

Yuklama burchagining maksimal (kritik) qiymati: $\theta_m=75^\circ$.
Statik o‘ta yuklanish koeffitsiyenti: $k_{o'.yu}=2,51$.
Keltirilgan qiymatlar, hisoblangan gidrogeneratorni GOST talablariga to‘la javob berishini ko‘rsatadi.

ВВЕДЕНИЕ

Одним основным развитием Республики Узбекистан в дальнейшем является подготовка квалифицированных специалистов для народного хозяйства различной сферы. Для этого в высших учебных заведениях необходимо совершенствование учебного процесса, подготовка студентов самостоятельной работе, развивать профессиональные способности.

Проверка студентов во время учебного года, выполняемые домашние задания и самостоятельные работы, изучение активности при получении знаний во время занятий приводит их к становлению хороших специалистов.

Методическое пособие помогает решать примеры практических занятий, а также самостоятельной работы студентам изучающие по предмету «Электрические машины» и «Электромеханика» всех направлений.

1. Общие сведения о характеристиках синхронного генератора

Среди разнообразных характеристик синхронных генераторов отдельную группу составляют характеристики, которые определяют зависимость между напряжением на зажимах якоря U , током якоря и током возбуждения I_f при $n=n_N$ или $f=f_N$ и $\varphi=\text{const}$ в установившемся режиме работы – регулировочные, внешние и V -образные. Эти характеристики наглядно отражают ряд основных свойств синхронных генераторов.

1.1 Внешние характеристики

Внешней характеристикой называется зависимость напряжения на зажимах генератора от тока якоря при постоянных значениях тока возбуждения, частоты вращения и коэффициента мощности: $U=f(I)$ при $I_N=\text{const}$, $n=\text{const}$, $\cos\varphi=\text{const}$ (рис. 1).

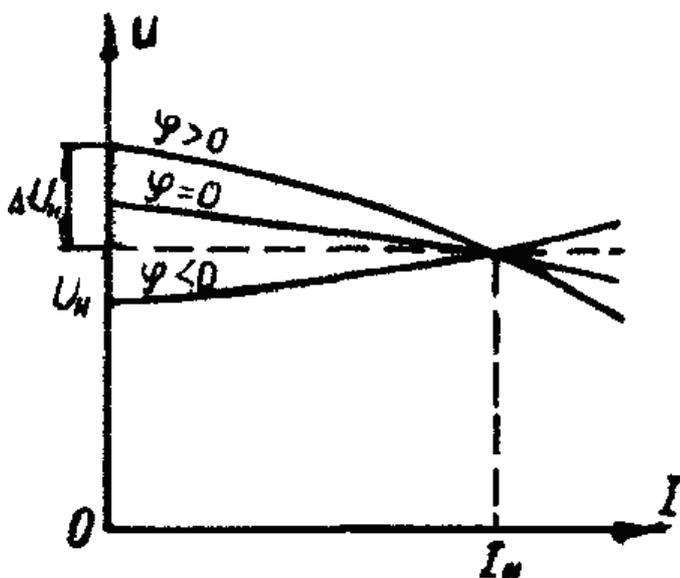


Рис.1. Внешние характеристики

Внешние характеристики показывают как изменяется напряжение на зажимах генератора при увеличении тока нагрузки, если ток возбуждения и характер нагрузки неизменны. При индуктивной нагрузке $0 < \varphi < \pi/2$ внешняя характеристика с увеличением нагрузки резко падает из-за размагничивающего действия реакции якоря и падения напряжения $\dot{I} r_a + j \dot{I} x_\sigma$, которые растут с увеличением нагрузки. Причем с увеличением угла φ , т.е. с

уменьшением величины $\cos\varphi$, возрастает величина падения напряжения. В случае чисто активной нагрузки $\varphi=0$ ($\cos\varphi=1$) размагничивающее действие реакции якоря намного слабее и поэтому напряжение падает незначительно. При емкостной нагрузке $-\pi/2 < \varphi < 0$ напряжение с увеличением нагрузки возрастает из-за намагничивающего действия реакции якоря.

По внешней характеристике определяется номинальное изменение напряжения синхронного генератора $-\Delta U_N \cdot \Delta U_N$ – это изменение напряжения на зажимах генератора (при его работе отдельно от других генераторов) при изменении нагрузки от номинального значения до нуля и при неизменном токе возбуждения:

$$\Delta U\% = \frac{E_{\kappa 0} - U_N}{U_N} \cdot 100\%.$$

1.2. Регулировочные характеристики

Регулировочной характеристикой генератора называется зависимость тока возбуждения от тока якоря при постоянных значениях напряжения, частоты вращения и коэффициента мощности: $I_f = f(I)$ при $U_N = \text{const}$, $n_N = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$ (рис. 2).

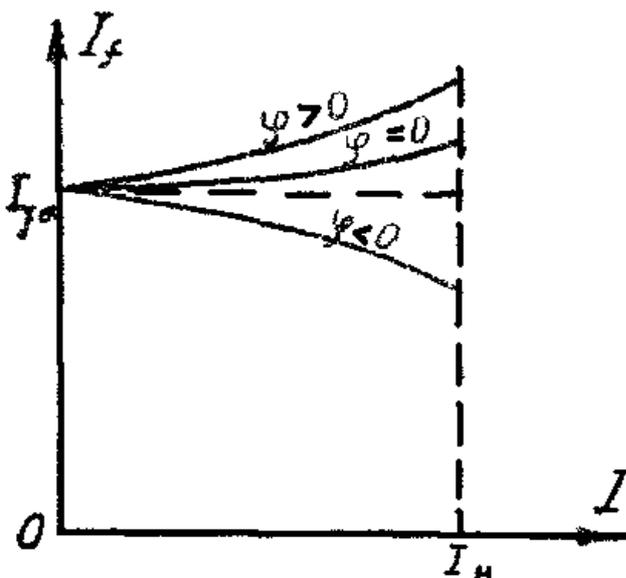


Рис.2. Регулировочные характеристики

Регулировочные характеристики показывают, как нужно регулировать ток возбуждения I_f , чтобы при изменении нагрузки I

напряжение на зажимах якоря U осталось неизменным. Вид регулировочных характеристик также объясняется характером действия реакции якоря. При индуктивной нагрузке $\varphi > 0$ для поддержания напряжения $U_N = const$ с возрастанием нагрузки потребуются значительное увеличение тока возбуждения с целью компенсации размагничивающего действия реакции якоря и падения напряжения.

При чисто активной нагрузке $\varphi = 0$ размагничивающее действие реакции якоря слабее и требуется меньшее увеличение I_f .

В случае емкостной нагрузки реакция якоря стремится увеличить E_δ и U , вследствие чего для сохранения $U_N = const$ необходимо с увеличением I уменьшать I_f .

1.3. V-образные характеристики

V-образные характеристики показывают зависимость тока якоря и $\cos\varphi$ от тока возбуждения при постоянной активной мощности, постоянном напряжении и постоянной частоте:

$$I, \cos\varphi = f(I_f) \text{ при } P = const, f_N = const, U_N = const.$$

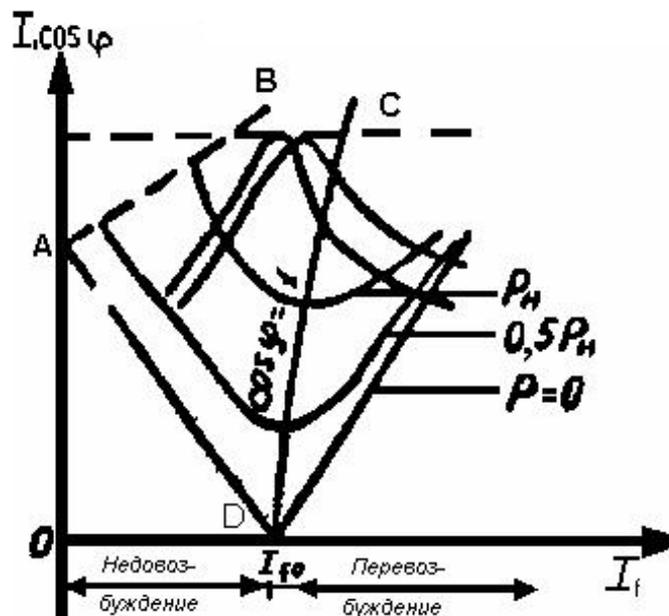


Рис.3. V-образные характеристики

Они снимаются при работе синхронного генератора параллельно с сетью. Из теории электрических машин известно, что изменение тока возбуждения приводит к изменению

реактивной мощности генератора. Если такое регулирование осуществляется, как указано, при постоянстве активной мощности $P=const$, то остается постоянной активная составляющая тока якоря:

$$I_a = I \cdot \cos \varphi = \frac{P}{m \cdot U_N} = const.$$

Следовательно, изменение тока якоря происходит только за счет изменения его реактивной составляющей:

$$I_r = I \cdot \sin \varphi = \frac{Q}{m \cdot U_N} = var.$$

На рис. 3 показано семейство характеристик $I, \cos \varphi = f(I_f)$ при различных значениях активной мощности P . Минимальное значение тока якоря для каждой кривой определяет активную составляющую тока якоря $I_a (I_r = 0)$ и величину мощности $P = m U I_a$, для которой построена данная кривая. Нижняя кривая соответствует $P=0$, т.е. холостому ходу синхронного генератора; I_{f0} – значение тока возбуждения при $E_f = U_N$. Правые части кривых соответствуют перевозбужденной машине и отдаче в сеть индуктивного тока и реактивной мощности, а левые части – недовозбужденной машине, отдаче в сеть емкостного тока и потреблению реактивной мощности. Кривая DC, соединяющая точки минимума семейства характеристик $I = f(I_f)$, при увеличении мощности отклоняется вправо, так как вследствие падения напряжения $\dot{I} r_a + j \dot{I} x_\sigma$ возрастает значение результирующей ЭДС в воздушном зазоре E_δ и необходимый ток возбуждения при $\cos \varphi = 1$. DC представляет собой регулировочную характеристику генератора $I_f = f(I)$ при $\cos \varphi = 1$. Точка А соответствует холостому ходу невозбужденной машины. При этом из сети потребляется намагничивающий ток:

$$I_a = \frac{U_\phi}{x_d} \quad (1)$$

Линия АВ представляет собой границу устойчивости, на которой угол нагрузки $\theta = \theta_{кр}$.

Левее линии АВ синхронный генератор выпадает из синхронизма. Величина минимального тока возбуждения I_{fmin} , при котором машина выпадает из синхронизма, определяется по спрямленной через номинальную точку характеристике холостого хода машины по минимальному значению ЭДС E_{min} . E_{min} определяется аналитически из уравнения активной мощности. Расчет ведется в относительных единицах:

$$P = P_N = \frac{m \cdot U_N \cdot E_{min}}{x_d} \sin \theta'_m + \frac{m U_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta'_m. \quad (2)$$

θ'_m – критический угол при I_{fmin} – определяется графически по рис. 9. Решая уравнение (2) относительно ЭДС E_{min} , и принимая $U_N = 1$ о. е. и $P_N = \cos \varphi_N$, получим

$$E_{min} = \frac{x_d}{\sin \theta'_m} \left[\cos \varphi_N - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta'_m \right] \quad (3)$$

В режиме перевозбуждения величина тока возбуждения ограничивается допустимым нагревом обмотки возбуждения. Следует отметить, что явнополюсные синхронные машины в периоды спада нагрузок, когда возникает необходимость в потреблении из сети индуктивного тока и реактивной мощности, могут работать и в режиме отрицательного возбуждения, не выпадая из синхронизма. Величины предельного отрицательного тока возбуждения и предельного угла смещения ротора, соответствующие границе устойчивости, могут быть определены согласно:

$$-I_{f\Pi p} = -\frac{x_d P_T}{U_N \sin \theta_{\Pi p}} - U_N \left(\frac{x_d}{x_q} - 1 \right) \cos \theta_{np}, \quad (4)$$

$$\theta_{np} = \arcsin \left[\frac{P_T}{U_N^2 \left(1/x_q - 1/x_d \right)} \right]^{1/3},$$

1.4. Угловая характеристика, коэффициент синхронизирующей мощности и статическая перегружаемость

Угловой характеристикой называется зависимость активной мощности от угла θ при постоянных значениях напряжения, частоты и тока возбуждения:

$$P=f(\theta) \text{ при } U_N=\text{const}, f_N=\text{const}, I_f=\text{const}.$$

Угловая характеристика дает возможность оценить эксплуатационные качества синхронной машины при работе ее параллельно с сетью. По данной характеристике определяются основные показатели, характеризующие статическую перегружаемость.

Активная мощность, развиваемая синхронным генератором при параллельной работе с сетью, определяется внешним вращающим моментом, приложенным к валу машины. В установившемся режиме (при синхронной частоте вращения ротора) внешний момент всегда уравновешен суммой электромагнитного момента M и момента холостого хода, и активная мощность равна $P=M\omega$, где $\omega=2\pi n/60$ (n – в об/мин).

Если при регулировании активной мощности ток возбуждения остается неизменным, $I_f=\text{const}$, то (без учета насыщения) $E_f=\text{const}$, и из числа величин, определяющих режим при параллельной работе, изменяется только угол θ .

Расчет и построение угловой характеристики ведутся по уравнению активной мощности:

$$P = \frac{mU_N E_f}{x_d} \sin \theta + \frac{mU_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta, \quad (5)$$

где E_f – ЭДС синхронной машины определяется по спрямленной через номинальную точку характеристике холостого хода (рис. 4); x_d, x_q – синхронные индуктивные сопротивления машины по продольной и поперечной осям.

Уравнение активной мощности имеет две составляющие, одна из которых с амплитудой $mU_N E_f/x_d$ изменяется пропорционально $\sin\theta$ и называется основной, вторая – с амплитудой $\frac{m \cdot U_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right)$ изменяется пропорционально $\sin 2\theta$ и называется реактивной.

Первая составляющая имеется в возбужденной машине при $E_f \neq 0$, вторая – только в явнополюсной машине, т.е. при $x_d \neq x_q$. В явнополюсной машине первая составляющая играет тем большую роль, чем больше отношение ее амплитуды к амплитуде второй составляющей:

$$n = \frac{2E_f x_q}{U(x_d - x_q)} \quad (6)$$

Взяв производную по θ от выражения (1,5) и приравняв ее к нулю, можно найти, что мощность будет экстремальной при угле:

$$\theta_m = \pm \arccos \frac{\sqrt{n^2 + 32} - n}{8} \quad (7)$$

Величины угла θ_m и максимальной мощности P_m с достаточной степенью точности для дипломных и курсовых проектов могут быть найдены графически. При номинальном возбуждении и номинальном напряжении θ_m определяется абсциссой точки M , а P_m – ординатой точки M угловой характеристики (рис. 9).

Для синхронных гидрогенераторов $\theta_m = 70 \div 80^\circ$.

Синхронный генератор работает устойчиво в области $0 < \theta < \theta_m$.

Номинальный угол θ_N можно определить также двумя способами: а) графическое определение угла θ_N производится по угловой характеристике при номинальной мощности. В относительных единицах:

$$P_N = \cos \varphi_N;$$

б) аналитическое определение θ_N осуществляется из уравнения электромагнитной мощности:

$$\theta_N = \arctg \frac{x_q \cos \varphi_N}{1 + x_q \sin \varphi_N} \quad (8)$$

Из (5) видно, что максимальная мощность возрастает с увеличением тока возбуждения и с уменьшением x_d . Поэтому размеры синхронной машины при проектировании всегда выбираются таким образом, чтобы максимальная мощность была

больше номинальной и генератор в случае необходимости мог быть перегружен.

Статическая перегружаемость синхронного генератора (т.е. предельно возможная кратность перегрузки при весьма медленном увеличении внешнего момента) определяется как отношение максимальной мощности P_m при $U=U_N$ и $I_f=I_{fN}$ к номинальной мощности P_N :

$$k_{\Pi} = \frac{P_m}{P_N} \quad (9)$$

Согласно ГОСТ 5616-81Е статическая перегружаемость для синхронных машин должна быть не менее 1,7.

Критерием статической устойчивости синхронного генератора является коэффициент синхронизирующей мощности – P_s . При $P_s > 0$ работа генератора статически устойчива.

Коэффициент синхронизирующей мощности равен производной активной мощности P по углу θ :

$$P_s = \frac{mU_N E_f}{x_d} \cos \theta + mU_N^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta. \quad (10)$$

На рис. 9 показана кривая $P_s=f(\theta)$ при $U_N=\text{const}$, $f_N=\text{const}$, $I_f=\text{const}$.

1-Практическое занятие. Построение характеристик. Порядок построения диаграммы Потье

Данные для построения регулировочной, внешней и V-образных характеристик могут быть получены аналитически или с помощью векторных диаграмм. Излагаем порядок построения этих характеристик с помощью диаграммы Потье. Все построения и расчеты выполнены для гидрогенератора со следующими данными:

Номинальная кажущаяся мощность	$S_N = 85,5$ кВА;
Номинальное линейное напряжение	$U_N = 13,8$ кВ;
Число фаз	$m = 3$;
Сопряжение фаз	Y/звезда/;
Частота тока	$f = 50$ Гц
Номинальная частота вращения	$n = 25$ об/мин
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi = 0,8$

Индуктивное сопротивление по продольной оси	$x_d=0,88$ о.е.
Индуктивное сопротивление по поперечной оси	$x_q=0,609$ о.е.
Индуктивное сопротивление рассеяния МДС реакции якоря при номинальной нагрузке	$x_\sigma=0,149$ о.е. $F_a=13014$ А
МДС обмотки возбуждения	$F_{fx}=18075$ А
МДС воздушного зазора	$F_\delta=15146$ А
МДС реакции якоря при номинальной нагрузке в о.е.	$F_a/F_{fx}=0,72$
Коэффициент реакции якоря по продольной оси	$k_{ad}=0,845$

Характеристика холостого хода в относительных величинах представлена в табл. 1

Таблица 1

E_f	0,5	1	1,066	1,2	1,3
F_f	0,4435	1	1,108	1,424	1,99

Расчет и построение диаграммы Потье и всех характеристик проводятся в относительных единицах. За базисные значения приняты номинальное напряжение U_N , номинальный ток якоря I_N , МДС возбуждения F_{fx} и соответствующий ей ток возбуждения I_{fx} , обеспечивающие в режиме холостого хода номинальное напряжение на зажимах гидрогенератора.

Для построения диаграммы Потье необходимо иметь характеристику холостого хода, МДС якоря F_a , коэффициент реакции якоря по продольной оси k_{ad} и расчетное сопротивление обмотки якоря x_p :

$$x_p = x_\sigma + 0,053 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{F_a}{F_\delta}, \quad (11)$$

где x_σ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря.

Влиянием активного сопротивления обмотки якоря пренебрегаем. Порядок построения (рис. 4).

1. Вектор напряжения U_N совмещаем с положительным направлением оси ординат $|\overline{OA}|$.

2. Под углом φ_N к вектору напряжения проводим вектор тока \dot{I}_N .

3. К вектору напряжения прибавляем вектор индуктивного падения напряжения $j \dot{I}_N x_p (\overline{BA})$, который проводится из точки A перпендикулярно вектору тока \dot{I}_N . Вектор опережает вектор \dot{I}_N на 90° . Полученный вектор \overline{OB} есть вектор результирующей ЭДС E_δ , опережающий вектор напряжения на угол γ .

4. По характеристике холостого хода находим МДС возбуждения, необходимую для создания ЭДС E_δ . Для этого из начала координат радиусом OB проводим дугу до пересечения с осью ординат в точке b . Последняя сносится в точку C на характеристику холостого хода. Отрезок $OD=bC$ и есть $F_{f\delta}$.

5. Учет действия МДС якоря: под углом $\varphi' = \varphi_H + \gamma$ из точки D проводим вектор \overline{DN} , равный значению МДС якоря, приведенному к обмотке возбуждения.

$$\overline{DN} = \dot{F}'_a = \dot{F}_a k_{ad}. \quad (12)$$

6. Суммируя $\overline{OD} = \dot{F}_{f\delta}$ и $\overline{DN} = \dot{F}'_a$, находим $\overline{ON} = \dot{F}_{fN}$.

F_{fN} – номинальная МДС возбуждения, на оси абсцисс ей соответствует отрезок OM .

Следует отметить, что обычно $F_{fN} \leq 2 \div 2,5$ о.е.

При сбросе нагрузки эта МДС возбуждения повышает напряжение до $E_f = MK = OK'$;

номинальное изменение напряжения при этом:

$$\Delta U\% = \frac{E_{fN} - U_N}{U_N} \cdot 100\% = \frac{MK - OA}{OA} 100\% \quad (13)$$

На рис. 4÷9 показано построение диаграммы Потье, регулировочной, внешней, V-образных и угловой характеристик для синхронного гидрогенератора с приведенными выше данными.

На рис. 4 диаграмма Потье, построенная для номинального режима работы, т.е. при $U = U_N$; $I = I_N$; $\cos\varphi = \cos\varphi_N$.

При построении диаграммы Потье принят масштаб: для напряжения $U - 1$ о.е. = 100 мм.

По (13):

$$\Delta U_H \% = \frac{1,265 - 1}{1} 100\% = 26,5\%$$

2-Практическое занятие. Построение регулировочной характеристики

На рис. 5 показано построение регулировочной характеристики с помощью диаграммы Потье при $U_N = \text{const}$, $n_N = \text{const}$, $\cos\varphi_N = \text{const}$. При токе якоря $I = 0$ ток возбуждения $I_{f\dot{x}}$, соответствующий МДС $F_{f\dot{x}}$ при холостом ходе, определяется отрезком $OX = 1$ о.е. При номинальной нагрузке, т.е. при $I = 1$ о.е., I_{fN} определяется отрезком $Om' = 1,7$ о.е. следует помнить, что в относительных единицах $\dot{I}_f = \dot{F}_f$, следовательно, $\dot{I}_{fN} = \dot{F}_{fN}$. Нахождение F_{fN} подробно описано при построении диаграммы Потье, т.е. $\overline{ON} = \overline{OM} = Om' = F_{fN}$.

Ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при половинной нагрузке, определяется аналогичным образом. Перпендикулярно направлению тока якоря из точки A откладываем вектор падения напряжения на расчетном индуктивном сопротивлении обмотки якоря при половинной нагрузке $0,5jI_N x_p = \overline{AP}$. Радиусом OP сносим точку P на ось ординат, а затем на характеристику холостого хода. Полученную точку R проектируем на ось абсцисс в точку S . Из точки S под углом $\varphi'' = \varphi_N + \gamma'$ проводим вектор $SK = 0,5\dot{F}'_a$, учитывающий действие реакции якоря при половинной нагрузке. Суммируя векторы \overline{OS} и \overline{SK} , определяем МДС возбуждения $\dot{F}_{f(0,5)} = \overline{OK} = \overline{OL}$ при половинной нагрузке. Следовательно, при $I = 0,5$ ток возбуждения I_f определяется отрезком Ol' .

3-Практическое занятие. Построение внешней характеристики

Построение внешней характеристики представлено на рис. 6. Характеристика строится при $I_{fN} = 1,7$ о.е. **=const**, $n = \text{const}$, $\cos\varphi_N = \text{const}$. При номинальной нагрузке, т.е. при $I_N = I$ о.е., напряжение на зажимах генератора $U = 1$ о.е., чему соответствует ордината Om' . При холостом ходе, т.е. при $I = 0$ и $I_{fN} = \text{const}$,

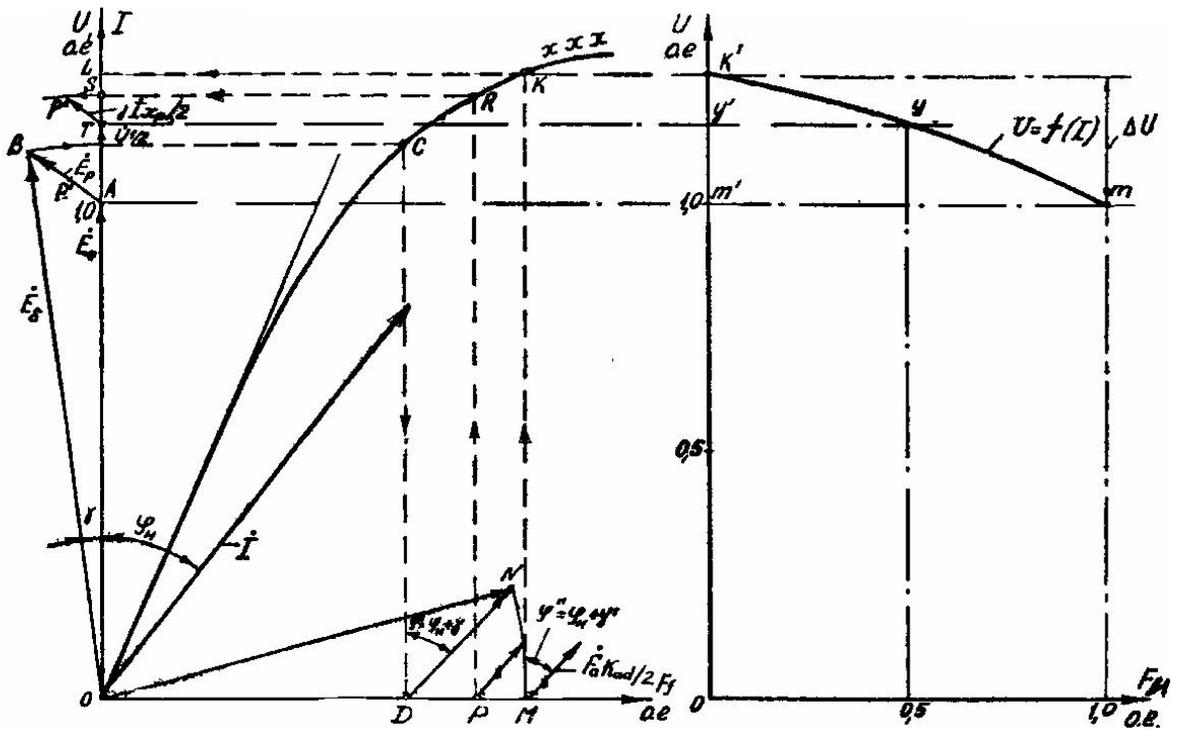


Рис. 6. Построение внешней характеристики по диаграмме Потье

Полученную таким образом точку P сносим на характеристику холостого хода (точка R), затем на ось ординат (точка S). Радиусом OS проводим дугу. Вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении x_p при половинной нагрузке равен $0,5jI_N x_p$, т.е. $0,5\overline{BA} = \overline{P'A}$. Переносим вектор $\overline{P'A}$ параллельно самому себе до соприкосновения с дугой радиуса OS в точке P'' , а осью ординат в точке T . Вектор \overline{OT} и определяет величину напряжения на зажимах синхронного генератора при половинной нагрузке. Следовательно, на внешней характеристике току якоря $I=0,5$ о.е. соответствует напряжение, равное отрезку $OY' = OT$.

4-Практическое занятие. Построение V-образных характеристик

V-образные характеристики показаны на рис. 8., а построение их с помощью диаграммы Потье – на рис. 7. Построения выполняются при $U=U_N=\text{const}$, $n_N=\text{const}$ и $P=\text{const}$ для двух значений активной мощности $P=0$ и $P=P_N$.

Левая ветвь V-образной характеристики для $P=0$ (рис. 8) представляет собой прямую линию AB . Точке A соответствует значение тока якоря по (1): $I = \frac{U_N}{x_d} = \frac{1}{0,87} = 1,15$ о.е. при $I_f=0$.

$$I = \frac{U_N}{x_d} = \frac{1}{0,87} = 1,15 \text{ о.е. при } I_f=0.$$

Точке B соответствует $I=0$ и $I_f=1$ о.е.

$$E_{\min} = \frac{0,87}{\sin 54^\circ} \left[0,8 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,615} - \frac{1}{0,87} \right) \sin 2 \cdot 54^\circ \right] = 0,62 \text{ о.е.}$$

$\theta_m = 54^\circ$ - определен графически по рис.9.

По характеристике холостого хода (рис.7.) находим для $E_{\min} = 0,62$ о.е., $I_{f \min} = 0,60$ о.е.

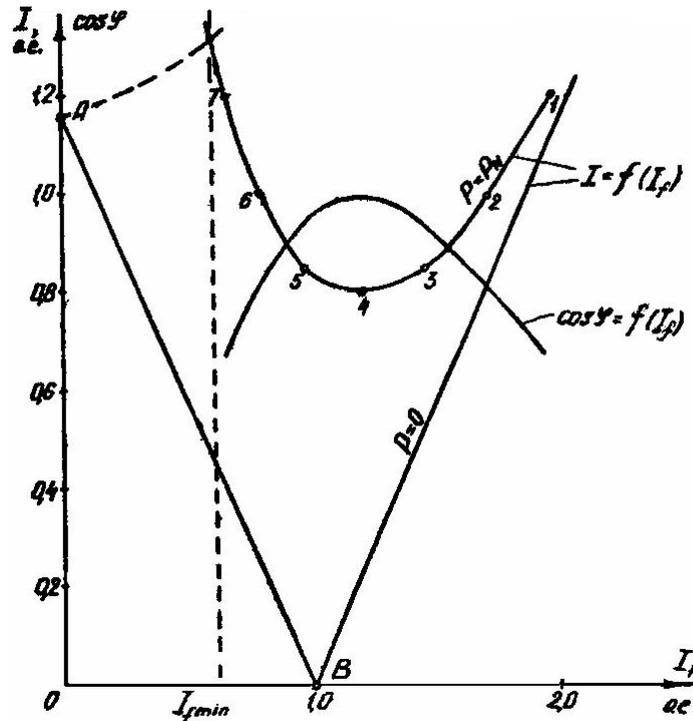


Рис.8. V-образные характеристики

5-Практическое занятие. Расчет и построение угловой характеристики и кривой коэффициента синхронизирующей мощности

Угловая характеристика и кривая коэффициента синхронизирующей мощности, рассчитанные при $U=U_N=\text{const}$, $f_N=\text{const}$, $I_N=\text{const}$, изображены на рис. 9.

Расчет и построение проводится в относительных единицах. Согласно (5) активная мощность:

$$P = \frac{1 \cdot 1,7}{0,87} \sin \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,615} - \frac{1}{0,87} \right) \sin 2\theta = 1,954 \sin \theta + 0,238 \sin 2\theta.$$

Здесь, 1,7 – значение ЭДС E_f синхронной машины, определенное по спрямленной через номинальную точку характеристики холостого хода (см. рис. 4).

Расчет удобно свести в табл. 2 и, задаваясь значениями угла θ , определить значение $\sin\theta$ и $\sin 2\theta$, а затем рассчитать P и ее основную составляющую P_{oc} и реактивную P_d .

Таблица 2

№		0	15	30	45	60	75	90
1.	$\sin\theta$	0	0,2588	0,5	0,707	0,866	0,966	1
2.	$\sin 2\theta$	0	0,5	0,866	1,0	0,866	0,5	0
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	0	0,506	0,977	1,38	1,69	1,89	1,954
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	0	0,119	0,206	0,238	0,206	0,119	0
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	0	0,625	1,183	1,618	1,896	2,01	1,954
№		105	120	135	150	165	180	
1.	$\sin\theta$	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0	
2.	$\sin 2\theta$	-0,5	-0,866	-1	-0,866	-0,5	0	
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0	
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	-0,119	-0,238	-0,238	-0,206	-0,119	0	
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	1,77	1,484	1,1428	1,771	0,387	0	

Определение номинального угла θ_N проводится двумя способами: а) графическое определение угла θ_N по угловой характеристике (см. рис.9.) при $P_N=\cos\varphi_N=0,8$ о.е. $N=19^\circ 30'$; б) аналитическое определение по (8)

$$\theta_N = \arctg \frac{0,615 \cdot 0,8}{1 + 0,615 \cdot 0,6} = \arctg 0,3367 = 19^\circ 46'.$$

Максимальный угол θ_m при номинальном возбуждении определяется графически как абсцисса точки M угловой характеристики (рис. 9): $\theta_m=75^\circ$.

Максимальная мощность при номинальном возбуждении и номинальном напряжении определяется как ордината точки M угловой характеристики (рис. 9)

$$P_m=2,01 \text{ о.е.}$$

Кривая коэффициента синхронизирующей мощности $P_s=f(\theta)$ рассчитывается аналитически по (10) и наносится на один график с угловой характеристикой (рис. 9)

$$P_S = 1,954 \cos \theta + 0,476 \cos 2\theta.$$

Расчет сведен в табл. 3.

Таблица 3

		0	15	30	45	60	75	90
1	$\cos \theta$	1	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0
2	$\cos 2\theta$	1	0,866	0,5	0	-0,5	0,866	-1,0
3	$1,954 \cos \theta$	1,954	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0
4	$0,476 \cos 2\theta$	0,476	0,412	0,238	0	-0,238	0,412	-0,476
5	P_S	2,43	2,302	1,928	1,38	0,739	0,094	-0,476

Коэффициент статической перегружаемости k_{Π} определяется по формуле (9):

$$k_{\Pi} = \frac{P_m}{P_N} = \frac{2,01}{0,8} = 2,51$$

На основании проведенных расчетов и графических построений определяем следующие режимные параметры гидрогенератора:

Номинальная МДС возбуждения	$F_{fN^*} = 1,7$; о.е.
Номинальное изменение напряжения в %	$\Delta U_N = 26,5\%$.
Минимальное значение тока возбуждения при номинальной нагрузке	$I_{f\min} = 0,54$ о.е.
Номинальное значение угла нагрузки	$\theta_N = 19^\circ 30'$.
Максимальное /критическое/ значение угла нагрузки	$\theta_m = 75^\circ$.
Коэффициент статической перегружаемости	$k_{\Pi} = 2,51$.

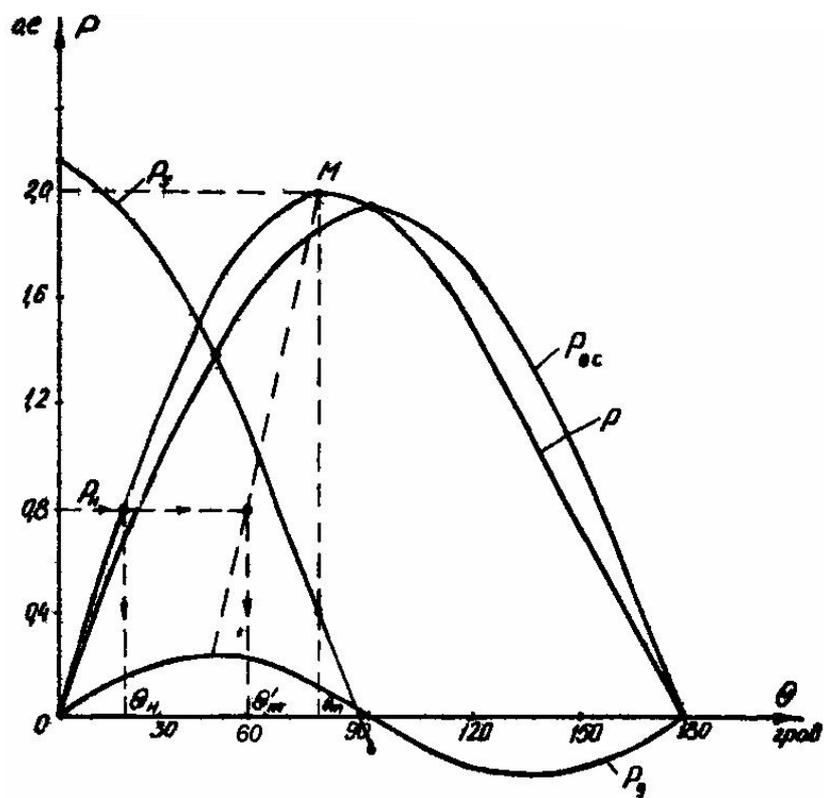


Рис.9. Угловая характеристика

Приведенные данные показывают, что рассчитанный гидрогенератор удовлетворяет требованиям ГОСТ.

ADABIYOTLAR

1. Абрамов А.И., Иванов–Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов.- М.: «Высшая школа», 2001.–389 с.
2. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. Учеб. пособие для вузов.-М.: Издательский центр «Академия», 2006. – в 320 с.
3. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов.– Спб.: Питер, 2008. –320 с.
4. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – Спб.: Питер, 2008. – 350 с.
5. Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Электромеханика: учебник для вузов. – М.: Издательский центр “Академия”, 2007. – 512 с.
6. Иванов – Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. Учебник для вузов.– М.: Изд-во МЭИ, 2004. Том. 1. – 652 с, Том. 2. – 532 с.
7. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 607 с.
8. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. Учеб. пособ. для вузов. М.:Изд-во МЭИ, 2003. – 424 с.
9. Салимов Ж.С., Пирматов Н.Б., Бекчанов Б.Э. Трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Техника олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. «VEKTOR-PRESS» нашриёти. – Т.: 2009. – 224 б.
10. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Texnika oliy oquv yurtlarining «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari» yonalishi talabalari uchun darslik.– Т.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiryoti, 2011. –408 b.
11. Бозоров Н.Х., Пирматов Н.Б. Синхрон машиналар. Ўқув қўлланма. – Т.: ТошДТУ, 1995. – 100 б.
12. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам. Учебное пособие. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. –160 с.

MUNDARIJA

Kirish	2
1. Sinxron generatorning xarakteristikolari haqida umumiy tushunchalar.	3
1.1. Tashqi xarakteristikalar	5
1.2. Rostlash xarakteristikasi	6
1.3. V–simon xarakteristikalar	7
1.4. Burchak xarakteristikasi, sinxronlovchi quvvat ko'effitsiyenti va statik o'ta yuklanuvchanlik	10
1-Amaliyot mashg'uloti. Xarakteristikalarni qurish. Potye diagrammasini qurish tartibi	13
2-Amaliyot mashg'uloti. Rostlash xarakteristikasini qurish	16
3-Amaliyot mashg'uloti. Tashqi xarakteristikasini qurish	17
4-Amaliyot mashg'uloti. V–simon xarakteristikalarni qurish	18
5-Amaliyot mashg'uloti. Burchak xarakteristikasini hamda sinxronlovchi quvvatni qurish va hisoblash	20
Adabiyotlar	44

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	24
1. Общие сведения о характеристиках синхронного генератора	25
1.1. Внешние характеристики	25
1.2. Регулировочные характеристики	26
1.3. V-образные характеристики	27
1.4. Угловая характеристика, коэффициент синхронизирующей мощности и статическая перегружаемость	30
1-Практическое занятие. Построение характеристик. Порядок построения диаграммы Потье	32
2-Практическое занятие. Построение регулировочной характеристики	36
3-Практическое занятие. Построение внешней характеристики	36
4-Практическое занятие. Построение V-образных характеристик	38
5-Практическое занятие. Расчет и построение угловой характеристики и кривой коэффициента синхронизирующей мощности	40
Литература	44