

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

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

ELEKTR MASHINALARI
fanidan sinxron mashinalari qismi bo‘yicha amaliy
mashg‘ulotlar o‘tkazish uchun

USLUBIY KO‘RSATMA

TOSHKENT 2016

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

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

ELEKTR MASHINALARI
fanidan sinxron mashinalari qismi bo'yicha amaliy
mashg'ulotlar o'tkazish uchun

USLUBIY KO'RSATMA

TOSHKENT 2016

Mustafakulova G.N., Fuychibayev O.A.

«Elektr mashinalari» fanidan sinxron mashinalari qismi bo'yicha amaliy mashg'ulotlarni o'tkazish uchun metodik qo'llanma.

I.: ToshDTU, 2016 - 49 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 $U = U_N$ va toki $I = I_N$ hamda qo'zg'atish toklari I_f turg'un ish rejimlaridagi bog'liqligini ko'rsatuvchi $\cos \varphi$ roslash, tashqi va V-simon xarakteristikalarini Potye diagrammasi asosida qurish namunasi ko'rsatilgan va mustaqil yechish uchun variantlar berilgan.

Ushbu metodik qo'llanma «Elektr mashinalari» va «Elektr mexanika» fanlarini o'rganuvchi 5310700 «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (sanoat)», 5310200 «Elektr energetikasi» va 5111000 «Kasb ta'limi (elektr energetikasi)» yo'nalishlaridagi talabalarga amaliy mashg'ulotlar, hamda mustaqil ish masalalarini yechishda yordam beradi.

ToshDTU ilmiy uslubiy kengashining qaroriga asosan chop etildi.

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

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

Kirish

O'zbekiston Respublikasi rivojlanishining asosiy talablaridan biri, xalq xo'jaligining turli sohalari uchun yuqori 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. Talabalar bilimini o'quv yili davomida nazorat qilish, 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.

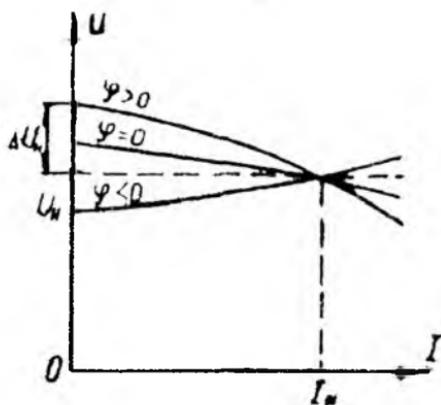
Ushbu metodik qo'llanma «Elektr mashinalari» va «Elektr mexanika» fanlarini o'rganuvchi 5310700– «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (sanoat)», 5310200 «Elektr energetikasi», va 5111000 «Kasb ta'limi (elektr energetikasi)» yo'nalishlaridagi talabalarga amaliy mashg'ulotlar, hamda mustaqil ish masalalarini yechishda yordam beradi.

1. Sinxron generatorning xarakteristikalari haqida umumiy ma'lumotlar

Sinxron generatorning turli xarakteristikalari ichida $n = n_0$ yoki $f = f_0$ va $\varphi = \text{const}$ bo'lgandagi yakor zanjiri kuchlanishi U_1 va toki I_1 hamda qo'zg'atish toklari I_{q0} turg'un ish rejimlaridagi bog'liqligini ko'rsatuvchi – roslash, tashqi va V simon xarakteristikalari alohida o'rin tutadi. Bu xarakteristikalar sinxron generatorlarning asosiy ish xossalarini aniq ko'rsatib beradi.

1.1. Tashqi xarakteristikalar

Bu xarakteristikalar qo'zg'atish toki $I_{q0} = \text{const}$, $f = \text{const}$ (demak, aylanish chastotasi $n = n_0 = \text{const}$) va $\cos\varphi = \text{const}$ bo'lganda generatorning chiqish klemmalaridagi kuchlanish U_1 ning yuklama toki I_1 ga bog'liq holda o'zgarishini ko'rsatadi, ya'ni $U_1 = f(I_1)$.



1-rasm. Tashqi xarakteristikalar

SG ning tashqi xarakteristikalari yuklamaning xarakteriga qarab har xil bo'ladi. 1-rasmda generatorning bu xarakteristikalari uch xil (aktiv, aktiv-induktiv va aktiv-sig'imiyy) xarakterli yuklamalarini kamaytirib olingan, tegishli $\cos\varphi$ uchun ko'rsatilgan. Aktiv-induktiv ($\varphi > 0$) yuklamada mashina yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri tufayli yakor tokining ortishi bilan SG chiqish klemmasidagi kuchlanish kamayadi (bunda $E_n > U_1$), 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 $\varphi > 0$ 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 $\cos\varphi = 0.85 : 0.9$ bilan kuchlanishdan orqada qoluvchi tokda ishlaydilar. Bu holda $\Delta U = 20 : 30$ % bo'ladi. Iste'molchilar nominal kuchlanish U_N va unga yaqin kuchlanish bilan ishlashi uchun SG qo'zg'atishni avtomatik rostdlash 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.

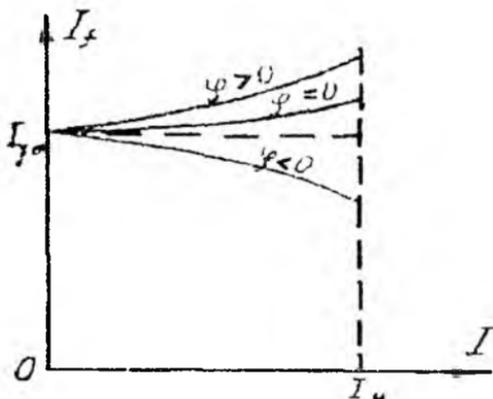
Shu bilan birga φ burchagining oshishi bilan, ya'ni $\cos\varphi$ qiymati kamayishi bilan kuchlanish tushuvi oshadi.

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

$$\Delta U\%_0 = \frac{E_{q0} - U_N}{U_N} \cdot 100\%.$$

1.2. Rostlash xarakteristikalari

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



2-rasm Rostlash xarakteristikalar

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

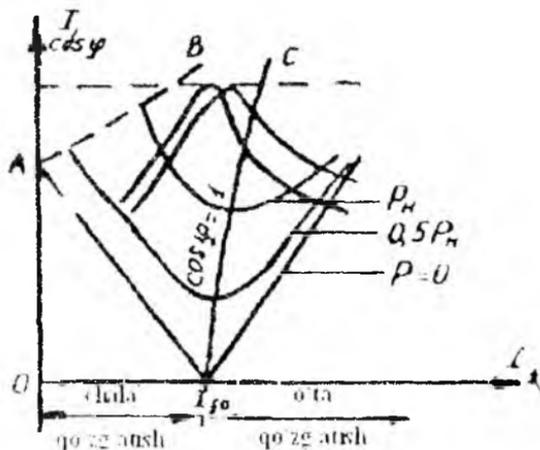
Aktiv-induktiv ($\varphi < 0$) xarakterli yuklamada I_1 tokning ortishi bilan yakor reaksiyasining mashina bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri oshadi, sof aktiv ($\varphi = 0$) yuklamada ham, tashqi xarakteristikaning tahlilida ta'kidlanganidek mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha nisbatan kam miqdorda magnitsizlovchi ta'sir qiladi va SG ning chiqish klemmalaridagi kuchlanish pasayadi, shartga ko'ra esa, $U_1 = \text{const}$ bo'lishi uchun qo'zg'atish tokini oshirish zarur bo'ladi. Aktiv-sig'imiyl ($\varphi > 0$) 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_N 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 $I_1 = f(I_{qo'z})$ sinkron mashinaning *V-simon xarakteristikalari* deyiladi.



3-rasm V-simon xarakteristikalar

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-rasmda $I_1 = f(I_{qo'z})$ bog'liqlik, ya'ni V-simon xarakteristikalari ko'rsatilgan. Yuklanish rejimida 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_{a1} ning ortishi tufayli statoridagi $I_{a1} N_{a1}$ kuchlanish

pasayishi ham ortadi. Tarmoq kuchlanish $U_1 = \text{const}$ bo'lganligidan yoki oshayotgan $I_{\alpha X_{sn}}$ kuchlanish pasayishini qoplash uchun qo'zg'atish tokini oshirib FYK E_0 ni ham ko'paytirishga to'g'ri keladi, chunki $E_0 = U_1 + I_{\alpha} X_{sn}$.

3-rasmda $I \cdot \cos\varphi = f(I_0)$ ayon qutbli sinxron generatorning V-simon xarakteristikalari aktiv quvvatning turli qiymatlari uchun berilgan.

Yakor tokining minimal qiymati har bir egrilik uchun shu tokning aktiv tashkil etuvchisini va quvvat kattaligini $P = mU_d I_a$ 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. Xarakteristikadagi I_{qN} nuqtadan o'ng tomoni o'ta qo'zg'atish ($E_a < U_1$) bo'lib, manbaga induktiv tok va reaktiv quvvat beradi.

Xarakteristikaning I_{qN} dan chap tomoni chala qo'zg'atish ($E_a > U_1$) 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 $I R_a + j I X_s$ kuchlanish tushishi natijasida havo oralig'idagi FYK E_0 va $\cos\varphi = 1$ bo'lgandagi qo'zg'atish toki oshadi.

DC $\cos\varphi = 1$ bo'lgandagi $I_q = f(I_a)$ sinxron generator roslash xarakteristikasini beradi. Λ 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 FYK ning E_{min} qiymati orqali aniqlanadi. E_{min} aktiv quvvat tenglamasidan analitik aniqlanadi. Hisoblar nisbiy birliklar tizimida (n.b.t) olib boriladi:

$$P = P_N = \frac{m U_N I_a \cos\theta_m}{X_d}, \quad \frac{m U_N}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta_m \quad (2)$$

$\theta_m = I_{qmin}$ to'g'ri keladigan kritik burchak 10-rasmdan topiladi $U_N \cdot 1$ va $P_N = \cos\varphi_N$ deb olib, quyidagini hosil qilamiz:

$$I_{\text{max}} = \frac{x_d}{\sin \theta'_m} \left[\cos \varphi_s + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta'_m \right] \quad (3)$$

O'ta qo'zg'atish rejimida qo'zg'atish tokining qiymati qo'zg'atish chulg'amining 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:

$$I_{\text{pr}} = \frac{x_d P_2}{U_N \sin \theta_{pr}} - U_N \left(\frac{x_d}{x_q} - 1 \right) \cos \theta_{pr} \quad (4)$$

$$\theta_{pr} = \arcsin \left[\frac{P_2}{U_N^2 \left(1/x_q - 1/x_d \right)} \right]^{1/2}$$

bu yerda ρ - mexanik isrof yig'indisi (n.b.t).

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

$U_N = \text{const}$, $I_N = \text{const}$, $I_q = \text{const}$ 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_{em} salt ishlash momentlari bilan muvozanatda bo'ladi va aktiv quvvat $P = M_{em} \omega$ bo'ladi, bu yerda $\omega = 2\pi n/60$ magnit maydonning 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 roslayotganda va parallel rejimda ishlamayotgan sinxron generatorning kattaliklaridan faqat θ burchak o'zgaradi.

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

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

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 $mU_s E_q / x_d$ amplituda $\sin\theta$ ga proporsional o'zgaradi va asosiy deyiladi, ikkinchisi $\frac{mU_s^2}{2} \left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right)$ 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, va uni x_d / 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,

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

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 ordinatasidan topiladi (10-rasm). Sinxron generator uchun $\theta_m = 70 - 80^\circ$ bo'ladi.

Sinxron generator $0 < \theta < \theta_m$ oralig'ida turg'un ishlaydi.

θ_m — 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'leholarni shunday tanlash kerakki, bunda maksimal quvvat nominal quvvatdan katta qilib olinishi va generator kerakli paytda o'ta yuklanishga chidamli bo'lishi kerak.

$U_1 = U_N$ va $I_{q1} = I_{q0} > I_N$ bo'lganda maksimal quvvat P_{\max} ning nominal quvvat P_N ga nisbatiga sinxron mashinaning *ortiqcha yuklama bilan ishlash qobiliyati* deyiladi va $k_{o.vu}$ bilan belgilanadi:

$$k_{o.vu} = P_{\max} / P_N = M_{\max} / M_N. \quad (9)$$

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 isli rejimini tiklovchi quvvatga ***sinxronlovchi quvvat*** deyiladi.

Ayon qutbli sinxron mashina uchun sinxronlovchi quvvat va moment quyidagicha aniqlanadi:

$$P_s = (mU E_0 / x_d) \cos \theta + [m U^2 (1/x_q - 1/x_d)] \cos 2\theta,$$

$$M_s = [mU E_0 / (\omega_1 x_d)] \cos \theta + [m U^2 (\omega_1 / \omega) \cdot (1/x_q - 1/x_d)] \cos 2\theta \quad (10)$$

$U_s = \text{const}$, $f_s = \text{const}$, $I_q = \text{const}$ bo'lganda $P_s / I(\theta)$ xarakteristikasi 9-rasmda berilgan.

I-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_{ind} - bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasi ko'effitsiyenti, x_p - yakor chulg'ami hisobiy qarshiligi kerak bo'ladi.

$$x_p = x_a + 0.053 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{F_a^2}{F_a} \quad (11)$$

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

Qurish tartibi:

1. Ordinata o'qi bo'yicha U_N vektor qo'yamiz (o):
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 $I_N x_p$ (BA) induktiv kuchlanish tushuvini qo'yamiz. $I_N x_p$ vektori, tok vektoridan 90° ga oldinda keladi. Hosil bo'lgan OB vektori natijaviy FYK E_a ni beradi va u kuchlanish vektori γ burchakdan oldinda keladi:
4. E_a - FYK 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 kesishguncha chizamiz va uni salt ishlash xarakteristikasi bilan

kesishtirib, C nuqtani olamiz. C nuqtani abstsissa o'qiga tushirib, D nuqtani hosil qilamiz. OD - bc kesim $F_{q\alpha}$ bo'ladi

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

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

6. $OD = \dot{F}'_{qN}$ va $\overline{DN} = \dot{F}'_a$ vektorlarni yig'indisini olib, $\overline{ON} = \dot{F}'_{qN}$ ni topamiz. \dot{F}'_{qN} qo'zg'atish chulg'amining nominal MYKi bo'lib abstsissa o'qida bu kattalikka OA kesma to'g'ri keladi. Odatda $F'_{qN} < 2 \div 2.5$ oraliqda bo'ladi.

Bu qo'zg'atish MYKi F'_{qN} - yuklama tushib ketsa kuchlanishni $E_{qN} = MK - OA$ gacha oshishiga olib keladi.

Bunda kuchlanishning nominal o'zgarishi

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

4-9-rasmlarda sinxron generatorning Potye diagrammasi, roslash, tashqi V simon va burchak xarakteristikalarini quyidagi parametrlar bo'yicha qurish ko'rsatilgan. Nominal quvvat $S_N = 85300 \text{ kVA}$; nominal kuchlanish $U_N = 13.8 \text{ kV}$; fazalar son $m = 3$; chulg'am ulanish sxemasi - Y; tok chastotasi $f = 50 \text{ Gts}$; nominal aylanish tezligi $n = 125 \text{ ayl/min}$; boylama o'q bo'yicha induktiv qarshiligi $x_d = 0.615$; ko'ndalang o'q bo'yicha induktiv qarshilik $x_q = 0.615$; yakor reaksiyasining MYK $E_{qN} = 13004 \text{ A}$; tarqoq induktiv qarshiligi $x_d' = 0.153$; qo'zg'atish chulg'ami MYK $E_{qN} = 18052 \text{ A}$; havo orlig'i MYK $E_{qN} = 15131 \text{ A}$; yakor MYKi nisbiy birliklarda: $F_{qN}/F_{qN} = 0.72$; boylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasining koeffitsiyenti: $k_{out} = 0.845$; nominal quvvat koeffitsiyenti: $\cos\varphi_N = 0.8$.

1-jadvalda n.b.t. da salt ishlash xarakteristikasi berilgan:

E_{qN}	0.5	1	1.066	1.2	1.3
F_{qN}	0.4435	1	1.108	1.424	1.99

1-jadval

4-rasmda $I_N = U_N / I \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = \cos \varphi_N$ 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 $F_M = 1 \text{ n.b.t.} = 50 \text{ mm.}$

$$(11) \text{ dan: } x_{M^*} = 0,153 \cdot 0,053 \frac{\pi \cdot 13004}{4 \cdot 15134} = 0,188 ;$$

$$(12) \text{ dan: } \overline{DN} = F_M^* = F_{M^*} \cdot k_{ad} = 0,72 \cdot 0,845 = 0,608 ;$$

$$OD = F_{M^*} = 1,22 ;$$

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

$$\overline{MK} = \overline{OK'} = F_{M^*} = 1,265 ;$$

$$(13) \text{ dan: } M^* \% = \frac{1,265 - 1}{1} \cdot 100\% = 26,5\% .$$

2-Amaliyot mashg'uloti. Rostlash xarakteristikasini qurish

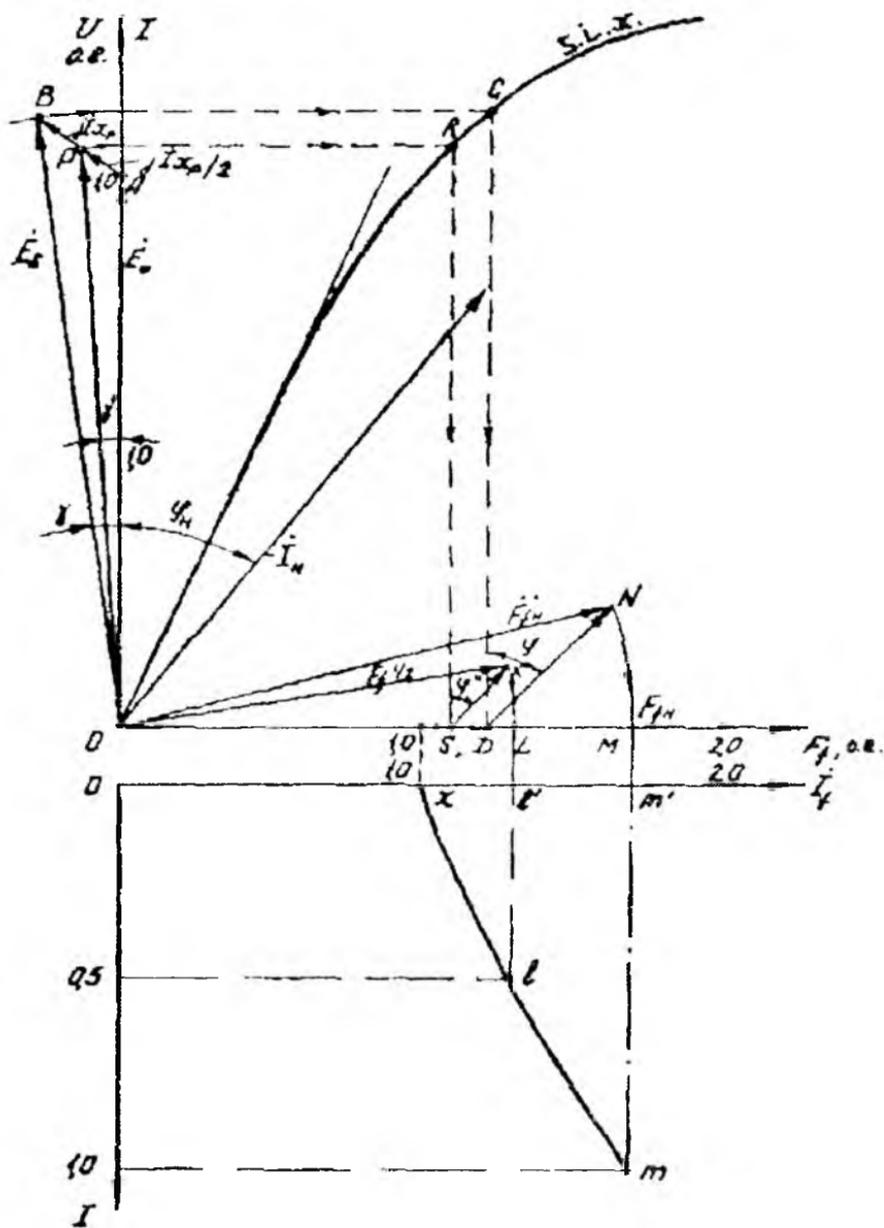
5-rasmda Potye diagrammasi yordamida rostlash xarakteristikasini $I_N = \text{const.}$, $n_N = \text{const.}$, $\cos \varphi_N = \text{const}$ bo'lgan hol uchun qurish ko'rsatilgan.

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

Yuklama nominal ya'ni $I_N = 1$ bo'lganda, $\cos \varphi = 1,7$ kesimi orqali I_{q^*} aniqlanadi $\vec{I}_{q^*} = \vec{I}_{q^*}$ bo'lganligi uchun $\vec{I}_{qN} = \vec{I}_{q^*}$, ya'ni $ON = OM = Om = I_N$.

Yarim yuklanishda nominal kuchlanishni ta'minlaydigan qo'zg'atish toki analitik yo'l bilan aniqlanadi. $0,5 I_N x_i = I'$ 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 abtissa o'qigacha tushirib S nuqtani hosil qilamiz. S nuqtadan $\varphi^* = \alpha - \beta'$ burchak bo'yicha, yarim yuklanishdagi yakor reaksiyasini e'tiborga oladigan $SK = 0,5 I'$ vektorini quramiz. OS va SK vektorlarni yig'indisidan, yarim yuklanishdagi $F_{M^*} = OM$, OM qo'zg'atish MYK ni topamiz. $I_a = 0,5 I_N$ da OM kesim orqali I_{q^*} qo'zg'atish toki topiladi.



5-rasm. Potve diagrammasi yordamida restlashi xarakteristikasini qurish

3-Amaliyot mashg'uloti. Tashqi xarakteristikani qurish

Tashqi xarakteristikasini qurish 6-rasmda ko'rsatilgan. Bu xarakteristika $I_{q\delta} = 1,7 \text{ const}$, $n = \text{const}$, $\cos\varphi_N = \text{const}$ uchun qurilganda $I_{q\delta} = 1$ yuklama nominal bo'lganda chiqish klemmlaridagi kuchlanish $U_{q\delta} = 1$ bo'ladi va bunga ordinata o'qidagi OM kesim to'g'ri keladi. Salt ishlash rejimida ya'ni $I_a = 0$ va $I_{q\delta} = -\text{const}$ bo'lganda chiqish klemmlaridagi kuchlanish (Potye diagrammasidan) $E_{q\delta} = 1,265$ teng, bunga ordinata o'qidagi OK kesim to'g'ri keladi.

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

M nuqtadan $\varphi^* = \varphi_N + \gamma$ burchak bo'yicha (6-rasm) yarim yuklanishdagi yakor reaksiyasini e'tiborga oladigan $0,5E_a$ va $0,5E_{k\omega}$ vektorini qo'yamiz, keyin bu vektorni o'ziga parallel qilib AM yoyi bilan uchrashgunicha oboramiz. Shu tariqa hosil bo'lgan R nuqtasini salt ishlash xarakteristikasiga (R nuqta), keyin ordinata o'qiga ko'chiramiz (S nuqta). OS radius bo'yicha yoy chizamiz. Yarim yuklanishdagi x_p induktiv qarshiligining kuchlanish tushuvi vektori $0,5jI_a x_p$ n.b.t.da,

ya'ni $0,5BA - P'A$ bo'ladi. $P'A$ vektorini o'ziga parallel ravishda OS yoyi bilan uchrashgunicha ko'chirib P^* nuqtani, ordinata o'qida esa T nuqtani hosil qilamiz. OT vektori yarim yuklanishda sinxron generator chiqish klemmlaridagi kuchlanishni beradi. Tashqi xarakteristikada $I_a = 0,5$ yakor tokiga $OM^* = OM$ kesimga teng kuchlanish to'g'ri keladi.

4 Amaliyot mashg'uloti. V-simon xarakteristikalarni qurish

V-simon xarakteristikalarni diagrammasi bo'yicha qurish tartibi 7, 8-rasmda ko'rsatilgan. Bu xarakteristikalar $U = U_N = \text{const}$, $U_N = \text{const}$, va $P = \text{const}$ bo'lib, aktiv quvvatning $P = 0$ va $P = P_N$ qiymatlari uchun quriladi.

V-simon xarakteristikalarning chap tomoni $P = 0$ (8-rasm) uchun AB to'g'ri chiziqni beradi. A nuqta (1) formuladan yakor tokning

qiymatlariga $I_a = 0$ bo'lgandagi $I_a = \frac{U_N}{x_d} = \frac{1}{0,87} = 1,15$, B nuqtaga $I_a = 0$ va $I_a = 1$ to'g'ri keladi.

θ burchakka 0-180° 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						
No		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	$P_{as} \cdot 1,954 \sin\theta$	0	0,506	0,977	1,38	1,69	1,89	1,954
4	$P_{qo'sh} \cdot 0,238 \sin 2\theta$	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
No		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	$P_{as} \cdot 1,954 \sin\theta$	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0	
4	$P_{qo'sh} \cdot 0,238 \sin 2\theta$	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 (9-rasm) $P_N \cdot \cos\varphi_N = 0,8$ uchun $\theta = 19^\circ 30'$;

b) (8) bo'yicha analitik:

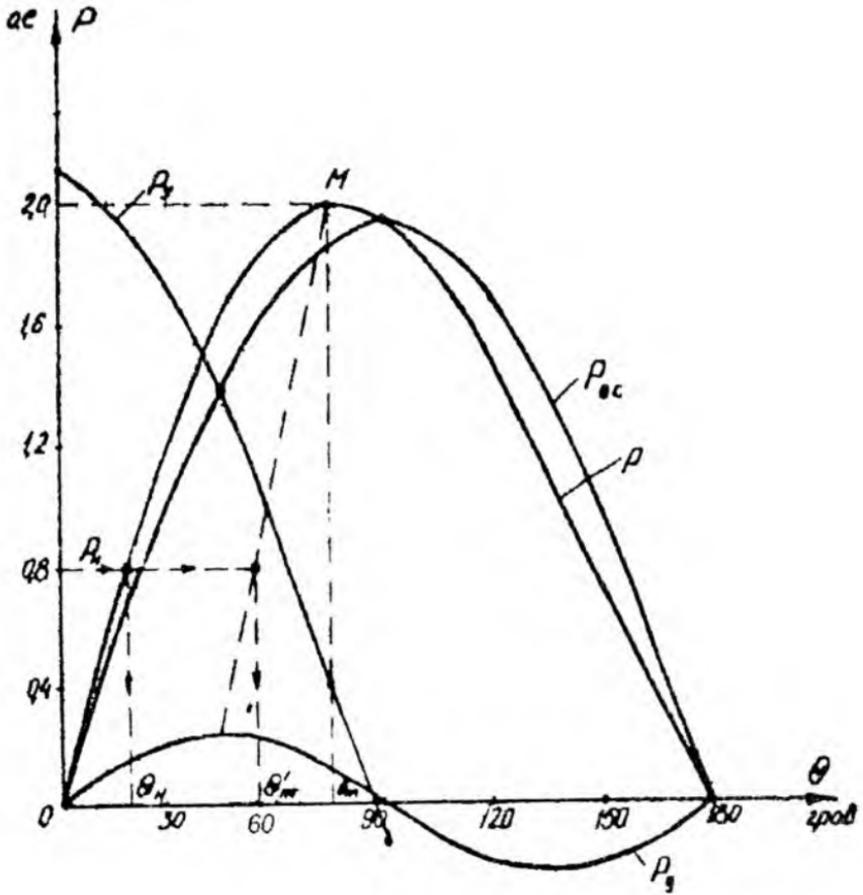
$$\theta_N = \arctg \frac{0,615 - 0,8}{1 - 0,615 \cdot 0,6} = \arctg 0,3367 = 19^\circ 46'$$

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

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

Hisoblashlarni 3- jadvalga yozamiz.



9-rasm. Burchak xarakteristikasi

		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	0.176

3-jadval

$k_{0, \dots}$ statik yuklanish koeffitsiyentini (9) topamiz

$$k_{o'vu} = \frac{P_m}{P_N} = \frac{2,01}{0,8} = 2,51$$

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: $k_{o'vu} = 2,51$.

Keltirilgan qiymatlar, hisoblangan gidrogeneratorni GOSI talablariga to'la javob berishini ko'rsatadi.

Mustaqil hisoblar uchun variantlar

4-jadval

N	U_N	λ_e	λ_d	λ_q	$\cos\varphi$	F_A	F_B	F_C	k_{ad}
1	1.1	0.158	0.5	0.3	0.6	11000	13256	16356	0.625
2	1.2	0.169	0.65	0.33	0.65	12500	15245	18125	0.698
3	1.3	0.186	0.72	0.6	0.7	13600	16325	20145	0.725
4	1.4	0.176	0.81	0.55	0.75	16800	19852	25563	0.789
5	1.12	0.185	0.92	0.66	0.8	11650	14523	17852	0.87
6	1.13	0.196	0.44	0.22	0.85	12860	16523	19452	0.89
7	1.14	0.175	0.38	0.11	0.9	15480	18256	21452	0.95
8	1.15	0.169	0.39	0.15	0.95	14065	18236	22465	0.99
9	1.16	0.184	0.33	0.27	0.6	16750	20356	24478	0.65
10	1.17	0.192	0.34	0.1	0.65	12690	15624	19852	0.69
11	1.18	0.173	0.22	0.12	0.7	12800	16452	20145	0.754
12	1.21	0.175	0.72	0.65	0.75	13500	16452	19874	0.798
13	1.22	0.184	0.88	0.57	0.8	17500	20145	23654	0.86
14	1.23	0.196	0.77	0.62	0.85	13670	16452	19852	0.89
15	1.24	0.165	0.66	0.44	0.9	14680	18236	22365	0.96
16	1.25	0.183	0.55	0.32	0.95	15630	20145	24582	0.99
17	1.26	0.172	0.93	0.55	0.6	17560	21452	25698	0.69
18	1.27	0.258	0.94	0.54	0.65	13250	16253	20145	0.71
19	1.28	0.213	0.96	0.55	0.7	16870	19254	24452	0.75
20	1.29	0.225	0.98	0.56	0.75	16580	20132	25485	0.78
21	1.3	0.215	0.82	0.57	0.8	17850	22145	26741	0.86
22	1.31	0.218	1.81	0.58	0.85	18000	21852	24569	0.89
23	1.32	0.216	0.86	0.59	0.9	15689	19256	23654	0.95
24	1.33	0.217	0.88	0.61	0.95	17560	22152	26589	0.99
25	1.34	0.225	0.72	0.62	0.6	12639	15962	19452	0.64
26	1.35	0.165	0.76	0.33	0.65	17582	20152	23654	0.69
27	1.36	0.215	0.22	0.34	0.7	14658	19452	22585	0.78
28	1.37	0.218	0.78	0.35	0.75	16523	20123	24569	0.79
29	1.38	0.219	0.36	0.36	0.8	14236	19452	23654	0.81
30	1.39	0.216	0.21	0.21	0.85	12588	16253	19785	0.89
31	1.4	0.218	0.61	0.22	0.9	25896	30125	35456	0.77
32	1.03	0.215	0.66	0.23	0.95	23695	28523	32652	0.99
33	1.04	0.218	0.68	0.24	0.6	21478	24125	27851	0.68
34	1.05	0.182	0.21	0.25	0.65	13665	16325	19452	0.69
35	1.06	0.175	0.22	0.26	0.7	14563	17258	20123	0.75

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основным требованием развития Республики Узбекистан является подготовка высоко квалифицированных специалистов для различной отрасли народного хозяйства. Для этого в высших учебных заведениях необходимо совершенствовать учебный процесс, обучать студентов к самостоятельной работе, развивать профессиональные навыки. Контролировать знания студентов в течении учебного года, наблюдать за выполнении домашних и самостоятельных работ, обучать к активности во время занятий приводит к становлению специалистов с глубокими знаниями. Одним из форм регулярной проверки самостоятельной работы, домашних заданий и получении знаний во время занятий студентов является практическое занятие.

Данное методическое пособие поможет студентам направления 5310700 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии (в промышленности)», 5310200 «Электроэнергетика», 5111000 – «Педагогическое образование (электроэнергетика)», самостоятельно решить примеры и самостоятельные работы изучающих предмет «Электрические машины» и «Электромеханика».

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 $I_f = \text{const}$, $n = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$ (рис. 1).

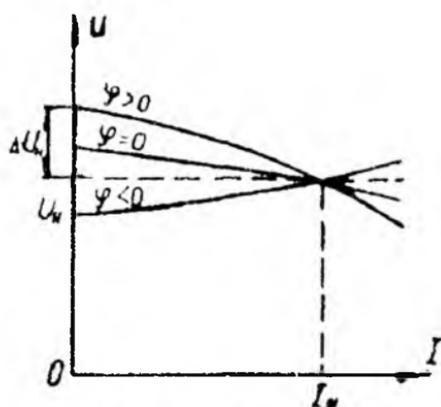


Рис. 1. Внешние характеристики

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 разматывающего действия реакции якоря и падения напряжения $\dot{I}r_a + j\dot{I}x_s$, 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 $\varphi=0$ ($\cos\varphi=1$) разматничивающее действие реакции якоря заметно 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 ΔU_N . ΔU_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:

$$\Delta U_N \% = \frac{E_{10} - U_N}{U_N} \cdot 100\%.$$

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 $U_N = const$, $n_N = const$, $\cos\varphi = const$ (рис. 2)

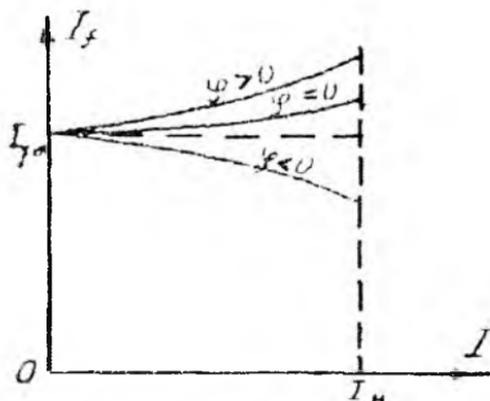


Рис.2. Регулировочные характеристики

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:

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

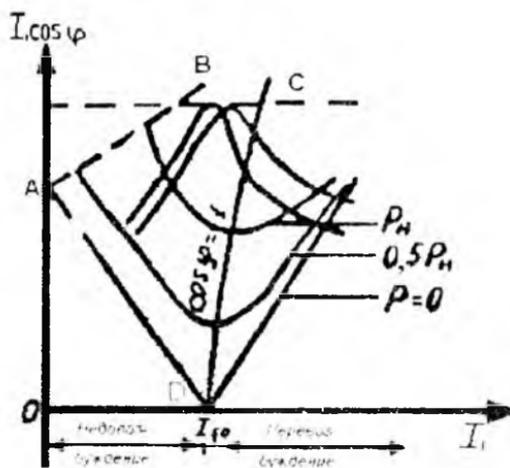


Рис. 3. V-образные характеристики

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:

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

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

$$I_r = I \cdot \sin \varphi = \frac{Q}{m \cdot U_{\lambda}} \quad \text{var}$$

На рис. 3 показано семейство характеристик $I \cdot \cos \varphi = f(I_f)$ при различных значениях активной мощности P . Минимальное значение тока якоря для каждой кривой определяет активную составляющую тока якоря $I_a(I_f = 0)$ и величину мощности $P = m I_a U_{\lambda}$, для которой построена данная кривая. Нижняя кривая соответствует $P=0$, т.е. холостому ходу синхронного генератора; I_{f0} — значение тока возбуждения при $I_a = I_{\lambda}$. Правые части кривых соответствуют перевозбужденной машине и отдаче в сеть индуктивного тока и реактивной мощности, а левые части — не перевозбужденной 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 $\dot{U}_{\lambda} = j I_{\lambda} \dot{X}_{\lambda}$ возрастает значение результирующей ЭДС в воздушном зазоре E_{δ} и необходимый ток возбуждения при $\cos \varphi = 1$. DC представляет собой регулировочную характеристику генератора $I = f(I_f)$ при $\cos \varphi = 1$. Точка A соответствует холостому ходу не перевозбужденной машины. При этом из сети потребляется намагничивающий ток:

$$I_a = \frac{U_{\lambda}}{x_{\lambda}} \quad (1)$$

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 $I_{мин}$, при котором машина выпадает из синхронизма, определяется по спрямленной через номинальную точку характеристике холостого хода машины по минимальному значению ОДС $E_{мин}$. $E_{мин}$ определяется аналитически из уравнения активной мощности. Расчет ведется в относительных единицах:

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

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

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

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:

$$I_{лип} = \frac{x_d P_t}{U_N \sin \theta_{лип}} = U_N \left(\frac{x_d}{x_q} - 1 \right) \cos \theta_{лип} \quad (4)$$

$$\theta_{лип} = \arcsin \left[U_N \left(1 - \frac{P_t}{x_q} - 1 - x_d \right) \right]^{1/2}$$

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:

$P = f(\theta)$ 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) $I_f = \text{const}$, и из числа величин, определяющих режим при параллельной работе, изменяется только угол θ .

Расчет и построение угловой характеристики ведется по уравнению активной мощности:

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

где E_f — ЭДС синхронной машины определяется по спрямленной через номинальную точку характеристике холостого хода (рис. 1); 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 $\frac{mU_N^2}{2} \left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right)$ изменяется пропорционально $\sin 2\theta$ и называется реактивной.

Первая составляющая имеется в возбужденной машине при $\Gamma = 70^\circ$, 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 (5) и приравняв ее к нулю, можно найти, что мощность будет экстремальной при угле:

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

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 $\theta_m = 70 \dots 80^\circ$.

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 P_N в относительных единицах:

$$P_N = \cos \varphi_N;$$

б) аналитическое определение θ_N осуществляется из уравнения электромагнитной мощности:

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

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 $P_{\text{н}}$ при $U=U_{\text{н}}$ и $I_f=I_{\text{н}}$ к номинальной мощности $P_{\text{н}}$:

$$k_{\text{п}} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{н}}} \quad (9)$$

Согласно ГОСТ статическая перегружаемость для синхронных машин должна быть не менее 1,7.

Критерием статической устойчивости синхронного генератора является коэффициент синхронизирующей мощности - $P_{\text{с}}$. При $P_{\text{с}} > 0$ работа генератора статически устойчива.

Коэффициент синхронизирующей мощности равен производной активной мощности P по углу θ и синхронизирующей момент определяется:

$$P = \frac{mU}{x_{\text{в}}} I_f \cos \theta + mU^2 \left(\frac{1}{x_{\text{в}}} - \frac{1}{x_{\text{д}}} \right) \cos 2\theta$$

$$M = [mU I_f / (\omega_0 x_{\text{в}})] \cos \theta + [(mU^2 / \omega_0) \cdot (1/x_{\text{в}} - 1/x_{\text{д}})] \cos 2\theta \quad (10)$$

На рис. 9 показана кривая $P_{\text{с}} = f(\theta)$ при $I_{\text{н}} = \text{const}$, $f_{\text{н}} = \text{const}$, $I_f = \text{const}$.

Практическое задание №1. Построение характеристик. Порядок построения диаграммы Погье

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 Погье. Все построения и расчеты выполнены для гидрогенератора со следующими данными:

Номинальная кажущаяся мощность	$S_{\text{н}} = 85,5 \text{ кВА};$
Номинальное линейное напряжение	$U_{\text{н}} = 13,8 \text{ кВ};$

Число фаз	$m=3$;
Соединение фаз	Y/звезда/;
Частота тока	$f=50$ Гц;
Номинальная частота вращения	$n=125$ 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	$x_\sigma=0,149$ о.е.;
МДС реакции якоря при номинальной нагрузке	$F_a=13014$ А;
МДС обмотки возбуждения	$F_{\text{вк}}=18075$ А;
МДС воздушного зазора	$F_\delta=15146$ А;
МДС реакции якоря при номинальной нагрузке в о.е.	$F_a/F_{\text{вк}}=0,72$;
Коэффициент реакции якоря по продольной оси	$k_{ad}=0,845$;

Характеристика холостого хода в относительных величинах представлена в табл. 1.

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

Расчет и построение диаграммы Потье и всех характеристик проводится в относительных единицах. За базисные значения приняты номинальное напряжение U , номинальный ток якоря I_N , МДС возбуждения F_N и соответствующий ей ток возбуждения $I_{\text{вк}}$, 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 :

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

где x_σ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря.

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

1. Вектор напряжения \vec{U}_a совмещаем с положительным направлением оси ординат OY .

2. Под углом φ_N к вектору напряжения проводим вектор тока \vec{i} .

3. К вектору напряжения прибавляем вектор индуктивного падения напряжения $\vec{i}T \cdot x_d(BI)$, который проводится из точки A перпендикулярно вектору тока \vec{i} . Вектор опережает вектор \vec{i} на 90° . Полученный вектор 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 K . Последняя спускается в точку C на характеристику холостого хода. Отрезок $OK=BC$ и есть E_{13} .

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

$$DN = E'_a - E_\delta k_{ad} \quad (12)$$

6. Суммируя $OD = E'_a$ и $DN = E'_a k_{ad}$, находим $ON = E'_a$.

E'_a – номинальная МДС возбуждения, на оси абсцисс ей соответствует отрезок OM .

Следует отметить, что обычно $i_a \approx 2 - 2,5$ а.е.

При сбросе нагрузки на МДС возбуждения повышает напряжение до $E_0 = MK = OK'$; номинальное изменение напряжения при этом:

$$\Delta U_{\%a} = \frac{E_0 - E}{E} = 100\% \cdot \frac{MK - OA}{OA} = 100\% \quad (13)$$

На рис. 4-9 показано построение диаграммы Потье, регулировочной, внешней, X – образных и угловой характеристик для синхронного генератора с приведенными выше данными.

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

При построении диаграммы Потье принят масштаб:

для напряжения $U = 1 \text{ о.е.} = 100 \text{ мм.}$

для МДС $F_j = 1 \text{ о.е.} = 50 \text{ мм.}$

$$\text{По (11): } \lambda_p = 0,153 + 0,053 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{13004}{15134} = 0,188 \text{ о.е.}$$

$$\text{По (12): } \overline{DN} = F'_d = 0,72 \cdot 0,845 = 0,608 \text{ о.е.};$$

$$\overline{OD} = F_{\delta} = 1,22 \text{ о.е.};$$

$$\overline{ON} = \overline{OM} = F_{\delta} = 1,7 \text{ о.е.};$$

$$\overline{MK} = \overline{OK'} = F_{\delta} = 1,265 \text{ о.е.}$$

$$\text{По (13): } \Delta U_{\text{н}} \% = \frac{1,265 - 1}{1} \cdot 100\% = 26,5\%$$

Практическое занятие №2. 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_{δ} , соответствующий МДС F_{δ} при холостом ходе, определяется отрезком $OX = 1 \text{ о.е.}$

При номинальной нагрузке, т.е. при $I = 1 \text{ о.е.}$, I_N определяется отрезком $Om' = 1,7 \text{ о.е.}$ следует помнить, что в относительных единицах $\dot{I}_\delta = \dot{F}_\delta$, следовательно, $\dot{I} = \dot{F}_\delta$. Нахождение I_δ подробно описано при построении диаграммы Потье, т.е. $\overline{OX} = \overline{OM} = \overline{Om'} = F_{\delta}$.

Ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при половинной нагрузке, определяется аналогичным образом. Перпендикулярно направлению тока якоря из точки I откладываем вектор падения напряжения на расчетном индуктивном сопротивлении обмотки якоря при половинной нагрузке $0,5 I_N \lambda_p = \overline{IP}$. 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 $\overline{SK} = 0,5 I_N'$, учитывающий действие реакции якоря при половинной нагрузке. Суммируя векторы OS и

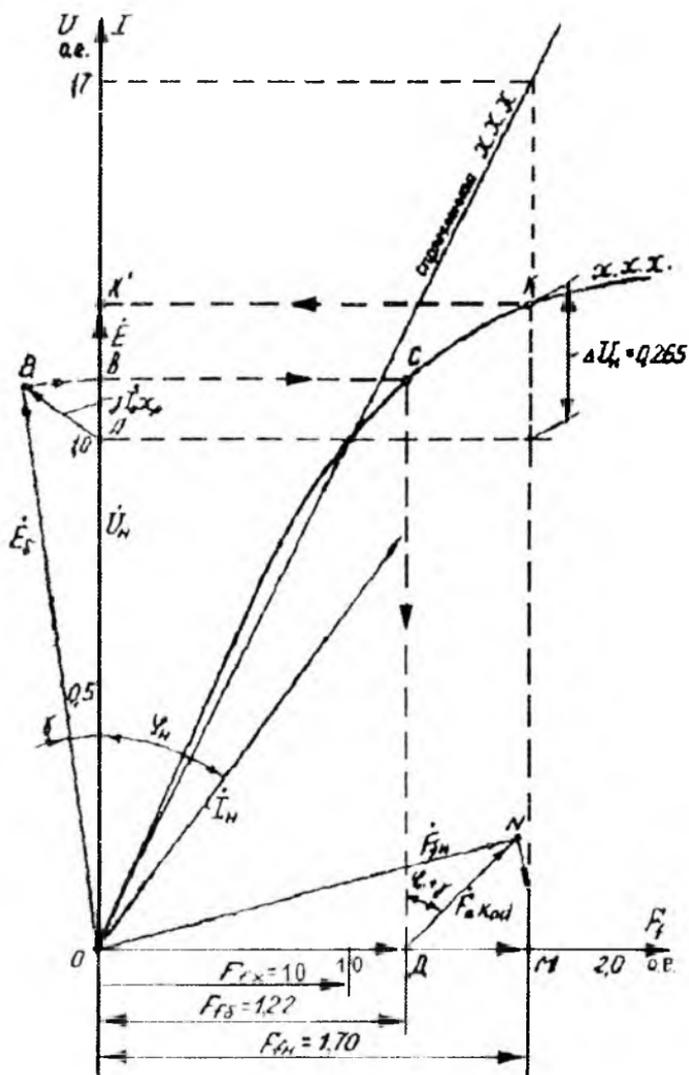


Рис. 4. Диаграмма Потье

так определяем МДС возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{в}0} + \Delta I_{\text{в}}$ при половинной нагрузке. Следовательно, при $I = 0,5$ ток возбуждения $I_{\text{в}}$ определяется отрезком Om' .

Практическое занятие №3. Построение внешней характеристики

Построение внешней характеристики представлено на рис. 6. Характеристика строится при $I_{\text{в}} = 1,7$ о.е., $\psi = \text{const}$, $n = \text{const}$, $\cos\varphi_{\text{в}} = \text{const}$. При номинальной нагрузке, т.е. при $I_{\text{в}} = 1$ о.е., напряжение на зажимах генератора $U = 1$ о.е., чему соответствует ордината Om' . При холостом ходе, т.е. при $I = 0$ и $I_{\text{в}} = \text{const}$, напряжение на зажимах генератора (согласно построениям на диаграмме Потье) равно $E_{\text{в}} = 1,265$ о.е., чему соответствует на оси ординат отрезок OK . Рассмотрим определение величины напряжения на зажимах синхронного генератора для промежуточного значения тока, например, для $I = 0,5$ о.е.

Из точки M под углом $\varphi'' = \varphi_{\text{в}} + \gamma'$ (см. рис. 6) откладываем вектор $0,5I_{\text{в}}' = 0,5I_{\text{в}}' \cdot k_{\text{в}}$, учитывающий действие реакции якоря при половинной нагрузке, а затемдвигаем его параллельно самому себе до соприкосновения конца этого вектора с дугой AM .

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 $0,5I_{\text{в}}x_p$, т.е. $0,5BI'P'$. Переносим вектор $P'P$ параллельно самому себе до соприкосновения с дугой радиуса OS в точке T' , а осью ординат в точке T . Вектор 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 $OS' = OT$.

Практическое занятие №4. Построение V-образных характеристик

V-образные характеристики показаны на рис. 8., а построение их с помощью диаграммы Потье – на рис. 7. Построения

Рис. 4. Определяем напряжения

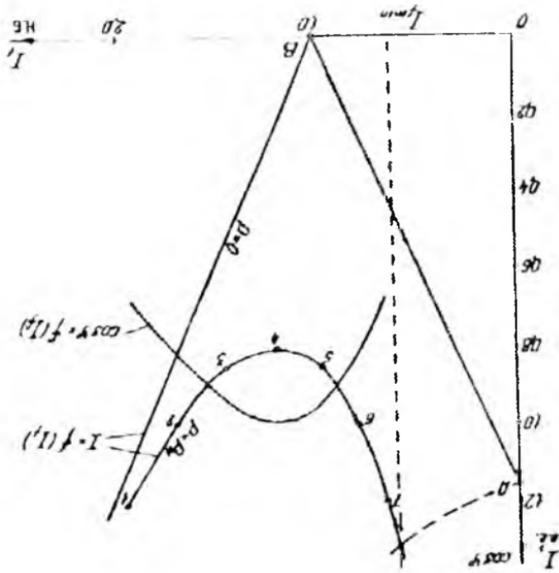
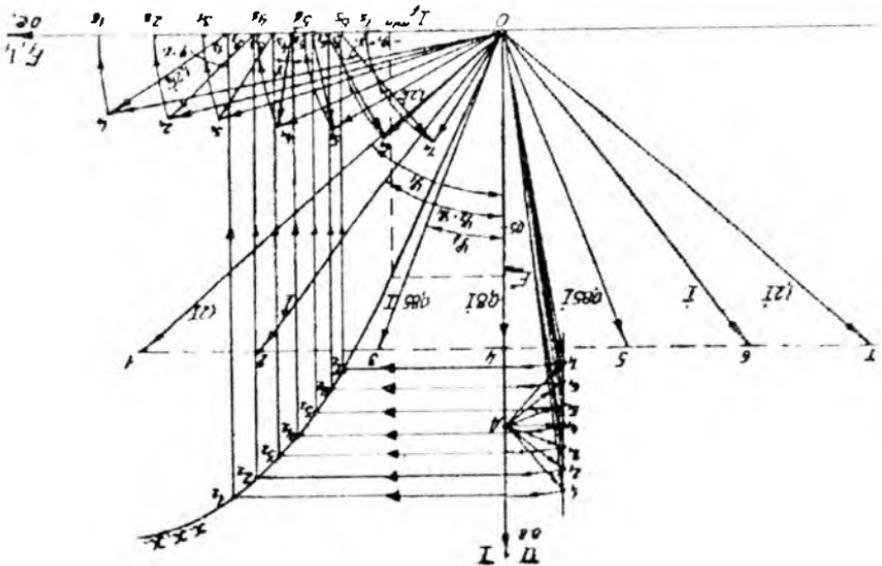


Рис. 5. Определяем напряжения по направлению на изгибные моменты



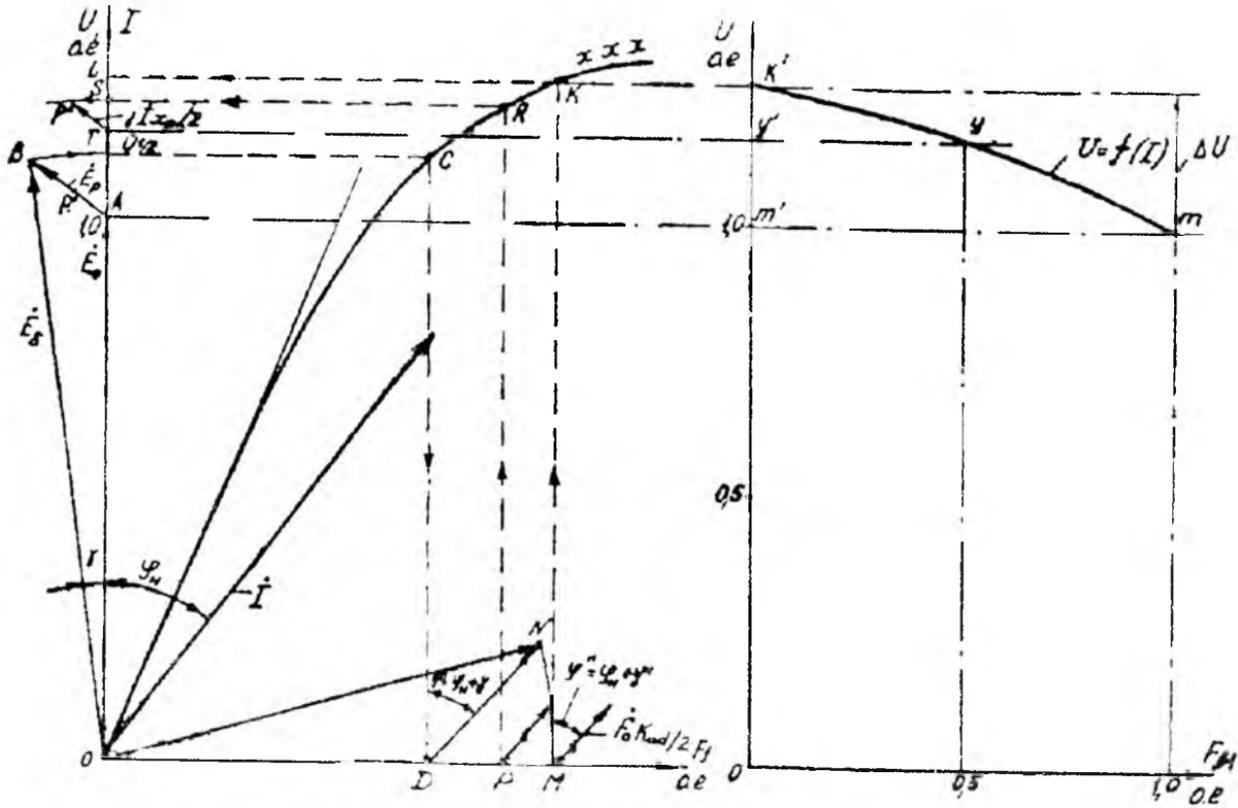


Рис. 6. Измерение вентиль характеристик полярных дуг

выполняются при $U=U_N$, const, μ_c const и P 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 АВ. Точке А соответствует значение тока якоря по (1): $I = \frac{I_N}{\cos \varphi} = \frac{1}{0,87} = 1,15$ о.е. при $I_f=0$.

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

Правая ветвь без учета насыщения – зеркальное отображение левой. В случае учета насыщения правая ветвь V-образной характеристики строится по диаграмме Потье.

V-образную характеристику для $P=P_N$ const строим для следующих значений тока якоря I в относительных единицах: 1,2; 1,0; 0,85; 0,8 при $\varphi=0$ и 0,85; 1; 1,2 при $\varphi=0$. Активная составляющая тока якоря $I_a = I \cos \varphi = 0,8$ остается постоянной, поэтому векторы токов будут скользить по прямой, проведенной параллельно оси абсцисс из точки А.

С помощью диаграммы Потье (см. рис. 7) для данных значений тока якоря определяем токи возбуждения аналогично описанному ранее. Для этих точек по (14)

$$\cos \varphi = \frac{P_N}{U_N \cdot I} = \frac{0,8}{1 \cdot I} \quad (14)$$

определяем значение $\cos \varphi$ и строим кривую $\cos \varphi f(I)$. Величина минимального тока возбуждения I_{\min} (левая граница статической устойчивости) определена по (3)

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

$\theta_{\min} = 51^\circ$ – определен графически по рис.9.

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

Практическое задание №5. Расчет и построение угловой характеристики и кривой коэффициента синхронизирующей мощности

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

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

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

Здесь, 1,7 – значение ЭДС E_f синхронной машины, определенное по прямой линии 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 $P_{\text{акт}}$ и реактивную $P_{\text{реак}}$.

№		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	$P_{\text{акт}} = 1,954 \sin \theta$	0	0,506	0,977	1,38	1,69	1,89	1,954
4	$P_{\text{реак}} = 0,238 \sin 2\theta$	0	0,119	0,206	0,238	0,206	0,119	0
5	$P = P_{\text{акт}} + P_{\text{реак}}$	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	$P_{\text{акт}} = 1,954 \sin \theta$	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0	
4	$P_{\text{реак}} = 0,238 \sin 2\theta$	0,119	0,238	0,238	0,206	0,119	0	
5	$P = P_{\text{акт}} + P_{\text{реак}}$	1,77	1,181	1,1428	1,771	0,387	0	

Определение номинального угла θ_0 проводится двумя способами: а) графическое определение угла θ_0 по угловой характеристике (см. рис.9.) при $P_{\text{акт}} = \cos \varphi_k = 0,8$ (т.е. $\theta_0 = 19^\circ 30'$); б) аналитическое определение по (8)

$$\theta_0 = \arctg \frac{0,615 \cdot 0,8}{1 + 0,615 \cdot 0,6} = \arctg 0,3367 = 19^\circ 46'.$$

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)

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

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

Коэффициент статической перегружаемости $k_{ст}$ определяется по формуле (9)

$$k_{ст} = \frac{P_m}{P_s} = \frac{2,01}{0,8} = 2,51$$

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

Номинальная МДС возбуждения	$F_{нв}^* = 1,7$ о.е.
Номинальное изменение напряжения в %	$\Delta U_s = 26,5\%$
Минимальное значение тока возбуждения при номинальной нагрузке	$I_{мин} = 0,54$ о.е.
Номинальное значение угла нагрузки	$\theta_{н} = 19^\circ 30'$
Максимальное (критическое) значение угла нагрузки	$\theta_m = 75^\circ$
Коэффициент статической перегружаемости	$k_{ст} = 2,51$

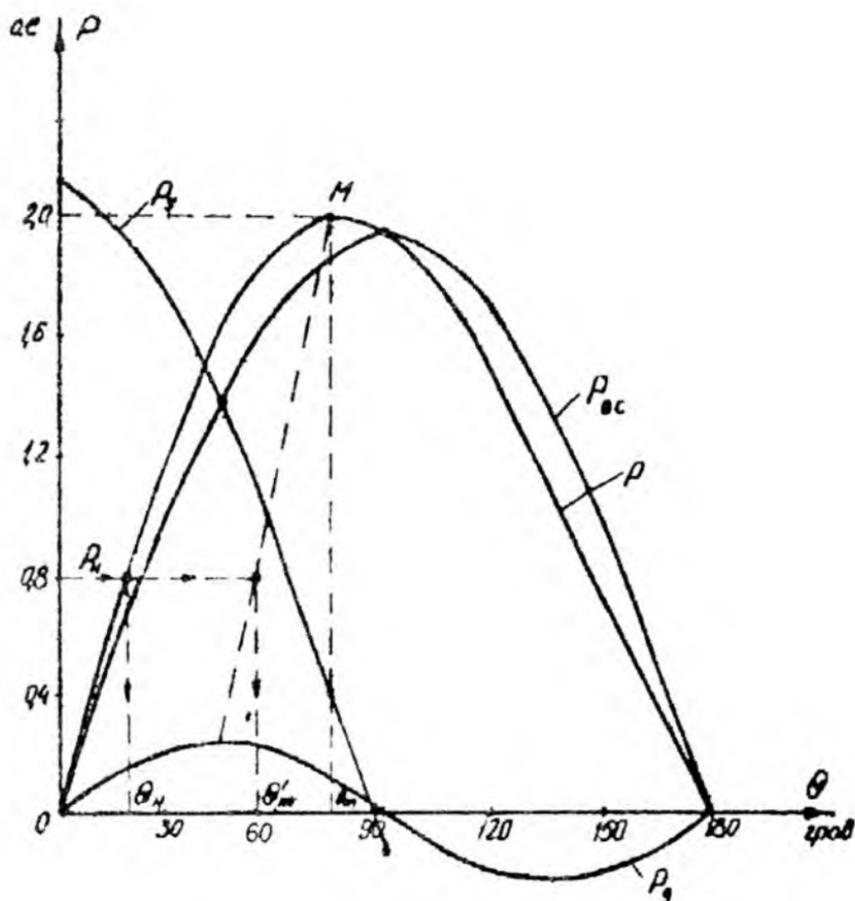


Рис. 9. Угловая характеристика

Приведенные данные показывают, что рассчитанный гидрогенератор удовлетворяет требованиям ГОСТ.

Варианты заданий для самостоятельного расчёта

Таблица 4

№	U_x	U_0	λ_d	λ_q	$\cos\varphi$	F_a	F_b	F_{Σ}	$k_{ад}$
1	1,1	0,158	0,5	0,3	0,6	11000	13756	16756	0,625
2	1,2	0,169	0,65	0,33	0,65	12500	15345	18125	0,698
3	1,3	0,186	0,72	0,6	0,7	13600	16325	20145	0,725
4	1,4	0,176	0,81	0,55	0,75	16800	19852	25563	0,789
5	1,12	0,185	0,92	0,66	0,8	11650	14523	17852	0,82
6	1,13	0,196	0,44	0,22	0,85	12860	16523	19452	0,89
7	1,14	0,175	0,38	0,11	0,9	15180	18256	21452	0,95
8	1,15	0,169	0,29	0,15	0,95	14965	18236	22565	0,99
9	1,16	0,184	0,33	0,27	0,6	16756	20356	24478	0,68
10	1,17	0,192	0,214	0,1	0,65	12690	15674	19852	0,69
11	1,18	0,173	0,22	0,12	0,7	12800	16452	20145	0,754
12	1,21	0,175	0,72	0,65	0,75	13500	16352	19874	0,798
13	1,22	0,184	0,88	0,57	0,8	17500	29115	23654	0,86
14	1,23	0,196	0,77	0,62	0,85	13670	16452	19852	0,89
15	1,24	0,165	0,66	0,44	0,9	14680	18236	22565	0,96
16	1,25	0,183	0,55	0,22	0,95	15730	20145	24582	0,99
17	1,26	0,172	0,93	0,55	0,6	1360	21152	25698	0,69
18	1,27	0,258	0,94	0,84	0,63	13350	16233	20145	0,71
19	1,38	0,213	0,96	0,85	0,7	16820	19254	24452	0,75
20	1,29	0,235	0,98	0,56	0,75	16580	20132	25485	0,78
21	1,3	0,215	0,82	0,57	0,8	13800	22145	26741	0,86
22	1,31	0,218	0,84	0,58	0,85	8000	21852	21569	0,89
23	1,32	0,216	0,86	0,59	0,9	13689	19256	23654	0,95
24	1,34	0,217	0,88	0,61	0,95	1360	22152	26589	0,99
25	1,34	0,225	0,2	0,62	0,6	12659	15962	19452	0,64
26	1,35	0,165	0,76	0,33	0,65	17382	20152	23654	0,69
27	1,36	0,215	0,722	0,34	0,7	11678	19482	22585	0,78
28	1,37	0,218	0,78	0,35	0,75	16523	20123	24569	0,79
29	1,38	0,219	0,79	0,36	0,8	11276	19452	23654	0,84
30	1,39	0,216	0,62	0,21	0,83	12588	16253	19785	0,89
31	1,4	0,218	0,64	0,22	0,9	25836	30123	35156	0,97
32	1,03	0,213	0,66	0,23	0,95	3698	28523	32652	0,99
33	1,04	0,218	0,68	0,24	0,6	21378	21125	27854	0,68
34	1,05	0,182	0,71	0,25	0,65	13667	16325	19452	0,69
35	1,06	0,175	0,72	0,26	0,7	14567	17258	20123	0,75

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 П.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. - Сиб.: Интер, 2008. - 320 с.
4. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. Учебник для вузов. - Сиб.: Интер, 2008. - 350 с.
5. Гольдберг О.Д., Хелемская С.И. 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.И. Электрические машины. Учебник для вузов. - М.: Высш. шк., 2000. - 607 с.
8. Осин Н.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., Бекжанов Б.Э. Трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Техника олий ўқув юрталари учун ўқув кўрсатма. «VI KFOR PRESS» нашрияти. - 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 faxlasulari milliy jamiyati nashriyoti, 2011. - 408 б.
11. Бозоров Н.Х., Пирматов Н.Б. Синхрон машиналар. Ўқув кўрсатма. - Т.: ТошДУ, 1998. - 100 б.
12. Камган М.М. Сборник задач по электрическим машинам. Учебное пособие. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. - 160 с.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1. Sinxron generatorning xarakteristikalari haqida umumiy tushunchalar.....	4
1.1. Tashqi xarakteristikalar.....	4
1.2. Rostlash xarakteristikalari.....	6
1.3. V simon xarakteristikalar.....	7
1.4. Burchak xarakteristikasi, sinxronlovchi quvvat koeffitsiyenti va statik o'ta yuklanuvchanlik.....	9
1-Amaliyot mashg'uloti. Xarakteristikalarni qurish. Potye diagrammasini qurish tartibi.....	12
2 Amaliyot mashg'uloti. Rostlash xarakteristikasini qurish.....	15
3 Amaliyot mashg'uloti. Tashqi xarakteristikasini qurish.....	17
4-Amaliyot mashg'uloti. V simon xarakteristikalarni qurish.....	17
5-Amaliyot mashg'uloti. Burchak xarakteristikasini hamda sinxronlovchi quvvatni qurish va hisoblash.....	19
Mustaqil hisoblar uchun variantlar.....	24
Adabiyotlar.....	47

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	25
1. Общие сведения о характеристиках синхронного генератора.....	26
1.1. Внешние характеристики.....	26
1.2. Регулировочные характеристики.....	27
1.3. V образные характеристики.....	28
1.4. Угловая характеристика, коэффициент синхронизирующей мощности и статическая перегружаемость.....	31
Практическое занятие №1. Построение характеристик. Порядок построения диаграммы Потье.....	33
Практическое занятие №2. Построение регулировочной характеристики.....	36
Практическое занятие №3. Построение внешней характеристики.....	38
Практическое занятие №4. Построение V-образных характеристик.....	38

Практическое занятие №5. Расчет и построение угловой характеристики и кривой коэффициента синхронизирующей мощности	43
Варианты заданий для самостоятельного расчёта	46
Литература.....	47

Muharrir Sidikova K. A.

Musabfuhi Adilhodjaeva Sh. M.

Boʻlimning raqami 19.12.27.53.66.10.2008.1.000
Shartli bosma taboq'i 3.1. Nusxasi 50 dona. Buyurtma № 220

ITIC bosmaxonasida chop etildi. Toshkent sh. Talabalar ko'chasi 54.