

621.3/07)

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMINI RIVOJLANTIRISH
INSTITUTI

N. JABBOROV, M. YAKUBOV

ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA ASOSLARIDAN MASALALAR TO'PLAMI

*Noelektrotexnik yo'nalishdagi kasb-hunar
kollejlari uchun o'quv qo'llanma*

2023.889

621.3(075)

31.2

J13

Mas'ul muharrir TIQXMII professori **S.Majidov**.

Taqrizchilar: Abu Rayhon Beruniy nomli Toshkent Davlat texnika universiteti nazariy va umumiy elektrotexnika kafedrası mudiri, texnika fanlari nomzodi **B.Abdullayev**; Toshkent Informatika kolleji o'qituvchisi **T.O'lmasov**.

J13 **N. Jabborov, M. Yakubov.**

Elektrotexnika va elektronika asoslaridan masalalar to'plami: Noelektrotexnik yo'nalishdagi kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma. – Toshkent: "Uzinkomsentr", 2003 – 160 bet.

Ushbu qo'llanmaga elektrotexnika va elektronika asoslari fani dasturining asosiy qismlariga doir masalalar va unga qo'shimcha tarzda nazariy ma'lumotlar, uslubiy ko'rsatmalar, formulalar, masalalar yechish namunalari hamda ko'plab masalalarning javoblari kiritildi.

Masalalar talabalarning tayyorgarligi turlicha ekanligini hisobga olgan holda tanlandi. Bundan tashqari, to'plamda kasb-hunar yo'nalishining o'ziga xos xususiyatlari va hozirgi zamon ilmiy-texnika taraqqiyoti yutuqlari ham e'tiborga olingan.

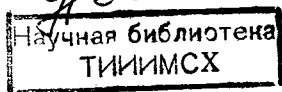
BBK 31.2ya722+32.85ya722

№ 262-2003

Alisher Navoiy nomidagi O'zbekiston

Milliy kutubxonasi

2202010000



© «UZINKOMSENTR», 2004

SO‘Z BOSHI

Elektroenergetika, elektrotexnika va elektronika sanoatining rivojlanishi ilmiy-texnika taraqqiyotining jadal sur‘atlar bilan yuksalishini ta’minlash bilan birgalikda shu soha uchun yuqori malakali mutaxassislarga bo‘lgan talabni oshiradi. Elektrotexnika – umumtexnik fan bo‘lib, maxsus fanlarni o‘zlashtirish va ularni ishlab chiqarishga tatbiq etish uchun xizmat qiladi. Shuning uchun to‘plamdagi qator masalalarni yechish umumta’lim fanlari bo‘lgan fizika, matematika, kimyo bilan birga maxsus texnologiya va ishlab chiqarish amaliyotiga doir bilimlardan ham foydalanishni taqozo etadi.

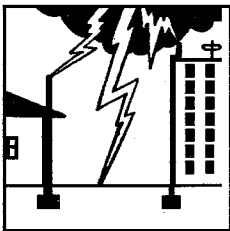
Mazkur «Elektrotexnika va elektronika asoslari» fanining dasturi “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi” va “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonun tamoyillariga mos bo‘lib, hozirgi zamon texnika taraqqiyotini hisobga olgan holda tuzilgan. Qo‘lingizdagi masalalar to‘plami ham ushbu dasturga to‘la mos keladi.

Masalalar yechish va ularni har tomonlama tahlil etish talabalarga «Elektrotexnika va elektronika asoslari» fanini chuqur o‘zlashtirishlarida katta yordam beradi. To‘plamga kiritilgan masalalarda hozirgi zamon elektrotexnika va elektronika sohasiga oid turli talablar majmui aks ettirilgan.

Masalalarni yechishda elektr va magnit hodisalarning fizik mohiyatini tushunish, ularning o‘zaro bog‘lanishi va sifat nisbatlarini bilish hamda elektrotexnik zanjirlarning va qurilmalarning xarakteristikalarini hisoblash uchun kerak bo‘lgan matematik amallarni o‘zlashtirish zarur. Bundan tashqari, talaba elektrotexnik qurilmalar tuzilishining o‘ziga xosligi, ularni montaj qilish, sozlash, ekspluatatsiya qilish, ta’mirlash xarakteristikalari va parametrlarini real o‘zgartirish diapazonini ko‘z oldiga keltira olishi kerak.

Ushbu to‘plamni tuzishda turli yo‘nalishdagi kasb-hunar kollejlari o‘qitiladigan «Elektrotexnika va elektronika asoslari» fani dasturidagi professional xususiyatlar hisobga olingan bo‘lib, bu narsa o‘qituvchilarga va talabalarga masalalarni yechishga tayyorgarlik ko‘rishda katta yordam beradi.

Bundan tashqari, talabalarga uslubiy yordam sifatida har bir bobning boshlanishida qisqacha nazariy ma’lumot va to‘plamning oxirida ilovalar keltirilgan.



1-BOB

Elektrostatika

1.1. ELEKTROSTATIK MAYDON

Nuqtaviy elektr zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir etish kuchi Kulon qonuni bilan ifodalanadi, ya'ni:

$$F = q_1 q_2 / (4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r_q^2), \quad (1.1)$$

bunda q_1, q_2 – zaryadlarning kattaligi, Kl; r_q – zaryadlar orasidagi masofa, m; $\epsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – elektr doimiysi, F/m; ϵ_r – muhitning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi.

Elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi kuchlanganlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \text{ V/m} \quad (1.2)$$

bunda q_0 – maydonga kiritilgan sinov zaryadi.

Masalalar

1.1. Oraliq masofasi 0,1 m bo'lgan ikkita parallel plastinalar orasidagi kuchlanish 100 V ga teng. Plastinalar orasiga joylashtirilgan $q=10^{-8}$ Kl zaryadli jismga qanday kuch ta'sir etadi? Agar plastinalar orasidagi masofa ikki baravar oshirilsa, zaryadga qanday kuch ta'sir etishini toping.

Yechish. Elektr maydon kuchlanganligini hisoblaymiz:

$$E_1 = \frac{U}{d} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ V/m.}$$

Zaryadga ta'sir qiladigan kuch, $F_1 = E q = 1000 \cdot 10^{-8} = 10^{-5}$ N.

Agar plastinalar orasidagi masofa ikki baravar oshirilsa, zaryadga ta'sir etuvchi kuch $F_2 = E_2 q = 500 \cdot 10^{-8} = 0,5 \cdot 10^{-5}$ N ga teng bo'ladi.

1.2. Elektr maydonga kiritilgan $q = 30 \cdot 10^{-9}$ Kl zaryadga $F = 2,4 \cdot 10^{-5}$ N kuch ta'sir etsa, berilgan nuqtadagi maydon kuchlanganligini aniqlang.

Yechish. Elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{2,4 \cdot 10^{-5}}{30 \cdot 10^{-9}} = 800 \text{ V/m.}$$

1.3. Ikkita zaryadlangan jismlarning o'zaro tortish kuchi: a) ular orasidagi masofa ikki baravar ortsa; b) zaryadlardan bittasi uch baravar ortsa; d) ikkala zaryad ikki baravar ortsa, qanday o'zgaradi?

1.4. Ma'lum masofadagi ikki zaryad vakuumda 10^{-4} N kuch bilan, suyuqlikda esa $5 \cdot 10^{-5}$ N kuch bilan ta'sirlashadi. Suyuqlikni nisbiy dielektrik singdiruvchanligini aniqlang.

1.5. Ikkita zaryadlangan jismlar orasidagi $r_q = 0,1$ m masofa $0,1$ m ga oshirildi. Agar ularning zaryadlari $q_1 = q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ Kl bo'lsa, ular orasidagi tortish kuchi qanchaga o'zgaradi? Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 5$.

1.6. Massasi 10^{-3} kg bo'lgan zaryadlangan zoldir zaryad ishorasi bir xil bo'lgan jism tepasida $0,1$ m masofada erkin osilib turibdi. Agar zoldirning zaryadi jism zaryadidan 10 baravar kam bo'lsa, uning zaryadi topilsin.

1.7. Ikkita bir xil ishorali, oraliq masofasi $0,1$ m, birining zaryadi ikkinchisidan 4 baravar katta bo'lgan zoldirlar orasiga uchinchi zoldirni qanday masofada joylashtirilsa, u muvozanatda bo'ladi?

1.8. Ikkita bir xil ishorali zaryadlangan sharlarni o'zaro ta'sir kuchi ular orasidagi tortish kuchi bilan muvozanat holatidadir. Agar sharlarning massasi 10^{-3} kg dan bo'lsa, ularning zaryadini aniqlang.

1.9. $2 \cdot 10^{-6}$ va $3 \cdot 10^{-6}$ Kl zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi ular orasidagi masofa $0,15$; $0,25$; $0,35$ m bo'lganda topilsin.

1.10. Radiusi $0,1$ m bo'lgan sharning zaryadi $0,01$ Kl ga teng. Sharining birlik sirtiga to'g'ri keladigan zaryadi topilsin.

1.2. KONDENSATORLAR

Ma'lum kattalikdagi elektr sig'imini hosil qilish maqsadida yaratilgan elektrotexnik qurilma *kondensator* deb ataladi.

Kondensatorning sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \frac{q}{U} \text{ [F]} \quad (1.3)$$

bunda q – zaryad, U – kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanish, [F] – farada.

Kondensatorlarning sig'imi turiga ko'ra, quyidagi formulalar bilan hisoblanadi:

1. Yassi kondensatorlar uchun

$$C = \frac{q}{U} = \epsilon_r \epsilon_0 S/d, \quad (1.4)$$

bunda S – bir plastinaning yuzi, m^2 ; d – plastinalar orasidagi masofa, m.

2. Silindrik kondensator uchun

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 l}{\ln R/r}, \quad (1.5)$$

bunda l — koaksial plastinalarning balandligi, m; r va R — mos ravishda ichki va tashqi silindrlarning radiuslari, m.

3. *Sferik kondensator uchun*

$$C = \frac{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 rR}{R-r}, \quad (1.6)$$

bunda r va R ichki hamda tashqi sferalarning radiuslari, m.

Kondensator elektr maydonining energiyasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{q}{C} = \frac{1}{2} q(\varphi_1 - \varphi_2) [J], \quad (1.7)$$

U — plastinalar orasidagi kuchlanish, V.

O'zaro parallel ulangan kondensatorlar batareyasining elektr sig'imi quyidagicha hisoblanadi:

$$C_{\text{par}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (1.8)$$

O'zaro ketma-ket ulangan kondensatorlar batareyasi elektr sig'imining teskari ifodasi quyidagicha:

$$\frac{1}{C_{\text{k.k.}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (1.9)$$

Masalalar

1.11. Yassi havo kondensatori qismalari $U = 800$ V li manbaga ulangan. Kondensator plastinalari orasidagi masofa $d = 5$ mm bo'lsa, kondensator elektr maydoni kuchlanganligini va uning plastina oralariga kiritilgan $q = 1,5 \cdot 10^{-7}$ Kl zaryadga ta'sir qiladigan kuchni hisoblang. Agar kondensator plastinasining yuzi $S = 24$ sm² bo'lsa, kondensator sig'imini aniqlang.

Kondensator boshqa muhitga, masalan, paxta yog'iga tushirilsa, uning sig'imi qanday o'zgaradi?

Yechish. Yassi kondensator elektr maydonining kuchlanganligi

$$E = \frac{U}{d} = 800/5 \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 10^4 \text{ V/m}.$$

Birlik q zaryad kondensator elektr maydoniga joylashtirilsa, unga maydonning ta'sir kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$F = Eq = 16 \cdot 10^4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} = 0,024 \text{ N}.$$

Yassi havo kondensatorining sig'imi

$$C = \frac{\epsilon_r\epsilon_0 S}{d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 24 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 4,25 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 4,25 \text{ pF}.$$

Kondensator plastinalari orasiga boshqa dielektrik material joylashtirilsa, uning sig'imi havoga nisbatan materialning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi ϵ_r marta ortadi, masalan spirt uchun $\epsilon_r = 33$. Demak, sig'im

$C = \epsilon_r C = 33 \cdot 4,25 = 140 \text{ pF}$. Paxta yog' i uchun $\epsilon_r = 5$ demak, $C = 5 \cdot 4,25 = 21,25 \text{ pF}$.

1.12. Sig' imlari $C_1 = 0,5 \text{ mkF}$ va $C_2 = 1,5 \text{ mkF}$ li ikkita bir xil o' l-
chamli yassi kondensatorlar o' zaro ketma-ket birlashtirilib manbaga ulangan.
Agar kondensatorlar qoplamalarining zaryadi $q = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$ va kuch-
langanlik $E = 200 \text{ V/sm}$ bo' lsa, umumiy (ekvivalent) sig' imni, manba
kuchlanishi, kondensatorlardagi kuchlanishlarni va kondensator plastinalari
orasidagi masofani aniqlang. Ekvivalent kondensatorning elektr maydoni
energiyasini hisoblang.

Yechish. Kondensatorlardagi kuchlanishlar:

$$U_1 = q/C_1 = 4,5 \cdot 10^{-4} / (0,5 \cdot 10^{-6}) = 900 \text{ V.}$$

$$U_2 = q/C_2 = 4,5 \cdot 10^{-4} / (1,5 \cdot 10^{-6}) = 300 \text{ V}$$

Manba kuchlanishi $U = U_1 + U_2 = 900 + 300 = 1200 \text{ V}$.

Ekvivalent sig' im:

$$C_{\text{ekv}} = C_1 C_2 / (C_1 + C_2) = 0,5 \cdot 1,5 / (0,5 + 1,5) = 0,375 \text{ mkF}.$$

Ekvivalent sig' imni $C = q/U$ ifodadan foydalanib topish ham mumkin:

$$C = \frac{q}{U} = 4,5 \cdot 10^{-4} / 1200 = 0,375 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 0,375 \text{ mkF}.$$

$$d_2 = U_2 / E = 300 / 200 = 1,5 \text{ sm.}$$

Kondensator plastinalarining yuzalari bir xil bo' lgani uchun $C_1/C_2 =$
 $= d_2/d_1$. Bundan birinchi kondensatorning plastinalari orasidagi masofa

$$d_1 = \frac{C_2 d_2}{C_1} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 0,45 \text{ sm ga teng.}$$

Elektr maydon energiyasi

$$W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{0,375 \cdot 10^{-6} \cdot 1200^2}{2} = 0,29 \text{ J.}$$

1.13. $U_1 = 20 \text{ V}$ potentsiallar farqigacha zaryadlangan kondensator $C_2 =$
 $= 33 \text{ mkF}$ sig' imli $U_2 = 4 \text{ V}$ potentsiallar farqigacha zaryadlangan boshqa
kondensator bilan parallel ulangan. Agar kondensatorlar ulanganidan keyin
ularning qoplamalaridagi kuchlanish $U = 2 \text{ V}$ bo' lsa, birinchi konden-
satorning sig' imi C_1 topilsin. Kondensatorlar o' zaro har xil ishorali zar-
yadlangan qoplamalar bilan ulangan.

Yechish. Turli ishorali zaryadlangan qoplamalar bilan ulangan kon-
densatorlar batareyasidagi umumiy zaryad $q = CU$ har bir kondensator-
ning $q_1 = C_1 U_1$ va $q_2 = C_2 U_2$ zaryadlar farqiga teng. Bunda $C_{\text{ekv}} = C_1 + C_2$
ulanganidan keyingi ekvivalent sig' im. Shunday qilib, agar $q_1 > q_2$ bo' lsa,
 $(C_1 + C_2)U = C_1 U_1 - C_2 U_2$ va agar $q_2 > q_1$ bo' lsa, $(C_1 + C_2)U = C_2 U_2 - C_1 U_1$

bo'lad. Bu tenglamalarni yechib, birinchi va ikkinchi hollar uchun mos ravishda quyidagi ifodalarni olamiz:

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U}; \quad C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U}.$$

Berilgan qiymatlar o'rniga qo'yib hisoblansa, quyidagi natija kelib chiqadi:

yoki
$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U} = 33 \cdot \frac{4+2}{20-2} = 11 \text{ mkF};$$

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U} = 33 \cdot \frac{4-2}{20+2} = 3 \text{ mkF}.$$

Javob. Kondensatorlar zaryadlarining nisbatiga qarab birinchi kondensatorning elektr sig'imi $C_1 = 11 \text{ mkF}$ yoki $C_1 = 3 \text{ mkF}$ bo'ladi.

1.14. Sig'imi 1 mkF va plastinalari orasidagi kuchlanish 50 V bo'lgan kondensator zaryadini toping.

1.15. Plastinalar yuzi 10^{-3} m^2 , plastinalar orasidagi masofa 0,1 m va dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_r = 7$ bo'lgan kondensatorning sig'imini aniqlang.

1.16. Yassi kondensatorning sig'imi: a) plastinalar yuzi 3 marta ko'payganda, b) plastinalar orasidagi masofa 4 marta kamayganda; d) plastinalar yuzi 2 baravar va bir yo'la ular orasidagi masofa 3 marta kamayganda qanday o'zgaradi?

1.17. Agar kondensator sig'imi 0,1 mkF, plastinalar orasidagi masofa 0,2 mm va nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 50$ bo'lsa, plastinalarning yuzini aniqlang.

1.18. Diametri $d = 10 \text{ mm}$ bo'lgan sferik kondensatorning plastinalari orasidagi masofa 0,05 mm, nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 40$. Kondensator sig'imini toping.

1.19. Agar yassi kondensator plastinalarining yuzi 10^{-2} m^2 , plastinalar orasidagi masofa 0,05 mm, sig'imi esa 0,1 mkF bo'lsa, izolyatsiyaning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi topilsin.

1.20. Yassi kondensator plastinalari yuzini 10^{-2} m^2 ga orttirilganda, uning sig'imi 3 marta ortdi. Plastinalarning dastlabki yuzini toping.

1.21. Silindrik kondensatorning balandligi 9 mm. Ichki va tashqi silindrlarning diametri 5–7 mm va 8–10 mm atrofida o'zgarsa, nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 10$ bo'lsa, kondensator sig'imi qaysi oraliqda o'zgaradi?

1.22. Balandligi 9 mm, sig'imi 10; 20; 50 mkF bo'lgan silindrik kondensatorning ichki va tashqi silindr diametrlarining nisbatini toping. Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 10$.

1.23. Sferik kondensatorning ichki va tashqi sferalarining diametrlari mos ravishda 6–8 mm va 9–11 mm ga o'zgardi. Agar nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 45$ bo'lsa, kondensator sig'implari qaysi oraliqda o'zgaradi?

1.24. Sferik kondensatorning sig'imi 5; 7,5; 10 pF, tashqi diametri 10 mm, nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon_r = 45$ bo'lsa, ichki sferaning diametri topilsin.

1.25. Sig'imi 10 mkF, plastinalar orasidagi kuchlanish 100 V bo'lgan kondensator elektr maydonining energiyasini aniqlang.

1.26. Plastinalar orasidagi kuchlanish 100 V bo'lgan kondensator elektr maydonining energiyasi 5 mJ. Kuchlanishi 250, 500, 750 V bo'lgan shu kondensator elektr maydonining energiyasini toping.

1.27. Sig'imi 1 mkF bo'lgan kondensator yig'ish uchun, yuzi 10^{-2} m^2 bo'lgan nechta plastina olish kerak? Dielektrik sifatida nisbiy dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_r = 50$ va qalinligi 0,05 mm bo'lgan lakotkan olingan.

1.28. Agar o'zgaruvchan kondensatorning plastinalari orasidagi kuchlanish 100 V va plastinalari o'zaro bir-birini 100% ga qoplaganda maydon energiyasi 0,1 J bo'lsa, plastinalar bir-birini 30% ga qoplaganda kondensator sig'imi qancha bo'ladi?

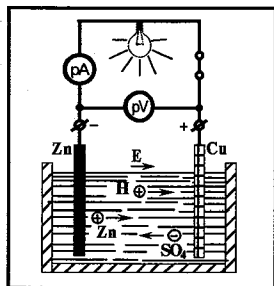
1.29. O'zgaruvchan kondensatorning o'qi qo'l yordamida $\omega = 2,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ burchak chastotasi bilan buralyapti. Agar harakatlanuvchi va qo'zg'almas plastinalar radiuslari 30 mm va ular orasidagi masofa 0,1 mm bo'lsa, 1 s davomida kondensator sig'imi qanchaga o'zgaradi?

1.30. Silindrik kondensator yasash uchun eni bir xil 20 mm metal folga va polietilen plyonkadan foydalanilgan. Agar polietilen plyonkaning qalinligi 0,1 mm bo'lsa, sig'imi 2 pF bo'lgan kondensator yasash uchun qanday uzunlikdagi plyonka va folga olish kerak?

1.31. Sig'implari $C_1 = 10 \text{ mkF}$ va $C_2 = 15 \text{ mkF}$ ikki kondensator o'zaro ketma-ket ulansa, ekvivalent sig'im qancha bo'ladi?

1.32. Agar ikkita ketma-ket ulangan kondensatorlarning sig'imi $C = 1,2 \text{ mkF}$ bo'lib, bunda bir kondensator $C_1 = 3 \text{ mkF}$ bo'lsa, ikkinchi kondensatorning sig'imini aniqlang.

1.33. Elektr sig'implari $C_1 = 2 \text{ mkF}$, $C_2 = 3 \text{ mkF}$, $C_3 = 4 \text{ mkF}$ bo'lgan uchta kondensator ketma-ket ulansa, umumiy sig'im qancha bo'ladi?



2-BOB

O'zgarmas tok elektr zanjiri qonunlari

2.1. OM VA KIRXGOF QONUNLARI

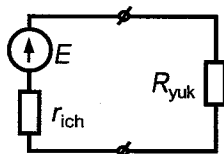
O'zgarmas tok zanjirining bir qismidan o'tayotgan tok kuchlanishga to'g'ri, qarshilikka esa teskari proporsionaldir, ya'ni

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.1)$$

bunda U — o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish, R — o'tkazgichning qarshiligi.

Berk zanjir uchun Om qonuni (2.1-rasm) quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{E}{r_{\text{ich}} + R_{\text{yuk}}}. \quad (2.2)$$



2.1-rasm

Bunda E — manba EYuKi, r_{ich} — manbaning ichki qarshiligi, R_{yuk} — yuklama qarshiligi.

Silindr shaklidagi o'tkazgichning qarshiligi

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.3)$$

bunda ρ — o'tkazgichning solishtirma qarshiligi, Om $\cdot$ m; l — o'tkazgichning uzunligi, m; S — ko'ndalang kesim yuzi, m^2 .

Qizigan o'tkazgichning qarshiligi R_t uning 0°C dagi qarshiligi R_0 ning termik qarshilik binomi $(1 + \alpha t)$ ga ko'paytmasiga teng, ya'ni:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \text{ yoki } R_t = R_0 \frac{T}{T_0}, \quad (2.4)$$

bunda $T_0 = 273 \text{ K}$ va $T = (t + 273) \text{ K}$; α — o'tkazgich qarshiligining termik koeffitsienti.

O'tkazuvchanlik G harfi bilan belgilanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$G = \frac{1}{R}. \quad (2.5)$$

O'lchov birligi $[G] = \left[\frac{1}{\text{Om}} \right] = [\text{Sm}]$ (Simens).

Elektr tokining energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$W = UI t \text{ [J]}. \quad (2.6)$$

Elektr tokining quvvati:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G \text{ [Vt]}. \quad (2.7)$$

Elektr energiya manbai, uzatish liniyasi va yuklama orasidagi quvvatlar quyidagicha bog'langan:

$$UI = I^2 r_{\text{lin}} + U_{\text{yuk}} I \quad (2.8)$$

bunda UI — elektr energiya manbaida ishlab chiqarilayotgan quvvat, $I^2 r_{\text{lin}}$ — uzatish liniyasidagi quvvat isrofi, $P = U_{\text{yuk}} I$ yuklamaning quvvati.

Bundan quvvatlar balansi ifodasi kelib chiqadi, ya'ni:

$$P_{\text{manba}} = \Delta P_{\text{lin}} + P_{\text{yuk}}. \quad (2.9)$$

Om qonuni bilan birga elektr zanjirlarini hisoblashda Kirxgof qonunlaridan keng foydalaniladi.

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan *elektr zanjir tugunida toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.*

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0. \quad (2.10)$$

Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan *zanjir konturi bo'ylab EYuK larning algebraik yig'indisi, shu kontur elementlaridagi kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisiga teng, ya'ni:*

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{i=1}^n I_i R_i. \quad (2.11)$$

Ketma-ket ulangan rezistorlarning ekvivalent qarshiligi quyidagicha:

$$R_{\text{ekv}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (2.12)$$

Parallel ulangan rezistorlarning ekvivalent o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{1}{R_{\text{ekv}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{yoki} \quad G_{\text{ekv}} = G_1 + G_2 + \dots + G_n. \quad (2.13)$$

Zanjirning shoxobchalanmagan qismidagi I_{um} tok quyidagiga teng:

$$I_{\text{um}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n. \quad (2.14)$$

n ta bir xil manba ketma-ket ulanganda to'liq zanjir uchun Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$I = \frac{En}{R_{\text{yuk}} + nr_{\text{ich}}}. \quad (2.15)$$

n ta bir xil manba parallel ulanganda esa:

$$I = \frac{En}{R_{yuk} + \frac{r_{ich}}{n}}. \quad (2.16)$$

Ba'zi hollarda murakkab zanjirlarda rezistorlar uchburchak yoki yulduz usulda birlashtiriladi va ularni ekvivalent qarshilikka o'zgartirishga to'g'ri keladi. Zanjirning ekvivalent qarshiligini topish uchun uchburchak usulda (2.2-a rasm) ulangan qarshiliklarni ekvivalent yulduz usulga (2.2-b rasm) yoki aksincha, yulduz usulda ulangan qarshiliklarni ekvivalent uchburchakka almashtiriladi. Uchburchakdan ekvivalent yulduzga o'tish quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned} R_a &= R_{ab}R_{ca}/(R_{ab} + R_{ca} + R_{bc}), \\ R_b &= R_{ab}R_{bc}/(R_{ab} + R_{ca} + R_{bc}), \\ R_c &= R_{ca}R_{bc}/(R_{ab} + R_{ca} + R_{bc}). \end{aligned} \quad (2.17)$$

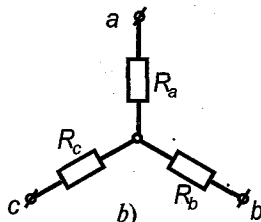
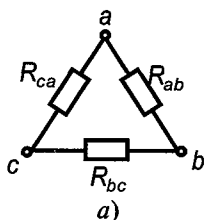
Yulduzdan ekvivalent uchburchakka o'tish esa quyidagicha amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned} R_{ab} &= R_a + R_b + R_aR_b/R_c, \\ R_{ac} &= R_a + R_c + R_aR_c/R_b, \\ R_{bc} &= R_b + R_c + R_bR_c/R_a. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Masalalar

2.1. Cho'g'lanma lampaning volframli tolasi qarshiligi $t_1=20^\circ\text{C}$ haroratda $R_1=40\text{ Om}$, uning $t_2=0^\circ\text{C}$ haroratdagi R_0 qarshiligini toping. Agar cho'g'lanma lampa $U=120\text{ V}$ kuchlanishli tok manbaiga ulangan bo'lsa, tolasidan $I=0,3\text{ A}$ tok o'tsa, qizigan volfram tolasining qarshiligi R_2 va harorati t ni aniqlang. Volfram uchun qarshilikning harorat koeffitsienti $\alpha=4,6\cdot 10^{-3}$.

Yechish. Harorati katta bo'lmagan intervallarda o'tkazgichning qarshiligi R harorat t va α ga chiziqli bog'liq bo'ladi: $R=R_0(1+\alpha t)$, bunda R_0 —



2.2-rasm

o'tkazgichning $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratdagi qarshiligi, α – qarshilikning harorat koeffitsienti.

Bu holda $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratdagi volfram tolasining qarshiligi $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ bo'lib, bundan

$$R_0 = \frac{R_t}{1 + \alpha t} = \frac{40}{1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = \frac{40}{1,092} = 36,63\text{ Om}.$$

Om qonuniga asosan yonib turgan cho'g'lanma lampaning volfram tolasini qarshiligi quyidagicha teng bo'ladi:

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{120}{0,3} = 400\text{ Om}.$$

Qizigan tolaning qarshiligi $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ ga teng, bundan tolaning harorati topiladi:

$$t_0 = \frac{R_2 - R_0}{\alpha R_0} = \frac{400 - 36,63}{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 36,63} = 2157\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2.2. Nominal kuchlanishlari $U_{\text{nom}}^2 = 110\text{ V}$ va nominal quvvatlari $P_{1\text{nom}} = 50\text{ Vt}$ va $P_{2\text{nom}} = 150\text{ Vt}$ ikkita cho'g'lanma lampalari ketma-ket ulangan va kuchlanishi $U = 220\text{ V}$ bo'lgan manbaga qo'shilgan. Lampalarning qarshiligi tokka bog'liq bo'lmasa, ulardagi kuchlanishning pasayishi va quvvatlari aniqlansin.

Yechish. Berilgan nominal parametrlarga ko'ra birinchi va ikkinchi lampalarning qarshiliklari R_1 va R_2 ni aniqlaymiz:

$$R_1 = U_{\text{nom}}^2 / P_{1\text{nom}} = 110^2 / 50 = 242\text{ Om},$$

$$R_2 = U_{\text{nom}}^2 / P_{2\text{nom}} = 110^2 / 150 = 80,5\text{ Om}.$$

Zanjirning umumiy qarshiligi:

$$R_{\text{ekv}} = R_1 + R_2 = 242 + 80,5 = 322,5\text{ Om}$$

bo'lib, lampalarning toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I = U / R_{\text{ekv}} = 220 / 322,5 = 0,68\text{ A}.$$

Lampalardagi U_1 va U_2 kuchlanishlar pasayishi mos ravishda:

$$U_1 = IR_1 = 165\text{ V}; \quad U_2 = IR_2 = 55\text{ V}.$$

Lampalarning P_1 va P_2 quvvatlari quyidagicha topiladi:

$$P_1 = I^2 R_1 = 0,685^2 \cdot 242 = 112\text{ Vt}; \quad P_2 = I^2 R_2 = 0,685^2 \cdot 80,5 = 37\text{ Vt}.$$

50 Vt quvvatga mo'ljallangan lampaning cho'g'lanish simi 112 Vt quvvatda kuyib tushadi.

2.3. Agar yuklama quvvati $P_{\text{yuk1}} = 2,7\text{ kVt}$ bo'lganda generator qismalaridagi kuchlanish $U_1 = 225\text{ V}$, $P_{\text{yuk2}} = 1,84\text{ kVt}$ da $U_2 = 230\text{ V}$ bo'lsa, generatorning E_2 EYuKi va r_{ich} ichki qarshiligini aniqlang.

Yechish. Yuklamaning ikkala holati uchun tok qiymatlarini hisoblaymiz:

$$I_1 = \frac{P_{yuk1}}{U_1} = \frac{2,7 \cdot 10^3}{225} = 12 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{P_{yuk2}}{U_2} = \frac{1,84 \cdot 10^3}{220} = 8 \text{ A}.$$

2.1-rasmdagi elektr zanjir sxemasi uchun Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$I = \frac{E_2}{r_{ich} + R_{yuk}},$$

bundan $E_2 = (r_{ich} + R_{yuk})I$. Sxemaning har xil yuklamali ikkala ish rejimi uchun ikkita elektr muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$E_2 = RI_{yuk1} + r_{ich}I_1 = 225 + 12 r_{ich},$$

$$E_2 = RI_{yuk2} + r_{ich}I_2 = 230 + 8 r_{ich}.$$

Bu tenglamalarni birgalikda yechib, E_2 va r_{ich} topiladi. $E_2 = 240 \text{ V}$, $r_{ich} = 1,25 \text{ Om}$.

2.4. Manba kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$ bo'lganda, elektr plitkasidan 15 minut davomida 216 kkal issiqlik ajraladi. Shu isitgichning qarshiligini, undan o'tuvchi tok va elektr energiya qiymatini hisoblang.

Yechish. Joule-Lens qonuniga binoan $Q = 0,24 UI t$, isitgichdan o'tuvchi tok quyidagicha aniqlanadi:

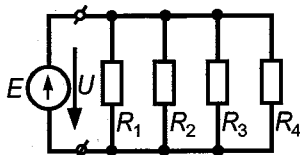
$$I = \frac{Q}{0,24 Ut} = \frac{216 \cdot 10^3}{0,24 \cdot 220 \cdot 15 \cdot 60} = 4,55 \text{ A}.$$

$$\text{Isitgichning qarshiligi } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{4,55} = 48,3 \text{ Om ga teng}.$$

Isitgichning quvvati $P = UI = 220 \cdot 4,55 = 1000 \text{ Vt} = 1 \text{ kVt}$ ga teng.

Shunday quvvatli elektr isitgich 15 minut (15/60 soat) davomida $W = Pt = 10^3 \cdot 15/60 = 0,25 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ energiya sarflaydi.

2.5. Kuchlanishi $U = 150 \text{ V}$ o'zgarmas tok manbaiga har xil quvvatli to'rtta yuklama ulangan (2.3-rasm). Agar yuklamalar quvvatlari $P_1 = 90 \text{ Vt}$, $P_2 = 270 \text{ Vt}$, $P_3 = 157,5 \text{ Vt}$ va $P_4 = 360 \text{ Vt}$ bo'lsa, har bir shoxobcha o'tkazuvchanligi va shoxobchalardan o'tuvchi tok qiymatlarini aniqlang.



2.3-rasm

Yechish. Quvvatni hisoblash formulasi $P = UI = \frac{U^2}{R} = U^2 G$ dan foydalanib, har bir shoxobchanning o'tkazuvchanligini hisoblaymiz:

$$G_1 = \frac{P_1}{U^2} = \frac{90}{150^2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Sm};$$

$$G_2 = \frac{270}{150^2} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Sm};$$

$$G_3 = \frac{157,5}{150^2} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ Sm};$$

$$G_4 = \frac{360}{150^2} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}.$$

Yuklamalarning ekvivalent o'tkazuvchanligi

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = (4 + 12 + 7 + 16) \cdot 10^{-3} = 39 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}.$$

Yuklamalarning ekvivalent qarshiligi esa:

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{39 \cdot 10^{-3}} = 25,6 \text{ Om}.$$

Umumiy tok $I = UG = 150 \cdot 39 \cdot 10^{-3} = 5,85 \text{ A}$.

Zarur bo'lgan hollarda har bir shoxobcha tokini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = UG_1 = 150 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,6 \text{ A};$$

$$I_2 = UG_2 = 150 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 1,8 \text{ A};$$

$$I_3 = UG_3 = 150 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 1,05 \text{ A};$$

$$I_4 = UG_4 = 150 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 2,4 \text{ A}$$

va umumiy tok Kirxgofning birinchi qonuniga ko'ra

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0,6 + 1,8 + 1,05 + 2,4 = 5,85 \text{ A}.$$

2.6. 2.4-rasmda keltirilgan zanjirda $R_1 = 20 \text{ Om}$, $R_2 = 30 \text{ Om}$, $E_1 = 100 \text{ V}$, $E_2 = 50 \text{ V}$. Voltmetrning ko'rsatishi aniqlansin.

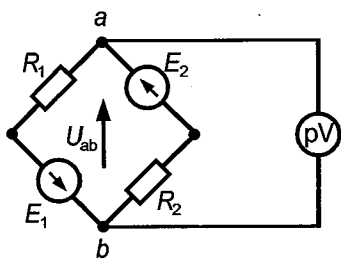
Yechish. Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha $E_1 + E_2 = I(R_1 + R_2)$.

$$\text{Bundan } I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 + 50}{20 + 30} = 3 \text{ A}.$$

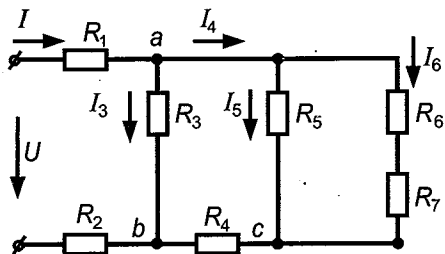
Voltmetr ko'rsatishi U_{ab} ni quyidagicha topamiz:

$$E_2 = IR_2 - U_{ab} \Rightarrow U_{ab} = IR_2 - E_2 = 3 \cdot 30 - 50 = 40 \text{ V}.$$

2.7. Manba kuchlanishi $U = 240 \text{ V}$, elementlar qarshiligi $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ Om}$, $R_3 = R_5 = 10 \text{ Om}$, $R_4 = R_6 = R_7 = 5 \text{ Om}$ bo'lgan elektr zanjirni (2.5-rasm) hisoblang, toklar va elementlardagi kuchlanish qiymatlarini aniqlang.



2.4-rasm



2.5-rasm

Yechish. Toklar qiymatini to'g'ridan-to'g'ri aniqlash mumkin emas, chunki elementlardagi kuchlanishlar noma'lum. Elektr zanjir sxemasini o'zgartirish usuli bilan ekvivalent qarshiliklarni hisoblaymiz:

$$R_{ac} = \frac{(R_6 + R_7) \cdot R_5}{R_6 + R_7 + R_5} = \frac{(5+5) \cdot 10}{5+5+10} = 5 \text{ Om.}$$

$$R_{ab} = \frac{(R_{ac} + R_4) \cdot R_3}{R_{ac} + R_4 + R_3} = \frac{(5+5) \cdot 10}{5+5+10} = 5 \text{ Om.}$$

$$R_{ekv} = R_{ab} + R_1 + R_2 = 5 + 0,5 + 0,5 = 6 \text{ Om.}$$

Om qonuniga binoan shoxobchalanmagan qismdagi tok kuchini topish mumkin:

$$I = U / R_{ekv} = 240 / 6 = 40 \text{ A,}$$

kuchlanish

$$U_{ab} = R_{ab} \cdot I = 40 \cdot 5 = 200 \text{ V}$$

yoki

$$U_{ab} = U - (R_1 + R_2)I = 240 - (0,5 + 0,5) 40 = 200 \text{ V.}$$

Shoxobchalardagi toklar:

$$I_3 = U_{ab} / R_3 = 200 / 10 = 20 \text{ A, } I_4 = I - I_3 = 40 - 20 = 20 \text{ A.}$$

Qarshiliklar $R_5 = R_6$ bo'lgani uchun $I_5 = I_6 = I_4 / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ A.}$

Kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{ac} = R_5 I_5 = 10 \cdot 10 = 100 \text{ V,}$$

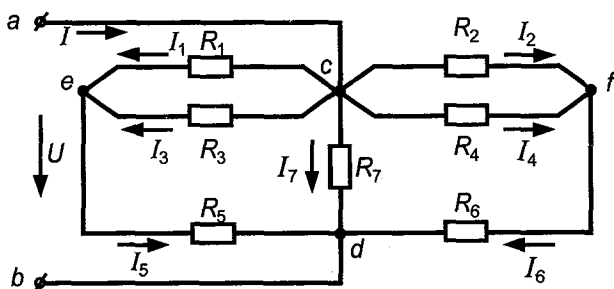
$$U_{bc} = R_4 I_4 = 20 \cdot 5 = 100 \text{ V.}$$

Quvvatlar balansi bo'yicha yechimni tekshirish mumkin.

2.8. 2.6-rasmda keltirilgan sxema bo'yicha elektr zanjir hisoblansin. Kuchlanishlar va toklar qiymatlari aniqlansin.

Berilgan. $I_5 = 20 \text{ A}$; $R_1 = R_3 = 8 \text{ Om}$; $R_2 = R_4 = 4 \text{ Om}$; $R_5 = R_6 = 2 \text{ Om}$; $R_7 = 3 \text{ Om}$. E'tibor bering, U ning miqdori berilmagan.

Yechish. Kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:



2.6-rasm

$$U_{ed} = R_5 I_5 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ V.}$$

$$U_{ec} = R_1 I_1 = R_3 I_3 = I_5 (R_1 R_3) / (R_1 + R_3) = 80 \text{ V.}$$

$$U_{cd} = U_{ed} + U_{ec} = 120 \text{ V.}$$

Elektr zanjirning shoxobchalangan qismidagi toklar quyidagicha topiladi:

$$I_1 = I_3 = U_{ec} / R_1 = 10 \text{ A,}$$

chunki $R_1 = R_3$

$$I_6 = \frac{U_{cd}}{R_6 + R_2 R_4 / (R_2 + R_4)} = 30 \text{ A.}$$

$$I_2 = I_4 \text{ chunki, } R_2 = R_4; I_2 = I_4 = I_6 / 2 = 15 \text{ A; } U_{cf} = R_2 I_2 = 60 \text{ V; } I_7 = U_{cd} / R_7 = 40 \text{ A.}$$

Kirxgofning birinchi qonuni yordamida sxemaning shoxobchalanmagan qismidan o'tuvchi tokni hisoblaymiz:

$$I = I_5 + I_6 + I_7 = 20 + 30 + 40 = 90 \text{ A.}$$

2.9. Kirxgof qonunlaridan foydalanib zanjirdan (2.7-rasm) o'tuvchi toklarni hisoblang.

Berilgan. $R_1 = 0,3 \text{ Om}$, $R_7 = 0,6 \text{ Om}$, $R_2 = R_6 = 0,4 \text{ Om}$, $R_3 = R_4 = 2 \text{ Om}$, $R_5 = 6 \text{ Om}$, $E_1 = 140 \text{ V}$, $E_2 = 85 \text{ V}$.

EYuK manbalarining ichki qarshiliklari:

$$r_{ich1} = 0,1 \text{ Om}, r_{ich2} = 0,2 \text{ Om.}$$

Yechish. Sxema (2.7-rasm) uchun tugunlar soni 3 ta a , b va c chunki c va d nuqtalar potentsiali bir xil.

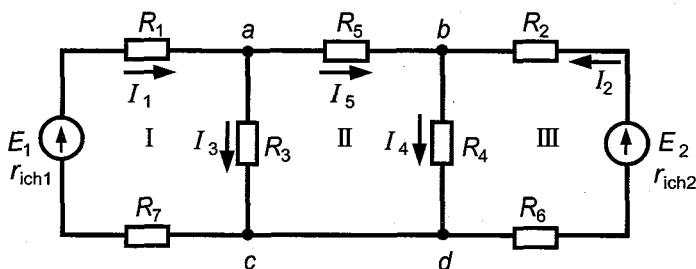
Toklar yo'nalishlarini ixtiyoriy belgilaymiz.

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha 2 ta tenglama yozamiz, chunki tugunlar soni $T = 3$ bo'lgani uchun $(T - 1) = 2$ ta tenglama tuziladi.

$$a \text{ tugun uchun } I_1 + I_3 - I_5 = 0$$

$$b \text{ tugun uchun } I_2 + I_5 - I_4 = 0$$

Yopiq I, II va III konturlar uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni



2.7-rasm

asosida tenglamalar tuzamiz. Konturlarni aylanib chiqish yoʻnalishi ixtiyoriy (masalan, soat mili harakati yoʻnalishida) tanlanadi.

$$\text{I kontur uchun } E_1 = (R_7 + r_{\text{ich1}} + R_1)I_1 + R_3I_3.$$

$$\text{III kontur uchun } E_2 = (R_6 + r_{\text{ich2}} + R_2)I_2 + R_4I_4.$$

$$\text{Nihoyat II kontur uchun } 0 = R_5I_5 + R_4I_4 - R_3I_3,$$

chunki II kontur *passiv kontur*, yaʼni shu konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning hammasi ham passiv elementlar (rezistorlar)dan tarkib topgan va bu konturda EYuK yoʻq.

Tenglamalarni yechish natijasida $I_3 = -45 \text{ A}$ ga teng boʻladi.

Bundagi (–) ishora ushbu I_3 tokining haqiqiy yoʻnalishi sxemada dastlab belgilangan yoʻnalishga teskari ekanligini koʻrsatadi.

$$I_4 = 30 \text{ A}, \quad I_1 = 50 \text{ A}, \quad I_2 = 25 \text{ A}, \quad I_5 = 5 \text{ A}.$$

c va d uchastka uchun tok yoʻnalishini ixtiyoriy ravishda c va d tugunga yoʻnalgan deb qabul qilaylik, bu uchastka uchun $R = 0$.

Kirxgofning birinchi qonuni boʻyicha

$$I_5 + I_4 = I_2$$

$$I_3 = I_2 - I_4 = 25 - 30 = -5 \text{ A}.$$

Ushbu manfiy ishora tokning haqiqiy yoʻnalishi dastlab qabul qilingan yoʻnalishga teskari ekanligini bildiradi.

2.10. Bir konturli zanjir uchun potentsiallar diagrammasini quring.

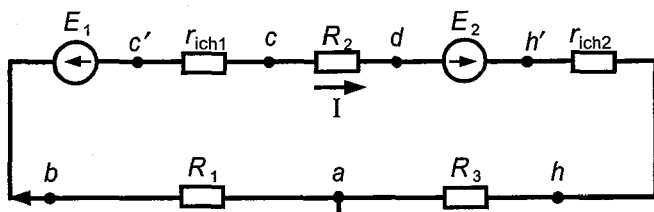
Berilgan: 2.8-rasm da keltirilgan zanjir uchun $E_1 = 10 \text{ V}$; $E_2 = 50 \text{ V}$; $R_1 = 4 \text{ Om}$; $R_2 = 3 \text{ Om}$; $R_3 = 7 \text{ Om}$; $r_{\text{ich1}} = r_{\text{ich2}} = 1 \text{ Om}$.

Yechish. E_2 EYuK E_1 EYuK dan katta boʻlgani uchun tokning haqiqiy yoʻnalishi E_2 EYuK yoʻnalishi bilan bir xil boʻladi.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan

$$E_2 - E_1 = R_1I + r_{\text{ich1}}I + R_2I + r_{\text{ich2}}I + R_3I,$$

$$I = \frac{E_2 - E_1}{R_1 + r_{\text{ich1}} + R_2 + r_{\text{ich2}} + R_3} = \frac{50 - 10}{4 + 1 + 3 + 1 + 7} = 2,5 \text{ A}.$$



2.8-rasm

Potensial diagramma qurish uchun zanjirning barcha nuqtalari potensialini bilish zarur. Buning uchun sxemaning istalgan nuqtasining masalan, a nuqtaning potensialini $\varphi_a = 0$ deb olamiz, ya'ni a nuqta fikran yerga ulangan bo'lsin.

a nuqtadan b ga o'tishda R_1 qarshilikda $R_1 I$ kuchlanish pasayishi hosil bo'ladi, ya'ni $\varphi_a - \varphi_b = R_1 I$. Demak, b nuqtaning potensial $\varphi_b = \varphi_a - R_1 I = 0 - 4 \cdot 2,5 = -10$ V. b va c nuqtalar orasida EYuK manbai E_1 ulangan, c' nuqta potensial E_1 miqdorga pasayadi.

$$\varphi_{cc'} = \varphi_b - E_1 = -20 \text{ V.}$$

$$\varphi_c = \varphi_{cc'} - r_{ich1} = -22,5 \text{ V.}$$

chunki c' dan c ga o'tishda r_{ich1} rezistor bor

$$\varphi_c - \varphi_d = R_2 I; \quad \varphi_d = \varphi_c - R_2 I = -30 \text{ V.}$$

h' nuqta potensial h' ga ko'payadi, chunki E_2 EYuK manbai musbat yo'nalishda ulangan.

$$\varphi_{h'} = \varphi_d + E_2 = 20 \text{ V,}$$

$$\varphi_h = \varphi_{h'} - r_{ich2} = 17,5 \text{ V.}$$

R rezistor ulangan a nuqtadagi potensial h nuqta potensialidan kam.

$$\varphi_h - \varphi_d = R_3 I, \quad \varphi_a = \varphi_h - R_3 I = 0;$$

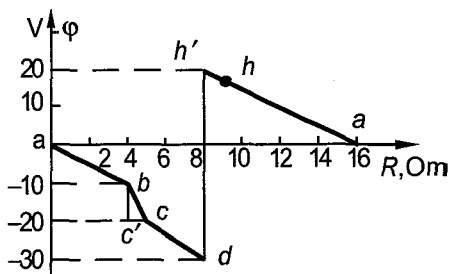
$$\sum R = R_1 + r_{ich1} + r_{ich2} + R_3 = 16 \text{ Om.}$$

Potensiallar diagrammasini qurishda potensial va rezistor qiymatlari uchun masshtab tanlaymiz (2.9-rasm).

$$m_R = 0,1 \text{ Om/mm.}$$

$$m_\varphi = 0,5 \text{ V/mm.}$$

Potensial diagrammadan berilgan kesmaning og'ish burchagi tangensi tok miqdoriga tengligini ko'rish mumkin.



2.9-rasm

dh' uchastkada $E_2 = 50 \text{ V}$, $r_{\text{ich}2}I = 2,5 \text{ V}$, ya'ni $r_{\text{ich}2}$ ichki qarshilikdagi potensial pasayishidan 20 marta ko'p.

2.11. Ikki o'zaro parallel birlashtirilgan o'zgarmas tok EYuK manbalariga umumiy R_{yuk} ulangan va parametrlari quyida berilgan elektr zanjir sxemasini chizing va toklarni hisoblang.

Berilgan: $E_1 = 11,5 \text{ V}$, $E_2 = 16,5 \text{ V}$, EYuK manbalarining ichki qarshiliklari $r_{\text{ich}1} = 2,5 \text{ Om}$, $r_{\text{ich}2} = 6 \text{ Om}$; $R_{\text{yuk}} = 30 \text{ Om}$.

Yechish. Elektr zanjir sxemasini chizamiz (2.10-rasm).

Shoxobchalardan o'tuvchi I_1 , I_2 va I_{yuk} toklarning yo'nalishini ixtiyoriy belgilaymiz. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan $I_2 = I_1 + I_{\text{yuk}}$.

Kirxgofning ikkinchi qonunidan foydalanib, ikkita kontur uchun tenglamalar tuzamiz. 2.10-rasmda birinchi (I) konturni aylanib o'tish yo'nalishini soat mili harakati yo'nalishiga teskari, ikkinchi (II) kontur uchun esa soat mili harakati yo'nalishida ko'rsatilgan.

Bunday ixtiyoriy tanlangan yo'nalishlar uchun elektr muvozanat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\text{I kontur uchun } E_2 - E_1 = r_{\text{ich}1}I_1 + r_{\text{ich}2}I_2.$$

$$\text{II kontur uchun } E_2 = r_{\text{ich}2}I_2 + R_{\text{yuk}}I_{\text{yuk}}.$$

Uchta I_1 , I_2 va I_{yuk} toklarni hisoblash uchun uchta tenglama tuziladi. Berilgan manbalarining EYuK lari, ichki qarshiliklarni va yuklama qarshiligi qiymatlarini tenglamalar sistemasiga qo'yib, toklarni hisoblaymiz:

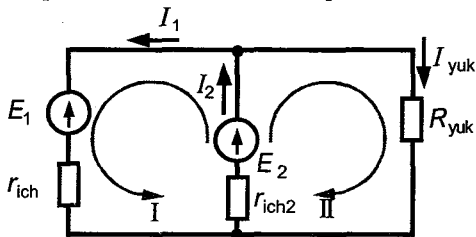
$$\left. \begin{aligned} I_2 &= I_1 + I_{\text{yuk}}; \\ (16,5 - 11,5) &= 2,5I_1 + 6 I_2 \\ 16,5 &= 30 I_1 + 6 I_2 \end{aligned} \right\}$$

$$I_1 = 0,3 \text{ A}; I_2 = 0,71 \text{ A}; I_{\text{yuk}} = I_2 - I_1 = 0,41 \text{ A}.$$

Demak, $E_2 > E_1$ bo'lgani uchun I_1 tok yo'nalishi EYuK E_1 ning yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Keltirilgan sxemada EYuK E_1 manba iste'molchi, E_2 EYuK manba esa generator rejimida ishlaydi. Shuning uchun quvvatlar balansi tenglamalarini tuzishda E_1I_1 quvvat tenglamaga manfiy ishora bilan kiradi.

Quvvatlar balansi shartiga ko'ra manbalar quvvatlarining algebraik yig'indisi yuklamada ajralayotgan quvvatlar yig'indisiga teng:

$$P_{\text{man.}} = P_{\text{yuk}} \text{ yoki } E_2I_2 - E_1I_1 = r_{\text{ich}1}I_1^2 + r_{\text{ich}2}I_2^2 + R_{\text{yuk}}I_{\text{yuk}}^2.$$



2.10-rasm

$$16,5 \cdot 0,71 - 11,5 \cdot 0,3 = 2,5 \cdot (0,3)^2 + 6 \cdot (0,71)^2 + 30(0,41)^2 11,7 = 11,72 \text{ Vt.}$$

Yuklama kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\text{yuk}} = R_{\text{yuk}} I_{\text{yuk}} = 30 \cdot 0,41 = 12,3 \text{ V.}$$

2.12. Rezistorning qarshiligi: a) uzunligi 2 baravar kattalashganda; b) ko'ndalang kesim yuzi 3 baravar kamayganda; d) uzunligi 4 baravar va bir yo'la diametri 2 baravar ko'payganda qanday o'zgaradi?

2.13. 100 m mis simning qarshiligi 1 Om dan oshmasligi uchun uning minimal diametri qancha bo'ladi? Diametri $d = 0,5 \text{ mm}$ bo'lgan 1 m mis simning qarshiligini toping.

2.14. Uzunligi 10 m va diametri $d = 0,1 \text{ mm}$ bo'lgan volfram simning qarshiligi hisoblansin. Qarshiligi 2 Om, uzunligi 10^3 m bo'lgan po'lat simning ko'ndalang kesim yuzi qanday bo'ladi?

2.15. Uzunligi 500 m, diametri $d = 0,1 \text{ mm}$ va qarshiligi 2 Om bo'lgan simning solishtirma qarshiligini hisoblang.

2.16. Simli rezistorlar izolyatsion karkas ustiga sim o'ralib yasaladi. Qarshiligi $R = 1,5 \text{ kOm}$, diametri $d = 0,1 \text{ mm}$ nixrom sim o'raladigan uzunligi 0,1 m bo'lgan silindrsimon keramik karkasning diametri qanday bo'lishi kerak?

2.17. Qarshiligi 10 Om bo'lgan o'zgaruvchan rezistor yasash uchun diametri 1 mm nixrom simdan necha metr kerak bo'ladi?

2.18. Metal simning uzunligi 100 m orttirilganda uning qarshiligi 3 baravar oshgan. Simning dastlabki uzunligi topilsin.

2.19. Ikki rezistor yasash uchun bir xil materialdan yasalgan uzunligi bir xil sim olingan: a) rezistorning qarshiligi birinchisidan 2 baravar kam; b) 4 baravar ko'p; d) 10 baravar ko'p bo'lishi uchun ularning diametrlari qanday nisbatda bo'ladi?

2.20. Avtomatik o'lchash ko'prigining o'zgaruvchan reoxordining qarshiligi 50 Om. Agar reoxord uzunligi 10 m va $d = 0,6 \text{ mm}$ simdan o'ralgan bo'lsa, u qanday metallardan yasalgan?

2.21. Kvartiraning mis elektr uzatish simlari xuddi shu uzunlikdagi va qarshilikdagi alumin sim bilan almashtirilgan. Simlarning kesim yuzalari nisbatini toping. Mis simni alumin sim bilan almashtirganda massadan qancha iqtisod bo'ladi?

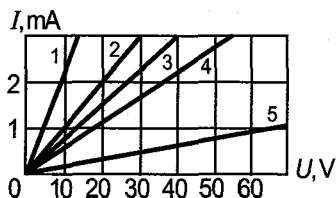
2.22. Rezistorning $T_0 = 300 \text{ K}$ dagi qarshiligi 10 kOm, qarshilikning issiqlik koeffitsienti $\alpha_T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Uning $T = 350 \text{ K}$ dagi qarshiligi qanday bo'ladi?

2.23. Agar muhit temperaturasi har bir 100 K ga o'zgarganda rezistorning qarshiligi 100 Om ga o'zgarsa, uning temperatura koeffitsientini toping. Qarshilikning nominal qiymati 1 kOm.

2.24. Rezistor qarshiligining temperaturaga bog'lanish grafigini umumiy ko'rinishda quring va koordinata o'qlaridan kesib o'tuvchi kesmalarning fizik ma'nosini ayting.

2.25. $T_1 = 323 \text{ K}$ da rezistor qarshiligi 270 Om, $T_2 = 353 \text{ K}$ da esa 275 Om. Rezistorning temperatura koeffitsienti va $T_3 = 293 \text{ K}$ dagi qarshiligi topilsin.

2.26. 2.11-rasmda beshta rezistorning volt-amper xarakteristikasi tasvirlangan. Har bir rezistorning qarshiligini aniqlang.

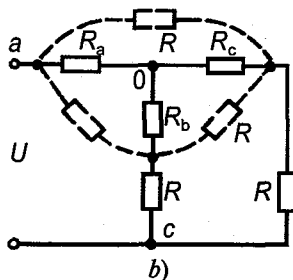
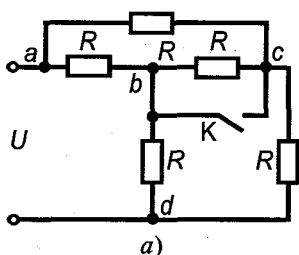


2.11-rasm

2.27. Qarshiligi 0 dan 1 kOm gacha bo'lgan o'zgaruvchan rezistor 20 V kuchlanish manbaiga ulangan. Agar: a) hamma o'ramlar kuchlanish ta'sirida bo'lsa; b) harakatlanuvchi kontakt rezistorning o'rtasida bolsa; d) kuchlanish ta'sirida 80% o'ramlar bo'lsa; e) kuchlanish ta'sirida 20% o'ramlar bo'lsa, rezistordan qanday tok o'tadi?

2.28. Elektr zanjirning almashlash sxemasida (2.12-a rasm) elektr zanjirining barcha shoxobchalaridagi toklarni toping. Hamma qarshiliklar bir xil $R = 15 \text{ Om}$. Manba kuchlanishi $U = 120 \text{ V}$.

Ko'rilayotgan zanjirda a , b , c uchlarga ega uchburchakni ekvivalent yulduzga o'tkazish qulay. Natijada 2.12-b rasmdagi zanjirni hosil qilamiz.



2.12-rasm

2.29. Agar: a) kuchlanish hamma qismidan olinsa; b) kuchlanish bo'lgich chulg'aming yarmidan olinsa; d) kuchlanish bo'lgich chulg'amlarining 1/4 qismidan olinsa, kuchlanishi 10 V bo'lgan manbaga ulangan kuchlanish bo'lgichning chiqishini toping.

2.30. Yuklama rezistori 10 V kuchlanishga ulangan. Agar rezistorning qarshiligi 10 kOm, 20 kOm, 1 MOm bo'lsa, tok topilsin. Agar kuchlanish 1 V, tok esa 0,1 A; 10 mA; 10 mKA bo'lsa, yuklama qarshiligi hisoblansin.

2.31. O'tkazgichning qarshiligi 1 kOm, undan o'tadigan tok 0,2 A dan katta bo'lmasligi uchun maksimal kuchlanish qancha bo'lishi kerak?

2.2. O'ZGARMAS TOK MURAKKAB ZANJIRLARINI HISOBLASH USULLARI

Bir necha konturlari bo'lgan zanjirlar uchun (2.13-a rasm) kontur toklar usuli qo'llaniladi. Bu usul dastavval tuzilgan tenglamalarni bog'lanmagan konturlar sonigacha kamaytirish imkonini beradi:

$$\begin{aligned}
 (R_1 + R_2 + R_5)I_I - R_5I_{II} - R_1I_{III} &= 0; \\
 -R_5I_I + (R_4 + R_2 + R_5)I_{II} - R_4I_{III} &= 0; \\
 -R_1I_I - R_4I_{II} + (R_1 + R_4)I_{III} &= E.
 \end{aligned}$$

Zanjirdagi tugunlar soni konturlar sonidan kam bo'lsa, (2.13-b rasmdagi differensial sxema) tugun potentsiallari usuli qo'llaniladi. Bu usul bo'yicha tenglamalar soni tugunlar sonidan bittaga kam bo'ladi, ya'ni:

$$U_{12} = \frac{E_1G_1 - E_2G_2}{G_1 + G_2 + G_3},$$

bunda G_1, G_2, G_3 — 1- va 2- tugunlar orasidagi shoxobchalarning o'tkazuvchanligi.

Agar murakkab zanjirning faqat bitta R shoxobchasidan o'tuvchi tokni topish zarur bo'lsa, ekvivalent generator usuli qo'llaniladi. Bu holda toki hisoblanadigan shoxobchadan tashqari bo'lgan zanjirning barcha qismini ekvivalent generator deyish mumkin. Uning kuchlanishi $U_{s.ish}$ ga teng va ichki qarshiligi esa r_{ich} bo'lgan manba deb hisoblanadi.

Mazkur shoxobchadagi tok quyidagicha aniqlanadi:

$$I = U_{s.ish} / (r_{ich} + R) \quad (2.19)$$

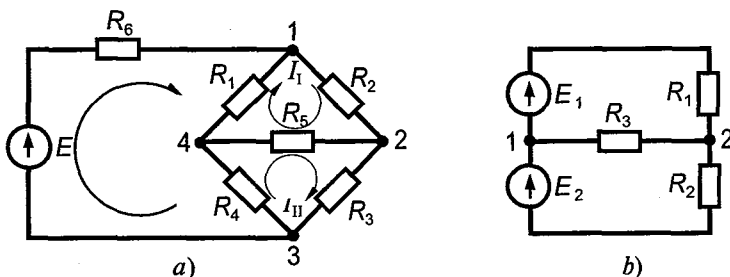
bunda R — shoxobcha qarshiligi va ekvivalent generator parametrlari bir-biri bilan $U_{s.ish} = I_{q.t.} \cdot r_{ich}$ ifoda orqali bog'langan. Bunda $I_{q.t.}$ — shoxobchadan qisqa tutashgan holda o'tadigan tok. Agar ajratilgan shoxobchada EYuK E manbai bo'lsa, tok quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$I = (U_{s.ish} + E) / (r_{ich} + R) \quad (2.20)$$

bunda EYuK E oldidagi ishora ekvivalent generatorning salt ishlash kuchlanishining yo'nalishiga nisbatan olinadi.

Masalalar

2.32. Differensial sxemaga (2.13-b rasm) ulangan manbalarining EYuK $E_1 = 60$ V; $E_2 = 75$ V; $R_1 = 2$ Om; $R_2 = 3$ Om; $R_3 = 5$ Om bo'lsa, umumiy shoxobchadagi tok kuchini toping.



2.13-rasm

Yechish. Murakkab zanjirlarning hisoblash usullarini shu masalani yechish misolida ko'rib chiqamiz.

1. Ustma-ustlash usuli.

Faqat EYUK E_1 manba ta'sirida zanjir shoxobchalaridagi toklarni topish uchun E_2 manbani sxemadan fikran istisno etamiz, ya'ni EYUK E_2 qismlarini qisqa tutashtiramiz (2.14-a rasm).

Bu holda quyidagi natija kelib chiqadi:

$$R_{ekv1} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 3,875 \text{ Om}.$$

Shoxobchalardagi toklar mos ravishda:

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_{ekv1}} = 15,5 \text{ A}; \quad I_{12} = I_{11} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 9,6 \text{ A}; \quad I_{13} = I_{11} - I_{12} = 5,9 \text{ A}.$$

EYUK E_2 ta'sirida shoxobchalardan o'tadigan toklarni topish uchun E_1 manbani fikran qisqa tutashtiramiz (2.14-b rasm). Bu holda

$$R_{ekv2} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 4,4 \text{ Om}.$$

Shoxobchalardagi toklar mos ravishda teng:

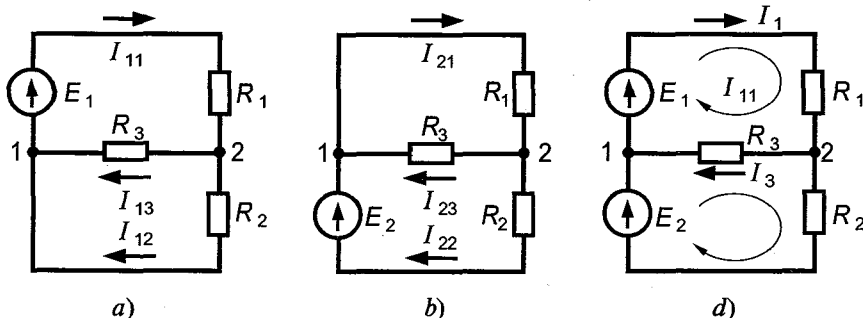
$$I_{22} = \frac{E_2}{R_{ekv2}} = 17 \text{ A}; \quad I_{23} = I_{22} \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 4,9 \text{ A}; \quad I_{21} = I_{22} - I_{23} = 12,1 \text{ A}$$

2.14-a, b rasmlardagi mos shoxobchalar toklarining yo'nalishini hisobga olib, izlanayotgan toklarni topamiz;

$$I_1 = I_{11} + I_{21} = 27,6 \text{ A}; \quad I_2 = I_{12} + I_{22} = 26,6 \text{ A}; \quad I_3 = I_{13} - I_{23} = 1 \text{ A}.$$

2. Kirxgof qonunlariga asoslangan usul.

Zanjir (2.14-d rasm) shoxobchalaridagi toklarga ixtiyoriy yo'nalish berib, bitta tugun va ikkita kontur uchun tenglamalar sistemasini tuzamiz:



2.14-rasm

$$\begin{cases} I_2 + I_3 - I_1 = 0; \\ E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3; \\ E_2 = -I_3 R_3 + I_2 R_2. \end{cases} \text{ yoki } \begin{cases} -I_1 + I_2 + I_3 = 0; \\ 2I_1 + 5I_3 = 60; \\ 3I_2 - 5I_3 = 75. \end{cases}$$

Birinchi $I_3 = I_1 - I_2$ tenglamani keyingi ikkitasiga qo'yib, ikki tenglamali sistema hosil qilamiz:

$$\begin{cases} 7I_1 - 5I_2 = 60 \\ -5I_1 + 8I_2 = 75 \end{cases}$$

Sistemani yechib, tok qiymatlarini aniqlaymiz: $I_1 = 27,6 \text{ A}$, $I_2 = 26,6 \text{ A}$, $I_3 = 1 \text{ A}$.

3. Kontur toklar usuli.

Berilgan sxema uchun ikkita kontur tanlaymiz va ular uchun Kirxgofning ikkinchi qonun bo'yicha kontur tenglamalari tuzamiz:

$$\begin{cases} E_1 = I_1 R + (I_1 - I_{II}) R_3 \\ E_2 = (I_{II} - I_1) R_3 - I_{II} R_2 \end{cases} \text{ yoki } \begin{cases} 60 = 2I_1 + (I_1 - I_{II}) 5 \\ 75 = (I_{II} - I_1) 5 + 3I_{II} \end{cases}$$

Murakkab bo'lmagan o'zgartirishlardan keyin

$$\begin{cases} 7I_1 - 5I_{II} = 60 \\ -I_1 + 8I_{II} = 75. \end{cases}$$

Sistemani hosil qilib, quyidagi yechimlarni topamiz:

$$I_1 = 27,6 \text{ A}; I_2 = 26,6 \text{ A}; I_3 = I_1 - I_2 = 1 \text{ A}.$$

4. Tugun potentsiallari usuli.

Zanjirning 1- va 2-tugunlari orasidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{21} = \frac{60/2 - 75/3}{1/2 + 1/3 + 1/5} = -4,8 \text{ V}.$$

Shoxobchalardagi toklar mos ravishda teng, ya'ni:

$$I_I = (E_1 + U_{21})/R_1 = 27,6 \text{ A};$$

$$I_2 = (E_2 - U_{21})/R_2 = 26,6 \text{ A};$$

$$I_3 = U_{21}/R_3 = 1 \text{ A}.$$

5. Ekvivalent generator usuli.

Zanjirdan 1-shoxobchani ajratib olamiz. Zanjirning bu shoxobchadan tashqari qismini *ekvivalent generator* deymiz. Uning kuchlanishi $E_0 = U_{01}$ va ichki qarshiligi $r_{ich} = r_{ich1}$, bunda

$$U_{01} = E_1 + U_{12} = E_1 + \frac{E_2 R_3}{R_2 + R_3} = 107 \text{ V},$$

$$r_{ich2} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 1,43 \text{ Om}.$$

Binobarin, 1-shoxobchadagi tok kuchi Om qonuniga asosan:

$$I_1 = U_{01}/(r_{ich1} + R) = 27,6 \text{ A}.$$

Shunga o'xshash 2-shoxobcha uchun

$$U_{02} = E_2 + U_{12} = E_2 + \frac{E_1 R_3}{R_1 + R_3} = 117 \text{ V};$$

$$r_{ich2} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 1,43 \text{ Om};$$

2-shoxobchadagi tok $I_2 = U_{02}/(r_{ich2} + R_2) = 26,6 \text{ A}$;

3-shoxobchadagi tok $I_3 = I_1 - I_2 = 1 \text{ A}$.

Shunday qilib, ko'rilayotgan sxema uchun tugun kuchlanishlari (potensiallari) usuli eng qulay usuldir.

Hisoblarning to'g'riligini quvvatlar balansi bilan tekshirib ko'rish mumkin, ya'ni:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3.$$

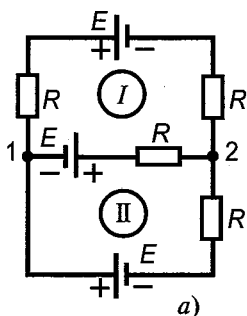
Toklar va qarshiliklar qiymatlarini qo'yib, $3651 \text{ Vt} = 3651 \text{ Vt}$ ni hosil qilamiz.

2.33. Ustma-ustlash, kontur toklar va tugun potentsiali usullaridan foydalanib, 2.15-a rasmda tasvirlangan sxemalar shoxobchalaridagi toklarni hisoblang. $E = 15 \text{ V}$; $R = 2 \text{ Om}$; Quvvatlar balansi tenglamasini tuzing.

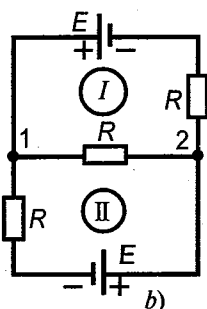
2.34. Ustma-ustlash, kontur toklar va tugun potentsiallari usullaridan foydalanib, 2.15-b rasmda tasvirlangan zanjir shoxobchalaridagi toklar topilsin.

$E = 30 \text{ V}$; $R = 5 \text{ Om}$. Quvvatlar balansi tenglamasi tuzilsin.

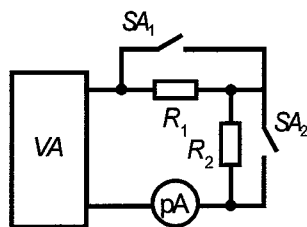
2.35. Elektr zanjirda aktiv ikki qutblik va ampermetr ulangan shoxobcha ajratilgan (2.16-rasm). Ikkala kalitlar uzilganda ampermetrning ko'rsatishi



2.15-rasm



b)

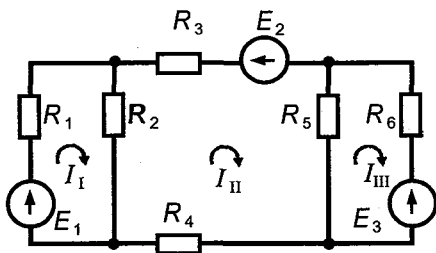


2.16-rasm

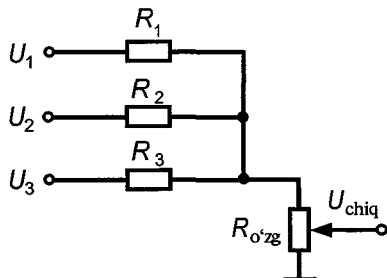
2 A, agar SA_1 kalit ulangan, SA_2 kalit uzilgan bo'lsa, ampermetr 3 A ko'rsatadi. Agar $R_1 = R_2 = 10 \text{ Om}$ bo'lsa, ikkala kalitlar ulangan holatda ampermetrning ko'rsatishini toping.

2.36. Kontur toklar usulidan foydalanib, 2.17-rasmdagi zanjir shoxbchalaridagi tok kuchlari topilsin. Manba EYuKlari va rezistor qarshiliklari mos ravishda teng, ya'ni: $E_1 = 50 \text{ V}$, $E_2 = 200 \text{ V}$, $E_3 = 55 \text{ V}$; $R_1 = R_2 = R_4 = 10 \text{ Om}$; $R_3 = 15 \text{ Om}$; $R_5 = R_6 = 5 \text{ Om}$.

2.37. Chiziqli potensiometrning kontakti o'rtada bo'lsa, chiqish kuchlanishi topilsin. Zanjir (2.18-rasm) elementlarining parametrlari: $U_1 = 30 \text{ V}$; $U_2 = 25 \text{ V}$; $U_3 = 6 \text{ V}$ va $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ kOm}$, $R_{o'zg}$ o'zgaruvchi rezistorning to'la qarshiligi 2 kOm .



2.17-rasm

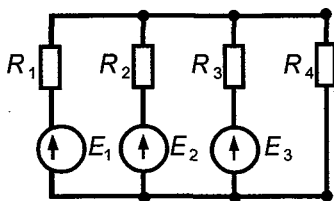


2.18-rasm

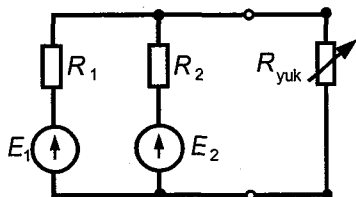
2.38. 2.19-rasmda keltirilgan sxemada uchta o'zgarmas tok generatorlari ulangan. Agar parametrlar $E_1 = 230 \text{ V}$; $E_2 = 220 \text{ V}$; $E_3 = 160 \text{ V}$ va $R_1 = 2 \text{ Om}$; $R_2 = R_3 = 4 \text{ Om}$; $R_4 = 20 \text{ Om}$ bo'lsa, qaysi mashinalar energiya beradi, qaysilari energiya sarflaydi?

2.39. Qarshiligi R_{yuk} katta diapazonda o'zgaradigan yuklama (2.20-rasm) parallel manbalarga ulangan. Yuklama qarshiligi qancha bo'lganda unda maksimal quvvat ajraladi? Zanjir elementlarining parametrlari: $E_1 = 200 \text{ V}$; $E_2 = 150 \text{ V}$ va $R_1 = 20 \text{ Om}$; $R_2 = 30 \text{ Om}$ ga teng.

2.40. Ko'prik sxemali elektr zanjirning 2.13-a rasm diagonalidagi tok kuchi topilsin. $E_1 = 75 \text{ V}$ va $R_1 = R_2 = 5 \text{ Om}$; $R_3 = 3 \text{ Om}$; $R_4 = R_5 = 4 \text{ Om}$; $R_6 = 0$, R_3 qarshiligi qancha bo'lganda ko'prik diagonalidagi tok nolga teng bo'ladi?



2.19-rasm



2.20-rasm

2.41. Yelka qarshiliklari $R_1 = R_2 = 4 \text{ Om}$; $R_3 = 5 \text{ Om}$; $R_4 = 3 \text{ Om}$ bo'lgan ko'prik sxema (2.13-a rasm) EYuK $E = 30 \text{ V}$, ichki qarshiligi $R_0 = 1 \text{ Om}$ li manbaga ulangan. Ko'prik diagonali qisqa tutashganda va uzilgandagi manba toki hisoblansin.

2.42. Differensial sxemali zanjirda (2.13-b rasm) $E_1 = 110 \text{ V}$; $E_2 = 60 \text{ V}$; Agar $R_1 = 10 \text{ Om}$; $R_2 = 5 \text{ Om}$ bo'lsa, qarshiligi $R_3 = 5 \text{ Om}$ bo'lgan shoxobchadagi tok topilsin. R_1 va R_2 ning qanday nisbatida yuklama toki nolga teng bo'ladi?

2.3. ELEKTR ZANJIRLARDA O'TISH JARAYONLARI

Elektr zanjirini bir barqaror holatdan boshqa barqaror holatga o'tishi elektr zanjirdagi *o'tish jarayoni* deyiladi. O'tish jarayonining xarakteri berilgan elektr zanjirning induktivlik, sig'im va qarshiliklari nisbatiga bog'liq bo'ladi.

Induktivli shoxobchadagi o'tish jarayoni *kommutsatsiyaning birinchi qonuniga bo'ysunadi*. Induktivlikda tok keskin sakrab o'zgara olmaydi. Sig'imli shoxobchada *kommutsatsiyaning ikkinchi qonuni o'rinlidir*, chunki kondensatordagi kuchlanish keskin sakrab o'zgara olmaydi.

Induktiv g'altak o'zgarmas tok mabaiga ulansa, (2.21-a rasm kalitning 1-holati) undagi tok o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2.21)$$

bunda $\tau = \frac{L}{R}$ vaqt doimiysi, uning o'lchov birligi quyidagicha:

$$[\tau] = \left[\frac{\text{Om} \cdot \text{s}}{\text{Om}} \right] = [\text{s}].$$

Kalitning 2-holatida g'altakdagi tok eksponensial o'zgaradi

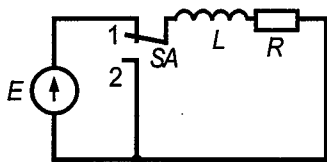
$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.22)$$

Kalit 1-holatda bo'lganda (2.21-b rasm) ya'ni kondensator zaryadlanganda, undagi kuchlanish quyidagicha o'zgaradi:

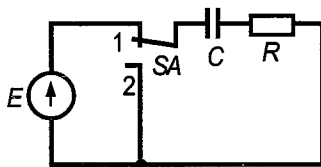
$$u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \quad (2.23)$$

tok esa $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ qonun bo'yicha o'zgaradi.

Bunda $\tau = RC$ — vaqt doimiysi $[\tau] = \left[\text{Om} \cdot \frac{\text{s}}{\text{Om}} \right] = [\text{s}].$



a)



b)

2.21-rasm

Kondensatorning zaryadsizlanishi (2.21-b rasm, kalitning 2-holati) ham eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradi

$$u_c = Ee^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.24)$$

Tok esa
$$i_c = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.25)$$

Amalda o'tish jarayoni $t = (3 + 5)\tau$ vaqt davomida tamom tugaydi.

Masalalar

2.43. Rezistor va kondensatordan iborat zanjir o'zgarmas kuchlanish $U = 24 \text{ V}$ ga ulangan. Agar $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ mkF}$ bo'lsa (2.21-b rasm), $t = 1, 2, 3, 5 \tau$ vaqtlardagi kondensator kuchlanishi u_c va tok i_c aniqlansin. O'tish jarayoni 5 ms bo'lishi uchun kondensatorning sig'imi qancha bo'lishi kerak?

Yechish. Kondensator kuchlanishi va toki eksponensial (2.24) qonunlar bilan o'zgaradi. Vaqt doimiysi τ bu holda quyidagicha bo'ladi:

$$\tau = RC = 10^3 \cdot 10^{-5} = 10 \text{ ms}.$$

Masala shartida berilgan vaqtlardagi kuchlanish va toklarni hisoblaymiz:

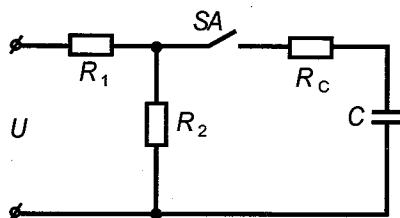
$$u_c = 24(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \quad i = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{24}{1000} e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ A}.$$

t	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
u	15,2	20,8	22,8	23,84	23,84
i	8,8	3,2	1,2	0,16	0,04

O'tish jarayoni $t = 5 \text{ ms}$ bo'lishi uchun vaqt doimiysini 1 ms deb olish kerak. Bunda kondensatorning sig'imi $C = 1 \text{ mkF}$ bo'ladi.

2.44. Keltirilgan sxemada (2.22-rasm) kondensator necha voltgacha zaryadlanadi? Bunda $U = 100 \text{ V}$; $R_1 = 40 \Omega$; $R_2 = 60 \Omega$; $R_C = 26 \Omega$, $C = 200 \text{ mkF}$. 10 ms vaqtdan keyingi kondensatordagi kuchlanish topilsin.

Yechish. Kondensatorli shoxobchadan tashqari bo'lgan sxemani EYuK $E = U_{s.ish}$ va ichki qarshiligi $r_{ich} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ ga teng ekvivalent manba sifatida qarash mumkin. Ichki qarshilik $r_{ich} = 40 \cdot 60 / (40 + 60) = 24 \text{ Om}$; salt ishlash kuchlanishi



2.22-rasm

$$U_{s.ish} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 60 \text{ V}.$$

Binobarin vaqt doimiysi $\tau = (R + r_{ich}) C = 10 \text{ ms}$ da kondensator 60 V gacha zaryadlanadi. 10 ms dan keyin uning kuchlanishi $60 (1 - e^{-1}) = 37,8 \text{ V}$ bo'ladi.

2.45. Qarshiligi $R = 10 \text{ Om}$ li rezistordan va $L = 10 \text{ mGn}$ induktiv g'altakdan iborat zanjir EYuK $E = 15 \text{ V}$ manbaga ulangan (2.21-a rasm) $t = 0,5; 1; 2; 4 \tau$ vaqt onlarida zanjir toki va g'altakdagi kuchlanish aniqlansin. O'tish jarayonining vaqti 1 ms bo'lishi uchun g'altak induktivligini tanlang.

Yechish. Masala shartida berilganlarga ko'ra g'altakdagi tok va kuchlanish mos ravishda teng, ya'ni: $i = 1,5(1 - e^{-t/\tau}) = 0,59; 0,95; 1,3$ va $1,47 \text{ mA}$; $u = 1,5 (1 - e^{-t/\tau}) = 9,1; 5,5; 2$ va $0,27 \text{ V}$. O'tish jarayonining vaqti $t = 1 \text{ ms}$ ni ta'minlash uchun vaqt doimiysi $\tau = 0,2 \text{ ms}$ va induktivlik $L = 2 \text{ Gn}$ bo'lishi kerak.

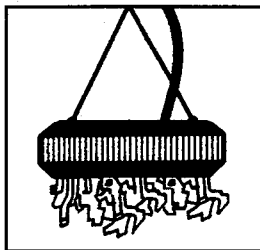
2.46. O'zgarmas tok motori kuchlanishi 110 V li o'zgarmas tok manbaiga ulangan. Uning yakori 2000 o'ramdan iborat bo'lib, har bir o'ramning qarshiligi 1 Om, induktivligi 100 mGn. Agar g'altakdan o'tuvchi ishga tushirish toki $I = 50 \text{ A}$ bo'lsa, motor manbaga qo'shilganidan so'ng qancha vaqtdan keyin aylanadi.

2.47. Katta induktivlikka ega qurilmalarni manbadan ajratilganda ular nima uchun qarshilikka ulanishini tushuntiring. G'altak manbadan ajratilganda uning qismalaridagi kuchlanish qanday o'zgaradi?

2.48. Kondensatorli zanjirda o'tish jarayonining vaqt doimiysi: a) qarshilik 2 baravar oshganda; b) sig'im 3 baravar kamayganda; d) qarshilik va sig'im bir yo'la 2,5 baravar kamayganda qanday o'zgaradi?

2.49. Kondensator qarshiligi 1 kOm bo'lgan rezistor orqali zaryadsizlanganda va bunda tok $i = 10e^{-t/\tau} \text{ mA}$ bilan o'zgarsa va $\tau = 1 \text{ ms}$ bo'lsa, rezistordagi kuchlanishning 1, 2 va 5 ms dagi qiymatlari hisoblansin. Qancha vaqtdan keyin rezistordagi kuchlanish 5 V bo'ladi?

2.50. Kondensatordagi kuchlanish $u = 36(1 - e^{-t/\tau})$ qonuniyat bilan o'zgaryapti. Kondensatorning zaryadlanmasdan oldingi va zaryadlangandan keyingi kuchlanishi topilsin. Agar vaqt doimiysi $\tau = 2 \text{ ms}$ bo'lsa, qancha vaqtdan keyin kondensatordagi kuchlanish 25 V bo'ladi?



3-BOB

Magnit zanjirlar

3.1. MAGNIT ZANJIRLARNING XARAKTERISTIKALARI. ELEKTROMAGNITLAR

Magnit maydon kuchlanganlik va magnit induksiya bilan tavsiflanadi. Magnit oqim Φ (Vb), magnit induksiya B va shu magnit oqimni o'tkazadigan muhitning ko'ndalang kesim yuzi S oralarida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$\Phi = BS, \quad (3.1)$$

bunda S — ko'ndalang kesim yuzi, m^2 ; B — magnit induksiya, Tl.

Magnit maydonning kuchlanganligi H (A/m) magnit induksiya B hamda o'tkazuvchi muhitning xossasiga bog'liq:

$$H = B / \mu_a. \quad (3.2)$$

Ferromagnit materiallar uchun absolut (mutlaq) magnit singdiruvchanlik $\mu_a = \mu_r \mu_0$ doimiy kattalik bo'lmagani uchun berilgan kuchlanganlikka mos keladigan induksiyaning aniqlash maqsadida magnitlanish egri chizig'idan foydalaniladi (5-ilova). Bunda magnit doimiysi $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ N/m} = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Gn/m} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$; μ_r — muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi. Magnit maydonning kuchlanganligi tok kuchiga va magnitlovchi chulg'amning shakliga bog'liq bo'ladi, uzun to'g'ri o'tkazgich uchun quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$H = I / 2\pi(l_a), \quad (3.3)$$

bunda, l_a — o'tkazgich o'qidan fazodagi kuchlanganlik H aniqlanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa.

W o'ramli chulg'amdan I tok o'tsa, u Iw magnitlovchi kuch hosil qiladi. Magnit maydonning kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:

$$H = Iw / l_{o'r} \quad (3.4)$$

bunda, $l_{o'r}$ — magnit kuch chizig'ining o'rta uzunligi.

Bir jinsli chiziqli magnit zanjir uchun Om qonuni quyidagicha:

$$\Phi = Iw/R_{\mu}, \quad (3.5)$$

bunda $R_{\mu} = I_{o'r}/\mu_a S$ – zanjirning magnit qarshiligi, $1/\text{Gn}$.

Elektromagnit qurilmalarning ishlashi magnit maydon va tokli o'tkazgich yoki ferromagnit materiallarning o'zaro ta'sir etishiga asoslanadi.

Magnit maydon kuch chiziqlariga α burchak ostida joylashgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch quyidagicha topiladi:

$$F = BIl \sin \alpha, \quad (3.6)$$

bunda l – o'tkazgich uzunligi.

I_1 va I_2 tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sir etuvchi kuchi (Amper qonuni) quyidagicha aniqlanadi:

$$F_{12} = F_{21} = \mu_a I_1 I_2 l / 2\pi l_a, \quad (3.7)$$

bunda l – o'tkazgichlar orasidagi masofa.

Elektromagnit hosil qiladigan tortish kuchi taqriban quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$F = 4 \cdot 10^5 B^2 S, \quad (3.8)$$

bunda S – elektromagnit qutblarining kesim yuzi, m^2 .

Masalalar

3.1. Ikki parallel cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgich vakuum ($\mu_r = 1$) da bir-biridan $l_a = 0,40$ m masofada joylashgan. Agar ularning biridan $I_1 = 12$ A, ikkinchisidan esa $I_2 = 18$ A tok o'tayotgan bo'lsa, simlarning uzunlik birligiga ta'sir qiluvchi kuch F/l topilsin. Magnit doimiysi $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$.

Yechish. Parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchi (Amper) quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{F}{l} = \mu_0 \mu_r \frac{I_1 I_2}{2\pi l_a} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} ; 1 \cdot \frac{12 \cdot 18}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4} = 1,08 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}.$$

3.2. Yuzasining kesimi kvadrat bo'lgan halqasimon bir jinsli magnit o'tkazgichga o'ramlar soni $w = 150$ ta bo'lgan magnitlash chulg'ami o'ralgan. Halqaning tashqi diametri $D = 140$ mm, ichki diametri $d = 80$ mm. Magnit o'tkazgichdagi oqim $\Phi = 1,53 \cdot 10^{-2}$ Vb bo'lishi uchun chulg'am toki hamda chulg'amning magnit yurituvchi kuchi topilsin.

Agar magnit o'tkazgich 3411 elektrotexnik po'latdan yasalgan bo'lsa, uning magnit qarshiligini toping.

Yechish. Chulg'am toki (3.5) formuladan topiladi $I = \Phi R_{\mu} / w$. Magnit qarshilik R_{μ} ni topish uchun induksiya $B = \Phi / S$ ni hisoblaymiz.

Bunda $S = \pi(D - d)^2 / 4 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Binobarin, induksiya $B = 1,7$ Tl bo'lganda 5-ilovadan foydalanib, 3411 po'lat uchun magnit maydonning

kuchlanganligini topamiz: $H = 3000 \text{ A/m}$. Magnit qarshilik $R_\mu = l/\mu_a S = Hl_{o,r}/BS$ ga teng.

Magnit kuch chizig'ining o'rtacha uzunligi bu holda quyidagicha bo'ladi:

$$l_{o,r} = \pi(D + d)/2 = 0,35 \text{ m}.$$

Tokni topib $I = Hl/w = 7 \text{ A}$, magnitlash kuchini hisoblaymiz $Iw = 1050 \text{ A}$ va magnit qarshilik $R_\mu = Iw/\Phi = 7 \cdot 10^6 \text{ 1/Gn}$ ni topamiz.

3.3. Magnit kuch chiziqlariga perpendikulyar joylashgan elektr o'tkazgichga 5 N kuch ta'sir qilmoqda. Agar o'tkazgichning uzunligi 1 m , qarshiligi 1 Om va kuchlanishi 36 V , $r_{ich} = 0$ EYuK manbaiga ulangan bo'lsa, magnit maydon induksiyasini toping.

Yechish. O'tkazgichdan o'tayotgan tokni Om qonunidan topamiz. $r_{ich} = 0$ bo'lgani uchun $I = E/R = 36 \text{ A}$. Magnit maydon induksiyasini (3.6) formuladan topamiz: $B = F/II = 0,14 \text{ Tl}$.

3.4. Ko'ndalang kesim sirti $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, magnit induksiyasi $0,8; 1,2; 1,5 \text{ Tl}$ bo'lgan magnit o'tkazgichdagi magnit oqim aniqlansin.

3.5. Magnit induksiyasi bir xil, kesimi doiraviy bo'lgan ikkita magnit o'tkazgichning biridagi magnit oqim ikkinchisidan: a) 5 baravar kam; b) 4 baravar ko'p; d) 8 baravar ko'p bo'lganda ularning diametrlarining nisbati qanday bo'ladi?

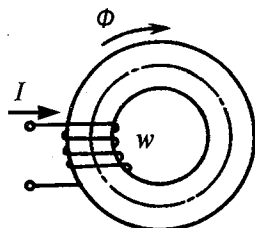
3.6. 10 A tok o'tayotgan havo uzatish liniyasidan $0,5 \text{ m}$ masofadagi nuqtaning magnit kuchlanganligini va magnit induksiyasini aniqlang.

3.7. Ferromagnit materialning kuchlanganligi 2250 A/m bo'lganda, undagi magnit induksiya $1,5 \text{ Tl}$. Materialning absolut va nisbiy magnit singdiruvchanligi aniqlansin.

3.8. Magnit maydonga kiritilgan ferromagnit tayoqchadagi magnit induksiya xuddi shunday kuchlanganlikdagi havoning magnit induksiyasidan 500 marta ko'p. Ferromagnit tayoqchaning absolut magnit singdiruvchanligini aniqlang.

3.9. Tok o'tayotgan o'tkazgichdan 20 m uzoqdagi havoning magnit induksiyasi $2 \cdot 10^{-7} \text{ Tl}$. Shu nuqtadagi magnit maydon kuchlanganligi va o'tkazgichdan o'tuvchi tokni toping.

3.10. Halqasimon magnit o'tkazgichdagi (3.1-rasm) $w = 250$ o'ramli chulg'amdand $2,5 \text{ A}$ tok o'tyapti. Agar magnit o'tkazgichning o'rtacha diametri $0,1 \text{ m}$ bo'lib, u har xil: a) 1512 elektroteknik po'latdan; b) 1410 quyma po'latdan yasalgan bo'lsa, undagi magnit induksiyani aniqlang. Material xarakteristikasi 5-ilovada keltirilgan.



3.1-rasm

3.2. TARMOQLANMAGAN MAGNIT ZANJIRNI HISOBLASH

Havo tirqishli magnit o'tkazgichni hisoblash eng sodda tarmoqlanmagan (3.2-a, b rasm) magnit zanjirni hisoblashga misol bo'la oladi.

Bunday zanjirlarni hisoblashda magnit zanjirlar uchun Om qonunidan tashqari to'la tok qonunidan ham foydalaniladi, ya'ni:

$$Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots + H_n l_n, \quad (3.9)$$

bu yerda H_n – uzunligi l_n bo'lgan maydonning n qismidagi magnit kuchlanganlik.

Harakatlanuvchi yakorli qurilmalarning – rele, elektr o'lchov asboblarning magnit sistemalari ham tarmoqlanmagan magnit zanjirlarga misol bo'la oladi. Misol sifatida elektr magnit o'zgartirgichni ko'rsatish mumkin (3.3-rasm). Yakorning va o'zakning ko'ndalang kesimi bir xil bo'lganda zanjir uchun to'la tok qonuni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

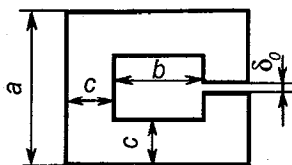
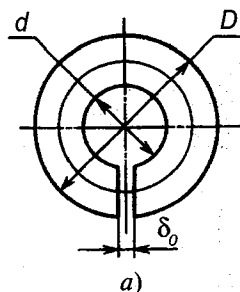
$$Iw = Hl + 2H_0\delta_0 = \frac{B}{\mu_0} \left(\frac{l}{\mu_r} + 2\delta_0 \right) \quad (3.10)$$

Odatda harakatlanuvchi yakor ikki barqaror holatda, ya'ni po'lat o'zakka tutashgan ($\delta_0 = 0$) va ajralgan ($\delta_0 = \delta_{0 \max}$) holatda bo'ladi.

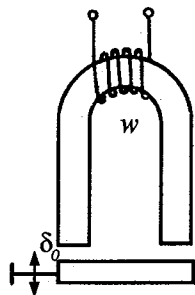
Magnit zanjirlarning asosiy xarakteristikalariga $\Phi(Iw)$ yoki $\Phi(I)$ magnit va $F(I)$ tortuvchi xarakteristikalar kiradi, bularda $\delta_0 = \text{const}$; $I = \text{const}$ bo'lishi kerak. Ular magnit o'tkazgichlarda foydalaniladigan ferromagnit materiallarning magnitlanish egri chiziqlariga bevosita bog'liq bo'ladi.

Masalalar

3.11. Magnit kuch chizig'ining o'rtacha uzunligi 0,4 m va havo tirqishi $\delta_0 = 2$ mm bo'lgan tarmoqlanmagan magnit zanjirda $B = 1,6$ Tl magnit induksiya hosil qilish kerak. Magnit o'tkazgich 1512 elektroteknik po'latdan yasalgan. Agar o'ramlar soni $w = 300$ bo'lsa, magnit o'tkazgichdagi hamda havo tirqishidagi kuchlanganlik va magnitlovchi tok aniqlansin.



3.2-rasm



3.3-rasm

Magnit o'tkazgichning qarshiligi havo tirqishining magnit qarshiligidan necha baravar kam?

Yechish. Havo tirqishidagi magnit maydonning kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:

$$H = B/\mu_0 = 1,6 \cdot 10^7 / 4\pi = 1,27 \cdot 10^6 \text{ A/m.}$$

Magnit o'tkazgichdagi kuchlanganlikni $H = 6000 \text{ A/m}$ ekanligini 5-ildovan aniqalaymiz. To'la tok qonunidan foydalanib, chulg'amning magnitlovchi kuchini hisoblaymiz, ya'ni:

$$Iw = HI + H_0\delta_0 = 2400 + 2540 = 4940 \text{ A.}$$

Chulg'am toki $I = 16,5 \text{ A}$.

Magnit qarshiligi formulasidan $R_\mu = \frac{lR_0}{\mu_r\delta_0}$ yoki $R_0 = \frac{R_\mu\mu_r\delta_0}{l}$, bunda μ_r — po'latning nisbiy magnit singdiruvchanligi 5-ildovaga ko'ra, $\mu_r = B/(H \cdot \mu_0) = 1,6/6000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} = 213$ ga teng. Nihoyat, $R_{\mu_0} = 10,6 R_\mu$ tengligi kelib chiqadi.

3.12. O'ramlar soni $w = 150$ bo'lgan magnitlovchi chulg'amdan $I = 5 \text{ A}$ tok o'tayapti. Bu chulg'am o'rta chizig'i $0,3 \text{ m}$ va ko'ndalang kesim yuzi 10^{-4} m^2 tarmoqlanmagan magnit o'tkazgichga joylashgan. Agar magnit o'tkazgich quyma po'latdan yasalgan va havo tirqishi $\delta_0 = 0,5 \text{ mm}$ bo'lsa, zanjirdagi magnit oqim va induksiya aniqlansin.

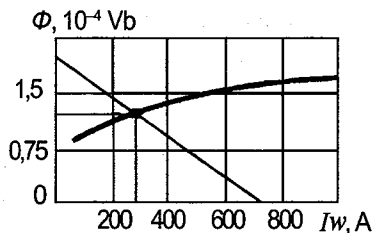
Yechish. Bu sharti bo'yicha teskari qo'yilgan masala bo'lib, quyma po'latning magnit qarshiligining nochiqliqligi sababli grafo-analitik usulda yechiladi.

5-ildovada keltirilgan magnitlanish egri chizig'idan foydalanib $\Phi(Iw)$ magnit xarakteristikani quramiz. Buning uchun tanlangan H qiymatlarini $I_{0,r}$ ga ko'paytiriladi (3.4-rasm), mos B larning qiymatlari esa S ga ko'paytiriladi. Magnit yurituvchi kuchning qiymatini Iw o'q bo'yicha belgilaymiz, ya'ni $Iw = 750 \text{ A}$. Havo tirqishining magnit qarshiligi quyidagicha bo'ladi:

$$R_{\mu_0} = \delta_0/(\mu_0 S) = 0,5 \cdot 10^{-2} / (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4}) = 4 \cdot 10^6 \text{ 1/Gn.}$$

Magnit oqim $\Phi = \frac{Iw}{R_\mu} = 1,875 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}$

ni belgilaymiz, Iw va $\Phi = IwR_\mu$ kesmalardan foydalanib $\Phi = f(Iw)$ grafigini quramiz (3.4-rasm) va uning magnit xarakteristika bilan kesishgan nuqtasini hosil qilamiz. Natijada magnit o'tkazgichning magnit oqimi $\Phi = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}$ va magnit induksiya $B = 1,2 \text{ Tl}$ ga teng bo'ladi.



3.4-rasm

3.13. O‘ramlar soni $w = 100$ bo‘lgan chulg‘am quyma po‘latdan yasalgan magnit o‘tkazgichga o‘rnatilgan (3.3-rasm). Magnit o‘tkazgich kuch chiziqlarining o‘rtacha uzunligi $l_{o'r} = 0,3$ m, o‘zakning ko‘ndalang kesimi $S_k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$; yakorniki esa $S_{ya} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Agar $2\delta_0 = 0,5$ mm bo‘lsa, tortish kuchi 6 kN dan kam bo‘lmasligi uchun, chulg‘amdan o‘tadigan tok kuchi qancha bo‘lishi kerak?

Yechish. Magnit zanjir uchun bu holda to‘la tok qonunidan (3.10) foydalanish kerak, ya‘ni:

$$Iw = \frac{B}{\mu_0} \left(\frac{l}{\mu_r} + 2\delta_0 \frac{S_{ya}}{S_k} \right).$$

Induksiya esa elektromagnit tortish kuchi 3.8 formulasidan aniqlanadi:

$$B = \sqrt{F/4 \cdot 10^5 B^2 S_k} = \sqrt{6000/2000} = \sqrt{3} \text{ Tl} = 1,73 \text{ Tl}.$$

5-ilovadan ma‘lumki, quyma po‘latda $B = 1,73$ Tl induksiya hosil qilish uchun magnit maydonning kuchlanganligi $H = 8000 \text{ A/m}$ bo‘lishi kerak. Bu esa absolut magnit singdiruvchanlik, $\mu_a = B/H = 2,16 \cdot 10^{-4} / 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$ ga to‘g‘ri keladi. Nisbiy magnit singdiruvchanlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_r = \mu_a / \mu_0 = 2,16 \cdot 10^{-4} / 4\pi \cdot 10^{-7} = 2670.$$

Topilgan parametrlarni dastlabki formulaga qo‘yib, magnitlash kuchini aniqlaymiz:

$$Iw = \frac{1,73}{4\pi \cdot 10^{-7}} \left(\frac{0,3}{172} + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2}{5} \right) = 2670 \text{ A}.$$

O‘ramlar soni $w = 100$ ma‘lum bo‘lgani uchun noma‘lum tokni hisoblaymiz: $I = 26,7 \text{ A}$.

3.14. Toroidal magnit o‘tkazgichga (3.2-a rasm) $\varnothing 2$ mm sim o‘ralgan. Agar uning ichki diametri $d = 0,25$ m, tashqi diametri $D = 0,31$ mm va havo tirgishi $\delta_0 = 2$ mm, sim esa “o‘ram yoniga o‘ram” usulda o‘ralib, undan o‘tayotgan tok 5 A bo‘lsa, magnit o‘tkazgich maydonidagi kuchlanganlikni hisoblang.

Yechish. O‘ramlar soni $w = (\pi d - l_0)/d = 391$, kuch chizig‘ining o‘rtacha uzunligi $l_{o'r} = \pi(d + D)/2 = 0,88$ m; $H = 2220 \text{ A/m}$ ga teng bo‘ladi.

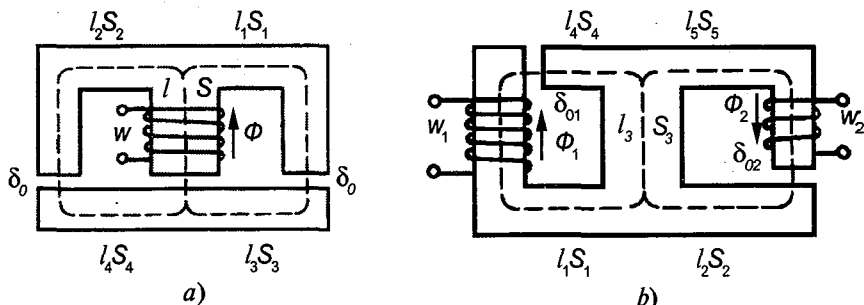
3.3. TARMOQLANGAN MAGNIT ZANJIRNI HISOBLASH

Tarmoqlangan magnit (masalan ko‘p o‘zakli magnit o‘tkazgichlardan tarkib topgan) zanjirlarini hisoblash uchun Kirxgofning birinchi va ikkinchi

qonunlarining tugun va zanjir konturi uchun mos ravishda quyidagi shakllardan foydalaniladi:

$$\sum \Phi = 0; \quad \sum Hl = \sum Iw. \quad (3.11)$$

Tarmoqlangan zanjirlar simmetrik va nosimmetrik bo'lishi mumkin. Birinchi holda (3.5-a rasm) magnit zanjirning simmetriya o'qida u ikkita bir xil qismlarga bo'linadi va hisoblash bitta yarmi uchun tarmoqlanmagan zanjirlar kabi olib boriladi. Ikkinchi holda (3.5-b rasm) zanjir qismlarining magnit xarakteristikalaridan foydalaniladi.



3.5-rasm

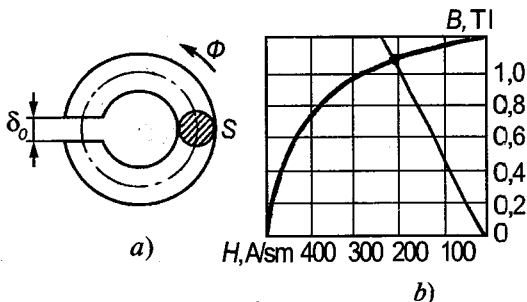
Ba'zi bir elektrotexnik qurilmalarda magnit yurituvchi kuch sifatida doimiy magnitlardan foydalaniladi. Eng sodda zanjir sifatida havo tirqishi bo'lgan doimiy magnitdan yasalgan halqasimon o'zakni ko'rsatish mumkin (3.6-a rasm). Bunday materiallarning magnitsizlanish egri chizig'i 3.6-b rasmda keltirilgan.

Doimiy magnit uchun to'la tok qonuni $Iw = 0$ ni hisobga olib, quyidagicha yoziladi:

$$H_m l_m + H_0 l_0 = 0; \quad H_m = -H_0 l_0 / l_m \quad (3.12)$$

Magnit zanjirni hisoblash magnitsizlanish egri chizig'idan olingan xarakteristika bilan havo tirqishi $\Phi = (H_0 l_0)$ to'g'ri chizig'ining kesishish nuqtasini grafik usulda topishdir.

Odatda doimiy magnitlar magnit zanjirning bir qismini tashkil etadi, boshqa qismlari esa magnit yumshoq materiallardan va havo tirqishidan iborat bo'ladi. Bunday zanjirlarni hisoblash masalasi doimiy magnit bilan magnit zan-



3.6-rasm

jirning boshqa barcha qismini magnit xarakteristikalarining kesishish nuqtasi grafik usulda topish masalasiga keltiriladi.

Doimiy magnitlarning gabarit o'lchamlarini kichraytirish uchun ularning havo tirqishida magnit maydonning maksimal qiymatini ta'minlash kerak, bu esa induksiya va kuchlanganlikning eng katta ko'paytmasiga mos keladi.

Masalalar

3.15. Konfiguratsiyasi 3.5-b rasmda keltirilgan magnit o'tkazgichga o'ramlar soni $w_1 = w_2 = 250$ bo'lgan magnitlovchi chulg'amlar o'ralgan. Bu magnit o'tkazgich 1512 elektrotexnik po'latdan yasalgan, havo tirqishlari $\delta_{01} = \delta_{02} = 1$ mm. Shu chulg'amlardan o'tadigan toklar $I_1 = I_2 = 8$ A. O'lchamlari $S_1 = S_3 = S_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$; $S_2 = S_4 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$; $l_1 = l_2 = 0,3$ m va $l_3 = l_4 = l_5 = 0,1$ m bo'lgan magnit zanjirning barcha qismlaridagi magnit oqimlar aniqlansin.

Yechish. Magnit zanjirlar uchun Kirxgof qonunlari asosida quyidagi sistemani yozish mumkin, ya'ni:

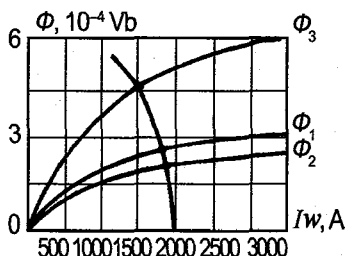
$$\begin{cases} \Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2 \\ I_1 w_1 = H_3 l_3 + H_1 l_1 + H_4 l_4 + H_{01} \delta_{01} \\ I_2 w_2 = H_3 l_3 + H_2 l_2 + H_5 l_5 + H_{02} \delta_{02} \end{cases}$$

Tenglamalar sistemasini yechish uchun Φ_1 va Φ_2 oqimlarning magnit xarakteristikalari topilishi kerak. Bu xarakteristikalar asosida natijaviy xarakteristika yasaladi va uni Φ_3 magnit xarakteristikasi bilan kesishish nuqtasi aniqlanadi.

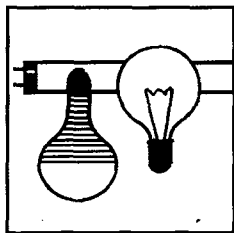
Ikkita birinchi bog'lanish quyidagi ifodalardan topiladi:

$$(Iw)_1 = H_1 l_1 + H_4 l_4 + H_{01} \delta_{01}.$$

Izlanayotgan I qiymatlar esa $Iw - H_3 l_3 = (Iw)_2$ tenglamani 3.7-rasmda ko'rsatilgandek grafik usulda yechib, aniqlanadi. Shu rasmga muvofiq $\Phi_1 = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}$; $\Phi_2 = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}$ va $\Phi_3 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}$.



3.7-rasm



4-BOB

O'zgaruvchan tok elektr zanjirlari

4.1. BIR FAZALI SINUSOIDAL TOK ZANJIRLARINI HISOBLASH

Sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanish va tok mos ravishda quyidagicha yoziladi:

$$u = U_{\max} \sin(\omega t + \Psi_u); \quad i = I_{\max} \sin(\omega t + \Psi_i), \quad (4.1)$$

bunda $U_{\max}$, $I_{\max}$ – kuchlanish va tokning maksimal qiymati; Ψ_u va Ψ_i – kuchlanish va tokning boshlang'ich fazasi.

Rezistorli zanjir uchun tok va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari orasidagi bog'lanish Ohm qonuni bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$I = U/R \quad (4.2)$$

bunda tok (I) va kuchlanish (U) ning ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max}; \quad U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 U_{\max}. \quad (4.3)$$

Induktivlik L ning reaktiv qarshiligi tokning siklik chastotasi $\omega = 2\pi f$ (f – chastota, Gs) va induktivlik L ga proporsionaldir, ya'ni:

$$X_L = \omega L \text{ [Om]}. \quad (4.4)$$

Induktivlikdagi kuchlanish

$$U_L = I \cdot X_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (4.5)$$

G'altakdagi tok kuchlanishga nisbatan faza jihatdan 90° ga orqada qoladi.

C sig'imli kondensatorning reaktiv qarshiligi X_C sig'im qarshilik deb ataladi.

$$X_C = 1/\omega C \text{ [Om]}. \quad (4.6)$$

Kondensatordan o'tuvchi tok quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \frac{U}{X_C} = C \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (4.7)$$

Aktiv, induktiv va sig'ım o'tkazuvchanliklar mos ravishda:

$$\text{aktiv o'tkazuvchanlik} \quad g = \frac{1}{r}, \text{ Sm}; \quad (4.8)$$

$$\text{induktiv o'tkazuvchanlik} \quad b_L = \frac{1}{X_L}, \text{ Sm}; \quad (4.9)$$

$$\text{sig'ım o'tkazuvchanlik} \quad b_C = \omega C, \text{ Sm}; \quad (4.10)$$

$$\text{va to'la o'tkazuvchanlik} \quad Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{r+x^2}}, \text{ Sm}.$$

Quvvatlar quyidagi formulalardan foydalanib hisoblanadi:

$$\text{aktiv quvvat} \quad P = UI \cos \varphi = rI^2, \text{ Vt}; \quad (4.11)$$

$$\text{reaktiv quvvat} \quad Q = UI \sin \varphi = X I^2, \text{ var}; \quad (4.12)$$

$$\text{reaktiv induktiv quvvat} \quad Q_L = X_L \cdot I^2, \text{ var}; \quad (4.13)$$

$$\text{reaktiv sig'ım quvvat} \quad Q_C = X_C I^2, \text{ var}; \quad (4.14)$$

$$\text{to'la quvvat} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ V} \cdot \text{A}. \quad (4.15)$$

Masalalar

4.1. Quvvati $P = 100 \text{ Vt}$ li cho'g'lanma lampa $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Gs}$ manbaga ulangan (4.1-rasm). Zanjirdan o'tuvchi tokni toping.

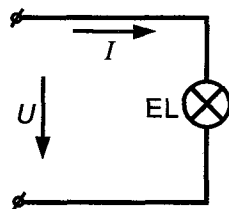
Kuchlanish va tok oniy qiymatlari ifodasini yozing, ularning to'liqin grafiklarini va vektorlar diagrammasini quring.

Yechish. $P = UI \cos \varphi$ ifodadan tok $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0,45 \text{ A}$, chunki cho'g'lanma lampa aktiv qarshilik bo'lgani uchun $\cos \varphi = 1$; $\varphi = 0^\circ$.

Kuchlanish va tokning oniy qiymatlari quyidagicha yoziladi: $u = \sqrt{2} \cdot U \sin(\omega t + \psi_u) = U_{\max} \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 220 \sin \omega t = 310,2 \sin \omega t$; $i = \sqrt{2} \cdot I \sin(\omega t + \psi_i) = I_{\max} \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 0,45 \sin \omega t = 0,63 \sin \omega t$, $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0^\circ - 0^\circ = 0^\circ$, bunda $U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,2 \text{ V}$, $I_{\max} = \sqrt{2} \cdot 0,45 = 0,63 \text{ A}$, mos ravishda kuchlanish va tokning maksimal qiymatlari; burchak chastota $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ 1/s}$; davr $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$; ψ_u va ψ_i – kuchlanish va tokning boshlang'ich fazasi.

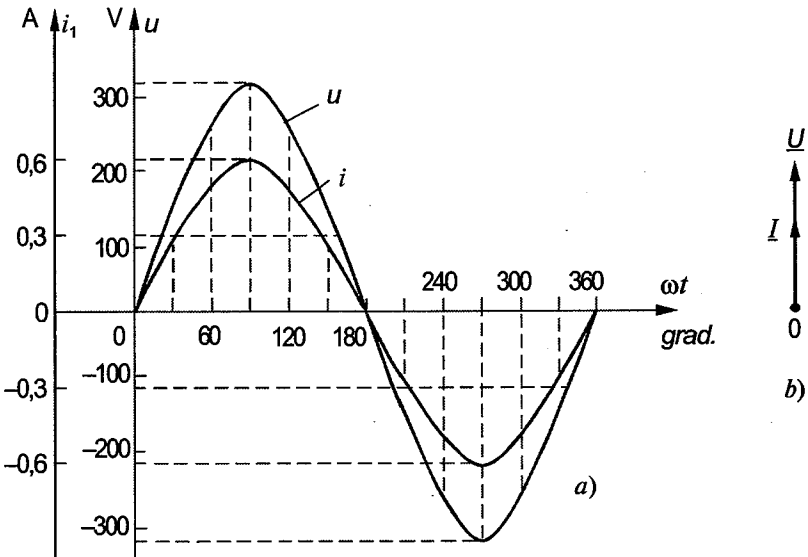
Sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish va tok grafiklarini qurish uchun masshtab tanlaymiz. $m_U = 100 \text{ V/sm}$, $m_I = 0,3 \text{ A/sm}$, $m_{\omega t} = 60 \text{ grad/sm}$ va quyidagi jadvalni tuzamiz.

Jadvaldagi kattaliklar qiymatlari bo'yicha kuchlanish $u(\omega t)$ va tok $i(\omega t)$ grafiklarini quramiz (4.2-a rasm). 4.2-b rasmda kuchlanish va tok vektorlari diagrammasi keltirilgan.



4.1-rasm

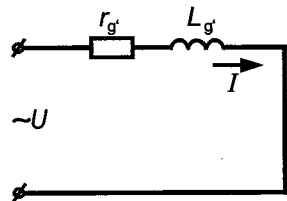
t, s	$\omega t, \text{grad}$	$\sin \omega t$	$u = 310,2 \sin \omega t, V$	$i = 0,63 \sin \omega t, A$
0	0	0	0	0
0,0016	30	0,5	155	0,315
0,0033	60	0,86	266	0,54
0,005	90	1	310	0,63
0,0066	120	0,86	266	0,54
0,0082	150	0,5	155	0,315
0,01	180	0	0	0
0,0116	210	-0,5	-155	-0,315
0,0133	240	-0,86	-266	-0,54
0,015	270	-1	-310	-0,63
0,0166	300	-0,86	-266	-0,54
0,0183	330	-0,5	-155	-0,315
0,02	360	0	0	0



4.2-rasm

4.2. Induktivligi $L = 5 \text{ Gn}$, aktiv qarshiligi $r_g = 500 \text{ Om}$ li induktiv g'altak kuchlanishi $\tilde{U} = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Gs}$ sinusoidal kuchlanish manbaiga ulangan (4.3-rasm). Zanjirdan o'tuvchi tokni, aktiv, reaktiv, to'la quvvatlarni va quvvat koeffitsientini aniqlang.

Kuchlanishlar va tok oniy qiymatlari ifodalarini yozing, ularning grafigi va vektorlar diagrammasini quring.



4.3-rasm

Yechish. Induktiv g'altak parametrlaridan induktiv qarshilik quyidagi-cha aniqlanadi:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5 = 1570 \text{ Om.}$$

G'altakning to'la qarshiligi $Z = \sqrt{r^2 + X_L^2} = \sqrt{500^2 + 1570^2} = 1647,7 \text{ Om.}$

Zanjirdagi tok $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{1647,7} = 0,133 \text{ A}$. Aktiv qarshilikdagi kuchlanish tushuvi esa: $U_r = r_g \cdot I = 500 \cdot 0,133 = 66,7 \text{ V}$ ga teng.

Induktiv qarshilikdagi kuchlanish tushuvi

$$U_L = X_L I = 1570 \cdot 0,133 = 209,9 \text{ V.}$$

G'altak qismalaridagi kuchlanish manba kuchlanishiga teng bo'ladi.

$$U_z = \sqrt{U_r^2 + U_L^2} = \sqrt{(66,7)^2 + (209,9)^2} = 220 \text{ V.}$$

Aktiv quvvat $P = r_g \cdot I^2 = 500 \cdot (0,133)^2 = 8,85 \text{ Vt.}$

Reaktiv quvvat $Q = X_L I^2 = 1570 \cdot (0,133)^2 = 27,8 \text{ var.}$

To'la quvvat $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(8,85)^2 + (27,8)^2} = 29,2 \text{ V} \cdot \text{A.}$

Quvvat koeffitsienti

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{8,85}{27,8} = 0,31 \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Faza burchagining siljishi $\varphi = 72^\circ$ demak, induktiv g'altakdan o'tuvchi tok faza bo'yicha kuchlanishdan 72° orqada bo'ladi.

Endi induktiv g'altakdagi kuchlanish va tok ifodalarini yozamiz:

$u = U_{\max} \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 220 \sin \omega t = 310,2 \sin \omega t, \text{ V}; i = I_{\max} \sin (\omega t - \varphi) = \sqrt{2} \cdot 0,133 \sin (\omega t - 72^\circ) = 0,187 \sin (\omega t - 72^\circ) \text{ A.}$ Induktiv g'altakning r_g aktiv qarshiligidagi kuchlanish tushuvi: $u_{rg} = r_g \cdot I_{\max} \sin (\omega t - 72^\circ) = \sqrt{2} \cdot 66,7 \sin (\omega t - 72^\circ) = 94,7 \sin (\omega t - 72^\circ), \text{ V.}$

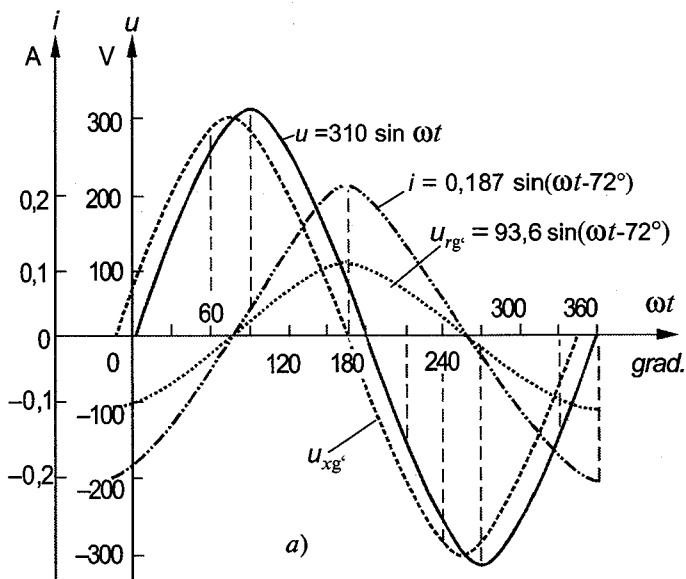
Induktiv X_L qarshilikdagi kuchlanish tushuvi: $u_{xg} = X_L I_{\max} \sin (\omega t - 72^\circ + \pi/2) = \sqrt{2} \cdot 209,9 \cdot \sin (\omega t + 18^\circ) = 295,95 \cdot \sin (\omega t + 18^\circ).$

Sinusoidal o'zgaruvchan tok va kuchlanishlar to'liq in diagrammalarini qurish uchun ularning masshtablarini tanlaymiz:

$m_u = 62 \text{ V/sm}; m_i = 0,10 \text{ A/sm}; m_{\omega t} = 30 \text{ grad/sm}$ va $u(\omega t), i(\omega t)$ grafiklarini quramiz.

Demak, $i(\omega t)$ tok sinusoidasi manba kuchlanishi $u(\omega t)$ dan har onda $\varphi = 72^\circ$ orqada bo'ladi. Endi $u_{rg} = 94,7 \sin \omega t$ va $u_{xg} = 295,95 \sin (\omega t + 18^\circ)$ grafiklarini quramiz (4.4-rasm).

4.3. $C = 4 \text{ mkF}$ li kondensator $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Gs}$ sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulangan. (4.5-rasm) Zanjirdagi tokni va



4.4-rasm

quvvatlarni hisoblang. Kuchlanish va tokning oniy qiymatlari ifodalarini yozing, ularning grafiklarini va vektor diagrammasini quring.

Yechish. Kondensatorning sig'imi qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{10^6}{314 \cdot 4} = 796 \text{ Om}.$$

Zanjirdan o'tuvchi tok:

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{796} = 0,276 \text{ A ga teng.}$$

Aktiv quvvat $P = UI \cos \varphi = I^2 r = 0$,
chunki $r = 0$.

Reaktiv quvvat $Q = UI \sin \varphi (-90^\circ) = -I^2 X_C = 220 \cdot 0,276 = -60,7 \text{ var.}$

To'la quvvat

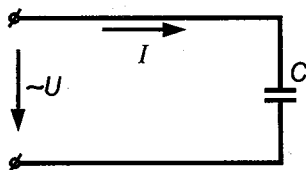
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = 60,7 \text{ V} \cdot \text{A}.$$

Quvvat koeffitsienti:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = 0; \text{ chunki } \varphi = \psi_u - \psi_i = (0^\circ - 90^\circ) = -90^\circ.$$

Kondensatorli zanjirdagi kuchlanish va tok ifodalarini yozamiz:

$$u = U_{\max} \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 220 \sin \omega t = 310,2 \sin \omega t \text{ V.}$$

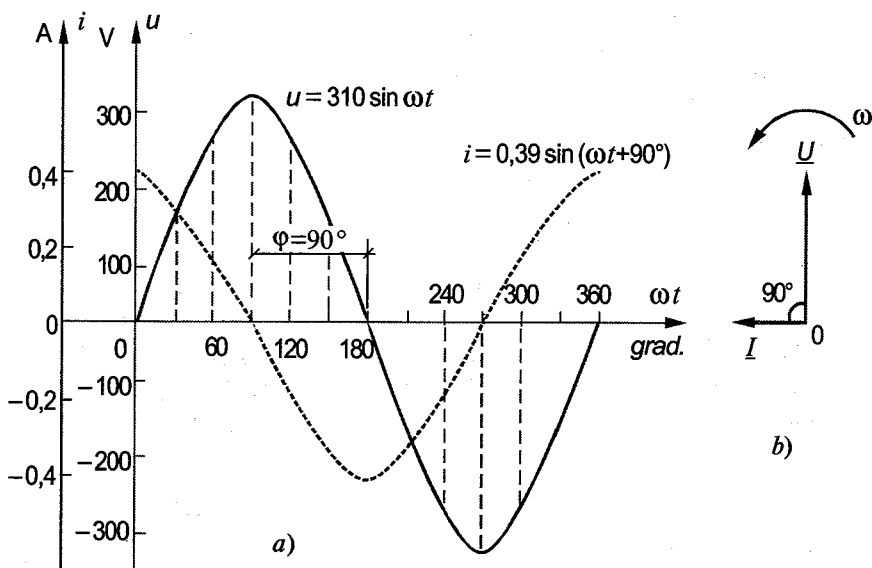


4.5-rasm

$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} \cdot 0,276 \sin(\omega t + 90^\circ) = 0,39 \sin(\omega t + 90^\circ)$ A, ya'ni tok kuchlanishdan faza bo'yicha oldinda bo'ladi.

Kondensatordagi kuchlanish tushuvi $U_C = X_C I = 796 \cdot 0,276 = 220$ V, ya'ni manba kuchlanishiga teng bo'ladi. Quyidagi masshtablarda: $m_u = 100$ V/sm; $m_i = 0,2$ A/sm va $m_{\omega t} = 60$ grad/sm; $u(\omega t)$ va $i(\omega t)$ grafiklarini quramiz. (4.6 a-rasm). Demak, tok i sinusoidasi kuchlanish sinusoidasiga nisbatan faza bo'yicha har onda $\varphi = 90^\circ$ oldinda bo'ladi.

4.6-b rasmda, $\underline{U}$ kuchlanish va $\underline{I}$ tok vektorlari diagrammasi keltirilgan. $\underline{I}$ tok vektori $\underline{U}$ vektoridan 90° oldindaligi ko'rinib turibdi.



4.6-rasm

4.4. Shoxobchalanmagan elektr zanjiri (4.7-rasm) uchun tok va uning elementlaridagi kuchlanish pasayishlarini hisoblang. Tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini quring.

Berilgan. $L = 0,038$ Gn; $r_g = 5$ Om; $r = 3$ Om; $C = 177$ mkF; $U = 220$ V; $f = 50$ Gs.

Yechish. Qarshiliklar qiymatlarini hisoblaymiz. Induktiv qarshilik $X_L = \omega L = 2 \pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,038 = 12$ Om. Sig'im qarshiligi:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 177 \cdot 10^{-6}} = 18 \text{ Om}.$$

To'la qarshilik:

$$Z = \sqrt{(r_g + r)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(5 + 3)^2 + (12 - 18)^2} = 10 \text{ Om}.$$

Zanjirdan o'tuvchi tok $I = U/Z = 220/10 = 22 \text{ A}$.

Zanjirning ayrim elementlaridagi kuchlanish pasayishlari:

$$U_{ab} = X_L I = 12 \cdot 22 = 264 \text{ V};$$

$$U_{bc} = r_g I = 5 \cdot 22 = 110 \text{ V};$$

$$U_{cd} = r I = 3 \cdot 22 = 66 \text{ V};$$

$$U_{ad} = X_C I = 18 \cdot 22 = 396 \text{ V}.$$

Tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini qurish uchun kuchlanish va tok masshtablarini tanlaymiz. Massstab tanlashda quyidagi qoidaga amal qilish lozim: **fizik kattalik, ya'ni tok va kuchlanishlarning uzunlik birligidagi qiymatlari butun sonlar 1, 2, 5 birlikka yoki shu sonlarning 10^n ko'paytmasiga teng qilib olinsa, tegishli vektorlarni chizmada joylashtirish qulay bo'ladi.**

Shu qoidadan kelib chiqqan holda massstab tanlaymiz: Kuchlanish masshtabi $m_U = 88 \text{ V/sm} = 8,8 \text{ V/mm}$; tok masshtabi $m_I = 4,4 \text{ A/sm} = 0,44 \text{ A/mm}$.

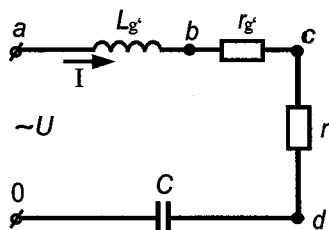
Vektorlar diagrammasining I tok vektorini to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasining absissa o'qi bo'ylab joylashtirishdan boshlaymiz. Tanlab olingan masshtabda tok vektorini 5 sm li to'g'ri chiziq bo'ladi, ya'ni $I/m_I = 22/4,4 = 5 \text{ sm}$. $r_g I$ va $r I$ kuchlanish vektorlari tok I vektorini bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi, ya'ni ustma-ust tushadi.

$U_L = X_L I$ vektorini I tok vektoridan 90° oldinda, $U_C = X_C I$ vektorini I tok vektoridan 90° orqada bo'ladi. Zanjirga ta'sir etuvchi U kuchlanish vektorini hamma elementlardagi kuchlanishlar vektorlarining geometrik yig'indisiga teng (4.8-rasm).

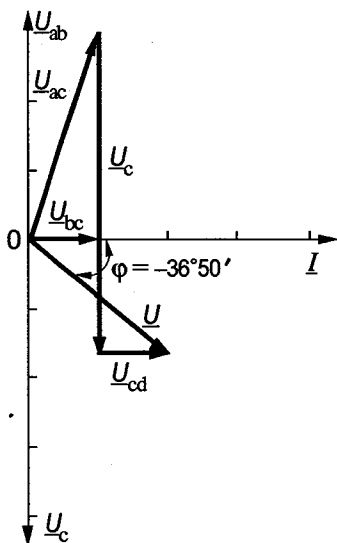
Barcha vektorlar 0 nuqtadan boshlanadi. Manba kuchlanishi U vektorini tok I vektoriga nisbatan faza siljish burchagi:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctg \frac{(X_L - X_C)}{(r + r_g)} = \arctg \frac{(12 - 18)}{(3 + 5)} = \\ &= \arctg 0,75, \quad \varphi = -36^\circ 50'. \end{aligned}$$

«Minus» ishora I tok vektorining U kuchlanish vektoridan oldinda bo'lishini ko'rsatadi.



4.7-rasm



4.8-rasm

G'altakdagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{g'} = \sqrt{U_r^2 + U_L^2} = \sqrt{10^2 + 264^2} = 286 \text{ V.}$$

Bu kuchlanishni boshqa formula yordamida ham hisoblash mumkin.

$$U_{g'} = U_r / \cos \varphi = 110 / \cos 67^\circ 20' = 286 \text{ V.}$$

$U_{g'} = U_{ac}$ induktiv g'altakdagi $\underline{U}_{ac}$ kuchlanish vektorining I tok vektoriga nisbatan faza siljish burchagi:

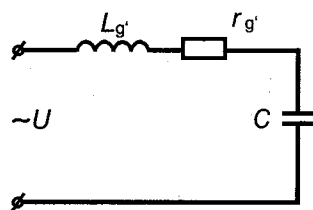
$$\varphi = \arctg \frac{X}{r} = \arctg \frac{12}{5} = \arctg 2,4 = 67^\circ 20' \text{ ga teng.}$$

4.5. Elementlari ketma-ket ulangan elektr zanjir (4.9-rasm) uchun tok va elementlardagi kuchlanish qiymatlarini hisoblang va vektorlar diagrammasini quring.

Berilgan. $r_{g'} = 1 \text{ Om}$; $L = 0,0127 \text{ Gn}$; $C = 800 \text{ mkF}$; $U = 220 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Gs}$.

Yechish. Induktiv qarshilik $X_L = \omega L = 2\pi fL = 3,98 \text{ Om}$, sig'im qarshiligi

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = 3,98 \text{ Om.}$$



4.9-rasm

$$\text{To'la qarshilik } Z = \sqrt{r_{g'}^2 + (X_L - X_C)^2} = 1 \text{ Om.}$$

Tok kuchi $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{r} = 220 \text{ A}$. Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = \frac{r_{g'}}{Z} = 1$, ya'ni $\varphi = 0^\circ$. Aktiv quvvat $P = UI = 220 \cdot 220 = 48400 \text{ Vt} = 48,4 \text{ kVt}$.

Induktiv qarshilikdagi kuchlanish $U_L = X_L I = 4 \cdot 220 = 880 \text{ V}$.

Sig'im qarshilikdagi kuchlanish:

$$U_C = X_C I = 4 \cdot 220 = 880 \text{ V.}$$

Demak, ushbu holda $U_L = U_C$, ularning yig'indisi nolga teng bo'ladi.

Tok va kuchlanishlar vektorlari diagrammasini qurish uchun quyidagi masshtablarni tanlaymiz: tok masshtabi $m_i = 44 \text{ A/sm}$; kuchlanish masshtabi $m_u = 220 \text{ V/sm}$. Tanlangan masshtablarda I tok va $\underline{U}_L$, $\underline{U}_C$, $\underline{U}_{g'}$ kuchlanishlar vektorlarini quramiz (4.10-rasm).

$\underline{U}_{g'}$ va $\underline{U}_C$ vektorlarning geometrik yig'indisi natijaviy $\underline{U}$ manba kuchlanish vektoriga teng bo'ladi. Demak, berilgan qiymatlarda zanjirda kuchlanishlar rezonansi ($X_L = X_C$) ro'y beradi: $\underline{U}_L$ va $\underline{U}_C$ kuchlanishlar vektorlari o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Rezonans chastotasi:

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC} = 10 \cdot 3/2\pi\sqrt{0,0127 \cdot 800} = 50 \text{ Gs,}$$

bunda $C = 800 \text{ mkF} = 800 \cdot 10^{-6} \text{ F}$.

4.6. 4.11-rasmda keltirilgan elektr zanjirni hisoblang va vektorlar diagrammasini quring.

Berilgan: $r_{g'} = 11 \text{ Om}$, $X_{g'} = 60 \text{ Om}$, $r_1 = 49 \text{ Om}$, $r_2 = 60 \text{ Om}$, $X_C = 80 \text{ Om}$, $f = 50 \text{ Gs}$, $U = 120 \text{ V}$.

Yechish. Induktiv g'altakning to'la qarshiligi:

$$Z_{g'} = \sqrt{r_{g'}^2 + X_{g'}^2} = \sqrt{11^2 + 60^2} = 61 \text{ Om ga teng.}$$

G'altakdan o'tuvchi tok bilan g'altakdagi kuchlanish o'zaro faza siljish burchagi $\text{tg}\varphi_{g'} = X_{L_{g'}}/r_{g'}$; $\varphi_{g'} = \arctg 60/11 = 79^\circ 35'$ ad shoxobchadagi I_1 tok vektori $\underline{U}_{ad}$ kuchlanish vektoriga nisbatan φ_1 burchakka surilgan. Uning qiymati $\text{tg}\varphi_1 = X_L/(r_{g'} + r_1) = 60/(11 + 49) = 1$. Demak, $\varphi_1 = 45^\circ$, ad shoxobchanning to'la qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Z_1 = \sqrt{(r_{g'} + r_1)^2 + X_L^2} = \sqrt{(11 + 49)^2 + 60^2} = \sqrt{2} \cdot 60 \text{ Om}.$$

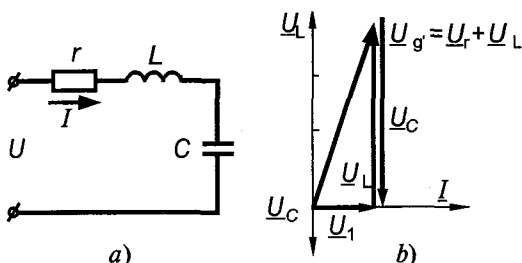
Tok esa $I_1 = U_{ad}/Z_1 = 120/\sqrt{2} \cdot 60 = 1,41 \text{ A}$ ga teng. I_2 tok U_{ad} kuchlanish-ga nisbatan φ_2 burchakka suriladi, $\text{tg}\varphi_2 = \frac{X_C}{r_2} = -\frac{80}{60} = -1,33$, ya'ni $\varphi_2 = -53^\circ 10'$ bo'ladi.

Ikkinchi shoxobchanning to'la qarshiligi:

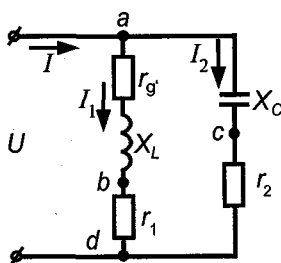
$$Z_2 = \sqrt{r_2^2 + X_C^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \text{ Om}.$$

Shu shoxobchadan o'tuvchi tok $I_2 = U_{ad}/Z_2 = 120/100 = 1,2 \text{ A}$ ga teng. Umumiy tok:

$$I = U \cdot \sqrt{(g_1 + g_2)^2 + (b_L - b_2)^2} = 120 \cdot \sqrt{\left(\frac{r_2 + r_1}{Z_1^2} + \frac{r_2}{Z_2^2}\right)^2 + \left(\frac{X_L}{Z_1^2} - \frac{X_C}{Z_2^2}\right)^2} = 1,73 \text{ A}.$$



4.10-rasm



4.11-rasm

ifodasi yozilsin, g'altakning qarshiliklar uchburchagi va kuchlanishlarning vektor diagrammasi qurilsin.

Yechish. G'altakning induktiv qarshiligi $X_L = \omega L = 314 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 15,7 \text{ Om}$, g'altakning to'la qarshiligi esa:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 15,7^2} = 16,1 \text{ Om ga teng.}$$

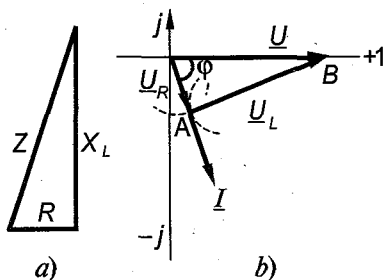
Qarshiliklar uchburchagining katetlari ma'lum masshtabda R va X_L ga mos, gipotenuzasi esa Z ga teng (4.13-a rasm).

Zanjirdagi tok $I = U/Z = 220/16,1 = 13,1 \text{ A}$. G'altakning aktiv qarshiligida kuchlanish $U_R = IR = 13,1 \cdot 6 = 68,6 \text{ V}$, induktivligidagi kuchlanish esa $U_L = I X_L = 13,1 \cdot 15,7 = 205 \text{ V}$.

Vektor diagramma qurish uchun kompleks tekislik haqiqiy o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha ma'lum masshtabda ($m_u = 6,7 \text{ V/mm}$; $m_i = 3 \text{ A/mm}$) moduli 220 ga teng kuchlanish vektorini quramiz (4.13-b rasm).

Shu vektorning boshlanish nuqtasidan belgilangan masshtabda radiusi 68,6 V bo'lgan yoy o'tkaziladi. Vektorning oxiridagi nuqtasidan esa radiusi 205 V ga mos bo'lgan ikkinchi yoyni o'tkazamiz. Ikki yoy A nuqtada kesishadi.

Koordinata boshi va A nuqtani biriktiruvchi kesma $\underline{U}_R$ vektorini va A nuqta va B nuqtani biriktiruvchi kesma esa $\underline{U}_L$ vektorini tasvirlaydi. Tok vektori $\underline{I}$ ni esa $\underline{U}_R$ vektori bo'yicha yo'naltiramiz, chunki ularning burchak siljishlari bir xil bo'ladi. $\underline{U}$ va $\underline{I}$ vek-



4.13-rasm

torlar orasidagi burchakni o'ldaymiz, $\varphi = -69^\circ$. Shunday qilib, $i = 13,1 \sqrt{2} \sin(314t - 69^\circ)$.

4.9. Kuchlanishi 220 V o'zgaruvchan tok sanoat tarmog'iga sig'imi 10 mkF kondensator va uni shuntlovchi 1 kOm qarshilik ulangan. Kondensatordan o'tadigan tokning ifodasi yozilsin, kondensator o'tkazuvchanligining uchburchagi va toklarning vektor diagrammasi qurilsin.

Yechish. Kondensatorning sanoat chastotasi 50 Gs dagi sig'im o'tkazuvchanligi $b_C = \omega C = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}$; aktiv o'tkazuvchanligi esa, $g = 10^{-3} \text{ Sm}$.

Kondensatorning to'la o'tkazuvchanligi

$$Y = \sqrt{(10^{-3})^2 + (3,14 \cdot 10^{-3})^2} = 3,3 \text{ mSm},$$

g va b_C o'tkazuvchanliklar uchburchagining katetlarini, gipotenuzasi esa Y ni aniqlaydi (4.14-rasm). Zanjirning to'la qarshiligi $Z = 1/Y = 303 \text{ Om}$. Toklarning vektor diagrammasini 0,15 A/mm masshtabda quramiz. Ideal

kondensatordan o'tuvchi tok $I_C = \omega CU = 0,75$ A, qarshilikdagi tok esa $I_R = U/R = 0,22$ A.

To'la tok I va kuchlanish U orasidagi burchakni o'lchaymiz, $\varphi = 72^\circ$.

4.10. Tok va kuchlanishning oniy qiymatlari ifodasi $i = 14,2 \sin(\omega t + 45^\circ)$ A; $u = 169 \sin(\omega t + 30^\circ)$ V. Zanjirga ulangan ampermetr va voltmeter ko'rsatishini hamda zanjir qarshiligini aniqlang.

4.11. Kuchlanishi 6 V, chastotasi 50 Gs va boshlang'ich fazasi $\varphi_u = -45^\circ$ bo'lgan o'zgaruvchan tok manbaiga qarshiligi 1 kOm rezistor ulangan bo'lsa, tokning oniy qiymat ifodasi yozilsin.

4.12. O'zgaruvchan kuchlanishi 42 V, chastotasi 50 Gs va boshlang'ich fazasi $\Psi_u = -45^\circ$ li manbaga qarshiligi 100 Om rezistor ulangan bo'lsa, tokning oniy qiymat ifodasi yozilsin.

4.13. Qarshiligi 10 Om li rezistordan o'tayotgan tokning oniy qiymat ifodasi $i = 15 \sin(314t - 30^\circ)$ A. Kuchlanishning oniy qiymat ifodasi yozilsin. Tok va kuchlanishning to'liq diagrammalari qurilsin va ularning ta'sir etuvchi qiymati topilsin.

4.14. Rezistordan iborat zanjirdagi tok va kuchlanishning oniy qiymat ifodalari mos ravishda $i = 14,1 \sin(314t + \pi/3)$ A va $u = 51 \sin(314t + \pi/3)$ V ga teng. Rezistor qarshiligi, tok va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari aniqlansin.

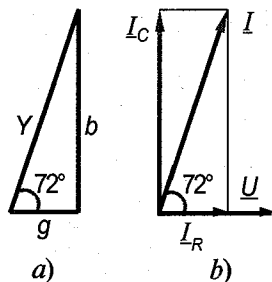
4.15. To'rtta zanjirning tok va kuchlanishlari quyidagi ifodalarga mos keladi: a) $i = 7,07 \sin 314t$, A va $u = 59 \sin 314t$, V; b) $i = 14,1 \sin(314t + \pi/2)$, A va $u = 59 \sin 314t$, V; d) $i = 14,1 \sin(314t - \pi/2)$, A va $u = 59 \sin 314t$, V; e) $i = 7,07 \sin(314t + \pi/2)$, A va $u = 59 \sin(314t + \pi/2)$, V. Har bir zanjirning to'la qarshiligi aniqlansin va uning xarakteri topilsin.

4.16. Kuchlanishi 220 V ga teng bo'lgan manbaga yuklamani o'zgaruvchan rezistor orqali ulash sxemasini chizing. Yuklamadagi kuchlanish: a) 0 dan 220 V gacha; b) 200 V dan 110 V gacha; d) 0 dan 110 V gacha rostlanadigan bo'lsin.

4.17. Nominal kuchlanishi 110 V va quvvati 50 Vt li elektrotexnika qurilmani kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulash kerak. Shu qurilmaga ortiqcha kuchlanishni kompensatsiya qilish uchun ketma-ket ulanadigan kondensator sig'imi hisoblansin.

4.18. Chastotasi 400 Gs, kuchlanishi 12 V li o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga induktivligi 1 mGn bo'lgan g'altak ulangan. Kuchlanishning boshlang'ich fazasi $\psi_u = 0$ deb, tokning oniy qiymat ifodasi yozilsin.

4.19. Induktivligi 1 mGn bo'lgan g'altakka 50 Gs chastotada reaktiv qarshiligi 1 Om bo'lishi uchun qanday induktiv g'altak ketma-ket ulanishi kerak?

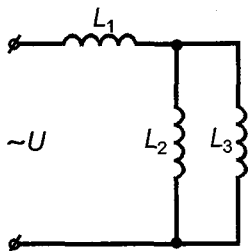


4.14-rasm

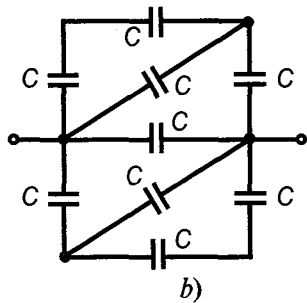
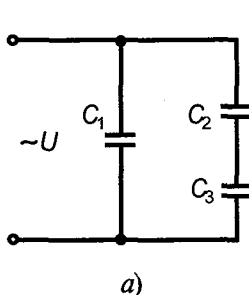
4.20. Induktiv g'altakli o'zgaruvchan tok zanjirida: a) agar kuchlanish chastotasi 4 baravar kamaysa; b) induktivlik 2 baravar oshsa, tok qanday o'zgaradi?

4.21. Kuchlanishi 42 V va chastotasi 400 Gs bo'lgan manbaga 4.15-rasmda tasvirlangan zanjir ulangan. Zanjirning ekvivalent qarshiligi aniqlansin. Bunda $L_1 = 2L_2 = L_3/2 = 20$ mGn.

4.22. Kuchlanishi 220 V va chastotasi 400 Gs bo'lgan manbaga 4.16-a rasmdagi zanjir ulangan. Agar sig'imler nisbati $C_1 = 2C_2 = C_3/2 = 2$ mkF bo'lsa, zanjirning ekvivalent sig'imi va undagi tok aniqlansin.



4.15-rasm



4.16-rasm

4.23. Agar $C = 1$ mkF bo'lsa, 4.16-b rasmdagi zanjirning ekvivalent sig'imi C_{ekv} aniqlansin. Agar ko'priklarning diagonallari qisqa tutashtirilsa yoki uzilsa, C_{ekv} qanday o'zgaradi?

4.2. SINUSOIDAL O'ZGARUVCHAN TOKDA QUUVAT VA QUUVAT KOEFFITSIENTI

O'zgaruvchan tok zanjirlarida quvvat ham to'la qarshilik kabi yuklama xarakteriga bog'liq bo'lib, shunga ko'ra to'la S , aktiv P va reaktiv Q quvvatlarga bo'linadi:

$$\text{To'la quvvat} \quad S = UI, \text{ V} \cdot \text{A}; \quad (4.16)$$

$$\text{Aktiv quvvat} \quad P = UI \cos \varphi, \text{ Vt}; \quad (4.17)$$

$$\text{Reaktiv quvvat} \quad Q = UI \sin \varphi, \text{ var}. \quad (4.18)$$

Fazalar siljish burchaklarining trigonometrik funksiyalari quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\cos \varphi = P/S; \quad \sin \varphi = Q/S \quad \text{va} \quad \operatorname{tg} \varphi = Q/P. \quad (4.19)$$

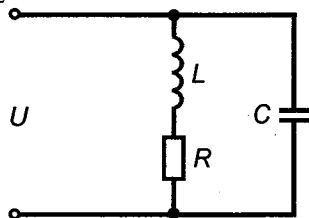
O'zgaruvchan tok elektr energiyasidan foydalanishning muhim xarakteristikalaridan biri — aktiv va to'la quvvatlar nisbatiga teng bo'lgan $\cos \varphi$ quvvat koeffitsientidir. Quvvat koeffitsienti 0 dan 1 gacha o'zgaradi. $\cos \varphi$ ning kichik bo'lishi generator quvvatidan to'la foydalanilmaslikka, liniyadagi kuchlanishlar isrofi oshishiga hamda tarmoq transformatorlarining

FIK kamayishiga olib keladi. Yuklama xarakteri yuqori quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ olishga imkon bermasa, yuklamaga parallel ravishda kondensatorlar batareyasi ulash orqali fazalar siljishi kompensatsiyalanadi (4.17-rasm). Bunda kondensatorlarning sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)/\omega U^2; \quad (4.20)$$

P – elektr uskunaning aktiv quvvati, Vt; φ_1 – elektr uskunaning berilgan quvvat koeffitsientidagi siljish faza burchagi; φ_2 – kondensator ulanganidan keyingi burchakning qiymati.

Markazlashgan energosistema iste'molchilarga kompensatsiyalash kerak bo'lgan Q quvvatni emas, reaktiv quvvatning koeffitsienti $\operatorname{tg}\varphi$ to'g'risida ko'rsatma beradi. Shunga ko'ra reaktiv quvvatning optimal qiymati $Q_e = P_1 \operatorname{tg}\varphi$ ga teng, bunda P_1 – iste'molchining aktiv quvvati.



4.17-rasm

Masalalar

4.24. O'zgaruvchan 220 V kuchlanishli sanoat tarmog'iga aktiv qarshiligi 6 Om va induktivligi 50 mGn bo'lgan g'altak ulangan. Zanjirdagi tokning aktiv, to'la va reaktiv quvvatlari aniqlansin.

Yechish. Sanoat chastotasida (50 Gs) g'altakning induktiv qarshiligi:

$$X_L = 314 \cdot 0,05 = 15,7 \text{ Om ga teng.}$$

To'la qarshiligi esa $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{15,7^2 + 6^2} = 16,8 \text{ Om}$, siljish burchagi esa $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L}{R} = 69^\circ$.

Zanjirdagi tok $I = U/Z = 220/16,8 = 13,1 \text{ A}$, yuklama aktiv-induktiv xarakterda bo'lgani uchun $\varphi = 69^\circ$. Zanjirning to'la quvvati $S = UI = 220 \cdot 13,1 = 1440 \text{ V} \cdot \text{A}$. Aktiv va reaktiv quvvatlar mos ravishda teng $P = S \cos\varphi = 515 \text{ Vt}$; $Q = S \sin\varphi = 1355 \text{ var}$.

4.25. O'zgaruvchan 220 V kuchlanishli sanoat tarmog'iga sig'imi 10 mkF, shuntlovchi qarshiligi 1 kOm bo'lgan kondensator ulangan. Tokning ta'sir etuvchi qiymati, to'la, aktiv va reaktiv quvvatlari aniqlansin.

Yechish. 50 Gs chastotada reaktiv o'tkazuvchanlik $b_C = \omega C = 314 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 3,14 \text{ mSm}$. To'la o'tkazuvchanligi esa $Y = \sqrt{1^2 + 3,14^2} = 3,3 \text{ mSm}$; $\varphi = \operatorname{arctg} 3,14/1 = -72^\circ$. Zanjirning to'la qarshiligi $Z = 1/Y = 303 \text{ Om}$. Toki esa $I = U/Z = 0,72 \text{ A}$. To'la quvvat $S = UI = 69 \text{ V} \cdot \text{A}$. Aktiv va reaktiv quvvatlar esa mos ravishda $P = S \cos\varphi = 24,5 \text{ Vt}$. $Q = S \cdot \sin\varphi = -75,5 \text{ var}$.

4.26. O'zgaruvchan 220 V kuchlanishli sanoat tarmog'iga induktivligi $L = 60 \text{ mGn}$, aktiv qarshiligi 6 Om bo'lgan yuklama ulangan. Yuklamaning toki, to'la, aktiv va reaktiv quvvati aniqlansin. Agar yuklamaga parallel ravishda sig'imi $C = 150 \text{ mkF}$ kondensator ulansa, tok va quvvat ko'effitsienti qanday o'zgaradi?

Yechish. Yuklamaning induktiv qarshiligi $X_L = \omega L = 314 \cdot 0,06 = 18,8 \text{ Om}$; to'la qarshiligi esa $Z = \sqrt{6^2 + 18,8^2} = 19,7 \text{ Om}$.

Yuklamaning toki $I = U/Z = 11,1 \text{ A}$. Quvvat ko'effitsienti $\cos\varphi = R/Z = 0,304$. To'la quvvat $S = UI = 2,45 \text{ kV} \cdot \text{A}$, aktiv quvvati $P = S \cdot \cos\varphi = 0,745 \text{ kVt}$, reaktiv quvvat $Q = S \sin\varphi = 2,33 \text{ kvar}$. Kondensator ulanganidan so'ng shoxobchalanmangan zanjirdagi tok yuklamadan va kondensatordan o'tadigan toklarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi. Kondensatorning qarshiligi $X_C = 1/\omega C = 21,2 \text{ Om}$; binobarin, kondensatordan o'tadigan tok $I_C = U/X_C = 10,3 \text{ A}$. Zanjirdagi umumiy tok toklarning vektor diagrammasi yordamida aniqlanadi $I_{\text{zan}} = 3,4 \text{ A}$. Zanjirning to'la quvvati $S = UI = 0,745 \text{ kV} \cdot \text{A}$, aktiv quvvati $P = S \cos\varphi = 0,745 \text{ kVt}$, reaktiv quvvati $Q = S \sin\varphi = 45,5 \text{ kvar}$. Shunday qilib, kondensator ulanganidan so'ng aktiv quvvat o'zgarmadi, lekin umumiy tok 3 martadan ko'proq kamaydi. Yangi quvvat ko'effitsienti $\cos\varphi = P/S = 0,998$ ga teng bo'ldi.

4.27. Agar tok va kuchlanishning oniy qiymat ifodalari $i = 35,3 \sin(314t - 70^\circ) \text{ A}$; $u = 155 \sin(314t - 55^\circ) \text{ V}$ bo'lsa, zanjirdagi tok va kuchlanishning ta'sir qiymatlari hamda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar aniqlansin.

4.28. Yuklama o'zgaruvchan kuchlanishi 220 V sanoat tarmog'iga ulangan va 0,3 A tok qabul qiladi. Tok va kuchlanish fazalari orasidagi burchak siljishi $\varphi = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ bo'lsa, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar aniqlansin.

4.29. Bir xil 5 A tok qabul qiladigan ikkita yuklama kuchlanishi 220 V sanoat tarmog'iga ulangan. Birinchi yuklamaning quvvat ko'effitsienti $\cos\varphi_1 = 0,6$; ikkinchisidiki $\cos\varphi_2 = 0,9$. Ikkala yuklamaning FIK bir xil 92,5% ga teng bo'lsa, har bir yuklamaning foydali aktiv quvvati aniqlansin.

4.30. Chastotasi 400 Gs li tarmoqqa aslligi $Q_L = 8$ bo'lgan real g'altak ulangan. To'la quvvat $100 \text{ V} \cdot \text{A}$. Agar g'altakning aktiv qarshiligi $R_a = 0,5 \text{ Om}$ bo'lsa, chulg'amni qizdirishga ketayotgan quvvat isrofi va g'altakning induktivligi aniqlansin.

4.31. Chastotasi 1 kGs li tarmoqqa aslligi $Q_C = 25$ real kondensator ulanganda, uning to'la quvvati $55 \text{ V} \cdot \text{A}$. Agar kondensatorning shuntlovchi qarshiligi $R_{\text{sh}} = 150 \text{ Om}$ bo'lsa, uning sig'imi hamda sarflanadigan quvvat isrofi aniqlansin.

Ko'rsatma: Real kondensatorning aslligi $Q_C = \omega C R_{\text{sh}}$ yoki dielektrik isroflar burchaklarining tangensi $\text{tg}\delta = 1/Q_C$.

4.32. O'zgaruvchan kuchlanishi 220 V chastotasi 400 Gs manbaga induktivligi $L_1 = 5 \text{ mGn}$, $L_2 = 10 \text{ mGn}$ va mos ravishda aktiv qarshiliklari $R_1 = 2 \text{ Om}$; $R_2 = 5 \text{ Om}$ bo'lgan ikkita g'altak ketma-ket ulangan. Zanjirning toki, to'la, aktiv va reaktiv quvvati aniqlansin.

4.33. O'zgaruvchan kuchlanishi 220 V, chastotasi 400 Gs bo'lgan manbaga induktivligi $L_1 = 5$ mGn, $L_2 = 10$ mGn va aktiv qarshiliklari mos ravishda $R_1 = 2$ Om; $R_2 = 5$ Om bo'lgan ikkita g'altak parallel ulangan. Zanjirning toki, to'la, aktiv va reaktiv quvvati aniqlansin.

4.34. O'zgaruvchan kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs bo'lgan manbaga ikkita kondensator $C_1 = 15$ mkF, $C_2 = 10$ mkF ketma-ket ulangan. Ularning shuntlovchi qarshiliklari $R_{sh1} = 10$ kOm; va $R_{sh2} = 6$ kOm. Zanjirning toki, to'la, aktiv va reaktiv quvvatlari aniqlansin.

4.35. O'zgaruvchan kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs bo'lgan manbaga ikkita kondensator parallel ulangan. $C_1 = 5$ mkF, $C_2 = 10$ mkF, shuntlovchi qarshiliklari $R_{sh1} = 10$ kOm va $R_{sh2} = 15$ kOm. Zanjirning toki, to'la, aktiv va reaktiv quvvatlari aniqlansin.

4.3. O'ZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRIDA REZONANS

Tarkibi induktivlik va sig'imdan iborat o'zgaruvchan tok zanjirida shunday holat bo'lishi mumkinki, bunda zanjir kirish qismalaridagi tok va kuchlanishning fazalari bir xil bo'lib, butun zanjir aktiv qarshilik bilan xarakterlanadi. Bu *rezonans holat* deyiladi.

Umuman olganda induktiv g'altaklar va kondensatorlar ketma-ket ulanganda ularning ekvivalent qarshiligi quyidagicha bo'ladi:

$$X_{ekv} = \omega L_{ekv} - 1/\omega C_{ekv}. \quad (4.21)$$

Induktiv g'altaklar va kondensatorlar parallel ulanganda ularning ekvivalent o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$b_{ekv} = \omega C_{ekv} - 1/\omega L_{ekv}. \quad (4.22)$$

Ikkala holatda ham umumiy qarshilikni musbat qiymati butun zanjirning induktiv xarakteriga va manfiy qiymati — zanjirning sig'im xarakteriga mos keladi.

Aktiv va reaktiv elementlar ketma-ket va parallel ulanganda zanjirning (4.10-rasm va 4.17-rasm) to'la qarshiligi yoki to'la o'tkazuvchanligi mos ravishda quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$Z = \sqrt{r_g^2 + (X_L - X_C)^2}; \quad Y = \sqrt{g_g^2 + (b_C - b_L)^2} \quad (4.23)$$

Elektr zanjiridagi rezonans holatda kondensator elektr maydonining energiyasi davriy ravishda induktiv g'altakning magnit maydoni energiyasiga aylanadi va aksincha.

Kuchlanishlar rezonansi, ya'ni R , L va C ketma-ket ulanganda elektr zanjirning rezonans xususiy chastotasi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$f_{rez} = 1/2\pi\sqrt{LC}. \quad (4.24)$$

Toklar rezonansida, ya'ni elementlar parallel ulanganda zanjirning xususiy rezonans chastotasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$f_{\text{rez}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{L/C - r_g^2}{L/C - r_C^2}}. \quad (4.25)$$

R , L va C elementlar ketma-ket ulanganda rezonans konturining to'liq qarshiligi $\rho = \sqrt{L/C}$ va asllik $Q = \rho/R$ bilan xarakterlanadi. R , L va C parallel ulanganda rezonans kontur aslligi $Q = R/\rho$ bilan xarakterlanadi. Fizik nuqtayi nazardan bu parametrlar konturdagi yig'ilgan energiyani rezistorda sarflanayotgan issiqlik energiyasiga nisbatidir.

Masalalar

4.36. Ketma-ket ulangan R , L va C dan iborat rezonans zanjir o'zgaruvchan $U = 36$ V kuchlanish manbaiga ulangan. Zanjir parametrlari $R = 10$ Om, $L = 10$ mGn, $C = 1$ mkF. Kuchlanish chastotasi 0 dan $5f_{\text{rez}}$ bo'lgan oraliqdagi zanjirning to'la qarshilik rezonans xarakteristikasi hisoblansin. Qarshilik va tokning eng katta va eng kichik qiymatlari aniqlansin.

Yechish. Berilgan zanjir uchun to'la qarshilik:

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - 1/2\pi fC)^2} \text{ ga teng.}$$

Rezonans zanjirlarni hisoblashda, rezonans chastotasiga karrali bo'lgan chastotalardan foydalanish qulay, ya'ni $k = f/f_{\text{rez}}$. Dastlabki formulaga $f = k/2\pi\sqrt{LC}$ qiymatni qo'yib, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{L}{C} \left(\frac{1}{k} - k \right)^2}.$$

Qarshilikning eng kichik qiymati rezonans chastotada $Z = R = 100$ Om bo'ladi (4.18-rasm).

Tokning chastotaga bog'liqligi teskari ifoda $I = U/Z$ bilan aniqlanadi. Tokning eng katta qiymati $I = U/R = 3,6$ A.

4.37. O'zaro parallel ulangan R , L , C elementli rezonans zanjir o'zgaruvchan $U = 36$ V kuchlanishga ulangan. Zanjir parametrlari $R = 50$ Om, $L = 10$ mGn, $C = 1$ mkF. Kuchlanish chastotasi 0 dan $5f_{\text{rez}}$ bo'lgan oraliqda zanjirning to'la qarshiligi va tokning rezonans xarakteristikasi hisoblansin. Qarshilikning eng katta va eng kichik qiymatlari aniqlansin.

Yechish. Berilgan zanjir uchun to'la o'tkazuvchanlik:

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(2\pi fC - \frac{1}{2\pi fL} \right)^2} \text{ formula bilan aniqlanadi.}$$

Rezonans zanjirlarni hisoblashda rezonans chastotasiga karrali bo'lgan chastotalardan foydalanish qulay bo'ladi, ya'ni $k = f/f_{\text{rez}}$. Dastlabki formulaga

$f = k/2\pi\sqrt{LC}$ qiymatni qo'yib, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{C}{L} \left(k - \frac{1}{k}\right)^2} \quad \text{yoki} \quad Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{C}{L} \left(k - \frac{1}{k}\right)^2}}.$$

$Z(f)$ – grafikni $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2500} + \left(k - \frac{1}{k}\right)^2}}$ ifoda asosida quramiz (4.19-rasm).

Qarshilikning eng katta qiymati $k = 1$ da bo'ladi, ya'ni $Z = R = 50$ Om.

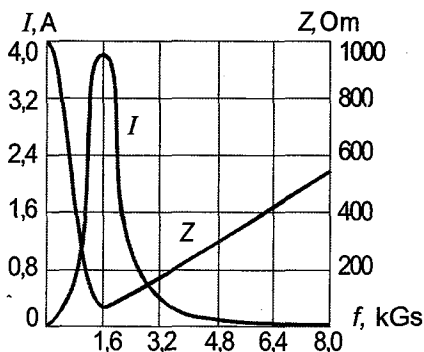
Tokning chastotaga bog'lanish grafigi U kuchlanishni o'tkazuvchanlikka ko'paytmasi bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$I = 36\sqrt{\frac{1}{2500} + \left(k - \frac{1}{k}\right)^2}$$

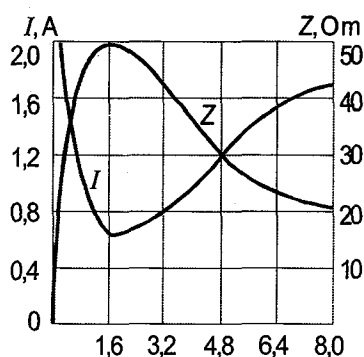
Bu ham 4.19-rasmda tasvirlangan. Tokning eng kichik qiymati $I = U/R = 0,72$ A.

4.38. Sig'imi 10 mkF li kondensator va induktivligi 50 mGn bo'lgan g'altakning 1 kGs chastotada ekvivalent qarshiligi hisoblansin: a) ular ketma-ket ulanganda; b) parallel ulanganda. Manba kuchlanishi 42 V bo'lganda ikkala hol uchun kuchlanishlarning va toklarning vektor diagrammalari qurilsin.

4.39. Agar induktivligi 0,1 mGn bo'lgan g'altak va sig'imi 1 mkF li kondensator ketma-ket ulansa, qanday chastotada rezonans sodir bo'ladi? Agar g'altak induktivligi 10 mGn bo'lsa, 100 kGs chastotada kuchlanish rezonansi sodir etish uchun qanday sig'imli kondensator kerak?



4.18-rasm



4.19-rasm

4.40. Ketma-ket ulangan R , L , C zanjir chastotasi 400 Gs manbaga ulangan. Rezonans holatida sig'imi 10 mkF li kondensatordagi kuchlanish pasayishi 60 V. Agar $R = 10$ Om bo'lsa, g'altak induktivligi aniqlansin.

4.41. Induktivlik 0,1 mGn bo'lganda ketma-ket ulangan L , C zanjirning rezonans chastotasi 10 kGs. Induktivlik 0,2; 0,4; 0,01 mGn ga teng bo'lganda rezonans chastotasi qancha bo'ladi?

4.42. Ketma-ket ulangan $R = 100$ Om, $L = 3$ mGn va $C = 0,5$ mkF elementlar kuchlanishi 110 V bo'lgan manbaga ulangan. Manba chastotasi $f_{\text{rez}}/2$ va $2 f_{\text{rez}}$ bo'lganda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar aniqlansin.

4.43. Ketma-ket ulangan rezonansli zanjirning parametrlari $R = 10$ Om; $L = 10$ mGn; $C = 1$ mkF ga teng. Agar manba kuchlanishi $U = 42$ V bo'lsa, $f = 3f_{\text{rez}}$ chastotada zanjirning to'la qarshiligi aniqlansin. Rezonans holatda U_R , U_L va U_C lar aniqlansin.

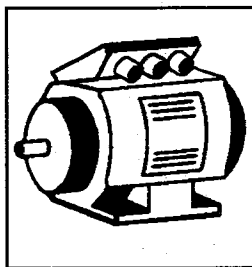
4.44. Parametrlari $R = 5$ Om, $L = 50$ mGn; $C = 10$ mkF ketma-ket ulangan rezonansli zanjir o'zgaruvchan $U = 220$ V kuchlanishga ulangan.

Rezonansdagi tokka nisbatan ikki baravar kam tok o'tkazadigan chastotalar diapazonini, ya'ni o'tkazish diapazonini toping.

4.45. 1 kGs chastotada rezonans hosil qilishi uchun sig'imi 10 mkF li kondensatorga qanday induktivlik parallel ulanishi kerak? Agar induktivlik 10 mGn bo'lsa, qanday chastotada rezonans sodir bo'ladi?

4.46. Parametrlari $R = 500$ Om, $L = 10$ mGn, $C = 1$ mkF, $R_1 = 50$ Om, $R_C = 100$ Om parallel rezonans zanjir kuchlanishi $U = 36$ V bo'lgan o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan. Rezonans holatdagi zanjirning to'la qarshiligi, toki va to'la quvvati aniqlansin.

4.47. O'zgaruvchan tokli parallel rezonans zanjir uchun induktivligi $L = 1$ mGn $\pm 10\%$ bo'lgan g'altak va sig'imi $C = 1$ mkF $\pm 5\%$ bo'lgan kondensator olingan, shu bilan birga $R_C = R_L = 0,5$ Om. L va C qiymatlar o'zgarishi oqibatida rezonans chastotaning o'zgarish diapazoni aniqlansin.



5-BOB

Uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirlari

5.1. UCH FAZALI O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARINI HISOBLASH USULLARI

Uch fazali EYuK larning oniy qiymatlari mos ravishda quyidagicha ifodalanadi:

$$e_A = E_{\max} \sin \omega t; e_B = E_{\max} \sin(\omega t - 2\pi/3); e_C = E_{\max} \sin(\omega t + 2\pi/3)$$

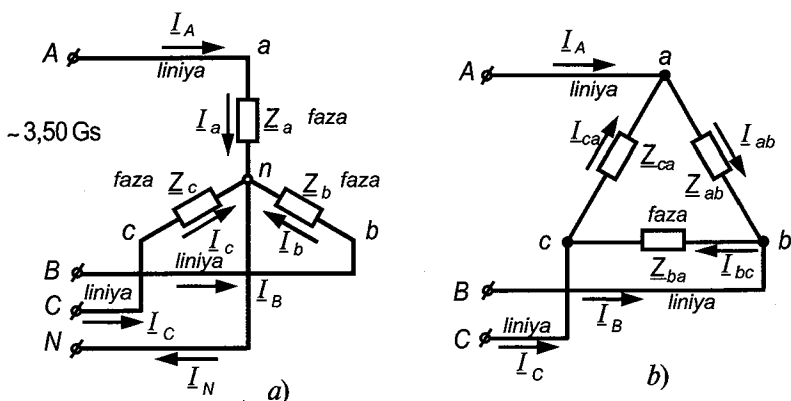
Amalda uch fazali sistemada ulashning ikki xil *yulduz va uchburchak* usuli mavjud (5.1-rasm). Agar uchta EYuK va yuklamalar mos ravishda teng bo'lsa, uch fazali sistema *simmetrik sistema (rejim)* deyiladi.

Uch fazali simmetrik elektr zanjiri yulduz usulda ulansa (5.1-a rasm), liniya toklari I_{lin} faza toklariga I_f teng, U_{lin} liniya kuchlanishi esa U_f faza kuchlanishidan $\sqrt{3}$ baravar katta bo'ladi, ya'ni:

$$I_{\text{lin}} = I_f, U_{\text{lin}} = \sqrt{3}U_f. \quad (5.1)$$

Simmetrik rejimda neytral simdan o'tuvchi tok $I_N = 0$, nosimmetrik rejimda esa liniya toklarining vektor yig'indisiga teng:

$$I_N = I_A + I_B + I_C \quad (5.2.)$$



5.1-rasm

Simmetrik uch fazali EYuK manbalariga uchburchak usulda ulangan simmetrik yuklamada (5.1-b rasm) liniya kuchlanishlari fazalar kuchlanishiga teng, liniya toklari I_{lin} esa faza toklaridan $I_f\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi:

$$U_{\text{lin}} = U_f; \quad I_{\text{lin}} = \sqrt{3}I_f. \quad (5.3.)$$

Liniya toklari fazalar toklarining geometrik ayirmasiga teng, ya'ni:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}. \quad (5.4)$$

Uch fazali tarmoqda simmetrik yuklama quvvatlari, ulanish usulidan qat'iy nazar, quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}U_{\text{lin}}I_{\text{lin}}\cos\varphi = 3U_fI_f\cos\varphi, \quad \text{Vt.} \\ Q &= \sqrt{3}U_{\text{lin}}I_{\text{lin}}\sin\varphi = 3U_fI_f\sin\varphi, \quad \text{var.} \\ S &= \sqrt{3}U_{\text{lin}}I_{\text{lin}} = 3U_fI_f, \quad \text{V} \cdot \text{A}. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Nosimmetrik yuklamalarda esa quvvatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} P &= P_a + P_b + P_c, \quad \text{Vt, arifmetik yig'indi.} \\ Q &= Q_a + Q_b + Q_c, \quad \text{var, algebraik yig'indi.} \\ S &= S_a + S_b + S_c, \quad \text{V} \cdot \text{A, arifmetik yig'indi.} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Masalalar

5.1. Neytral simli uch fazali tarmoqqa nosimmetrik yuklama yulduz usulda (5.2-a rasm) ulangan, ularning fazalari quyidagi parametrlarga ega: $R_a=0,8 \text{ Om}$ va $X_{La}=1,2 \text{ Om}$; $R_b=0,4 \text{ Om}$ va $X_{Cb}=-2 \text{ Om}$; $R_c=1 \text{ Om}$; va $X_{Lc}=1,8 \text{ Om}$. Fazalar va liniyalar toklari, neytral simdagi tok hamda har bir fazaning quvvat koeffitsienti aniqlansin. Tarmoqning liniya kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$.

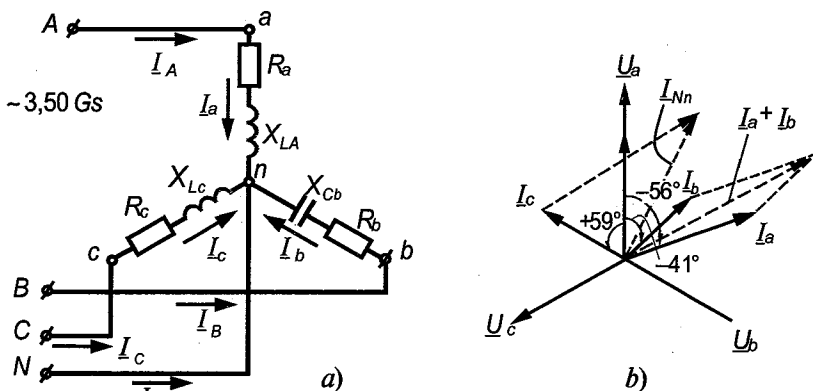
Yechish. Simmetriyalovchi neytral sim bo'lganda faza kuchlanishlari $U_a = U_{\text{lin}}/\sqrt{3} = 220 \text{ V}$; $U_b = 220 \text{ V}$; $U_c = 220 \text{ V}$.

Faza qarshiliklari esa quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} Z_a &= \sqrt{0,8^2 + 1,2^2} = 1,44 \text{ Om}; \quad Z_b = \sqrt{0,4^2 + 2^2} = 2,05 \text{ Om}; \\ Z_c &= \sqrt{1^2 + 1,8^2} = 2 \text{ Om}. \end{aligned}$$

Fazalar toklarini aniqlaymiz: $I_a = U_a/Z_a = 220/1,44 = 153 \text{ A}$; $I_b = U_b/Z_b = 220/2,05 = 110 \text{ A}$; $I_c = 110 \text{ A}$.

Hisoblangan toklarning masshtabini e'tiborga olib, vektorlar topografik diagrammasini chizamiz. (5.2-b rasm). Bu sxemada liniya toklari faza toklari-



5.2-rasm

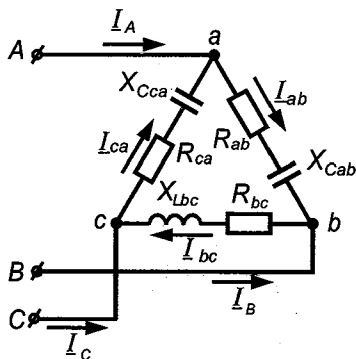
ga teng, nol simdagi tok esa faza toklarining vektor yig'indisiga tengdir, ya'ni:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 248 \angle 41^\circ \text{ A.}$$

Quvvat koeffitsientlari esa tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasidan aniqlangan faza siljish burchaklari bo'yicha hisoblanadi, ya'ni $\cos\varphi_a = 0,555$; $\cos\varphi_b = 0,196$; $\cos\varphi_c = 0,485$.

5.2. Liniya kuchlanishlari 220 V bo'lgan uch fazali tarmoqqa nosimmetrik yuklama uchburchak usulda ulangan (5.3-rasm). Yuklamaning parametrlari; $R_{ab} = 2,3 \text{ Om}$ va $X_{Cab} = -1,5 \text{ Om}$; $R_{bc} = 1,8 \text{ Om}$ va $X_{Lbc} = 3,1 \text{ Om}$; $R_{ca} = 1,3 \text{ Om}$ va $X_{Cca} = -2,7 \text{ Om}$. Faza va liniya toklari, har bir fazaning quvvat koeffitsienti aniqlansin.

Yechish. Yuklama uchburchak usulda ulanganda fazalar va liniya kuchlanishlari o'zaro teng bo'ladi.



5.3-rasm

$$U_{ab} = U_{AB} = 220 \text{ V}; U_{bc} = U_{BC} = 220 \text{ V}; U_{ca} = U_{CA} = 220 \text{ V.}$$

$$\text{Berilganlarga ko'ra faza qarshiliklari: } Z_{ab} = \sqrt{2,3^2 + (-1,5)^2} = 2,7 \text{ Om};$$

$$Z_{bc} = \sqrt{1,8^2 + 3,1^2} = 3,6 \text{ Om}; Z_{ca} = \sqrt{1,3^2 + (-2,7)^2} = 3 \text{ Om ga teng bo'}$$

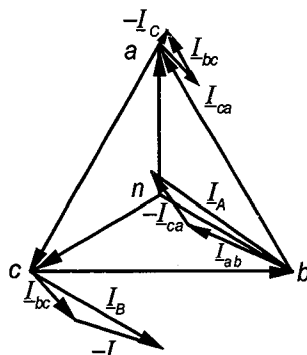
$$\text{ladi. Faza toklarini aniqlaymiz: } I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}} = \frac{220}{2,7} = 81,5 \text{ A}; I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}} = \frac{220}{3,6} = 61,1 \text{ A}; I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}} = \frac{220}{3} = 73,3 \text{ A.}$$

Shu faza toklarining vektor diagrammasini belgilangan masshtabda chizamiz (5.4-rasm). I_A , I_B va I_C liniya toklarining faza toklari vektorini chizamiz, bunda:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = 149 \angle -135^\circ \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} = 137 \angle -50^\circ \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = 11,2 \angle -40^\circ \text{ A}.$$



5.4-rasm

Quvvat koeffitsientlari tegishli faza toklari va kuchlanishlarining Q_{ab} , Q_{bc} , Q_{ca} faza siljish burchaklari bilan aniqlanadi:

$$\cos \varphi_{ab} = \frac{2,3}{2,7} = 0,84; \quad \cos \varphi_{bc} = \frac{1,8}{3,6} = 0,5; \quad \cos \varphi_{ca} = \frac{1,3}{3} = 0,44.$$

5.3. Liniya kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs bo'lgan uch fazali tarmoqqa nosimmetrik uch fazali yuklama avval yulduz, keyin esa uchburchak usulda ulangan (5.5-rasm). Agar $R = 10 \text{ Om}$, $R_L = 5 \text{ Om}$; $L = 60 \text{ mGn}$; $C = 100 \text{ mkF}$ bo'lsa, yuklamaning aktiv va reaktiv quvvati aniqlansin.

Yechish. Yuklama fazalari yulduz usulda ulansa (5.6-a rasm), ularning to'la qarshiligi mos ravishda quyidagicha aniqlanadi:

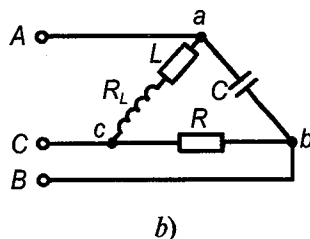
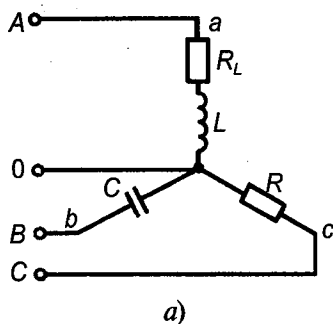
$$Z_a = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{5^2 + 18,8^2} = 19,5 \text{ Om}; \quad Z_b = X_C = 1/\omega C = 20 \text{ Om}; \quad Z_c = 10 \text{ Om}.$$

Faza kuchlanishlari $U_f = 220/\sqrt{3} = 127 \text{ V}$ va faza toklari mos ravishda

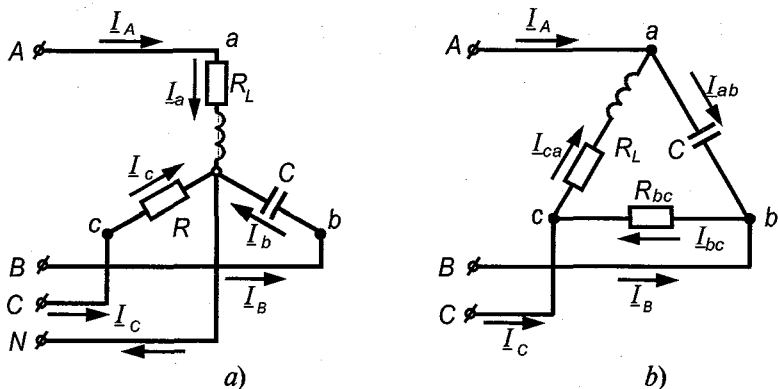
$$I_a = \frac{U_a}{Z_a} = \frac{127}{19,5} = 6,5 \text{ A}; \quad I_b = \frac{127}{20} = 6,35 \text{ A}; \quad I_c = \frac{127}{10} = 12,7 \text{ A ga teng}.$$

Fazalarning aktiv va reaktiv quvvatlarini aniqlaymiz:

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi = 214 \text{ Vt} \quad \text{va} \quad Q_a = U_a I_a \sin \varphi = 797 \text{ var};$$



5.5-rasm



5.6-rasm

$$P_b = U_b I_b \cos \varphi = 0 \text{ Vt} \quad \text{va} \quad Q_b = -806 \text{ var};$$

$$P_c = U_c I_c \cos \varphi = 1613 \text{ Vt} \quad \text{va} \quad Q_c = 0 \text{ var}.$$

Umumiy aktiv quvvat $P = P_a + P_b + P_c = 214 + 1613 = 1827 \text{ Vt}$.

Umumiy reaktiv quvvat $Q = Q_a - Q_b + Q_c = 797 - 806 = -9 \text{ var}$.

Yuklamalar uchburchak usulda ulanganda (5.6-b rasm):

$$Z_{ab} = -1/\omega C = 20 \text{ Om}; \quad Z_{ca} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{5^2 + 18,8^2} = 19,5 \text{ Om}; \\ Z_{bc} = 10 \text{ Om}.$$

Liniya kuchlanishlari fazalar kuchlanishlariga teng, ya'ni $U_f = U_{\text{lin}} = 220 \text{ V}$ va fazalar toklari mos ravishda: $I_{ca} = 220/19,5 = 13 \text{ A}$; $I_{ab} = 220/20 = 11 \text{ A}$; $I_{bc} = 220/10 = 22 \text{ A}$ ga teng bo'ladi.

Avval keltirilgan ifodalardan fazalarning aktiv va reaktiv quvvatlarini aniqlaymiz: $P_{ab} = 0 \text{ Vt}$; va $Q_{ab} = -1612 \text{ var}$; $P_{bc} = 2,226 \text{ Vt}$ va $Q_{bc} = 0 \text{ var}$; $P_{ca} = 418 \text{ Vt}$ va $Q_{ca} = 1594 \text{ var}$.

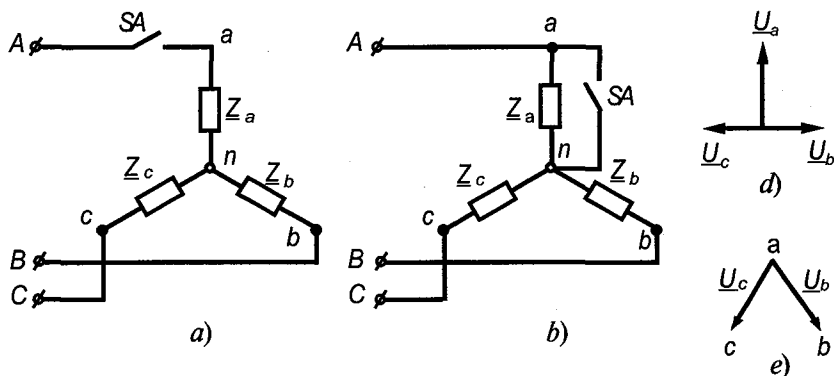
Uch fazali yuklamaning umumiy aktiv quvvati $P = 3654 \text{ Vt}$ va umumiy reaktiv quvvati $Q = -18 \text{ var}$.

5.4. Yulduz usulida neytral simsiz ulangan zanjirda faza uzilganda va qisqa tutashganda kuchlanishlarning o'zgarishini tahlil eting (5.7-rasm).

Yechish. a faza uzilganda (5.7-a rasmda SA kalit ajralganda) b va c fazalarning $Z_b = Z_c$ qarshiliklari ketma-ket ravishda U_{bc} liniya kuchlanishiga ulanadi (5.7-d rasm).

Binobarin b va c fazalardagi kuchlanishlar liniya kuchlanishining yarmiga teng bo'ladi.

a faza qisqa tutashganda (5.7-b rasm) (SA kalit ulangan) vektor diagrammadagi nuqta a nuqtagacha siljiydi (5.7-e rasm). Binobarin b va c fazalardagi kuchlanishlar liniya kuchlanishigacha ko'payadi, ya'ni $\sqrt{3}$ marta ko'payadi.



5.7-rasm

5.5. Uch fazali o'zgaruvchan tokda a faza EYuK ning oniy qiymat ifodasi $e = 310 \sin(314t - \frac{\pi}{2})$. Boshqa fazalar oniy qiymat ifodalarini yozing va ularning ta'sir etuvchi qiymatini toping.

5.6. Liniya kuchlanishi 380 V bo'lgan uch fazali tarmoqqa simmetrik yuklama yulduz usulda ulangan. Agar bir fazaning aktiv qarshiligi 5 Om va induktiv qarshiligi 2 Om bo'lsa, yuklamaning tok va kuchlanishlari hisob-lansin.

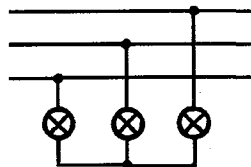
5.7. Uch fazali yuklama yulduz usulda ulangan, induktivliklari $L_1 = L_2 = L_3 = 11$ mGn bo'lgan uchta g'altakdan iborat. Agar faza toklari 5 A va chastotasi 400 Gs bo'lsa, yuklamaning faza va liniya kuchlanishlari aniqlansin. G'altaklarning aktiv qarshiligi hisobga olinmasin.

5.8. Uch fazali yuklama yulduz usulda ulangan sig'implari $C_1 = C_2 = C_3 = 50$ mkF bo'lgan uchta kondensatordan iborat. Agar liniya EYuK 380 V va chastota 50 Gs bo'lsa, tok va faza kuchlanishlari aniqlansin.

5.9. Uch simli uch fazali tarmoqning har bir fazasiga quvvati 75 Vt li 50 tadan cho'g'lanma lampa ulandi (5.8-rasm). Agar liniya kuchlanishi 220 V bo'lsa, har bir fazadagi tok va kuchlanish aniqlansin.

5.10. Neytral simli liniya kuchlanishi 220 V bo'lgan uch fazali elektr tarmog'iga uchta bir xil kondensatorlar $C_a = C_b = C_c = 100$ mkF, mos ravishda $R_a = 25$ Om; $R_b = 33$ Om; $R_c = 10$ Om rezistorlar bilan ketma-ket yulduz usulda ulangan. Yuklamaning faza toklari va neytral simdagi tok aniqlansin. Vektor diagrammasi qurilsin.

5.11. Neytral simli liniya kuchlanishi 380 V bo'lgan uch fazali elektr tarmog'iga aktiv qarshi-liklari $R_a = R_b = R_c = 15$ Om va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_a = 0,7$; $\cos\varphi_b = 0,81$; $\cos\varphi_c = 0,67$ bo'lgan yuklama yulduz usulda ulangan. Fazalardan va neytral simdan o'tuvchi toklar aniqlansin.



5.8-rasm

5.12. Neytral simli liniya kuchlanishi 380 V li uch fazali tarmoqqa rezistor $R = 13$ Om, aktiv qarshiligi $R_g = 1,5$ Om,

induktivligi $L = 20 \text{ mGn}$ bo'lgan real g'altak va sig'imi $C = 150 \text{ mkF}$ li kondensator yulduz usulda ulangan (5.9-rasm). Fazalardan va neytral simdan o'tuvchi toklar aniqlansin.

5.13. Uch fazali to'rt simli sistemaga yuklama yulduz usulda ulangan bo'lsa, simmetrik yuklamada, nosimmetrik yuklamada va neytral sim uzilganda yuklama fazalaridagi kuchlanish qanday o'zgaradi?

5.14. To'rt simli tarmoqda neytral simni qanday ajratsa bo'ladi?

5.15. Liniya kuchlanishi 220 V bo'lgan uch fazali tarmoqning liniyalari orasiga ketma-ket ulangan $R = 6 \text{ Om}$ li aktiv qarshiliklar va sig'im qarshiligi $X_C = 4 \text{ Om}$ li kondensatorlar uchburchak usulda ulangan. Faza toklari aniqlansin.

5.16. Induktivliklari $L_1 = L_2 = L_3 = 0,2 \text{ Gn}$ bo'lgan g'altaklardan iborat uch fazali yuklama uchburchak usulda ulangan. Agar faza toklari 2 A va chastota 50 Gs bo'lsa, faza kuchlanishlari va liniya toklari aniqlansin.

5.17. Elektr uskunaning quvvat koeffitsientini oshirish maqsadida sig'imlari $C_1 = C_2 = C_3 = 100 \text{ mkF}$ bo'lgan kondensatorlar uch fazali tarmoqqa uchburchak usulda ulandi. Agar liniyaning EYuKi 220 V , chastota 50 Gs bo'lsa, kondensatorlardan o'tayotgan toklar aniqlansin.

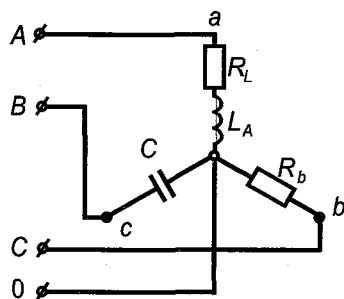
5.18. Liniya kuchlanishi 220 V li uch simli uch fazali tarmoqning liniya simlari orasiga har biri 100 Vt li 40 ta cho'g'lanma lampa ulangan (5.10-rasm). Faza toklari aniqlansin.

5.19. Liniya kuchlanishi 380 V li uch fazali elektr tarmog'iga uchta bir xil $L_1 = L_2 = L_3 = 50 \text{ mGn}$ induktiv g'altaklarga ketma-ket $R_a = 33 \text{ Om}$, $R_b = 19 \text{ Om}$, $R_c = 27 \text{ Om}$ li rezistorlar uchburchak usulda ulangan. Liniya toklari aniqlansin.

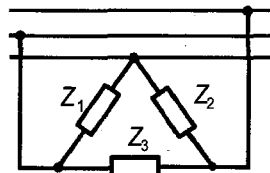
5.20. Liniya kuchlanishi 220 V uch fazali elektr tarmog'iga aktiv qarshiliklari $R_a = R_b = R_c = 33 \text{ Om}$ va quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_a = 0,93$, $\cos \varphi_b = 0,85$, $\cos \varphi_c = 0,9$ bo'lgan yuklama uchburchak usulda ulangan. Vektor diagrammalar qurish yordamida liniya toklari aniqlansin.

5.21. Liniya kuchlanishi 220 V li uch fazali tarmoqqa nominal quvvati $11,3 \text{ kVt}$ bo'lgan aktiv simmetrik yuklama uchburchak usulda ulangan. Agar: a) bitta faza qarshiligi 2 baravar kamaysa; b) A fazadagi saqlagich uzilsa, yuklama toklari aniqlansin.

5.22. Aktiv quvvati $P_1 = 11 \text{ kVt}$ bo'lgan elektr motor uchburchak usulda liniya kuchlanishi 220 V bo'lgan uch fazali tarmoqqa ulangan. Agar elektr motorning quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = 0,82$ bo'lsa, uning to'la quvvati, liniya va faza toklari aniqlansin.

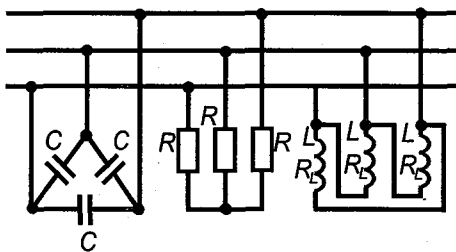


5.9-rasm



5.10-rasm

5.23. Simmetrik aktiv-induktiv xarakterli iste'molchilar $R_L = 5 \text{ Om}$ va $X_L = 15 \text{ Om}$ hamda aktiv $R = 20 \text{ Om}$ qarshilikli uch fazali tarmoqqa ulangan (5.11-rasm). Agar liniya kuchlanishini 220 V , chastotani 50 Gs va quvvat koeffitsientini $0,97$ gacha oshirish lozim bo'lsa, ulanadigan C kondensatorlarning sig'imi topilsin.



5.11-rasm

5.24. Liniya kuchlanishi 220 V , chastotasi 50 Gs bo'lgan uch fazali tarmoqqa parametrlari $R = 10 \text{ Om}$, $R_L = 8 \text{ Om}$ va $X_L = 17 \text{ Om}$ bo'lgan ikkita simmetrik yuklama hamda sig'imi $C = 150 \text{ mkF}$ li kondensatorlar batareyasi ulangan (5.11-rasm). Kondensatorlar ulanishidan avvalgi va ulanishidan keyingi hollar uchun liniya toklari aniqlansin.

5.25. Uch fazali tarmoqqa ulangan yuklama yulduz usuldan uchburchak usulga qayta ulanganda uning quvvati qanday o'zgaradi?

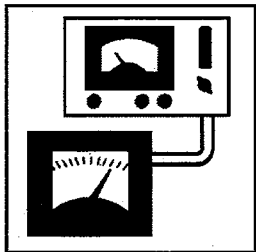
5.26. Liniyaga kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$ bo'lgan uch fazali tarmoqqa induksion qo'ra (pech) ulangan. Uning quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = 0,8$ va quvvati $P = 5 \text{ kVt}$. Qo'raning qizdirish elementlari yulduz usulda ulangan. Har bir fazaning qarshiligi aniqlansin.

5.27. Liniya kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$ bo'lgan uch fazali tarmoqqa aktiv-induktiv xarakterdagi iste'molchilar to'rt simli yulduz usulda ulangan. Har bir fazaning aktiv quvvatlari: $P_a = 3,0 \text{ kVt}$, $P_b = 3,6 \text{ kVt}$, $P_c = 4,4 \text{ kVt}$, quvvat koeffitsientlari esa tegishlicha $\cos \varphi_a = 0,8$; $\cos \varphi_b = 0,86$; $\cos \varphi_c = 0,9$ ni tashkil etadi. Fazalardagi va nol simdagi toklar hamda uch fazali zanjirning reaktiv va to'la quvvatlari aniqlansin. Tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasi qurilsin.

5.28. Quvvatlari $P_a = 2,2 \text{ kVt}$, $P_b = 4,4 \text{ kVt}$ bo'lgan ikkita cho'g'lanma lampalar guruhi liniya kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$ neytral simli uch fazali manbaga ulangan. Fazalardagi toklarning qiymatlari va neytral sim uzilganda har bir guruh qismalaridagi kuchlanish aniqlansin. Tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasi qurilsin.

5.29. Liniya kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$ bo'lgan uch fazali tarmoqqa elektr qo'ra ulangan. Qo'raning qizdirish elementlari yulduz usulda ulansa, tarmoqdan iste'mol qiladigan quvvat $P = 5 \text{ kVt}$ bo'ladi. Agar qo'raning qizdirish elementlari uchburchak usulda ulansa, faza toklari va tarmoqdan iste'mol qilinadigan quvvat qanday o'zgaradi?

5.30. Liniya kuchlanishi $U_{\text{lin}} = 380 \text{ V}$ bo'lgan uch fazali manbaga induksion qo'ra ulangan. Qo'raning qizdirish elementlari yulduz usulda ulanganda, tarmoqdan iste'mol qiladigan quvvati $P = 7 \text{ kVt}$ ga teng; $\cos \varphi = 0,8$. Agar qizdirish elementlari uchburchak usulda ulansa, qo'raning tarmoqdan iste'mol qiladigan aktiv, reaktiv va to'la quvvatlari qanday o'zgaradi?



6-BOB

Elektr o'lchash asboblari va ularning qo'llanilishi

6.1. ELEKTR O'LCHASH ASBOBLARINING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI VA O'LCHASH XATOLIQLARI

Elektr o'lchash asboblari birinchi navbatda *o'lchash xatoliliklari* bilan tavsiflanadi.

O'lchanayotgan kattalikni o'lchangan $A_{o'lch}$ va haqiqiy A_{haq} qiymatlari orasidagi ayirmasi o'lchashning *absolut xatoligi* deyiladi.

$$\Delta A = A_{o'lch} - A_{haq}, \quad (6.1)$$

bunda, $A_{o'lch}$ – o'lchangan qiymat, A_{haq} – o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati.

Nisbiy xatolik deb absolut xatolikni o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati nisbatiga aytiladi:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{haq}} \cdot 100\% = \frac{A_{o'lch} - A_{haq}}{A_{haq}} \cdot 100\% \quad (6.2.)$$

Asosiy keltirilgan xatolik quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\gamma_{kel} = \frac{\Delta A_{max}}{A_{nom}} \cdot 100\%, \quad (6.3)$$

bunda ΔA_{max} – normal ish sharoitda (shkalaning belgilangan ishchi holati, 0 °C harorat, magnit maydon va asbob yaqinida ferromagnit massalarning yo'qligi) o'lchashning mumkin bo'lgan eng katta absolut xatoligi; A_{nom} – asbob shkalasining nominal kattaligi.

Asbobning aniqlik klassi deb, aniqlik klassining standart qatoriga mos keladigan γ_{kel} keltirilgan xatolikni yaxlitlangandagi eng yaqin songa aytiladi.

Asboblarning ko'rsatishi ularning turiga ko'ra *chiziqli* va *logarifmik*

shkalalilarga bo'linadi. Asbobning o'zgarmas doimiysi (asbobning bo'linma qiymati) C_x shunday kattalikki, unga bo'linmalarda olingan natijani ko'paytirilganda asbobning ko'rsatishi hosil bo'lac'i, ya'ni:

$$C_x = \frac{\Delta x}{\Delta \alpha} \quad (6.4)$$

bunda Δx — o'lchanayotgan kattalik qiymatining o'zgarishi; $\Delta \alpha$ — shkalaga nisbatan ko'rsatgich (strelka)ning chiziqli (yoki burchak) siljishi.

Asbob doimiysining teskari qiymati asbobning *sezgirligi* deyiladi va quyidagicha yoziladi:

$$S_x = \frac{1}{C_x} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}.$$

O'lchash asboblarning ko'pchiligi konstruktiv tuzilishi bo'yicha elektromexanik o'zgartirgichlar turkumiga kirib, g'altaklar va magnitlarning o'zaro ta'siri asosida ishlaydi. Bunda aks ta'sir etuvchining prujina yoki logometr sxemasidan foydalanish mumkin, ular uchun mos ravishda:

$$\Delta \alpha = k \Delta I / G, \quad S_x = \Delta \alpha / \Delta x, \quad (6.5.)$$

bunda G — prujina bikrligi, ($N \cdot m/grad$); $k = BS w$ (Gn) proporsionallik koeffitsienti; B — induksiya; S — ko'ndalang kesim yuzi va w — o'ramlar soni.

Aks ta'sir etuvchi prujinali o'lchash mexanizmi strelkasining burchak siljishi quyidagi formuladan topiladi:

$$\alpha = BS w I / G. \quad (6.6.)$$

Masalalar

6.1. Aniqlik klassi 2 va o'lchash diapazoni 15 A bo'lgan ampermetrning ko'rsatishi 11,5 A bo'lsa, o'lchanayotgan tokning haqiqiy qiymat diapazonini toping.

Yechish. Nisbiy xatolikning mumkin bo'lgan eng katta qiymati keltirilgan xatolik bilan quyidagicha bog'langan:

$$\gamma_n = \gamma_{kel} A_{haq} / A_{o'lch}.$$

$$\text{Shu bilan birga nisbiy xatolik } \gamma_n = \frac{A_{o'lch} - A_{haq}}{A_{haq}} \cdot 100\%.$$

$$\text{Yuqoridagi formulalardan } A_{haq} = A_{nom} \left(1 \pm \frac{\gamma_{kel}}{100} \cdot \frac{A_{nom}}{A_{o'kch}} \right)$$

Tegishli qiymatlarni qo'ysak, $A_{haq} = 11,5 \pm 0,3$ A bo'ladi.

6.2. O'lchanayotgan tok 0,5 A ga o'zgarganda ampermetrning strelkasi 100 bo'linmaga ega bo'lgan chiziqli shkalaning yarmigacha siljidi. Amper-

metrning yuqori va pastki o'lchash chegaralarini, bo'linma qiymatini va sezgirligini aniqlang.

Yechish. Ampermetrning yuqori o'lchash chegarasi strelkasining maksimal og'ishiga to'g'ri keladi, shkala chiziqli bo'lgani uchun $I_{\max} = 2I_{o'Ich} = 1 \text{ A}$. Asbobning bo'linma qiymati maksimal o'lchanayotgan tok va shkala bo'linmalari nisbatidan topiladi.

$$C_x = \Delta I / \Delta \alpha = 1000 / 100 = 10 \text{ mA/bo'l.}$$

Shkala doimiysining teskari qiymati uning sezgirligiga teng, ya'ni $S_x = \Delta \alpha / \Delta I = 0,1 \text{ bo'l/mA}$. O'lchash texnikasida asbob strelkasini yarim bo'linmaga siljitadigan kattalik *minimal o'lchanadigan kattalik* deyiladi. Bu holda $I_{\min} = C_x / 2 = 5 \text{ mA}$.

6.3. O'lchash chegarasi 100 V bo'lgan elektromagnit sistemali voltmetr chulg'amida ajralayotgan aktiv quvvat aniqlansin. Chulg'amning aktiv qarshiligi 1 kOm, induktivligi 0,3 Gn. Voltmetr o'zgarmas va o'zgaruvchan tokda o'lchash uchun mo'ljallangan.

Yechish. Quvvatni aniqlash uchun asbobdan o'tadigan tokni topamiz. O'zgarmas tok zanjirida $I = 0,1 \text{ A}$ va $P = U^2 / R = 100^2 / 1000 = 10 \text{ Vt}$. O'zgaruvchan tok zanjirida $I = U / \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2} = 92 \text{ mA}$ va aktiv quvvat

$$P = UI \cos \varphi = UIR / Z = 8,5 \text{ Vt}.$$

Yechimlardan ko'rinib turibdiki, elektromagnit sistemali asbobning o'lchash zanjirida ajralayotgan quvvat nisbatan katta bo'lib, bu sistemaning kamchiligidir.

6.4. O'lchashda eng katta xatoligi 0,12 A va o'lchashning yuqori chegarasi 5 A bo'lgan asbobning asosiy keltirilgan xatoligini aniqlang.

6.5. Yuqori o'lchash chegarasi 10 A bo'lgan ampermetr shkalasining 2, 4, 6, 8, 10 A nuqtalariga mos ravishda 2,041; 3,973; 6,015; 8,026; 9,976 A to'g'ri kelsa, asbobning aniqlik klassini toping.

6.6. Qaysi sistemadagi asboblardan magnitoelektrik, elektromagnit yoki elektrodinamik, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida foydalanish mumkin?

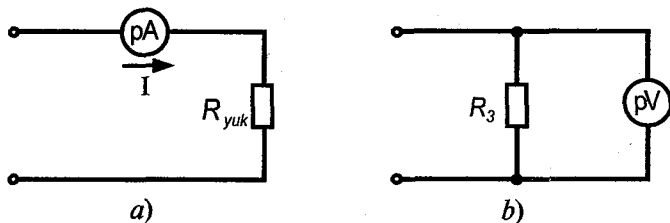
6.7. Milliampmetr 200 mA tok o'lchashga mo'ljallangan va sezgirligi 0,5 bo'l/mA. Asbob shkalasining bo'linmalari nechta, bo'linma qiymati qancha va strelka 30 bo'linmaga og'gan bo'lsa, ampermetr qanday tokni ko'rsatadi?

6.8. O'lchash asbobining shkalasi kvadratik qonuniyat bilan o'zgaradi. Agar o'lchashning yuqori chegarasi 10 A bo'lsa, asbob strelkasi: a) yarim shkalaga; b) shkalaning 2/3 qismiga; d) chorak shkalaga siljisa, u qanday tokni ko'rsatgan bo'ladi?

6.9. Aniqlik klassi 1,5 va eng katta o'lchash chegarasi 5 A bo'lgan ampermetrning ta'mirlashdan keyingi eng katta absolut xatoligi 30 mA tashkil qiladi. Ta'mirlashdan keyin ampermetr o'z aniqlik klassini saqlab qoladimi?

6.2. TOK, KUCHLANISH, QUUVAT VA ENERGIYANI O'LCHASH

Tok va kuchlanishni o'lchash uchun *ampermetr* va *voltmetrdan* foydalaniladi. Tokni o'lchash uchun ampermetr zanjirga *ketma-ket* (6.1- a rasm), voltmeter esa *parallel ravishda* ulanadi (6.1-b rasm). O'zgarmas tok va kuchlanishni o'lchash uchun odatda magnitoelektrik sistemali, o'zgaruvchan tok va kuchlanishni o'lchash uchun elektromagnit sistemali asboblardan foydalaniladi.



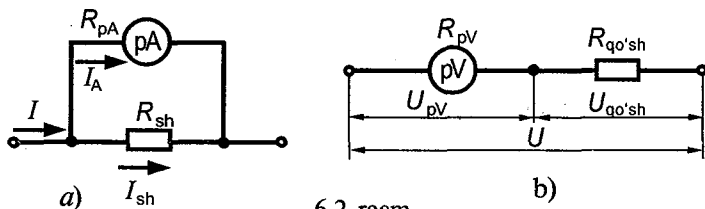
6.1-rasm

Ampermetr va voltmeter elektr zanjirga ulanganda elektr zanjir rejimi o'zgaradi. Natijada, tok va kuchlanishni o'lchashda mos ravishda *o'lchash xatoligi* paydo bo'ladi, ya'ni:

$$\delta_I = -\frac{1}{1+R_{kir}/R_{pA}}; \quad \delta_U = -\frac{1}{1+R_{pV}/R_{kir}} \quad (6.7)$$

bunda R_{pA} , R_{pV} – asboblarning ichki qarshiligi; R_{kir} – zanjirning ampermetr va voltmeter ulanadigan qismalarga nisbatan kirish qarshiligi.

Yuqoridagi (6.7) ifodalardan kelib chiqadiki, o'lchash asboblari o'lchanayotgan tok yoki kuchlanishni katta miqdorda o'zgartirmasligi uchun $R_{pA} \leq R_{kir}$ va $R_{pV} \geq R_{kir}$ shart bajarilishi kerak. O'lchanayotgan zanjirga ampermetr va voltmetrni har doim bevosita ulash mumkin emas, chunki o'lchanayotgan tok va kuchlanish asboblarning yuqori chegarasidan katta bo'lishi mumkin. O'lchash chegarasini kengaytirish uchun ampermetrga parallel ravishda *shunt* (6.2-a rasm), voltmetrga esa ketma-ket *qo'shimcha qarshilik* ulanadi (6.2-b rasm). Ularning qarshiligi quyidagi ifodalardan topiladi:



6.2-rasm

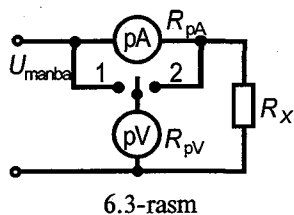
$$R_{sh} = R_{pA}/(k_A - 1); R_{qo'sh} = R_{pV}(k_V - 1) \quad (6.8)$$

bunda k_{pA}, k_{pV} — mos ravishda ampermetr va voltmetrning o'lchash chegarasini kengayish koeffitsienti.

O'zgaras tok zanjirlarida quvvatni o'lchash uchun elektrodinamik vattmetrlardan foydalaniladi.

O'garuvchan tok zanjirlarida aktiv quvvatni o'lchash uchun esa *elektrodinamik* yoki *ferrodinamik vattmetrlardan* foydalaniladi. Reaktiv quvvatni odatda parallel zanjir ulanganda kuchlanish va tok orasida $\pi/2$ burchak siljishi hosil bo'ladi va u *varmetr* asbobi bilan o'lchanadi.

O'zgaras tok zanjirlarida quvvatni bilvosita o'lchash usuli ham qo'llanishi mumkin. Bunda 6.3-rasm bo'yicha qayta ulagichning



6.3-rasm

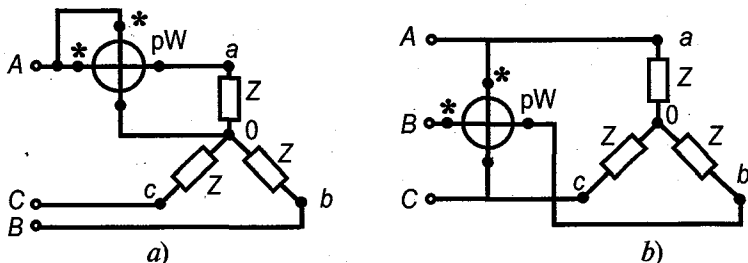
$$1\text{-holati uchun } P = UI - I^2 R_{pA}; 2\text{-holati uchun } P = UI - U^2/R_{pV}. \quad (6.9)$$

O'zgaruvchan tok zanjirlarida ampermetr, voltmeter va vattmeter yordamida zanjirning to'la, aktiv va reaktiv quvvatlarini hamda quvvat koeffitsientini aniqlash mumkin.

$$Q = \sqrt{(UI)^2 - P^2}; \cos\varphi = P/UI \quad (6.10)$$

bunda U, I va P — asboblarning ko'rsatishi.

Simmetrik yuklamali uch fazali zanjirda quvvatni o'lchash uchun ikki yoki uch elementli vattmetrlar qo'llaniladi. Aktiv quvvatni o'lchash uchun 6.4-a rasmdagi sxema, reaktiv quvvatni o'lchash uchun esa 6.4-b rasmdagi sxema qo'llaniladi.



6.4-rasm

Natijaviy quvvat quyidagi ifodadan topiladi:

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos\varphi, \quad (6.11)$$

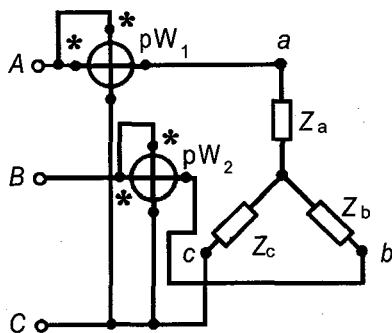
bunda P_f — vattmetrning ko'rsatishi.

Nosimmetrik yuklamali uch fazali zanjirda natijaviy quvvatni o'lchash uchun kamida ikkita vattmetr qo'llaniladi (Aron sxemasi 6.5-rasm). $P = P_1 + P_2$. Reaktiv quvvat esa quyidagi formula bilan o'lchanadi:

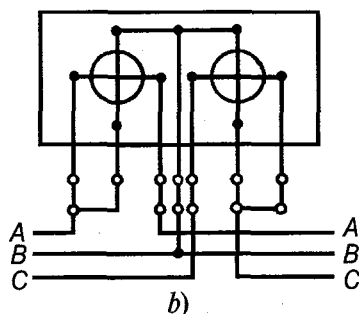
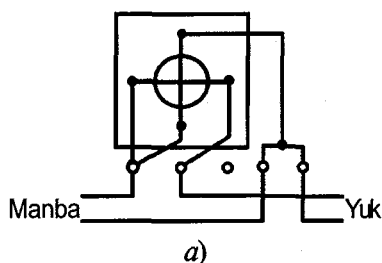
$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2), \quad (6.12)$$

P_1, P_2 – vattmetrlarning ko'rsatishi.

O'zgaruvchan tok zanjirlarida energiya *hisoblagich* (schetchik) lar yordamida o'lchanadi. Ularni bir va uch fazali zanjirlarga ulanishi 6.6-rasmدا keltirilgan.



6.5-rasm



6.6-rasm

Hisoblagichning aylanish tezligi n_h ma'lum vaqt intervalida sarf bo'layotgan energiyaga proporsionaldir, ya'ni:

$$n_h = Pt/C = W/C \quad (6.13)$$

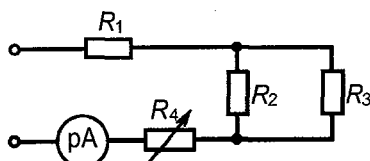
bunda C – hisoblagichning doimiysi $Vt \cdot s/ayl$.

Hisoblagichning shkalasi kilovatt-soatlarda darajalanadi (graduovkalanadi).

Masalalar

6.10. Ampermetr elektr zanjirning shoxobchalanmagan qismiga ulangan (6.7-rasm). Rezistorlar qarshiliklari $R_1 = 2 \text{ Om}$; $R_2 = R_3 = 4 \text{ Om}$; o'zgaruvchan rezistorning to'la qarshiligi $R_4 = 10 \text{ Om}$. Manba kuchlanishi 15 V , ichki qarshiligi esa $r_{ich} = 0,5 \text{ Om}$.

Pezistorning ikki chegaraviy holatidagi ampermetr ko'rsatishini toping.



6.7-rasm

Ampermetr kiritadigan o'lchash xatoligi 1 % dan oshmasligi uchun uning ichki qarshiligi qancha bo'lishi kerak?

Yechish. Zanjirning ekvivalent qarshiligi $R_{ekv} = R_1 + R_4 + r_{ich} + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)$ ga teng.

Ampermetr ulanadigan qismalarga nisbatan zanjirning qarshiligi $R_{kir.pA} = R_1 + R_4 + r_{ich} + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)$. Ma'lumki, eng kichik qarshilik R_4 o'zgaruvchan rezistor chiqarilgan holatda bo'ladi, ya'ni: $R_{kir.pA} = R_1 + R_4 + r_{ich} + R_2 R_3 / (R_2 + R_3) = 4,5 \text{ Om}$.

6.7 formuladan foydalanib, $R_{pA} \leq R_{kir} / 100 = 0,045 \text{ Om}$, ekvivalent qarshilik R_4 rezistorning ikki chetki holatlarida $R_{ekv.max} = 4,5 \text{ Om}$ va $R_{ekv.min} = 14,5 \text{ Om}$ ekanligini aniqlaymiz.

Ampermetr ko'rsatishlari mos ravishda $I_1 = 3,3 \text{ A}$ va $I_2 = 1,03 \text{ A}$ bo'ladi. Binobarin, ampermetrning eng yuqori chegarasi 5 A dan kam bo'lmashligi kerak.

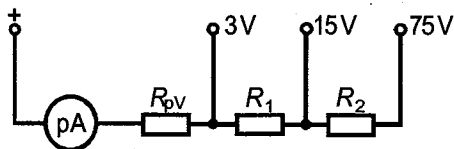
6.11. Voltmetrga ulanishi kerak bo'lgan kuchlanish ko'p chegarali bo'lgichining parametrlarini aniqlang (6.8-rasm). Voltmetrning ichki qarshiligi $R_{pV} = 4 \text{ kOm}$.

O'lchashning har bir diapazonidagi asbob quvvatini toping.

Yechish. Qo'shimcha rezistorlarning qarshiligini (6.8) formuladan topish mumkin: $R_1 = R_{pV} \left(\frac{U}{U_{nom}} - 1 \right) = 16 \text{ kOm}$; $R_1 + R_2 = 96 \text{ kOm}$, ya'ni $R_2 = 80 \text{ kOm}$.

Zanjir toki har bir o'lchash diapazonida mos ravishda 0,75 mA, quvvat esa $P_{pV} = 3; 15 \text{ va } 75 \text{ mVt}$.

6.12. Voltmetrning o'lchash chegarasini 10 V dan 100 V gacha kengaytiradigan qo'shimcha rezistor diametri $\varnothing 0,05 \text{ mm}$ bo'lgan manganindan yasalgan. Voltmetrning ichki qarshiligi 10 kOm. Shu simning uzunligi va unda ajraladigan quvvat aniqlansin.

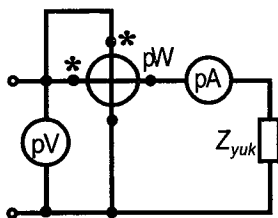


6.8-rasm

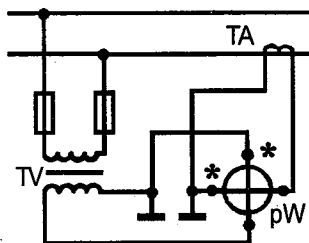
6.13. Universal testerda o'lchash chegarasi 50 mA va ichki qarshiligi 500 Om bo'lgan mikroampermetrdan foydalanilgan tokni to'rt chegarada: 1 mA, 100 mA; 1 A, 10 A o'lchash uchun shuntlarni va kuchlanishni to'rt chegarada: 100 mV; 3 V, 30 va 150 V o'lchash uchun qo'shimcha qarshiliklarni aniqlang.

6.14. Ulanishi 6.9-rasmda keltirilgan asboblarning ko'rsatishi mos ravishda 4 A; 80 V va 200 Vt. To'la va reaktiv quvvatlar hamda yuklamaning quvvat koeffitsienti aniqlansin, o'lchash asboblarning quvvat sarfi hisobga olinmasin.

6.15. Quvvatni o'lchash uchun vattmetr 150/5 A li tok transformatori va 6000/100 V li kuchlanish transformatori orqali ulangan (6.10-rasm).



6.9-rasm



6.10-rasm

Agar vattmetrning ko'rsatishi 280 Vt bo'lsa, yuklamaning quvvati qancha? Vattmetrning aniqlik klassi 1,5. O'lchashning mumkin bo'lgan eng katta absolut xatoligi qancha?

6.16. Zamonaviy o'lchash texnikasida ampermetr va voltmترلarni o'lchash chegarasini kengaytirish uchun shunt va qo'shimcha qarshiliklar manganidan yasaladi. Manganinning tanlanishi uning qaysi xususiyatlariga bog'liq?

6.17. Simmetrik aktiv yuklama ulangan to'rt simli, uch fazali zanjirning faza toki 5 A va kuchlanishi 220 V. Vattmetr ko'rsatishini va yuklamaning aktiv quvvatini aniqlang.

6.18. Energiya hisoblagichi yordamida o'lchangan energiyaning sarfi 800 kVt · soat bo'lgan. Hisoblagich haqiqiy sarfining oshirilgan qiymati tomoniga bo'lgan nisbiy xatoligi 1,8%. Haqiqiy energiya sarfi topilsin.

6.3. REZISTOR VA REAKTIV ELEMENTLARNING PARAMETRLARINI O'LCHASH

Qarshiliklarni o'lchash uchun *ommetr* yoki *megaommetr*dan foydalani-ladi. Ular logometr asosida tuzilgan magnitoelektrik asboblardir (6.11-rasm).

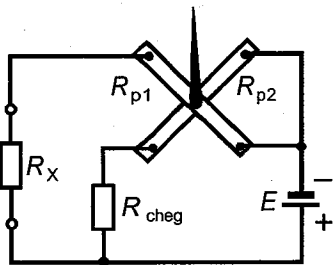
Bu asboblarni ko'rsatkichining burchak siljishi logometr g'altaklaridan o'tadigan toklar nisbatiga yoki o'lchanayotgan R_x qarshilikning qiymatiga bog'liq, ya'ni:

$$\alpha = k \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) = k \left(\frac{R_x + R_{p1}}{R_{cheg} + R_{p2}} - 1 \right) \quad (6.14)$$

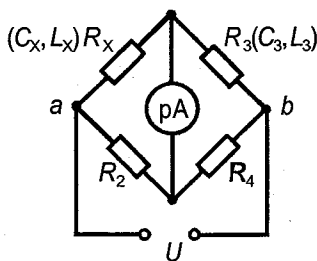
Bunda R_{p1} va R_{p2} — ramka qarshiligi; R_{cheg} — chegaralovchi qarshilik; k — o'lchov chegarasi bilan belgilanadigan proporsionallik koeffitsienti.

Qarshiliklarni o'lchash usullari orasida *ko'prik* (*sxema*) *usuli* keng tarqalgan (6.12-rasm). Ko'prik usuli katta aniqlikka ega bo'lib, unda sxemani muvozanatga keltirish uchun rezistor qarshiligi o'zgartiriladi, ya'ni:

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_4} \quad (6.15)$$



6.11-rasm



6.12-rasm

Rezistor R_3 sifatida odatda 0,01 dan 9999,99 Om gacha o'zgaradigan qarshiliklar magazini qo'llaniladi.

Qarshiliklarni aniqlashning *bilvosita* usullariga ampermetr va voltmeter usuli kiradi (6.3-rasm). Qayta ulagichning holatiga qarab o'lchanayotgan qarshilik quyidagi ifodalardan topiladi:

$$R_x = U/I - R_{pA}; \quad R_x = UR_{pV}/(IR_{pV} - U) \quad (6.16)$$

Qarshilikni bilvosita o'lchash usullariga faqat bitta o'lchov asbobi – *voltmetr* (6.13-a rasm) yoki *ampermetr* (6.13-b rasm) bilan o'lchash ham kiradi.

Voltmetr avval manbaga bevosita ulanadi (1-holat), keyin esa R_x o'lchanayotgan qarshilik orqali ulanadi (2-holat). Natijalarga ko'ra rezistorning qarshiligi hisoblanadi:

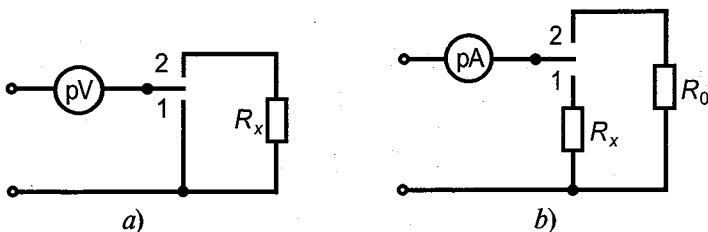
$$R_x = R_{pV}(U_1/U_2 - 1), \quad (6.17)$$

bunda U_1 va U_2 qayta ulagichning mos ravishda 1- va 2-holatlaridagi voltmetrning ko'rsatishi; R_{pV} – voltmetrning ichki qarshiligi.

Qarshiliklarni bitta ampermetr bilan o'lchashda (6.13-b rasm) quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$R_x = \frac{I_2}{I_1} (R_0 + R_{pA}) - R_{pA}, \quad (6.18)$$

bunda I_1 va I_2 – qayta ulagichning mos ravishda 1- va 2-holatlaridagi



6.13-rasm

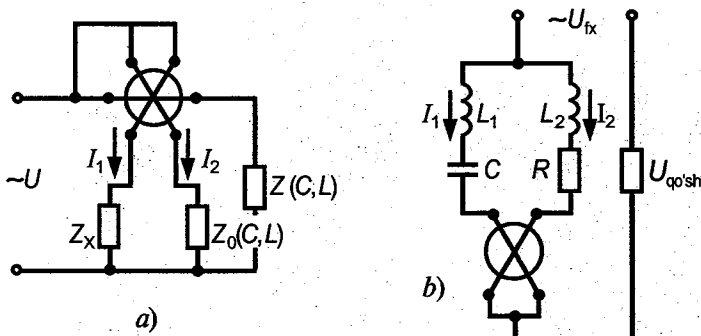
ampermetrning ko'rsatishi; R_0 — namunaviy qarshilik; R_{pA} — ampermetrning ichki qarshiligi.

Yuqoridagi sxemalar bilan o'zgarmas tok zanjirlaridagi qarshiliklar aniqlanadi. *O'zgaruvchan tok zanjirlarida esa to'la va reaktiv qarshiliklar ham inobatga olinadi.*

Induktivlik, sig'im (6.14-b rasm) va chastotani o'lchash elektromagnit va elektrodinamik sistemali logometrlar yordamida bajariladi. Kondensatorlar sig'imini va g'altaklar induktivligini o'lchash uchun elektrodinamik logometr sxemasi keltirilgan (6.14-a rasm). Bunda o'lchash zanjirining parametrlari shunday olinadiki, ko'rsatgich (strelka) siljishi o'lchanayotgan va namunaviy elementlarning sig'implari yoki induktivliklari nisbatiga proporsional bo'ladi.

$$\alpha = kC_x/C_0; \alpha = kL_x/L_0, \quad (6.19)$$

bunda k — shkala darajalanishini (graduировkasini) aniqlaydigan koeffitsient.



6.14-rasm

Reaktiv elementlarning parametrlarini muvozanatlangan ko'prik sxemasi bilan ham o'lchash mumkin, bunda muvozanat sharti quyidagicha ifodalaniladi:

$$L = L_0 \cdot R_2/R_4; C_x = C_0 \cdot R_4/R_2, \quad (6.20)$$

bu ifodada L_0 — namunaviy g'altak induktivligi va C_0 — namunaviy kondensator sig'imi.

Amaliyotda reaktiv va aktiv qarshiliklarni o'lchash kerak bo'lganda maxsus o'lchash sxemalari qo'llaniladi. Ko'prik sxemasi (6.15-rasm) ikkita muvozanat sharti bilan tavsiflanadi:

$$R_1 = R_2 R_3 / R_4; \\ L = C [R_1 R_4 + R_5 (R_1 + R_2)], \quad (6.21)$$

bunda birinchi shart o'zgarmas tokka, ikkinchisi esa o'zgaruvchan tokka mos keladi.

Qarshiliklarni sanoat chastotasida o'lchash uchun avtotransformatorli differentsial sxemalar ham qo'llaniladi. O'lchash asbobi, odatda milli-ampermetr, induktivlik yoki sig'im birliklarida darajalanadi (graduirovkalanadi):

$$I = \frac{(E_1 Z_0 - E_2 Z_x)}{(Z_0 Z_x + Z_0 Z + Z Z_x)}, \quad (6.22)$$

yoki muvozanat sxemasi qo'llanilganda:

$$Z_x = Z_0 E_1 / E_2 \quad (6.23)$$

Elementlarning aktiv, reaktiv va to'la qarshiliklarini bilvosita usulda ampermetr, voltmeter va vattmetr bilan o'lchash mumkin (3.9-rasm):

$$\begin{aligned} Z &= U/I; R = P/I^2; X_L = \sqrt{(UI)^2 - P^2}/I^2; \\ X_C &= \sqrt{(UI)^2 - P^2}/I^2 \end{aligned} \quad (6.24)$$

Bunda P , U va I — asboblarning ko'rsatishi. Bu usulda o'zgaruvchan tokning chastotasi ma'lum bo'lmasligi ham mumkin. Bu xususiyat usulning afzalligidir.

Masalalar

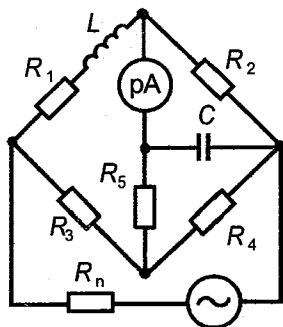
6.19. Qarshiliklarni o'lchashda ishlatiladigan logometr (6.11-rasm) shkalasining uzunligi $\alpha_{\max} = 100$ mm bo'lib, u 0 dan $R_{x\max} = 1000$ Om gacha darajalangan. Qarshiliklar $R_{p2} = 50$ Om va $R_{\text{cheg}} = 100$ Om. Qarshilik R_{p1} va shkala koeffitsienti aniqlansin. Agar asbobning aniqlik klassi 1 bo'lsa, o'lchashning eng katta absolut xatoligi topilsin.

Yechish. Shkalaning boshi qisqa tutashtirilgan $R_x = 0$ qarshilikka to'g'ri keladi, binobarin, birinchi ramkaning qarshiligi $R_{p1} = R_{p2} + R_{\text{cheg}} = 150$ Om. Shkala koeffitsienti k uning yuqori chegarasidan tanlanadi va $\alpha_{\max}$, $R_{x\max}$ qiymatlariga qo'yib topiladi:

$$k = \alpha_{\max} / \left(\frac{R_{x\max} + R_{p1}}{R_{\text{cheg}} + R_{p2}} - 1 \right) = \alpha_{\max} R_{p1} / R_{x\max} = 15 \text{ mm}.$$

Eng katta absolut xatolikni aniqlik klassi formulasidan topish mumkin: $\Delta R = 10$ Om.

6.20. O'zgaruvchan tok motori yakorining qarshiligini ampermetr va voltmeter usuli bilan (6.3-rasm) o'lchanganda, asboblarning ko'rsatishi 10 A va 30 V bo'lgan. Ampermetrning ichki qarshiligi $R_{pA} = 0,1$ Om,



6.15-rasm

voltmetrning ichki qarshiligi $R_{pV} = 5 \text{ kOm}$. Sxemadagi kalitning 1- va 2-holatlarida asboblarning ichki qarshiliklari tufayli paydo bo'ladigan qo'shimcha nisbiy xatolik nimaga teng?

Yechish. O'lchash asboblarning qarshiliklarini hisobga olmasa, yakor zanjirining qarshiligi $R_x = U/I = 3 \text{ Om}$. Kalitning 1-holatida ampermetrning ichki qarshiligini hisobga olish kerak, ya'ni $R_x = U/I - R_{pA} = 2,9 \text{ Om}$. Binobarin, bu holda qo'shimcha nisbiy xatolik $\gamma = \Delta R/R_x \cdot 100\% = 3,3\%$. Kalitning 2-holatida voltmetrning ichki qarshiligini hisobga olish kerak:

$$R_{pA} = U_{pV}(R_x + R_{pV})/R_x R_{pV}$$

yoki
$$R_x = \frac{U_{pV}}{I - U_{pV}/R_{pV}} = 30/(10 - 0,06) = 3,0018 \text{ Om}.$$

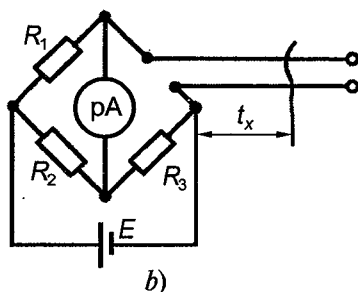
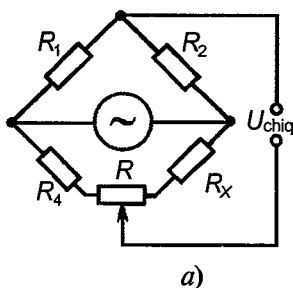
Bu holda qo'shimcha nisbiy xatolik $\gamma = \Delta R/R_x \cdot 100\% = 0,06\%$. Yechimlardan ko'rinib turibdiki, ikkinchi holatda o'lchash xatoligi ancha kichik.

6.21. Qarshiliklarni aniq o'lchash uchun 6.16-rasmda keltirilgan o'lchash ko'prigidan foydalaniladi. Agar yelka qarshiliklari $R_1 = 1 \text{ kOm}$; $R_2 = 0,5 \text{ kOm}$ va $R_4 = 18 \text{ kOm}$ va o'zgaruvchan rezistorning to'la qarshiligi $R = 2 \text{ kOm}$ bo'lsa, R_x qarshilik aniqlansin. Qo'zg'aluvchan kontakt o'zgaruvchan qarshilikning o'rtasida bo'lganda sxema muvozanatlanadi.

6.22. Logometr bilan o'lchangan rezistorning qarshiligi 500 Om . Agar rezistor qarshiligining haqiqiy qiymati 501 Om bo'lsa, o'lchashning absolut va nisbiy xatoligi topilsin.

6.23. Muvozanatlangan ko'priknig yelka qarshiliklari $R_2 = 100 \text{ Om}$, $R_3 = 200 \text{ Om}$, $R_4 = 50 \text{ Om}$ ga teng bo'lganda ko'priknig diagonalidagi tok nolga teng. Qarshilik R_x ni aniqlang.

6.24. Rezistor qarshiligini ampermetr va voltmetr usulida o'lchanganda 6.3-rasmdagi asboblarning ko'rsatishi 11 mA va 10 V bo'lgan. Agar voltmetrning ichki qarshiligi $R_{pV} = 100 \text{ kOm}$ bo'lsa, rezistor qarshiligi aniqlansin.



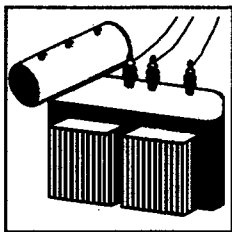
6.16-rasm

6.25. Ko'prik sxemasidagi (6.12-rasm) namunaviy kondensatorning sig'imi 5 mkF. Agar ko'prikning muvozanati $R_2 = 3,5 \text{ kOm}$ va $R_4 = 1 \text{ kOm}$ da o'rnatilsa, noma'lum kondensatorning sig'imi topilsin.

6.26. Ko'prik sxemada (6.15-rasm) o'zgarmas rezistorlar $R_1 = 1 \text{ kOm}$, $R_2 = 2 \text{ kOm}$, $R_3 = 2 \text{ kOm}$, $R_4 = 4 \text{ kOm}$ va o'zgaruvchan qarshiliklar $R_5 = 1 \div 10 \text{ kOm}$; $R_6 = 1 \div 10 \text{ kOm}$. Agar namunaviy kondensator $C = 10 \text{ pF}$ bo'lsa, induktivlikni qaysi diapazonda o'lchash mumkin?

6.27. Induktivlik g'altagi avval o'zgarmas kuchlanishga, keyin chastotasi 50 Gs li o'zgaruvchan kuchlanishga ulandi. Birinchi holda ampermetr 15 A, ikkinchi holda esa 3 A ko'rsatgan. Agar kuchlanish ikkala holda ham 15 V ga teng bo'lsa, g'altakning aktiv qarshiligi va induktivligi topilsin.

6.28. Aktiv qarshiligi 2 Om bo'lgan induktiv g'altak kuchlanishi $u = 59 \sin 314t \text{ V}$ manbaga ulangan. G'altakka ketma-ket ulangan ampermetr 0,5 A ko'rsatsa, g'altakning induktivligi va aslligi aniqlansin.



7-BOB

Transformatorlar

7.1. TRANSFORMATORLARNING XARAKTERISTIKALARI VA ISH REJIMLARI

Transformatorlarning birlamchi chulg'amida elektr energiya elektromagnit energiyaga va ikkilamchi chulg'amda elektromagnit energiya qayta elektr energiyaga aylanadi (7.1-rasm). Birlamchi va ikkilamchi chulg'amda induktsiyalangan EYuKlar quyidagicha ifodalanadi:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_{\max} ; E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_{\max} , \quad (7.1.)$$

bunda f — transformatsiyalanayotgan o'zgaruvchan tokning chastotasi, G_s , w_1 va w_2 — birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning o'ramlari soni; $\Phi_{\max}$ — magnit oqimning maksimal qiymati, Vb.

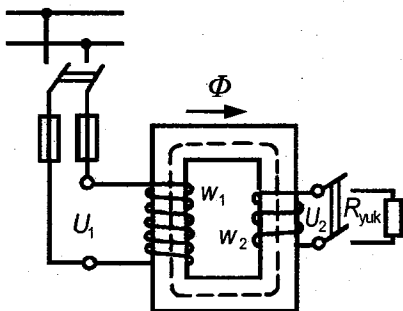
Birlamchi chulg'am kuchlanishini ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishga nisbati *transformatsiya koeffitsienti* deyiladi, yani:

$$k = w_1/w_2 = E_1/E_2 = U_{10}/U_{20} , \quad (7.2)$$

bunda U_{10} va U_{20} — salt ishlashda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardagi kuchlanishlar.

Transformatorlarning barcha parametrlarini qisqa tutashish va salt ishlash tajribalaridan aniqlash mumkin.

Transformatorning salt ishlashdagi almashlash sxemasi 7.2-rasmda keltirilgan. Uning asosida:



7.1-rasm

$$\begin{aligned} U_1 &= \sqrt{(I_0 Z_1)^2 - E_1^2} ; \\ U_{20} &= E_2 ; \\ I_0 &= 0 . \end{aligned} \quad (7.3)$$

Salt ishlashda transformatorning quvvati asosan po'latdagi isroflarga sarf bo'ladi ($P_{s,ish} = \Delta P_{po'l}$). Almashlash sxemasining parametrlari quyidagi formulalar asosida aniqlanadi:

$$Z_{\mu} = \frac{U_{1nom}}{I_{10}}; R_{\mu} = \frac{P_{s.ish}}{I_0^2};$$

$$X_{\mu} = \sqrt{\left(\frac{U_{1nom}}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{P_{s.ish}}{I_0^2}\right)^2}, \quad (7.4)$$

bunda U_{1nom} , va I_{10} – birlamchi chulg'amga ulangan voltmetr va ampermetr ko'rsatishi; $Z_{\mu} = \sqrt{R_{\mu}^2 + X_{\mu}^2}$ – almashlash sxemasi magnitlovchi shoxobchasining to'la qarshiligi.

Transformatorida qisqa tutashish tajribasidagi kuchlanishning qiymati juda kichik bo'ladi va u keng qo'llaniladigan kuch transformatorlarida birlamchi kuchlanishning 4–11% ni tashkil qiladi $u_{q.t} = (U_{q.t}/U_{1nom}) \cdot 100\%$. Qisqa tutashish tajribasidan qisqa tutashish kuchlanishi $U_{q.t}$ aniqlanadi. Qisqa tutashish quvvati vattmetr yordamida o'lchanadi. Bu quvvat ($P_{q.t.}$) chulg'amlarning qizishiga sarflanadi. Shuning uchun bu quvvatni transformatorning mis simlarida isrof bo'ladigan quvvat ($P_{q.t.} = \Delta P_{mis}$) deyiladi. Qisqa tutashish tajribasining almashlash sxemasi 7.2-b rasmda keltirilgan. Bu sxema asosida:

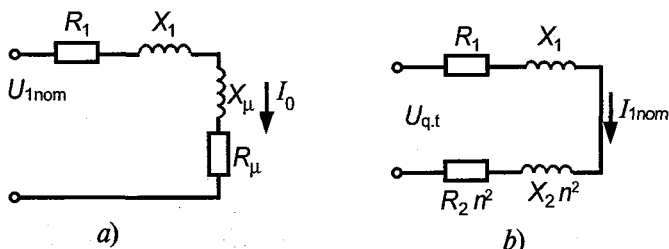
$$U_1 = \sqrt{(I_1 Z_1)^2 - E_1^2}; U_2 = 0; I_2 = E_2/Z_2. \quad (7.5)$$

Almashlash sxemasining parametrlari quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$Z_{q.t} = \frac{U_{q.t}}{I_{1nom}}; R_{q.t} = \frac{P_{q.t}}{I_{q.t}^2}; X_{q.t} = \sqrt{\left(\frac{U_{q.t}}{I_{q.t}}\right)^2 - \left(\frac{P_{q.t}}{I_{q.t}^2}\right)^2}, \quad (7.6)$$

bunda $U_{1q.t} = (4 \div 11)\% U_{1nom}$ va $I_{q.t} = I_{1nom}$ – mos ravishda birlamchi chulg'amdagi kuchlanish va tok. $Z_{q.t} = \sqrt{R_{q.t}^2 + X_{q.t}^2}$ – transformator qisqa tutashishining to'la qarshiligi.

Transformatorning qisqa tutashish tajribasidagi aktiv va reaktiv qarshiliklari birlamchi chulg'amning hamda ikkilamchi chulg'amning keltiril-



7.2-rasm

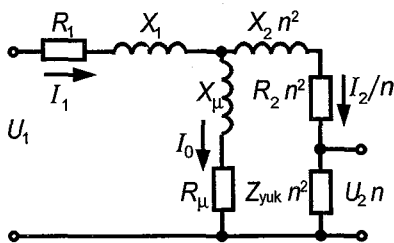
gan mos qarshiliklari yig'indisidan iborat, ya'ni $R_{q.t} = R_1 + R_2 k^2$ va $X_{q.t} = X_1 + X_2 k^2$.

Yuklama rejimi uchun transformatorning almashlash sxemasi (7.3-rasm) asosida quyidagini yozish mumkin:

$$P_2 = \beta S_{nom} \cos \varphi_2 = \beta U_{2nom} I_{2nom} \cos \varphi_2, \quad (7.7)$$

bunda Z_{yuk} – yuklamaning to'la qarshiligi; $\beta = \frac{I_2}{I_{2nom}}$ – transformatorning yuklanish koeffitsienti; $\cos \varphi_2$ – yuklamaning quvvat koeffitsienti.

Agar transformatorning quvvat va yuklama koeffitsientlari ma'lum bo'lsa, FIKni quyidagi formuladan aniqlaymiz:



7.3-rasm

$$\eta = \beta S_{nom} \cos \varphi_2 / (\beta S_{nom} \cos \varphi_2 + P_{s.ish} + \beta^2 P_{q.t}), \quad (7.8)$$

bunda $P_{s.ish}$ va $P_{q.t}$ quvvat isroflari tajribadan yoki ma'lumotnomalardan olinadi.

Transformatorning maksimal FIK quyidagi ifodadan olingan β yuklama koeffitsientiga mos keladi:

$$\beta = \sqrt{P_{s.ish} / P_{q.t}} = \sqrt{\Delta P_{po'l} / \Delta P_{mis}}. \quad (7.9)$$

Yuklangan transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish o'zgarishining nisbiy qiymati $\Delta u = (U_{20} - U_2) / U_{20}$. Bu qiymat qisqa tuta-shish kuchlanishining $U_{q.t.a}$ aktiv va $U_{q.t.r}$ reaktiv tashkil etuvchilari bilan quyidagicha bog'langan:

$$\Delta u = U_{q.t.a} \cos \varphi_2 + U_{q.t.r} \sin \varphi_2, \quad (7.10)$$

bunda $\cos \varphi_2 = P_{q.t} / S_{nom}$ va $U_{q.t.r} = \sqrt{U_{q.t}^2 - U_{q.t.a}^2}$; $U_{q.t} = I_{q.t} Z_{q.t}$. Ikkilamchi kuchlanishning o'zgarishini hisoblash transformatorning tashqi xarakteristikasi $U_2 = f(I_2)$ ni qurish uchun zarurdir.

Masalalar

7.1. Bir fazali transformator magnit o'tkazgichining ko'ndalang aktiv kesimining yuzi 20 sm^2 va nominal rejimda magnit induksiyasi $B_{max} = 1,2 \text{ Tl}$. Chulg'am o'ramlarining soni $w_1 = 400$ va $w_2 = 50$, chastota $f = 50 \text{ Gs}$.

Transformator bir o'ramining EYuKi, birlamchi va ikkilamchi chulg'am-larning EYuKi hamda transformatsiya koeffitsienti aniqlansin.

Yechish. Magnit o'tkazgichdagi magnit oqimning maksimal qiymati $\Phi_{\max} = BS = 1,2 \cdot 20 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ Vb. Ikkala chulg'amning har bir o'ramidagi EYuKning ta'sir etuvchi qiymati bir xil $E_0 = 4,44 f \Phi_{\max} = 4,44 \cdot 50 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} = 0,53$ V. Chulg'am qismlaridagi EYuK o'ramlar so-niga proporsional, ya'ni $E_1 = w_1 E_0 = 212$ V va $E_2 = w_2 E_0 = 265$ V. Trans-formatsiya koeffitsienti $k = w_1/w_2 = E_1/E_2 = 0,8$.

7.2. Transformator salt ishlashi va qisqa tutashish tajribalarining almashlash sxemalari parametrlari topilsin (7.2-rasm). Tajribadan quyidagi parametrlar olingan: $S_{\text{nom}} = 20000$ kV·A; $U_{1\text{nom}} = 110$ kV; $U_{2\text{nom}} = 6,1$ kV; $u_{q,t} = 10,5\% U_{1\text{nom}}$; $I_0 = 2,85\% I_{1\text{nom}}$, po'latdagi isroflar $\Delta P_{\text{po'l}} = 47$ kVt, misdagi isroflar $\Delta P_{\text{mis}} = 129$ kVt. Ikkala tajribadan transformatorning quvvat koeffitsienti topilsin.

Yechish. Transformatorning birlamchi chulg'amidagi nominal tok $I_{1\text{nom}} = S_{\text{nom}}/U_{1\text{nom}} = \frac{20000}{110} = 182$ A, salt ishlash toki $I_{10} = 0,0255$ A, $I_{1\text{nom}} = 5,2$ A.

Transformatorning qisqa tutashish tajribasidagi magnitlash shoxobchasi to'la qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi:

$$R_{\mu} = \Delta P_{\text{po'l}}/I_{10}^2 = 47 \cdot 10^3/5,2^2 = 1,74 \text{ kOm},$$

bu rejimdagi to'la qarshilik $Z_{\mu} = U_{1\text{nom}}/I_{10} = 110 \cdot 10^3/5,2 = 21,15$ kOm.

Magnitlash shoxobchasi to'la qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi

$$X_{\mu} = \sqrt{Z_{\mu}^2 - R_{\mu}^2} = 21,1 \text{ kOm}.$$

Transformatorning qisqa tutashishdagi to'la qarshiligi $Z_{q,t} = U_{q,t}/I_{1\text{nom}} = 0,105 \cdot 110 \cdot 10^3/182 = 63,5$ Om. Shu to'la qarshilikning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari mos ravishda:

$$R_{q,t} = \Delta P_{\text{mis}}/I_{1\text{nom}}^2 = 129 \cdot 10^3/182^2 = 3,9 \text{ Om};$$

$$X_{q,t} = \sqrt{Z_{q,t}^2 - R_{q,t}^2} = 63,4 \text{ Om}.$$

Ikkala tajribadagi quvvat koeffitsientlari mos ravishda $\cos \varphi_{s,\text{ish}} = R_{\mu}/Z_{\mu} = 0,082$ va $\cos \varphi_{q,t} = 0,061$, ya'ni nihoyatda kichik hisoblanadi.

7.3. Transformatorning qisqa tutashish tajribasida ampermetr va voltmeter ko'rsatishlari $U_1 = 190$ V; $I_1 = 5$ A. Misdagi quvvat isrofi $\Delta P_{\text{mis}} = 400$ Vt. Agar $k = 4$, birlamchi chulg'amning aktiv va reaktiv qarshiligi $R_1 = 2$ Om va $X_1 = 15,7$ Om bo'lsa, transformator almashlash sxemasining parametrlari topilsin (7.2-b rasm). Transformatorning quvvat koeffitsientini hisoblang.

Yechish. Qisqa tutashishdagi aktiv qarshilik $R_{q,t} = \Delta P_{\text{mis}} / I_{\text{lnom}}^2 = 400/5^2 = 16 \text{ Om}$, to'la qarshilik $Z_{q,t} = U_{\text{lnom}} / I_{\text{lnom}} = 190/5 = 35 \text{ Om}$. Binobarin, qisqa tutashishning reaktiv qarshiligi:

$$X_{q,t} = \sqrt{Z_{q,t}^2 - R_{q,t}^2} = 34,5 \text{ Om}.$$

Ikkilamchi chulg'amning aktiv va reaktiv qarshiliklarini birlamchi chulg'amga keltirilgan qiymatlari $R_2^1 = R_{q,t} - R_1 = 16 - 2 = 14 \text{ Om}$; $X_2' = X_{q,t} - X_1 = 34,5 - 15,7 = 18,8 \text{ Om}$.

Ikkilamchi chulg'amning aktiv va reaktiv qarshiliklari $R_2 = R_2^1 / k^2 = 14/4^2 = 0,875 \text{ Om}$; $X_2 = X_2' / k^2 = 18,8/4^2 = 1,18 \text{ Om}$.

Qisqa tutashishda quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = 0,423$.

7.4. Transformatorning nominal parametrlari: $S_{\text{nom}} = 400 \text{ kV} \cdot \text{A}$; $U_{\text{lnom}} = 6 \text{ kV}$; $U_{2\text{nom}} = 400 \text{ V}$. Salt ishlash va qisqa tutashish isroflari mos ravishda $P_{\text{s,ish}} = 1200 \text{ Vt}$ va $P_{q,t} = 4000 \text{ Vt}$, salt ishlash toki $I_0 = 2,5\% I_{\text{nom}}$ bo'lsa, birlamchi zanjirning to'la qarshiligi, salt ishlashda quvvat koeffitsienti hamda $\beta = 0,8$ va $\cos \varphi_2 = 0,95$ bo'lganda FIK aniqlansin. Transformatorning maksimal FIK topilsin.

Yechish. Transformator birlamchi chulg'aming to'la qarshiligi $I_{\text{lnom}} = S_{\text{nom}} / U_{\text{lnom}} = 400/6 = 66,7 \text{ A}$, salt ish toki $I_{10} = 0,025 I_{\text{lnom}} = 1,7 \text{ A}$.

Salt ishlashda ikkilamchi chulg'amning to'la qarshiligi:

$$Z_{\mu}^2 = U_{\text{lnom}} / I_{10} = 6000/1,7 = 3,5 \text{ kOm}.$$

To'la qarshilikning aktiv tashkil etuvchisi:

$$R_{\mu} = P_{\text{s,ish}} / I_{10}^2 = 1200/1,7^2 = 415 \text{ Om}.$$

Salt ish rejimidagi quvvat koeffitsienti:

$$\cos \varphi_2 = R_{\mu} / Z_{\mu} = 415 / 3530 = 0,117.$$

Masala shartida berilgan yuklama va quvvat koeffitsientlari uchun transformatorning FIK:

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{nom}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{nom}} \cos \varphi_2 + P_{\text{s,ish}} + \beta^2 P_{q,t}} = \frac{0,8 \cdot 400 \cdot 0,95}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,95 + 1,2 + 0,8^2 \cdot 4} = 0,98$$

Yuklama koeffitsienti $\beta = \sqrt{P_{\text{s,ish}} / P_{q,t}} = \sqrt{1200/4000} = 0,55$ bo'lganda maksimal FIK:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 400 \cdot 0,95}{0,55 \cdot 400 \cdot 0,95 + 1,2 + 0,55^2 \cdot 4} = 0,989.$$

7.5. Agar transformator ikkilamchi chulg'aming o'ramlar soni birinchinikidan: a) 10 baravar kam; b) 5 baravar ko'p bo'lsa, transformatsiya koeffitsienti qancha bo'ladi?

7.6. Bir fazali transformator o'zgaruvchan 220 V kuchlanishga ulangan. Agar salt ish rejimida ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish 20; 110; 330 va 1100 V bo'lsa, transformatsiya koeffitsienti topilsin.

7.7. Birlamchi chulg'amning o'ramlar soni $w_1 = 100$ bo'lgan transformator chastotasi 400 Gs li manbaga ulanganda magnit o'tkazgichda $\Phi_{\max} = 1,25 \cdot 10^{-4}$ Vb magnit oqim hosil bo'ladi. Transformatorning birlamchi chulg'amidagi EYuK aniqlansin.

7.8. Transformatorning uchta chulg'ami ketma-ket ulanib, kuchlanishi $U = 380$ V o'zgaruvchan tokli tarmoqqa qo'shilgan (7.4-rasm). Voltmetrlarning ko'rsatishi $U_1 = 95$ V, $U_2 = 190$ V, $U_3 = 95$ V. Agar $w_1 = 100$ bo'lsa, w_2 , w_3 chulg'amlarning o'ramlari soni aniqlansin.

7.9. Transformator kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs li tarmoqqa ulangan. Agar magnit o'tkazgichning aktiv kesim yuzi $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, undagi magnit induksiya $B = 1,5$ Tl va ikkilamchi chulg'amning o'ramlari soni 50 bo'lsa, transformatsiya koeffitsienti aniqlansin.

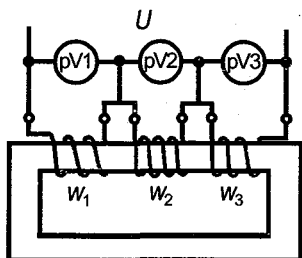
7.10. Transformatorning salt ishlashida ikkilamchi va birlamchi chulg'amlardagi kuchlanishlar mos ravishda $55 \text{ V} \pm 1,5\%$ va $220 \text{ V} \pm 1,5\%$ ga teng. Transformatsiya koeffitsienti va uning nisbiy xatoligi aniqlansin.

7.11. Yuklamalarning turli xarakterida transformatorning tashqi xarakteristikallari 7.5-rasmda keltirilgan. Qaysi xarakteristika: a) quvvatning maksimal koeffitsientiga; b) yuklamaning induktiv xarakteriga; d) yuklamaning sig'im xarakteriga to'g'ri keladi?

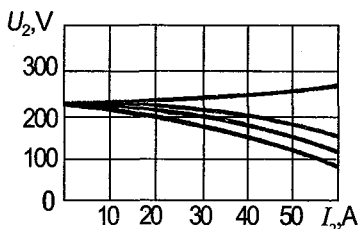
7.12. Elektrlashtirilgan temir yo'llarda foydalaniladigan VL-80 elektrovozga o'rnatilgan nominal quvvati 4485 kV · A bir fazali O'IIQ 5000/25V transformatorning salt ish rejimida birlamchi chulg'amidagi kuchlanish 25000 V, ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish 1218 V. Transformatsiya koeffitsienti aniqlansin.

7.13. Kuchlanishi 220 V, chastotasi 50 Gs bo'lgan tarmoqqa transformator ulangan. Agar salt ishlash tajribasida ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish 110 V, magnit o'tkazgichdagi magnit oqim $\Phi_{\max} = 2 \cdot 10^{-3}$ Vb bo'lsa, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning o'ramlari soni topilsin.

7.14. Bir fazali transformatorning qisqa tutashish kuchlanishi 5% ni tashkil etadi. Agar tarmoqning nominal kuchlanishi 220 V bo'lsa, birlamchi chulg'amga qanday kuchlanish berish mumkin?



7.4-rasm



7.5-rasm

7.15. Nominal quvvati $S_{\text{nom}} = 6,3 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish 380 V; quvvat koeffitsienti 0,8; yuklama quvvati 4 kVt bo'lsa, ikkilamchi chulg'amning toki va transformatorning yuklama koeffitsienti aniqlansin.

7.16. Transformatorning birlamchi chulg'ami kuchlanishi 220 V o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan. Ikkilamchi chulg'amiga qarshiligi 10 Om bo'lgan bir xil uchta yuklama ulangan. Yuklama toklari 5,5; 11; 15,4 A. Har bir holatda ikkilamchi chulg'amning transformatsiya koeffitsienti topilsin.

7.17. Transformator $S_{\text{nom}} = 10 \text{ kV} \cdot \text{A}$; $U_{2\text{nom}} = 220 \text{ V}$ nominal parametrlarga ega. Po'lat o'zakdagi va chulg'amlardagi quvvat isroflari mos ravishda 600 va 190 Vt ga teng. Nominal aktiv yuklamada tok zichligi 4 A/mm² dan oshmasligi uchun simning ko'ndalang kesim yuzi aniqlansin. Yuklanish koeffitsienti $\beta = 1$ va $\cos\varphi_2 = 0,8$ da transformatorning FIK topilsin.

7.18. Agar: a) yuklama qarshiligi ikki baravar kamaysa; b) yuklama qarshiligi o'zgarmas bo'lib, transformatsiya koeffitsienti ikki baravar oshirilsa, transformatorning birlamchi chulg'amidagi tok qanday o'zgaradi? Transformatorning isroflar hisobga olinmasin.

7.2. AVTOTRANSFORMATORLAR. MAXSUS TRANSFORMATORLAR

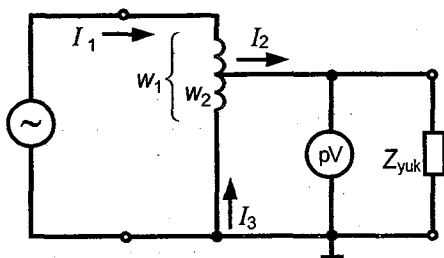
Avtotransformatorlarda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar umumiy elektr zanjiri tashkil qiladi (7.6-rasm). Ikkilamchi chulg'am toki ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

$$I_2 = I_1 + I_3, \quad (7.11)$$

bunda I_3 — birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning umumiy qismidagi tok.

Pasaytiruvchi avtotransformatorlarda I_2 tokning yo'nalishi I_3 tok bilan bir xil bo'ladi, kuchaytiruvchida esa bu tok I_2 ga teskari yo'naladi. Avtotransformatorning transformatsiya koeffitsienti oddiy transformatorning koeffitsientini aniqlash usuli kabi hisoblanadi.

Ikkilamchi chulg'amning quvvati ikki tashkil etuvchidan iborat:



7.6-rasm

$$S_{\text{nom}} = S_e + S_{\text{em}} = U_2 I_1 + U_2 I_3, \quad (7.12)$$

bunda S_{em} — avtotransformatorlarda elektromagnit, ya'ni odatdagi usul bilan uzatiladigan quvvat; S_e — elektr usul bilan uzatiladigan quvvat.

Elektromagnit usul bilan uzatiladigan quvvat nominal quvvat bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$S_{em} = S_{nom} (1 - 1/k) = S_{nom} k_{at} \quad (7.13)$$

bunda k_{at} — avtotransformatorning samara koeffitsienti. Samara koeffitsienti qancha kam bo'lsa, chulg'amlarga sarflanadigan mis va magnit, o'tkazgichga ketadigan po'lat shuncha iqtisod bo'ladi. Shu sababli, transformatsiya koeffitsienti 1 ga yaqin transformatorlar avtotransformator ko'rinishida yasaladi.

Maxsus transformatorlarga *o'lchash, payvandlash* transformatorlari hamda *moslovchi* va elektron bloklarning *impulsli transformatorlari* kiradi.

Masalalar

7.19. Bir fazali transformator avtotransformator bilan almashtirildi. Bunda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal kuchlanishi va birlamchi chulg'amidagi tok ikkala holda ham bir xil bo'lgan: $U_{1nom} = 220$ V, $U_{2nom} = 110$ V, $I_{1nom} = 10$ A. Agar chulg'amlardagi mumkin bo'lgan maksimal tok zichligi 2 A/mm² bo'lsa, chulg'amlarning umumiy qismidagi simning aktiv ko'ndalang kesim yuzi qanchaga kamayadi?

Yechish. Transformatoridagi isroflarni hisobga olmay, ikkinchi chulg'amdagi tokni topish mumkin $I_2 = kI_1 = 20$ A. Berilgan tok zichligi $\gamma_{max} = 2$ A/mm² ni hisobga olib chulg'amlar mis simining kesim yuzini aniqlaymiz: $S_{mis} = I_2/\gamma_{max} = 10$ mm². Avtotransformatorning ikkilamchi chulg'amidagi tok $I_2 = I_1 + I_3$, ya'ni chulg'amlarning umumiy qismidagi tok $I_3 = 10$ A, chulg'amlarning ko'ndalang kesim yuzi $S_{mis} = 10/\gamma_{max} = 5$ mm².

Shunday qilib, misning aktiv kesim yuzi ikki baravar, ya'ni $1/(1-1/k)$ ga kamayadi. Foydalanish koeffitsienti qancha kam bo'lsa, shuncha mis iqtisod bo'ladi va avtotransformatorning o'lchamlari kichrayadi.

7.20. Avtotransformatorning yuklama toki 5 A va birlamchi chulg'amining o'ramlar soni ikkinchisidan ikki baravar ko'p. Uning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi I_1 , I_2 , I_3 , toklar aniqlansin.

7.21. Avtotransformatorning birlamchi chulg'ami 1000 o'ramdan iborat va 220 V o'zgaruvchan kuchlanishga ulangan. Agar ikkilamchi chulg'amining o'ramlari soni 10; 100; 500 bo'lsa, undan qanday kuchlanish olish mumkin?

7.22. Kuchlanishni rostdash uchun o'zgaruvchan rezistor-reostat yoki avtotransformatordan foydalanish mumkin. Agar $U_1 = 220$ V va $U_2 = 100$ V, yuklama toki 5 A va avtotransformator FIK 90% bo'lsa, rezistor va avtotransformatordagi quvvat isroflari aniqlansin.

7.23. Kuchlanishni bir tekis o'zgartirish uchun harakatlanuvchi cho'tkali kontakti bo'lgan avtotransformatordan foydalaniladi. Cho'tka bir vaqtning o'zida ikkilamchi chulg'amning ikkita o'ramini tutashtiradi. Bunday qisqa tutashtirilgan o'ramdan o'tayotgan tok 0,1 A dan oshmasligi uchun cho'tkali

kontaktning qarshiligi qancha bo'lishi kerak? Ikkilamchi chulg'amning o'ramlari soni 100, ulardagi umumiy kuchlanish 1100 V.

7.24. Agar 6000/100 V li kuchlanishni pasaytiruvchi o'lchash transformatori ikkilamchi chulg'aming o'ramlari soni $w_2=150$ bo'lsa, birlamchi chulg'aming o'ramlari soni aniqlansin.

7.25. Tok o'lchovchi kleshli (ombursimon) transformatorning birlamchi chulg'ami sifatida yuklama tokini o'tkazuvchi simdan foydalaniladi, simdan o'tadigan tok 500 A. Yuqori chegarisi 5 A li ampermetrni transformatorning ikkilamchi chulg'amiga ulash uchun o'ramlar soni qancha bo'lishi kerak?

7.3. UCH FAZALI TRANSFORMATORLAR

Parallel ulangan transformatorlar orasida yuklama quyidagicha taqsimlanadi:

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{u_{q.tI}}{u_{q.tII}} \cdot \frac{S_{nom I}}{S_{nom II}}, \quad (7.14)$$

bunda $u_{q.tI}$ va $u_{q.tII}$ — birinchi va ikkinchi transformatorlar qisqa tutashishdagi nisbiy kuchlanishlari.

Masalalar

7.26. Uch fazali transformator quyidagi nominal parametrlarga ega $S_{nom} = 25 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $U_{1nom} = 660 \text{ V}$, $U_{2nom} = 220/380 \text{ V}$; $U_{2s.ish} = 230/400 \text{ V}$, salt ishlashdagi quvvat isrofi $P_{s.ish} = 180 \text{ Vt}$, qisqa tutashishdagi isrof $P_{q.t.} = 260 \text{ Vt}$, qisqa tutashishdagi nisbiy kuchlanish $U_{q.t.} = 4\% U_{1nom}$. Chulg'amlar yulduz va uchburchak usulda ulanganda faza va liniya transformatsiya koeffitsientlarini toping. Yuklanish koeffitsienti $\beta = 0,8$ va aktiv yuklama bo'lganda ikkilamchi kuchlanishning maksimal o'zgarishini aniqlang.

Yechish. Uch fazali sanoat transformatorlarining yuqori kuchlanish chulg'amlari yulduz usulda ulanadi, ya'ni transformator kirishida faza kuchlanishi $U_{1f} = U_{1nom}/\sqrt{3} = 380 \text{ V}$. Binobarin faza kuchlanishlarining transformatsiya koeffitsienti $k = U_{1f}/U_{2f} = 1,73$.

Transformatorning ikkilamchi chulg'amlari yulduz usulda ulanganda chiqishdagi liniya kuchlanishi $U_2 = 400 \text{ V}$ va liniya kuchlanishlarining transformatsiya koeffitsienti $k = U_{1lin}/U_{2lin} = 1,73$. Ikkilamchi chulg'amlar uchburchak usulda ulanganda liniya kuchlanishi faza kuchlanishiga teng, shuning uchun $k = U_1/U_2 = 2,9$.

Ikkilamchi kuchlanishni aktiv yuklamada maksimal o'zgarishi (7.10) formula bo'yicha $\Delta u = \beta U_{q.t} 0,8 \cdot U_{2nom} = 3,2\% U_{2nom}$. Yulduz usulda $\Delta u = 12,75 \text{ V}$, uchburchak usulda esa $\Delta u = 7,34 \text{ V}$.

Transformatorning FIK ni (7.9) formula yordamida aniqlaymiz.
 $\eta = 97,9\%$.

7.27. Chulg'amlarning ulanish guruhlar yulduz-yulduz Y/Y – 12 bo'lgan uch fazali transformatorning quyida keltirilgan qiymatlardan foydalanib, birlamchi va ikkilamchi chulg'am toklari, salt ishlash toki, nominal yuklamadagi ikkilamchi kuchlanish, sxema qarshiliklari aniqlansin hamda $\beta = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; \cos\varphi_2 = 0,8$ bo'lganda foydali ish koeffitsientining transformator yuklanish darajasiga bog'lanish grafigi qurilsin.

Berilgan: $S = 2500 \text{ kV} \cdot \text{A}; U_1/U_2 = 10/6,3 \text{ kV}; U_{q,t} = 0,055 U_{\text{nom}};$
 $P_{s,\text{ish}} = 3,9 \text{ kVt}; P_{q,t} = 23,6 \text{ kVt}; I_{s,\text{ish}} = 0,01 I_{1\text{nom}}.$

Yechish. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amdagi faza kuchlanishlari

$$U_{1f,\text{nom}} = \frac{U_{1\text{nom}}}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,8 \text{ kV}; U_{2f,\text{nom}} = \frac{U_{2\text{nom}}}{\sqrt{3}} = \frac{6,3}{\sqrt{3}} = 3,6 \text{ kV}.$$

Transformatsiyalash koeffitsienti $k = \frac{U_{1f}}{U_{2f}} = \frac{U_{1\text{nom}}}{U_{2\text{nom}}} = \frac{5,8}{3,6} = 1,6 > 1$ demak, pasaytiruvchi transformator ekan. Birlamchi chulg'amning nominal toki:

$$I_{1\text{nom}} = \frac{S_{\text{nom}}}{\sqrt{3} \cdot U_{14}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 144,5 \text{ A}.$$

Salt ishlash toki $I_{1k} = 0,01 I_{1\text{nom}}$, ya'ni $I_0 = 0,01 \cdot 144,5 = 1,445 \text{ A}$. Salt ishlashdagi quvvat koeffitsienti:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{nom}} \cdot I_0} = \frac{3,9}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,445} = 0,16; \varphi_0 = \arccos 0,16 = 81^\circ;$$

magnit isrof burchagi $\delta = 90^\circ - \varphi_0 = 90^\circ - 81^\circ = 9^\circ$; qisqa tutashish qar-

$$\text{shiliklari } Z_{q,t} = \frac{U_{q,t}}{I_{q,t}} = \frac{0,055 \cdot 10 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 144,5} = 2,2 \text{ Om};$$

$$R_{q,t} = \frac{P_{q,t}}{3 I_{1\text{nom}}^2} = \frac{23,5}{3 \cdot (144,5)^2} = 0,4 \text{ Om};$$

$$X_{q,t} = \sqrt{Z_{q,t}^2 - R_{q,t}^2} = \sqrt{(2,2)^2 - (0,4)^2} = 2,16 \text{ Om}$$

$$\cos\varphi_{q,t} = \frac{R_{q,t}}{Z_{q,t}} = \frac{0,4}{2,2} = 0,18, \text{ bunda } \varphi_{q,t} = \arccos 0,18 = 80^\circ;$$

1- va 2-chulg'amlarning keltirilgan qarshiliklari:

$$R_1 = R_2^1 = \frac{Z_{q,t}}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ Om}; X_1 = X_2^1 = \frac{X_{q,t}}{2} = \frac{2,16}{2} = 1,08 \text{ Om};$$

2-chulg'amning qarshiliklari:

$$R_2 = R_2^1 \cdot \frac{1}{k^2} = 0,2 \cdot \frac{1}{(1,6)^2} = 0,078 \text{ Om};$$

$$X_2 = X_2^1 \cdot \frac{1}{k^2} = 1,08 \cdot \frac{1}{(1,6)^2} = 0,422 \text{ Om}.$$

Magnitlovchi shoxobchaniy qarshiliklari:

$$Z_0 = \frac{U_{1\text{nom.f}}}{I_0} = \frac{10 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1,445} = 4000 \text{ Om};$$

$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = \sqrt{(4000)^2 - (622,6)^2} = 3951,2 \text{ Om}$. Transformatorning tashqi xarakteristikasi $U_2 = f(I_2)$ ni yasaymiz:

$$\Delta U_{2\text{nom}} \% = \beta(U_{1q.t} \% \cdot \cos\varphi_{2\text{nom}} + U_{q.t} \% \cdot \sin\varphi_{2\text{nom}});$$

$$U_{q.t.a} \% = U_{1q.t} \% \cos\varphi_{q.t} = 5,5 \% \cdot 0,18 = 0,99 \%;$$

$$U_{q.t.r} \% = U_{q.t} \% \cdot \sin\varphi_{q.t} = 5,5 \% \cdot 0,98 = 5,4 \%.$$

2-chulg'amdagi tok:

$$I_{2\text{nom}} = \frac{S_{\text{nom}}}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{nom}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 230 \text{ A}$$

$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{nom}}}$ – yuklanish koeffitsienti, bundan: $I_2 = \beta I_{2\text{nom}}$; $\cos\varphi_{2\text{nom}} = 0,8$; $\sin\varphi_{2\text{nom}} = 0,6$.

$U_2 = f(I_2)$ xarakteristikaning $\beta = 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ qiymatlari uchun ΔU_2 %larni hisoblaymiz va quyidagi jadvalga yozamiz.

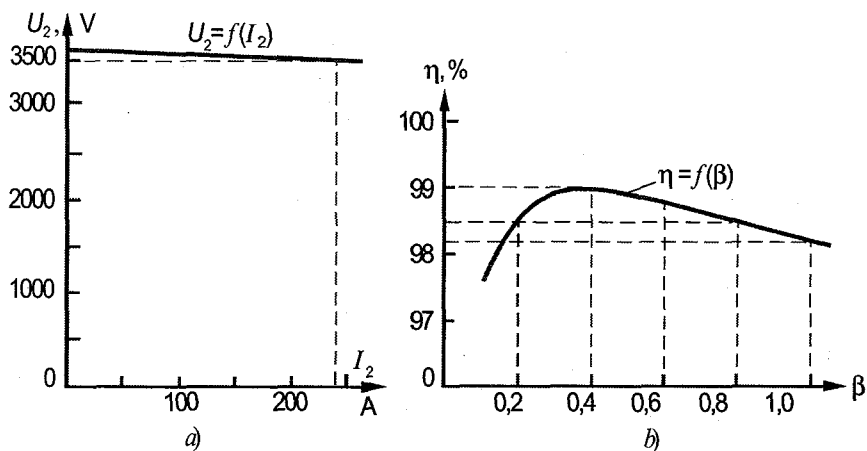
β	-	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
I_2	A	0	23	46	92	138	184	230
$U_2, \%$	%	0	0,4	0,8	1,6	2,4	3,2	4
U_2	V	3600	3586,4	3571,8	3542,4	3513,6	3484,8	3456

Transformatorning 2-chulg'amidagi kuchlanishning o'zgarishini hisoblab: $U_2 = U_{2f} - \frac{\Delta U_2 \% \cdot U_{2f}}{100}$; $U_2 = f(I_2)$ grafigini yasaymiz (7.7-a rasm).

Transformatorning FIK $\eta = f(\beta)$ bog'lanish grafigini yasash uchun quyidagi formuladan foydalanib,

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{nom}} \cdot \cos\varphi_{2\text{nom}}}{\beta S_{\text{nom}} \cdot \cos\varphi_{2\text{nom}} + P_0 + \beta^2 P_{q.t}}$$

hisoblanganlarni jadvalga yozamiz, $\eta = f(\beta)$ grafigi 7.7-b rasmda keltirilgan.



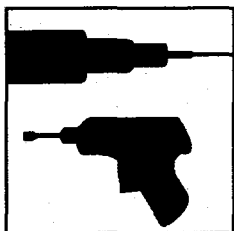
7.7-rasm

β	-	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
η	%	0	97,8	98,8	99,1	98,9	98,8	98,6

7.28. Liniya kuchlanishi 6000 V li uch fazali tarmoqqa faza koeffitsienti $k_f=26$ ga teng bo'lgan uch fazali transformatorning chulg'amlari qanday usulda ulanganda ikkilamchi liniya kuchlanishi 230 V bo'ladi?

7.29. Nominal quvvati 160 kV · A li uch fazali transformatorning po'lat va misdagi quvvat isroflari $P_{s.ish} = 510$ Vt va $P_{q.t} = 2650$ Vt va har bir fazaning quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_2 = 0,8$ bo'lsa, uning maksimal FIK va yuklamaning aktiv quvvati aniqlansin.

7.30. Faza chulg'amlari $w_1 = 1200$ va $w_2 = 80$ bo'lgan uch fazali transformator liniya kuchlanishi 6 kV bo'lgan uch fazali tarmoqqa Y/Y – 12 va Y/ Δ – 11 bo'yicha ulangan. Ikkilamchi liniya kuchlanishlarini aniqlang.



8-BOB

Elektr mashinalar

8.1. O'ZGARMAS VA O'ZGARUVCHAN TOK GENERATORLARI

O'zgarmas tok generatorlarini aylantirish uchun zarur bo'lgan *mexanik quvvat* $P_1 = \frac{2\pi}{60} Mn = Mn/9,55$ *elektromagnit quvvatga* o'zgartiriladi, ya'ni

$$P_{em} = EI_{ya}, \quad (8.1)$$

bunda M – yakorni aylantiruvchi momenti, $N \cdot m$; n – aylanish chastotasi, ayl/min; E – yakor chulg'aming EYuKi, V; I_{ya} – yakor chulg'amidagi tok, A.

Generatorning natijaviy quvvat isroflari ΔP bo'lsa, uning FIK

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \cdot 100\%, \quad (8.2)$$

bunda $R_2 = UI$ – yuklamadagi elektromagnit quvvat.

Statorda o'rnatilgan qo'zg'atish chulg'amlarining ulanish usuliga ko'ra o'zgarmas tok generatorlari *mustaqil, parallel, ketma-ket* va *aralash qo'zg'atishli* bo'ladi (8.1-rasm).

O'zgarmas tok generatorining EYuKi

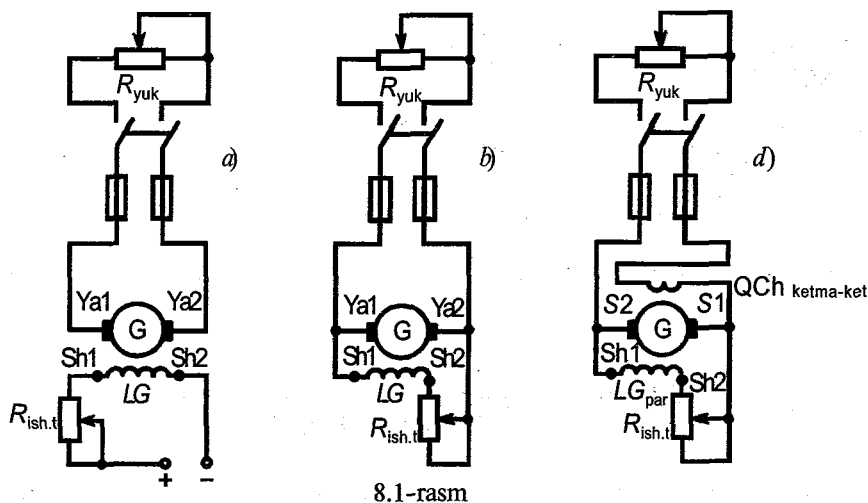
$$E = \frac{pN}{60a} n\Phi = C_E \cdot n\Phi, \quad (8.3.)$$

bunda N – yakor chulg'aming aktiv o'tkazgichlarining soni; a – chulg'amning parallel shoxobchalari soni; p – juft qutblar soni; n – rotorning aylanish chastotasi, ayl/min; Φ – bir qutbning magnit oqimi, Vb; C_E – mashina konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas elektr koeffitsient.

Generator qismalaridagi kuchlanish

$$U = E - I_{ya} R_{ya}, \quad (8.4)$$

bunda R_{ya} – yakor zanjiridagi ishchi temperatura $t = 75^\circ C$ ga keltirilgandagi qarshilik.



8.1-rasm

O'zgaras tok mashinalari xarakteristikalarini hisoblash ularning magnit xarakteristikasiga asoslanadi $\Phi = f(I_{qo'z})$ (5-ilova).

O'zgaras tok generatorlarining asosiy xarakteristikasiga quyidagilar kiradi: *salt ishlash xarakteristikasi* $E = f(I_{qo'z})$ bunda $n = \text{const}$ va $I_{yuk} = 0$ bo'lishi zarur.

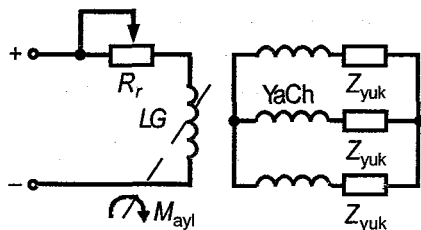
Tashqi xarakteristika $U = f(I_{ya})$, bunda $n = \text{const}$ va $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lishi kerak.

Rostlash xarakteristikasi $I_{qo'z} = f(I_{ya})$, bunda $U = \text{const}$ va $n = \text{const}$ bo'lishi zarur.

O'zgaruvchan tok generatorlarida mexanik energiya elektromagnit energiyaga aylanadi. Ularni FIK (8.2) bilan aniqlanadi, bunda $P_2 = UI \cos \varphi$.

Bu generatorlarda yakor chulg'ami (YaCh) statorda joylashadi. Qo'zg'atish chulg'ami (LG) esa rotorda joylashadi (8.2-rasm).

Generator bir fazasining o'zgaruvchan EYuKi va chastotasi quyidagi formulalardan aniqlanadi:



8.2-rasm

$$E = 4,44 f w_1 k_{w1} \Phi_{\max}; \quad (8.5)$$

$$f = \frac{p n_1}{60}, \quad (8.6)$$

bunda w – stator fazasi chulg'aming o'ramlari soni; k_{w1} – chulg'am koeffitsienti; p – rotorning juft qutblari soni; n_1 – rotorning aylanish chastotasi, ayl/min.

Masalalar

8.1. Mustaqil qo'zg'atishli generator quyidagi nominal ko'rsatkichlarga ega: $P_{\text{nom}} = 10 \text{ kVt}$; $U_{\text{nom}} = 115 \text{ V}$; $n_{\text{nom}} = 150 \text{ ayl/min}$.

Yakor zanjirining qarshiligi $R_{ya} = 0,52 \text{ Om}$. Qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $R_{qo'z} = 120 \text{ Om}$. Agar mexanik va magnit isroflar $\Delta P_{\text{nom}} = 5\% P_{\text{nom}}$ va qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = 3\% I_{ya.\text{nom}}$ bo'lsa, generatordagi isroflar, FIK va yuritma motorning aylantiruvchi momenti aniqlansin.

Yechish. Yakorning nominal toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{ya} = I_{ya.\text{nom}} = \frac{P_{\text{nom}}}{U_{\text{nom}}} = \frac{10000}{115} = 87 \text{ A}.$$

Natijaviy isroflar:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_e + \Delta P_m + \Delta P_{qo'z} = 0,05 P_{\text{nom}} + 0,03 I_{ya.\text{nom}}^2 R_{qo'z} + I_{ya}^2 R_{ya} = \\ &= 0,05 \cdot 10000 + (0,03 \cdot 87)^2 \cdot 120 + 87^2 \cdot 0,052 = 1705 \text{ kVt}. \end{aligned}$$

Generatorni harakatlantiruvchi mexanik quvvat:

$$P_1 = P_{\text{nom}} + \Delta P = 10 + 1,7 = 11,7 \text{ kVt}.$$

Generatorning FIK $\eta_g = P_{\text{nom}}/P_1 = 10/11,7 = 0,854$. Elektr motor momenti $M = 9,55 \frac{P_1}{n} = 9,55 \frac{11700}{1450} = 70,5 \text{ N} \cdot \text{m}$.

8.2. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori quyidagi ko'rsatkichlarga ega: $P_{\text{nom}} = 10 \text{ kVt}$; $U_{\text{nom}} = 110 \text{ V}$; $n_{\text{nom}} = 1450 \text{ ayl/min}$. Yakor qarshiligi $R_{ya} = 0,05 \text{ Om}$. Agar $I_{qo'z.\text{nom}} = 5\% I_{ya.\text{nom}}$ bo'lsa, yuklamaning nominal va qo'zg'atish toklari aniqlansin. Nominal ish rejimidagi EYuK va generatorning elektromagnit momentini toping.

Yechish. Yuklamaning nominal toki:

$$I_{\text{nom}} = P_{\text{nom}}/U_{\text{nom}} = 10000/110 = 91 \text{ A},$$

qo'zg'atish toki $I_{qo'z.\text{nom}} = 4,55 \text{ A}$. Generatorning EYuKi:

$$E = U_{\text{nom}} + I_{\text{nom}} R_{ya} = 110 + 91 \cdot 0,05 = 114,55 \text{ V}.$$

Motorning elektromagnit momenti:

$$M = 9,55 E \cdot I_{\text{nom}}/n_{\text{nom}} = 68,2 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

8.3. Uch fazali sinxron generatorning parametrlari $P_{\text{nom}} = 100 \text{ MVt}$; $U_{\text{nom}} = 16 \text{ kV}$; $X = 2,8 \text{ Om}$; $\cos\varphi = 0,93$ $n_{\text{nom}} = 3000 \text{ ayl/min}$. Agar $\eta_{\text{nom}} = 0,98$ bo'lsa, yuklama toki, to'la va reaktiv quvvat hamda birlamchi motorning momenti hisoblansin.

Yechish. Yuklama tokini aktiv quvvat ifodasidan topamiz:

$$I_{\text{nom}} = P_{\text{nom}} / \sqrt{3} U_{\text{nom}} \cdot \cos\varphi = 100 \cdot 10^6 / \sqrt{3} \cdot 16 \cdot 10^3 \cdot 0,93 = 3880 \text{ A.}$$

To'la quvvat $S_{\text{nom}} = P_{\text{nom}} / \cos\varphi = 107,5 \text{ MV} \cdot \text{A}$, reaktiv quvvat $Q = S_{\text{nom}} / \sin\varphi = 39,5 \text{ Mvar}$.

Birlamchi motor validagi aylantiruvchi moment $M_1 = 9,55 P_1 / n_{\text{nom}}$, bunda $P_1 = P_{\text{nom}} / \eta_{\text{nom}}$,

$$M_1 = 9,55 \frac{100 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 3000} = 325 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

8.4. O'zgarmas tok generatorining foydali quvvati 5 kVt, yakor chulg'amidagi quvvat isrofi 100 Vt. Agar EYuK 238 V bo'lsa, yakor zanjiridagi tok aniqlansin.

8.5. Parallel qo'zg'atishli generatorning EYuKi 238 V, qo'zg'atish toki 3 A va yuklama toki 80 A bo'lsa, yakor zanjiri, qo'zg'atish chulg'ami va yuklamadagi natijaviy quvvat topilsin.

8.6. Aralash qo'zg'atishli generatorning yakor toki 25 A, foydali quvvati 10 kVt, elektromagnit quvvati 11 kVt, qo'zg'atish zanjiridagi quvvat isrofi 0,5 kVt bo'lsa, yakor zanjirining qarshiligi topilsin.

8.7. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori chiqish qismlaridagi kuchlanish topilsin. Generator EYuKi 240 V, yakor toki 40, 80 va 120 A, yakor zanjirining qarshiligi $R_{ya} = 0,075 \text{ Om}$.

8.8. Parallel qo'zg'atishli generatorning chiqish kuchlanishi $U = 230 \text{ V}$, qo'zg'atish zanjiridagi qarshilik 20 Om va yuklanish toki 180 A bo'lsa, qo'zg'atish toki va yakor toki topilsin.

8.9. Generator yurituvchi valining aylanish chastotasi 1,5 baravar oshirilganda EYuK 120 V oshgan. Magnit oqim o'zgarmas bo'lsa, ikkala rejimdagi EYuK aniqlansin.

8.10. Aralash qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining yuklama qarshiligi 2 baravar oshirilganda, yakor toki 10 A ga kamaydi. Agar yakor zanjirining qarshiligi $R_{ya} + R_{\text{qo'z.ketma-ket}} = 0,1 R_{\text{nom}}$ bo'lsa, ikkala rejimda yakor toki aniqlansin.

8.11. Quvvatlari $P_{\text{nom1}} = P_{\text{nom2}} = 45 \text{ kVt}$ bo'lgan ikkita parallel qo'zg'atishli generator nominal kuchlanishi 230 V, quvvati 80 kVt li yuklamaga ulangan. Agar yakor zanjirlarining qarshiligi $R_{ya1} = 0,1 \text{ Om}$ va $R_{ya2} = 0,07 \text{ Om}$ bo'lsa, generatorlar toki aniqlansin.

8.12. Sinxron generator quyidagi nominal parametrlarga ega: $S_{\text{nom}} = 500 \text{ kV} \cdot \text{A}$; $U_{\text{nom}} = 380 \text{ V}$; $\cos\varphi = 0,909$; $\eta_{\text{nom}} = 93,4\%$. Generatorning aktiv quvvati, natijaviy isroflar va nominal yuklamadagi tok topilsin.

8.13. Sinxron mashinaning yerga ulanmagan korpusining yerga nisbatan kuchlanishi 150 V. Motor korpusiga tekkan ishchi orqali qanday tok o'tishini aniqlang. Ishchi tanasining qarshiligi 50 kOm, motor chulg'aminin korpusga nisbatan izolyatsiya qarshiligi 10 kOm.

8.14. Nima uchun o'zgaruvchan tok generatorining statori bir-biridan alohida izolyatsiyalangan po'lat plastinalardan yig'iladi, o'zgarmas tok generatorining statori esa yaxlit po'lat quymadan iborat?

8.2. O'ZGARMAS TOK MOTORLARI

O'zgarmas tok motorida elektr quvvat avval elektromagnit, keyin esa aylanuvchi yakorning mexanik quvvatiga aylanadi, ya'ni:

$$P_{em} = EI_{ya}; P_2 = Mn/9,55. \quad (8.7)$$

Motordagi isroflar hisobga olinsa, uning FIK

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} \cdot 100\%, \quad (8.8)$$

bunda $\sum P$ — motordagi barcha isroflar yig'indisi.

Qo'zg'atish chulg'amining ulanish usuli bo'yicha elektr motorlar *parallel, ketma-ket va aralash qo'zg'atishli* bo'ladi (8.3-rasm).

Motorning aylaniruvchi (elektromagnit) momenti va aylanish chastotasi quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \cdot I_{ya} \Phi_n = C_m I_{ya} \Phi; \quad E = C_E \Phi_n \quad (8.9)$$

bunda $C_m = 9,55 C_E$ — motorning konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas koeffitsient.

Motor qismalaridagi kuchlanish:

$$U = E + I_{ya}(R_{ya} + R_{ish.t}) \quad (8.10)$$

bu $R_{ish.t}$ — ishga tushirish qarshiligi.

O'zgarmas tok motorini hisoblash generator kabi universal magnit xarakteristika asosida (8-ilova) olib boriladi. Elektr motorlarning asosiy tavsiflariga *ishchi M, n, I, P, $\eta = f(I_{ya})$ va mexanik $n = f(M)$, $U = \text{const}$ va $I_{qo'z} = \text{const}$* xarakteristikalar kiradi. Elektr motorning *aylanish chastotasini roslash, tormozlash va reverslash (aylanish yo'nalishini o'zgartirish)* ish rejimlari bo'lishi ma'lum.

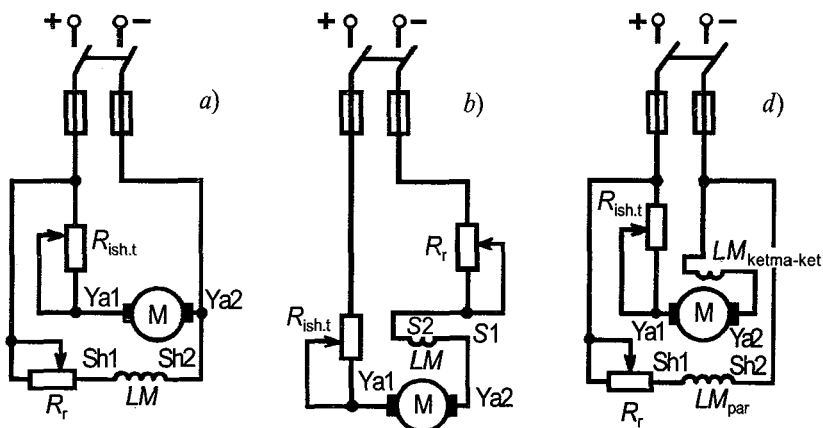
Motorning yakor zanjiriga ulangan *reostat* $R_{ish.t}$ orqali ishga tushiriladi (8.3-rasm). Bunda ishga tushirish toki keskin chegaralanadi.

Aylanish chastotasini uch xil usulda roslash mumkin:

- 1) yakor zanjirining kuchlanishini o'zgartirish usuli;
- 2) qo'zg'atish tokini o'zgartirish usuli;
- 3) yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik ulash usuli.

O'zgarmas tok motorlarini uch xil usulda tormozlash mumkin:

- 1) *rekuperativ* (energiyani tarmoqqa qaytarish);
- 2) *dinamik*;
- 3) *teskari ulash*.



8.3-rasm

Masalalar

8.15. Mustaqil qo'zg'atishli elektr motor quyidagi nominal parametrlarga ega: $P_{\text{nom}} = 130 \text{ kVt}$, $U_{\text{nom}} = 220 \text{ V}$, $n_{\text{nom}} = 600 \text{ ayl/min}$; $\eta = 92\%$; $R_{\text{ya}} = 0,01 \text{ Om}$; $C_m = 65$. Yakorning nominal toki, EYuK va motorning aylantirish momenti, bir qutbning magnit oqimi va elektromagnit quvvat aniqlansin.

Yechish. Motorning pasportida uning validagi nominal mexanik quvvati P_2 ko'rsatiladi, demak, motor manbadan qabul qiladigan quvvat $P_1 = P_2/\eta = 141 \text{ kVt}$. Yakor toki (parallel qo'zg'atishda) $I_{\text{nom}} = P_{\text{Inom}}/U_{\text{nom}} = 0,64 \text{ A}$.

EYuK ni $U = E + I_{\text{ya}}(R_{\text{ya}} + R_{\text{nom}})$ formuladan aniqlaymiz: $E = 220 - 0,64(0,01 + 0,34) = 220 - 0,22 = 219,78 \text{ V}$. Elektromagnit quvvat $P_{\text{em}} = EI_{\text{ya}} = 137 \text{ kVt}$. Motorni aylantiruvchi moment $M = C_m I_{\text{ya}} \Phi$, magnit oqimi esa $\Phi = E/nC_E = 9,55 E/nC_m$ (8.9) formuladan foydalanib hisoblanadi. Qiymatlarni o'rninga qo'yib, $\Phi = 0,054 \text{ Vb}$ va $M = 2,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ topiladi.

8.16. Parallel qo'zg'atishli motorning nominal parametrlari $U_{\text{nom}} = 110 \text{ V}$, $R_{\text{ya}} = 0,012 \text{ Om}$; $n_{\text{nom}} = 60 \text{ ayl/min}$; $I_{\text{ya.nom}} = 500 \text{ A}$. Yakor toki $I_{\text{ya}} = 300 \text{ A}$ va $U = 100 \text{ V}$ bo'lganda motorning aylantiruvchi momenti aniqlansin. Yakor toki 0 dan 1,5 I_{nom} gacha o'zgargandagi motorning $M = f(I)$ ish xarakteristikasini quring.

Yechish. Ish xarakteristikasini qurish uchun (8.9) formuladan foydalanamiz:

$$M = \frac{C_M}{C_E} \cdot \frac{I_{\text{ya}} E}{n} = 9,55 \frac{I_{\text{ya}} E}{n}.$$

Aylanish chastotasi yakor tokiga bog'liq, ya'ni:

$$n = n_{\text{nom}} (U - I_{\text{ya}} R_{\text{ya}}) / (U_{\text{nom}} - I_{\text{ya.nom}} \cdot R_{\text{ya}}) = n_{\text{nom}} (U - I_{\text{ya}} R_{\text{ya}}) / E$$

$$\text{demak, } M = \frac{9,55 E^2}{n_{\text{nom}}} \cdot \frac{I_{\text{ya}}}{U - I_{\text{ya}} R_{\text{ya}}} = \frac{9,55 (U_{\text{nom}} - I_{\text{ya.nom}} \cdot R_{\text{ya}})^2}{n_{\text{nom}}} \cdot \frac{I_{\text{ya}}}{U - I_{\text{ya}} R_{\text{ya}}}$$

Bu formulaga masala shartida berilganlarni qo'yib, hisoblash tenglamasini quyidagicha yozamiz:

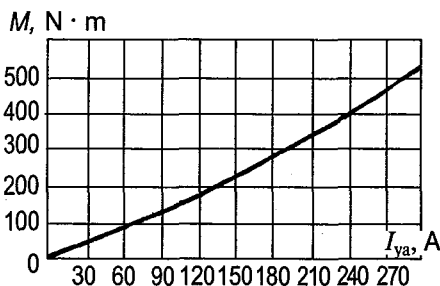
$$M = 168 \frac{I_{\text{ya}}}{100 - I_{\text{ya}} \cdot 0,012}$$

Masala shartida berilgan $I_{\text{ya}} = 300$ A bo'lganda,

$$M = 168 \frac{300}{100 - 300 \cdot 0,012} = 526 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$M = f(I_{\text{ya}})$ grafigi 8.4-rasmda keltirilgan, bunda tok masala shartiga ko'ra 0 dan 1,5 I_{nom} gacha o'zga-radi.

8.17. BJI-80 elektrovozning yuritmasida o'zgarmas tok HB-418K6 rusumli motori qo'llanilgan. U quyidagi parametrlarga ega: $U_{\text{nom}} = 950$ V, $I_{\text{ya.nom}} = 880$ A, $R_{\text{ya}} = 0,011$ Om, qo'zg'atish chul-g'aminin qarshiligi $R_{\text{qo'z.nom}} = 0,0079$ Om. Motorning iste'mol quvvati, elektromagnit quvvat va EYuKi aniqlansin.



8.4-rasm

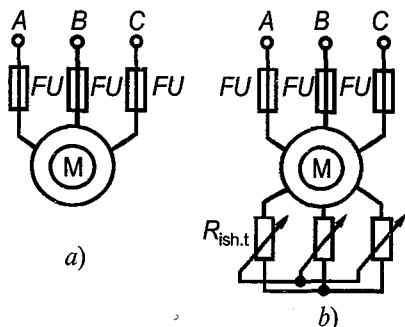
8.3. O'ZGARUVCHAN TOK MOTORLARI

O'zgaruvchan tok asinxron motori elektr energiya manbaining $P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ elektr quvvatini aylanuvchi elektromagnit maydon $P_{\text{em}} = 3E_{1s} I_2 \cos \varphi_2$ quvvatiga va nihoyat aylanuvchi rotorning mexanik quvvatiga aylantirish uchun qo'llaniladi.

Motordagi isroflar hisobga olinganda, uning FIK (8.8) formuladan topiladi.

Rotor konstruksiyasi bo'yicha asinxron motorlar qisqa tutashtirilgan (8.5-a rasm) va fazali (kontakt halqali) motorlarga (8.5-b rasm) bo'linadi.

Asinxron motor rotorining aylanish chastotasi, ayl/min.



8.5-rasm

$$n_2 = n_1(1 - s), n_1 = 60f_1/p \quad (8.11)$$

bunda s – sirpanish, n_1 – magnit maydon aylanish chastotasi, p – juft qutblar soni, f_1 – o'zgaruvchan tok tarmog'ining chastotasi, Gs.

Aylanuvchi magnit maydon stator va rotor chulg'amlarini kesib o'tib, ularda EYuKni induksiyalaydi:

$$E_1 = 4,44w_1k_{w1}f_1\Phi_{\max}; E_2 = 4,44w_2k_{w2}f_1\Phi_{\max}, \quad (8.12)$$

bunda $\Phi_{\max}$ – magnit oqimining amplituda qiymati, Vb; w_1 va w_2 stator va rotor chulg'amlarining ketma-ket ulangan o'ramlari soni; k_{w1} va k_{w2} – chulg'am koeffitsientlari.

Aylanuvchi rotorning EYuKi va toki

$$E_{2s} = 4,44w_2k_{w2}f_{1s}\Phi_{\max}; I_{2s} = E_{2s}/\sqrt{R_2^2 + (X_2s)^2}, \quad (8.13)$$

bunda R_2 va X_2 – qo'zg'almas rotorning aktiv va induktiv qarshiligi. Asinxron motorning aylantiruvchi momenti:

$$M = Pm_2k_{w2}w_2\Phi_{\max}I_{2s}\cos\varphi\sqrt{2} = k_d\Phi_{\max}I_{2s}\cos\varphi, \quad (8.14)$$

bunda w_2 – rotorning fazalari soni.

Moment bilan sirpanish orasidagi bog'lanish quyidagi soddalashtirilgan Kloss formulasi bilan ifodalanadi:

$$M = 2M_{kr}/(s/s_{kr} + s_{kr}/s) \quad (8.15)$$

bunda s_{kr} – sirpanishning chegaraviy qiymati, $M_{kr} = \lambda M_{\text{nom}}$ – aylantiruvchi momentning maksimal qiymati.

Asinxron motorning asosiy xarakteristikasi – bu mexanik xarakteristikadir $n_2 = f(M)$, bunda $U = \text{const}$ va $f_1 = \text{const}$.

Nominal sirpanish ma'lum bo'lganda s_{kr} chegaraviy sirpanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$s_{kr} = s_{\text{nom}} \left(\frac{M_{\max}}{M_{\text{nom}}} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_{\text{nom}}} \right)^2 - 1} \right) \quad (8.16)$$

bunda $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{\text{nom}}}$ motorning o'ta yuklanish koeffitsienti deb ataladi.

$M_{\text{nom}} = 9550 \frac{P_{2\text{nom}}}{n_{\text{nom}}} \left[\frac{\text{kVt}}{\text{ayl/min}} = \text{N} \cdot \text{m} \right]$ motorning nominal aylantiruvchi momenti.

Motorning aylanish chastotasini rostdash uchun quyidagi usullar qo'llaniladi: 1) *magnit maydon aylanish tezligini o'zgartirish*; 2) *juft qutblar soni – p ni o'zgartirish*; 3) *uch fazali reostat yordamida fazali rotorning aktiv qarshiligini o'zgartirish*. Motorni tormozlash *dinamik va teskari ulash usuli* bilan bajariladi.

Sinxron motorning aylanish chastotasi asinxron motordan farqli o'laroq magnit maydonning aylanish chastotasiga teng, ya'ni $n_2 = n_1 = 60f_1/p$.

Sinxron motorning ishga tushirish sxemasi 8.6-rasmda keltirilgan.

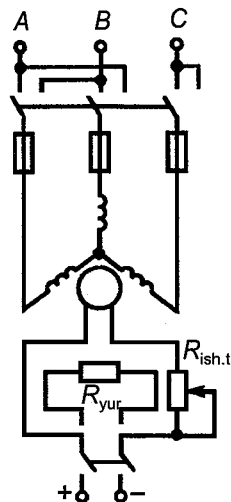
Sinxron motorning asosiy xarakteristikalariga *burchak, mexanik va rostlash xarakteristikalari* kiradi.

Burchak $M = f(\theta)$ xarakteristikasi, quyidagicha ifodalanadi:

$$M = 3E_0 I \cos \theta \cdot 9,55/n_2 = 3E_0 U \sin \theta \cdot 9,55/n_2 X_2, \quad (8.17)$$

bunda θ — EYuK va kuchlanish fazalarining orasidagi siljish burchagi, ya'ni $\cos \theta = E/U$; X_2 — motorning induktiv qarshiligi.

Sinxron motorning $n = f(M)$ *mexanik xarakteristikasi* $M = M_{\max}$ yuklanishgacha absolut qattqlikka egadir, ya'ni $\theta = 90^\circ$ gacha. *Rostlash xarakteristikasi* $I = f(I_{qo'z})$ *U shaklli xarakteristika* deb atalib, yuklanishdagi reaktiv quvvatning xarakterini va tokni katta oraliqda o'zgartirishga imkon beradi.



8.6-rasm

Masalalar

8.18. Faza rotorli uch fazali asinxron motorning stator chulg'amlari yulduz va uchburchak usulda ulanganda quvvat hamda tokni aniqlang. Motorning nominal foydali quvvati $P_{2nom} = 30$ kVt, statordagi kuchlanish $U_{Y/\Delta} = 380/220$ V; $\eta = 88\%$; $\cos \varphi = 0,85$.

Yechish. Manbadan motor iste'mol qilayotgan aktiv quvvat

$$P_1 = P_{2nom}/\eta = 30/0,88 = 34,1 \text{ kVt},$$

to'la quvvat

$$S = P_1/\cos \varphi = 34,1/0,85 = 40,1 \text{ kV} \cdot \text{A}.$$

Stator chulg'amlari yulduz usulda ulangandagi tok $I = S/\sqrt{3}U_Y = 40,1 \cdot 10^3/\sqrt{3} \cdot 380 = 61$ A, uchburchak usulda ulanganda esa $I = S/3U_\Delta = 40,1 \cdot 10^3/3 \cdot 220 = 61$ A bo'ladi.

8.19. Rotori qisqa tutashtirilgan uch fazali asinxron motor quyidagi pasport ko'rsatkichlariga ega: $U_{Y/\Delta} = 380/220$ V; $P_{2nom} = 40$ kVt; $n_2 = 980$ ayl/min; $\eta = 91,5\%$; $\cos \varphi = 0,91$. Motorni ishga tushirish tokining $I_{ish.t}$ nominal tok I_{nom} ga nisbati $k_{lin} = 5$, chastota $f_1 = 50$ Gs. Stator chulg'amlari yulduz va uchburchak usullarda ulangandagi juft qutblar soni, nominal va ishga tushirish toki aniqlansin.

Yechish. Eng yaqin standart sinxron chastota $n_1 = 1000$ ayl/min binobarin, juft qutblar soni $p = 60f/n_1 = 3$, ya'ni mashina olti qutbli ekan.

Sirpanish $s = (n_1 - n_2)/n_1 \cdot 100\% = 2\%$. Motor qabul qiladigan quvvat $P_1 = P_2/\eta = 43,7$ kVt. Nominal moment:

$$M_{\text{nom}} = 9,55 P_2 / n_2 = 389,8 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Chulg'amlar uchburchak usulda ulanganda ulardagi nominal tok

$$I_{\text{f.nom}} = P_1 / \sqrt{3} U_{\text{f}} \cos \varphi = 126,3 \text{ A}.$$

Ishga tushirish toki $I_{\text{ish.t}} = 5 I_{\text{f.nom}} = 5 \cdot 126,3 = 629,5 \text{ A}.$

Chulg'amlar yulduz usulda ulanganda

$$I_{\text{f}} = P_1 / \sqrt{3} U_{\text{nom}} \cos \varphi = 43,7 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,91 = 73 \text{ A}.$$

Ishga tushirish toki $I_{\text{ish.t}} = k_1 I_{\text{f}} = 5 \cdot 73 = 365 \text{ A}$, ya'ni bu holda $\sqrt{3}$ marta kam.

8.20. Olti qutbli sinxron motor quyidagi nominal ko'rsatkichlarga ega: $P_{\text{nom}} = 73 \text{ kVt}$; $n_{\text{nom}} = 1000 \text{ ayl/min}$; $U_{\text{nom}} = 660 \text{ V}$; $I_{\text{nom}} = 125 \text{ A}$; $X = 1 \text{ Om}$. Motorning EYuKi 670 V. Motorning nominal va maksimal momentlari aniqlansin. Motorning burchak xarakteristikasini quring.

Yechish. Nominal moment $M_{\text{nom}} = 9550 P_{\text{nom}} / n_{\text{nom}} = 6,97 \text{ kN} \cdot \text{m}.$

Maksimal moment esa $\sin \theta = 1$ qiymatda bo'ladi, $M_{\text{max}} = 3 \cdot 9550 E_0 U / n_2$. Bu formulaga berilgan parametrlarni qo'yib, $M_{\text{max}} = 3 \cdot 670 \cdot 660 \cdot 9550 / 1000 \cdot 1 = 12700 \text{ N} \cdot \text{m}$ ni topamiz. Burchak xarakteristikasi $M = 12,7 \sin \theta$ ko'rinishga ega. Masalan, nominal momentda $M = M_{\text{nom}}$ bo'lganda $\sin \theta = 0,55$ va $\theta = 33,3^\circ$.

8.21. Rotori qisqa tutashtirilgan va kuchlanishi 380/220 V bo'lgan 4 A tipli asinxron motor uchun jadvalda berilganlardan foydalanib, quyidagilarni bajaring:

1) manbaning kuchlanishi $U_{\text{nom}} = 220 \text{ V}$ bo'lganda motor chulg'amlarini ulash sxemasini tanlang va uni chizing;

2) magnit maydonining aylanish tezligi, sirpanish, nominal va ishga tushirish toki, juft qutblar soni hamda statordagi g'altaklar sonini toping;

3) nominal, ishga tushirish va maksimal momentlarni hisoblang hamda mexanik xarakteristikani quring.

$P_{\text{nom}},$ kVt	$n_{\text{nom}},$ ayl/min	η	$\cos \varphi_{\text{nom}}$	k_1	$\mu_{\text{ish.t}}$	λ
4,0	960	0,82	0,81	6,0	2,0	2,5

Yechish. Manbaning kuchlanishi 220 V bo'lgani uchun motor chulg'amlari «Δ» usulda ulanadi.

Magnit maydonining aylanish tezligi rotorning nominal tezligi $n_{\text{nom}} = 960 \text{ ayl/min}$ dan katta bo'lishi kerak. Shuning uchun $n_1 > n_{\text{nom}}$ ni tanlab olamiz, demak, $n_1 = 1000 \text{ ayl/min}$ bo'ladi.

Qutblar soni $p = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3$; g'altaklar soni $N = p \cdot 3 = 3 \cdot 3 = 9$ ta;
sirpanish va sirpanishning o'zgarishi:

$$s_{\text{nom}} = \frac{n_1 - n_{\text{nom}}}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04;$$

$$s_{\text{nom}} \% = s_{\text{nom}} \cdot 100 \% = 0,04 \cdot 100 \% = 4 \% ;$$

$$n_s = n_1 - n_{\text{nom}} = 1000 - 960 = 40 \text{ ayl/min.}$$

Nominal tok:

$$I_{\text{nom}} = \frac{P_{\text{nom}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{nom}} \cdot \cos \varphi_{\text{nom}} \cdot \eta_{\text{nom}}} = \frac{4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,82} = 15,8 \text{ A.}$$

Ishga tushirish toki $I_{\text{ish.t}} = I_{\text{nom}} \cdot k_1 = 15,8 \cdot 6 = 94,8 \text{ A.}$

Motoring nominal momenti:

$$M_{\text{nom}} = 9550 \frac{P_{\text{nom}}}{n_{\text{nom}}} = 9550 \frac{4}{1000} = 38,2 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Maksimal moment

$$M_{\text{max}} = \lambda \cdot M_{\text{nom}} = 2,5 \cdot 38,2 = 95,5 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Ishga tushirish momenti

$$M_{\text{ish.t}} = \mu_{\text{ish.t}} \cdot M_{\text{nom}} = 2 \cdot 38,2 = 76,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

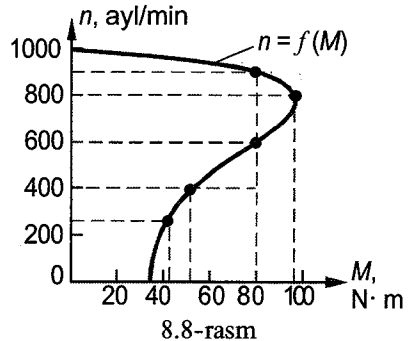
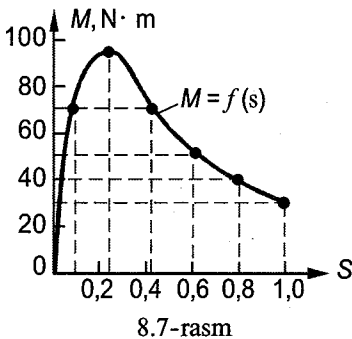
Sirpanishning kritik qiymati:

$$s_{\text{kr}} = s_{\text{nom}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,04 (2,5 + \sqrt{(2,5)^2 - 1}) = 0,2.$$

Motoring mexanik xarakteristikasini quyidagi formula yordamida quramiz: $M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{s/s_{\text{kr}} + s_{\text{kr}}/s}$; $n_2 = n_1(1-s)$. $M = (s)$ va $n_2 = f(M)$ grafiklarini quramiz (8.7-rasm va 8.8-rasm).

s	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
M	0	76,4	95,5	76,4	57,3	44,9	36,7
n_2	1000	900	800	600	400	200	0

8.22. Massasi $m = 3000 \text{ kg}$ bo'lgan transport lifti $U_1 = 380 \text{ V}$ li tarmoqqa ulangan. FIK $\eta = 60\%$ bo'lgan elektr motor yordamida harakatga keltiriladi. Agar lift $t = 49 \text{ s}$ davomida $h = 50 \text{ m}$ balandlikka ko'tarilsa,



bajarilgan foydali A_f ish, motor validagi P_2 , iste'mol P_1 quvvatlari, sarf qilingan W elektr energiya, motorning iste'mol toki I topilsin. Agar elektr energiyaning narxi $B = 15 \frac{\text{so'm}}{\text{kVt} \cdot \text{soat}}$ bo'lsa, liftni bir marta ko'tarilishi uchun sarf qilingan elektr energiya necha so'm turadi?

Yechish. Liftni h balandlikka ko'tarishda bajarilgan foydali ish uning olgan $W_h = mgh$ potensial energiyasiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$A_f = mgh = 3 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 50 = 1,47 \cdot 10^6 \text{ J} = 1,47 \text{ MJ}.$$

Motor validagi foydali quvvat:

$$P_2 = \frac{A_f}{t} = \frac{147 \cdot 10^4}{49} = 30 \cdot 10^3 \text{ Vt} = 30 \text{ kVt}.$$

Elektr motorning iste'mol quvvati esa:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{30 \cdot 10^3}{0,6} = 50 \cdot 10^4 \text{ Vt} = 50 \text{ kVt}.$$

Sarf bo'lgan elektr energiya:

$$W = Pt = 50 \text{ kVt} \cdot 49 \text{ s} = 2450 \text{ kVt} \cdot \text{soat} = \frac{2450}{3600} \text{ kVt} \cdot \text{soat} = 0,68 \text{ kVt} \cdot \text{soat}.$$

Liftning bir chiqishida sarf bo'lgan elektr energiyaning narxi $B \cdot W = 15 \cdot 0,68 = 10,2$ so'm bo'ladi.

8.23. Uch fazali asinxron motorning ta'mirlashdan keyin rotor va statori orasidagi havo tirqishi kengaysa, uning salt ishlash toki I_0 va quvvat koeffitsienti $\cos \phi$ qanday o'zgaradi?

Yechish. Motor ta'mirlanganda rotorning sirti tokarlik stanogida silliqalanadi (shlifovkalanadi), shuning oqibatida rotor va stator orasidagi havo tirqishi kengayadi. Agar stator chulg'aming aktiv va induktiv qarshiliklari hisobga olinmasa, quyidagicha yozish mumkin:

$$U = E = 4,44 w f B S k_{01},$$

bunda w — stator chulg'aming o'ramlar soni; f — chastota; B — havo

tirqishidagi magnit induksiya; S – havo tirqishining yuzi; k_{01} – tirqish kengligini hisobga olish koeffitsienti.

Ifodadan ko‘rinib turibdiki, magnit induksiya tirqish kengligiga bog‘liq emas.

Motorning magnitlanish toki to‘liq tok qonuni asosida aniqlanadi:

$$H_{po1}l_{po1} + H_0l_0 = I_\mu w_1.$$

Bundan:

$$I_\mu = \frac{H_{po1}l_{po1} + H_0l_0}{w_1}.$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, l_0 havo tirqishi kengaysa, motorning I_μ magnitlanish toki ko‘payadi.

Binobarin, $I_0 = \sqrt{I_\mu^2 + I_a^2}$ salt ishlash toki ham ko‘payadi.

Motorning quvvat koeffitsienti va reaktiv quvvati:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}; \quad Q = I_\mu U.$$

Salt ishlash toki ko‘paygani uchun, reaktiv quvvat ham ko‘payadi, motorning quvvat koeffitsienti esa kamayadi. Havo tirqishi kengaysa, magnit oqimining sochilishi ko‘payadi, bu esa motorning quvvat koeffitsientini kamaytiradi.

8.24. Asinxron motorning aylantirish momenti 500 N·m. Rotorning aylanish chastotasi 1440 ayl/min bo‘lsa, motor validagi quvvat aniqlansin.

8.25. Asinxron motorning rotori 1440 ayl/min chastota bilan aylanadi. Tarmoqdan olinayotgan quvvat 55 kVt. Agar motordagi quvvat isrofi 5 kVt bo‘lsa, uning validagi quvvatni va aylantirish momentini aniqlang.

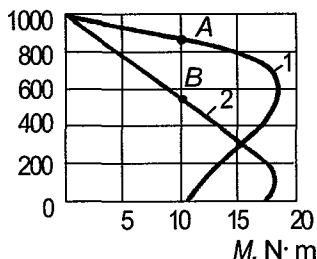
8.26. Faza rotorli uch fazali asinxron motor tarmoqdan $P_1 = 28$ kVt quvvat oladi, tok $I_1 = 140$ A, kuchlanish 220 V. Agar motor validagi quvvat $P_2 = 23,4$ kVt bo‘lsa, uning FIK va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ni aniqlang.

8.27. Asinxron motor rotorining aylanish chastotasi 980 ayl/min. Motorning iste‘mol quvvati 20 kVt, yalpi isrof esa 1,5 kVt. Agar juft qutblar soni $p = 3$ va kuchlanish chastotasi $f_1 = 50$ Gs bo‘lsa, motor sirpanishini va FIK ni toping.

8.28. Rotorning aylanish chastotasi 2800 ayl/min, sinxron aylanish chastotasi 3000 ayl/min ga teng bo‘lgan motor sirpanishini aniqlang.

8.29. Motorning mexanik xarakteristikasida A va B nuqtalarga mos keladigan ikkita rejim uchun sirpanishlar aniqlansin. (8.9-rasm).

8.30. O‘rta quvvatli qisqa tutashtirilgan



8.9-rasm

rotorli asinxron motorni ishga tushirish vaqtida uning stator chulg'omini yulduz usuldan uchburchak usulga o'zgartirildi (8.10-rasm). Ishga tushirish toki va ishga tushirish momenti necha barobar o'zgariishi topilsin.

8.31. Asinxron motorning shchitida nominal aylanish chastotasi 730 ayl/min ko'rsatilgan. Kuchlanish chastotasi 50 Gs bo'lsa, rotor sirpanishi va statorning juft qutblar soni aniqlansin.

8.32. Asinxron motor statorining faza o'ramlari soni $w_1 = 70$, rotorniki esa $w_2 = 40$. Chulg'am ko'effitsientlari mos ravishda $k_{w1} = 0,95$ va $k_{w2} = 0,97$.

a) rotorni qo'zg'almas holda; b) rotor sirpanishi 2,2% bo'lganda motorning stator va rotor fazalari chulg'amlaridagi EYuK hisoblansin. Magnit oqimi 0,015 Vb, tarmoq chastotasi 50 Gs.

8.33. Faza kuchlanishi 220 V va chulg'amlari uchburchak usulda ulangan asinxron uch fazali motorni liniya kuchlanishi 380 V bo'lgan tarmoqqa ulash kerak. Bunday ulashning eng sodda amaliy usuli topilsin.

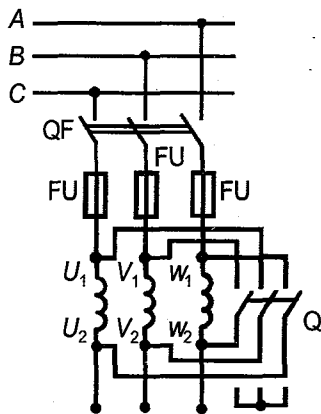
8.34. Agar asinxron motorning maksimal va nominal momentlari nisbati $M_{\max}/M_{\text{nom}} = 1,7$, nominal sirpanishi 3,3% bo'lsa, kritik sirpanish s_{kr} aniqlansin.

8.35. Rekuperativ tormozlashda motor valiga $M_r = -150 \text{ N} \cdot \text{m}$ moment qo'yilgan va u $n_2 = 750$ ayl/min chastota bilan aylanyapti. Agar generator rejimida FIK $\eta = 85\%$ bo'lsa, motor validagi quvvat va tarmoqqa qayta berilayotgan quvvat aniqlansin.

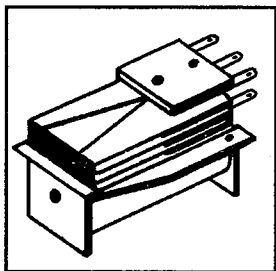
8.36. Chulg'amlari yulduz usulda ulangan sinxron motorning nominal toki 150 A, kuchlanishi 660 V va valdagi quvvati 130 kVt. Agar FIK $\eta = 94\%$ bo'lsa, motorning tarmoqdan olayotgan quvvati va quvvat ko'effitsienti aniqlansin.

8.37. Sinxron motorni asinxron motor kabi ishga tushirishda uning qo'zg'atish chulg'ami nima uchun R_{yur} rezistorga (8.6-rasm) ulanadi?

8.38. Sinxron motorning mis simli stator chulg'ami xuddi shunday ko'ndalang kesimli va uzunlikdagi alumin sim bilan almashtirilsa, undagi elektr quvvat isrofi necha barobar ortadi?



8.10-rasm



9-BOB

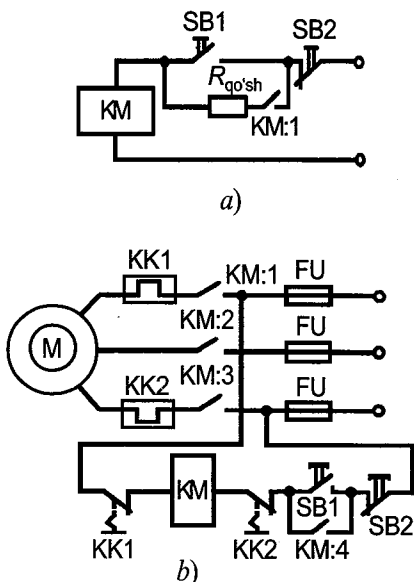
Elektr apparatlar

9.1. DASTAKI VA AVTOMATIK BOSHQARILADIGAN APPARATLAR

Toki 10 A dan oshmaydigan kichik quvvatli zanjirlarda *dastaki apparatlardan* foydalaniladi. Quvvati kattaroq iste'molchilarni ulab uzish uchun esa (pichoq soniga qarab) bir, ikki, uch qutbli *rubilniklar* qo'llaniladi.

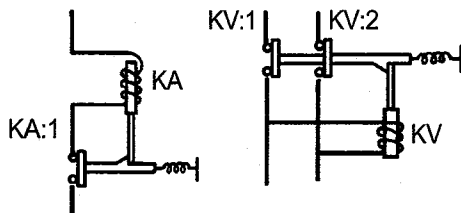
Quvvatli qurilmalar va elektr motorlarni kommutatsiya qilish uchun *kontaktorlar* (9.1-a rasm) va *magnitli ishga tushirgichlar* ishlatiladi (9.1-b rasm). Kontaktorlarda ishga tushiradigan *knopka* SB1 qo'l bilan bosilganda rele qo'shimcha kontaktlari tutashib, blokirovkalanadi va uni qo'yib yuborgandan keyin zanjir ulanib tura-veradi. Zanjirni uzish uchun knopka (tugma) SB2 bosiladi (9.1-a, rasm).

Magnit ishga tushirgichning KM chulg'ami bosh kontaktga uchta: KM:1; KM:2 va KM:3 hamda qo'shish knopkasini blokirovka qiladigan KM:4 qo'shimcha kontaktga ega. Motorni himoyalash uchun *issiqlik relelari* KK1 va KK2 o'rnatiladi. Ularning KK1 va KK2 kontaktlari magnit ishga tushirgichning KM chulg'amini ajratadigan qilib ulanadi (9.1-b rasm). Elektr qurilmalarni qisqa tutashish toklaridan himoya qilish uchun odatda *eruvchan saqlagichlardan* (FU) foydalaniladi, uzoq davom etadigan o'ta yuklanishlarda avtomatik uzgichlar (*avtomatlar*) o'rnatiladi. Avtomatlar qo'llanishiga qarab ularga zanjirni uzuvchi turli ajratgichlar (*rassepitelar*)



9.1-rasm

o'rnatilishi mumkin. Masalan, 9.2-a rasmda tok belgilangan qiymatdan oshib ketganda ishga tushadigan *maksimal tok avtomati*, va 9.2-b rasmda *minimal kuchlanishli avtomat* keltirilgan. Bu avtomat kuchlanish belgilanganidan kichik bo'lganda qurilma elektr zanjirini uzadi.



9.2-rasm

9.2. ELEKTR ZANJIRNI UZUVCHI AVTOMATLAR

Eruvchan saqlagichning nominal toki quyidagi tengsizlikka ko'ra olinadi:

$$I_{er.s} \geq I/\alpha, \quad (9.1)$$

bunda I — yuklamaning maksimal toki, ya'ni motorning ishga tushirish toki; α — yuklamaning ishlatish sharoitiga bog'liq koeffitsient.

Yakka motor uchun tok uning ishga tushirish tokiga teng, bir necha motorni ta'minlaydigan liniya uchun tok quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$I_{ish.t} = I_{ish.t. max} + \sum I_{nom}, \quad (9.2)$$

bunda $I_{ish.t. max}$ — quvvati eng katta motorning ishga tushirish toki; $\sum I_{nom}$ — qolgan motorlar nominal toklarining yig'indisi. Motorning ishga tushirish davomiyligi 8 s gacha bo'lsa, α_t koeffitsient qiymatini 2,5; agar davomiylilik ko'proq bo'lsa, $\alpha_t = 1,6 \div 2$ olinadi.

Eruvchan saqlagichning ishlash vaqti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$t \leq \alpha_t S^2 / I_{q.t}^2, \quad (9.3)$$

bunda S — simning ko'ndalang kesim yuzi, mm^2 ; $I_{q.t}$ — qisqa tutashish tok kattaligi, A; α_t — o'zgarmas koeffitsient, mis uchun $140 \text{ s} \cdot \text{A}^2/\text{mm}^4$ va alumin uchun $\alpha_t = 95 \text{ s} \cdot \text{A}^2/\text{mm}^4$.

Eruvchan saqlagich toki bilan ruxsat etiladigan tok orasida quyidagi munosabat bo'lishi shart:

$$I_{er.s} \leq 3I_{rux.et}.$$

Issiqlik uzgich ajratgichi (rassepitel)ning nominal $I_{nom. u.}$ tokini liniya-ning hisoblangan davomiy toki $I_{dav.t.}$ bo'yicha tanlab olinadi:

$$I_{nom. u.} \leq I_{dav.t.}$$

Masalalar

9.1 Kontaktorning yakori va o'zagi orasidagi havo tirqishi 4 mm bo'lganda uning ishlashi uchun 50 N kuch kerak. Agar qutblar yuzi $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$,

chulg'amning o'ramlari soni $w = 500$ bo'lsa va magnit o'tkazgich qarshiligi hisobga olinmasa, chulg'amdan o'tishi kerak bo'lgan tok aniqlansin.

Yechish. Elektromagnit hosil qiladigan kuch $F = 4 \cdot 10^5 \cdot B^2 S$ yoki $F = 4 \cdot 10^5 w^2 I^2 / R_\mu^2 S$ formula bo'yicha aniqlanadi. Havo tirqishi nisbatan katta bo'lganda butun zanjirning magnit qarshiligi sifatida faqat havo tirqishining qarshiligini hisobga olish yetarli, ya'ni $R_\mu = 2d_0 / \mu_0 S$.

Magnit qarshilikni dastlabki formulaga qo'yib, magnit zanjir uzoq bo'lgan holat uchun elektromagnit kuchni hisoblaymiz:

$$F = 4 \cdot 10^5 (4\pi \cdot 10^{-7})^2 \mu_r^2 S w^2 I^2 / (2\delta_0)^2 = 1,6 \cdot 10^{-7} w I^2 / \delta_0^2.$$

Bu formuladan kerakli tok topiladi.

$$I = \frac{\delta_0}{w} \sqrt{\frac{f}{1,6 \cdot 10^{-7} \cdot S}} = \frac{0,02}{500} \sqrt{\frac{50}{1,6 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}} = 10 \text{ A}.$$

9.2. Uzgich kontaktlari oksidlanganda kontakt qarshilik 0,01 dan 0,2 Om gacha o'zgardi. Elektr zanjir 6 A tok bilan kommutatsiyalanayotgan bo'lsa, kontaktlarda ajralayotgan quvvat aniqlansin.

9.3. Kontaktor qo'shilganidan so'ng uning toki yakorni ushlab tura-digan darajadagi tok bilan chegaralanadi (9.1-a rasm). Agar ushlab turish toki I_{ush} va ishga tushirish toki $I_{ish.t}$ nisbatlari $I_{ush}/I_{ish.t} = 0,5$ bo'lsa, g'altakdagi quvvat isroflari necha baravar kamayadi?

9.4. Uch fazali asinxron qisqa tutashtirilgan rotorli motorni boshqarish sxemasi qanday ishlashini tushuntirib bering (9.1-b rasm). SB1 va SB2 knopkalar bosilgandagi holatlar uchun sxemaning ishlashini bayon eting.

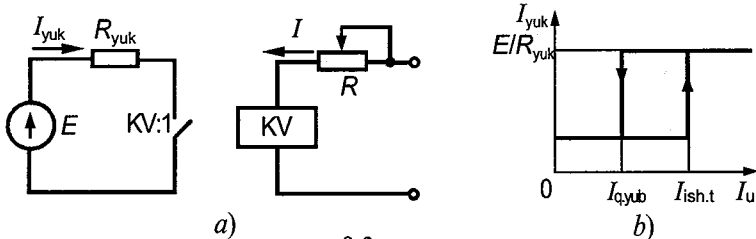
9.5. Eruvchan saqlagichdan 20 A tok o'tganda zanjir 2 s da uziladi. Qanday toklarda saqlagich 0,1; 0,5 va 1 s da erib ketadi?

9.6. Hisoblangan toklari 11,5; 21 va 30 A bo'lgan avtomat issiqlik uzgichining belgilangan tok qiymatlarini aniqlang.

9.3. ELEKTROMAGNIT VA ELEKTRON RELELAR

Relening eng sodda ulanish sxemasi va uning xarakteristikasi 9.3-rasmda keltirilgan. Rele qaytarish k_{qayt} va quvvatni boshqarish $k_{quv.b}$ koeffitsientlari bilan xarakterlanadi.

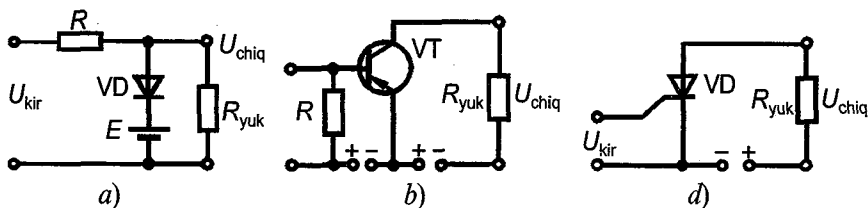
$$k_{qayt} = I_{q.yub} / I_{ish.t}; \quad k_{quv.b} = R_{bosh} / R_{ish.t} \quad (9.4)$$



9.3-rasm

bunda $I_{q.yub}$, $I_{ish.t}$ — chulgʻamdagi qoʻyib yuborish va ishga tushirish toklari;
 R_{bosh} , $R_{ish.t}$ — relening boshqarish va ishga tushirish quvvatlari.

Yarim oʻtkazgichli kalit turlari 9.4-rasmda keltirilgan.



9.4-rasm

Elektron relelar elektrotexnik qurilmalarning mantiqiy sxemalarida ham qoʻllaniladi.

Masalalar

9.7. Elektromagnit rele magnit oʻtkazgichining magnit singdiruvchanligi $\mu_r = 100$ boʻlgan materialdan yasalgan. Rele gʻaltagi $w = 250$ oʻramga ega, magnit oʻzagining oʻrtacha uzunligi $l = 0,05$ m va aktiv yuzi $S = 2 \cdot 10^{-4}$ m². Agar relening ishga tushirish toki $I_{ish.t} = 0,5$ A boʻlsa, releni ushlab turish kuchi va havo tirqishi $\delta = 1$ mm boʻlganda yakorning minimal tortish kuchini aniqlang.

Yechish. Elektromagnit hosil qiladigan kuch quyidagi formula boʻyicha aniqlanadi:

$$F = 4 \cdot 10^5 w^2 P / R_\mu S.$$

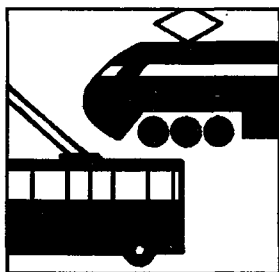
Rele berk boʻlganda magnit qarshilik R_μ magnit sistemaning magnit singdiruvchanligi bilan aniqlanadi, yaʼni $R_\mu = l / \mu_r \mu_0 S$. Bu ifodani dastlabki formulaga qoʻyamiz: $F = 6,4 \cdot 10^{-6} \mu_r^2 S w^2 I^2 / l^2 = 6,4 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \times 250^2 \cdot 0,25 / 2,5 \cdot 10^{-4} = 80$ N.

Rele ochiq boʻlgan holatda magnit qarshilik asosan havo tirqishi bilan aniqlanadi: $R_\mu = 2\delta_0 / \mu_0 S$. Bu ifodani dastlabki formulaga qoʻyamiz:

$$F = 1,6 \cdot 10^{-7} S w^2 P / \delta_0^2 = 1,6 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 250^2 \cdot 0,25 / 10^{-6} = 0,52$$
 N.

Demak, havo tirqishi kattalashgan sari relening tortish kuchi keskin kamayar ekan.

9.8. Oʻzgarmas tok elektromagnit relesi gʻaltagining aktiv qarshiligi 100 Om, induktivligi $L = 1$ Gn. Agar ishga tushirish kuchlanishi 24 V boʻlsa, gʻaltakning toki va aktiv quvvati aniqlansin. Elektromagnit relening ishga tushirish vaqti topilsin.



10-BOB

Elektr yuritma va elektroavtomatika

10.1. ELEKTR YURITMA VA UNING ISH REJIMLARI

Elektr yuritmada motor validagi M_m aylantirish momenti statik M_{st} , ishga tushirish va tormozlashda paydo bo'ladigan dinamik moment M_{din} dan iborat

$$M_m = M_{st} \pm M_{din} = M_{st} \pm J\Delta\omega/\Delta t, \quad (10.1)$$

bunda J – massa va aylanuvchi detallarning inersiya radiusiga bog'liq *inersiya momenti*, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$, $\Delta\omega/\Delta t$ – elektr motor valining *burchak tezlanishi*, rad/s^2 . Mexanik sistemadagi barcha harakatlanuvchi qismlarning motor o'qiga keltirilgan inersiya momenti:

$$J = mr_{in}^2 = GD^2/4g, \quad (10.2)$$

bunda G – jismning og'irligi; $D = 2r_{in}$ (r_{in} – inersiya radiusi); $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – erkin tushish tezlanishi.

10.2-formuladagi $GD^2 = 4gJ$ – kattalik *siltash momenti* deb ataladi. Uning qiymati har bir motor qo'zg'aluvchi qismi uchun ma'lumotnomalarda keltiriladi va bu kattalik o'zgarmas bo'ladi,

$$M_m = M_{st} \pm \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t}, \quad (10.3)$$

bunda $\Delta n = 9,55\Delta\omega$ – elektr motor vali aylanish chastotasining o'zgarishi, ayl/min .

Aylanma harakatda mexanizmning M_{mex} qarshilik momentini elektr motor validagi qarshilik momentiga keltirish quyidagi formula bilan bajariladi:

$$M_{q.m} = \frac{M_{mex}}{i\eta}, \quad (10.4)$$

bunda $M_{q.m}$ – mexanizm validagi qarshilik momenti, $\text{N} \cdot \text{m}$; $i = \omega_m/\omega_{mex}$ – mexanik uzatma (reduktor) ning uzatish soni; η – mexanik uzatmaning FIK. Ilgarilama harakatda motor valiga keltirilgan mexanizmning qarshilik momenti esa:

$$M_{q.m} = F v / \omega_m \cdot \eta,$$

bunda F – mexanizm kuchi, N; v – ilgarihlama harakatning tezligi, m/s, ω_m – motor valining burchak tezligi.

Masalalar

10.1. 4A132M6 rusumli asinxron motorli elektr yuritmaning ishga tushirish vaqti aniqlansin. $P_{nom} = 7,5$ kVt, $n_{nom} = 970$ ayl/min, $M_{ish.t} = 1,2 M_{nom}$; $M_{max} = 2 M_{nom}$. Motorni ishga tushirishda valdagi qarshilik momenti $M_{q.m} = 60$ N·m, motor valiga keltirilgan inersiya momenti $J = 0,058$ kg·m². Ishga tushirishdagi oʻrtacha moment $M_{o.r} = (M_{ish.t} + M_{q.m})/2$.

Yechish. Motorning nominal, ishga tushirish va maksimal momentlari:

$$M_{nom} = 9,55 \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \frac{7500}{970} = 73,5 \text{ N} \cdot \text{m}; M_{ish.t} = 1,2 M_{nom} = 89 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$$M_{max} = 2 M_{nom} = 147 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Motorning ishga tushirishdagi oʻrtacha momenti

$$M_{o.r} = \frac{89+147}{2} = 118 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Elektr yuritmaning ishga tushirish vaqti

$$t_{ish.t} = \frac{J \omega_{nom}}{M_{o.r} - M_{qm}} = \frac{0,058 \cdot 970}{9,55(118-60)} = 0,1 \text{ s}.$$

10.2. Elektr yuritma motori validagi oʻzgaras qarshilik momenti 13 N·m ga teng, aylanuvchi massalarning inersiya momenti $J = 0,22$ kg·m². Agar $\Delta t = 1$ s vaqtda aylanish chastotasining maksimal qiymati 100 ayl/min dan oshmasa, motor rotori qanday moment hosil qilishi kerak?

10.3. Massasi 45 kg li mexanizmning inersiya radiusi 0,25 m. Agar $\Delta t = 1$ s vaqtda aylanishlar chastotasi 100 ayl/min dan oshmasa, motorning ishga tushirishdagi qarshilik momentining eng katta oʻzgarishi aniqlansin. Oʻzgaras qarshilik momenti 15 N·m.

10.4. Elektr motor valida nominal quvvat 1,1 kVt, nominal aylanish chastotasi $n_{nom} = 950$ ayl/min. Agar yuklamaning oʻzgaras qarshilik momenti 23; 34,5; 46 N·m boʻlsa, reduktor (uzatgich) qanday uzatish koeffitsientiga ega boʻlishi kerak? Reduktorning FIK 0,96. Har bir holda aylanish chastotasi aniqlansin.

10.5. Massasi 1000 kg boʻlgan yukni koʻtarish uchun elektr motor validagi statik moment aniqlansin. Koʻtarish tezligi 1 m/s, mexanizm FIK $\eta = 0,85$, motorning nominal aylanish chastotasi $n_{nom} = 960$ ayl/min.

10.2. ELEKTR YURITMA UCHUN ELEKTR MOTOR TANLASH

Elektr motor tanlash faqat $P_m = M_m n / 9,55$ formulaga emas, balki ishlash rejimining xarakteri (ko'p hollarda davomli, qisqa muddatli va qisqa muddatli takrorlanuvchi rejimlar) ga ham bog'liq bo'ladi. Elektr motorning ishlash rejimi o'zgaruvchan yuklamada davomli bo'lsa, uning quvvati quyidagi shart bo'yicha tanlanadi:

$$P_m = P_{o'r} \geq \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (10.5)$$

bunda t_i – motorning P_i quvvat bilan ishlash vaqti; $P_{o'r}$ – o'tacha quvvat.

Qisqa muddatli takrorlanuvchi rejimda motorning quvvati quyidagi ifodadan topiladi:

$$P_m \geq P_{o'r} \sqrt{ID/SD}. \quad (10.6)$$

Bunda $ID = t_{ish}/t_{siki}$ – motorning haqiqiy ishlash davomiyligi, SD – standart davomiylilik bo'lib, u 15; 25; 40 va 60% ga teng.

Keng tarqalgan *texnologik uskunalar* uchun elektr motor quvvati quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

1. Ish xarakteri aylanuvchi bo'lgan *metall kesish stanoklari* uchun motor quvvati:

$$P_m = M n / 9,55 i \eta, \quad (10.7)$$

bunda M – stanok shpindelidagi aylantiruvchi moment; n – shpindelning aylanish chastotasi; i – uzatish koeffitsienti; η – mexanik uzatishning FIK.

2. Ishlash harakati ilgari lama bo'lgan *randalovchi stanoklar* uchun motor quvvati:

$$P_m = F_{o'r} S v / \eta. \quad (10.8)$$

Bunda $F_{o'r}$ – randalashdagi solishtirma qarshilik, N/m; S – qirindining ko'ndalang kesim yuzi, v – randalash tezligi; η – mexanik uzatgichning FIK.

3. *Markazdan qochma ventilyator* yuritmasi uchun motor quvvati:

$$P_m = Q p / \eta. \quad (10.9)$$

Bunda Q – havoning hajmi, m³/s; p – bosim, Pa; η – yuritmaning FIK.

4. *Nasos yuritmasining* quvvati:

$$P_m = \rho g Q (H + \Delta H) / \eta, \quad (10.10.)$$

bunda Q – nasosning ish unumdorligi m³/s; ρ – havo yoki suyuqlikning solishtirma massasi, kg/m³; H – bosim balandligi, m; ΔH – magistralda bosim pasayishi; $g = 9,81$ m/s² – erkin tushish tezlanishi.

5. Ko'taruvchi uskunalar va kranlar yuritmasining quvvati:

$$P_m = v(G_{yuk} + G_{k.m} - G_{bost.})/\eta = v \cdot G/\eta \quad (10.11)$$

bunda v — yuk ko'tarish tezligi, m/s; G_{yuk} , $G_{k.m}$, $G_{bost.}$ — mos ravishda foydali yuk, ko'tarish mexanizmi va bostirma massalari, kg.

6. Transportyor va konveyer yuritmalarning quvvati:

$$P_m = F v / \eta$$

Bunda F — tortish kuchi, N; v — lentalarining yoki telejkalarining tezligi, m/s.

Masalalar

10.6. Qisqa muddatli takrorlanuvchi rejim bilan o'zgaradigan yuklama uchun asinxron motorning kerakli quvvati aniqlansin. Rejim quyidagi kattaliklar bilan tavsiflanadi: $t_1 = 4$ s; $t_2 = 18$ s; $t_3 = 13$ s; $t_0 = 85$ s; $M_1 = 600$ N · m; $M_2 = 250$ N · m; $M_3 = 150$ N · m. Elektr motorning aylanish chastotasi $n_{nom} = 730$ ayl/min.

Yechish. Ekvivalent momentni quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^3 t_i}} = \sqrt{\frac{600^2 \cdot 4 + 250^2 \cdot 18 + 150^2 \cdot 13}{4 + 18 + 13}} = 300 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Yuklanish diagrammasidan motorning ishlash davomiyligini topamiz:

$$ID = \frac{\sum t_i}{\sum t_i + t_0} = \frac{4 + 18 + 13}{4 + 18 + 13 + 85} \cdot 100 = 29\%.$$

Yuklanish diagrammasining ekvivalent quvvatini topamiz:

$$P_{ekv} = \frac{M_{ekv} \cdot n_{nom}}{9,55} = \frac{300 \cdot 730}{9,55} \cdot 10^{-3} = 23 \text{ kVt}.$$

Ekvivalent quvvatni eng yaqin standart qiymatga keltiramiz. Ish davomiyligi $ID = 25\%$ bo'lganini hisobga olsak:

$$P = P_{ekv} \sqrt{\frac{ID}{SD}} = 23 \cdot \sqrt{\frac{29}{25}} = 25 \text{ kVt}.$$

10.7. Davomli o'zgaruvchan yuklanish rejimida ishlaydigan mexanizm uchun qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning ekvivalent quvvati aniqlansin va mexanizm uchun elektr motor tanlansin. Yuklanish diagrammasida $P_1 = 40$ kVt, $t_1 = 15$ s; $P_2 = 20$ kVt, $t_2 = 10$ s; $P_3 = 30$ kVt, $t_3 = 15$ s; $P_4 = 10$ kVt, $t_4 = 10$ s; $P_5 = 25$ kVt, $t_5 = 15$ s. Elektr motor aylanish chastotasi $n_{nom} = 960$ ayl/min bo'lishi lozim.

Yechish. Ekvivalent quvvatni aniqlaymiz:

$$P_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4 + P_5^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} \approx 29,2 \text{ kVt.}$$

Bir sikl davomida ishlash vaqti $t_s = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 65 \text{ s.}$

Katalogdan ushbu mexanizm uchun AO2-816 markali quvvati 30 kVt bo'lgan elektr motor tanlanadi. Bu motor uchun: $\eta_{\text{nom}} = 0,9$; $\cos \varphi_{\text{nom}} = 0,9$; $n_{\text{nom}} = 960 \text{ ayl/min}$; o'ta yuklanish qobiliyati $\lambda = M_m / M_{\text{nom}} = 2,0$; $M_{\text{ish.t}} / M_{\text{nom}} = 1,2$; $I_{\text{ish.t}} / I_{\text{nom}} = 7$.

Motorning nominal aylantiruvchi momenti:

$$M_{\text{nom}} = 9,550 \cdot \frac{P_{\text{nom}}}{n_{\text{nom}}} = 9,550 \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{960} = 298,4 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Maksimal momenti: $M_m = 2,0 M_{\text{nom}} = 596,8 \text{ N} \cdot \text{m.}$

Maksimal statik momenti:

$$M_{\text{st}} = 9,55 \frac{P_{1k}}{n_k} = 9,55 \frac{33 \cdot 10^3}{960} = 328 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

O'ta yuklanish qobiliyati bo'yicha berilgan mexanizm uchun elektr motor to'g'ri tanlanganligini tekshiramiz: $0,9 M_{\text{max}} = 0,9 \cdot 596,8 = 537 > M_{\text{st}} = 328 \text{ N} \cdot \text{m.}$ Demak, elektr motor to'g'ri tanlangan.

10.8. Gaz bosimini $H = 70 \text{ N/m}^2$ va uning sarfmi $Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ ta'minlovchi ventilyator elektr yuritmasi uchun asinxron elektr motor tanlang. Ventilyatorning FIK $\eta = 0,52$.

Yechish. Elektr motor quvvatini hisoblaymiz:

$$P = QH/\eta = 18 \cdot 70/0,62 = 2030 \text{ Vt.}$$

Ventilyator uzluksiz ish rejimida ishlagani uchun, elektr motor quvvatini $P_{\text{em}} \geq P$ shart bo'yicha tanlab olamiz. Asinxron elektr motorlar ma'lumotnomasi (katalog) dan nominal quvvati $P_{\text{nom}} = 2,2 \text{ kVt}$, 4A90L4Y3 rusumli qisqa tutashtirilgan rotorh uch fazali asinxron elektr motorni tanlab olamiz.

10.9. Suv sarfi $Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, ko'tarish balandligi $H = 8,2 \text{ m}$, aylanish chastotasi $n = 970 \text{ ayl/min}$, FIK $\eta = 0,67$ bo'lgan nasos uchun elektr motor tanlang.

Yechish. Berilgan pasport kattaliklarida nasos quvvati:

$$P = \frac{\gamma \cdot QH}{\eta} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 8,2}{0,67} = 6833,3 \text{ Vt.}$$

Bunda $\gamma = 1000 \text{ N/m}^3$ – suvning solishtirma og'irligi. Elektr motor quvvatini $P_{\text{em}} \geq P$ shartdan foydalanib, 4A132M6Y3 rusumli $P = 7,5 \text{ kVt}$, $n_{\text{nom}} = 970 \text{ ayl/min}$ uch fazali asinxron motor tanlaymiz.

10.10. Aylanish chastotasi $n = 625 \text{ ayl/min}$ bo'lganda, ventilyatorning aylantiruvchi momenti $M_1 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$ bo'lishi kerak.

Agar ventilyator valining nominal aylanish chastotasi $n_{\text{nom}} = 950 \text{ ayl/min}$

bo'lsa, shu ventilyator uchun elektr motor tanlang. Ventilyator qarshilik momentining aylanish chastotasi bilan bog'liqligi $M_2 = M_1 (n_2/n_1)^2$.

Yechish. Ma'lumki, ventilyator, nasos mexanizmlarining qarshilik momenti aylanish chastotasining kvadratiga proporsional bo'ladi.

Demak, $M_2 = M_1 (n_2/n_1)^2 = 10 \cdot (950/625)^2 = 23 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Elektr motor quvvati $P = \frac{Mn}{9,55} = \frac{23 \cdot 950}{9,55} = 2300 \text{ Vt} = 2,3 \text{ kVt}$. Kato-

logdan 4A112MV6 Y3 rusumli $P_{\text{nom}} = 2,5 \text{ kVt}$, $n_{\text{nom}} = 950 \text{ ayl/min}$, $\text{FIK} = 82\%$, $\cos\varphi = 0,81$ ga teng bo'lgan uch fazali asinxron elektr motor tanlab olamiz.

10.11. Toshkent viloyati "Ramadon" nasos stansiyasida $P = 630 \text{ kVt}$ quvvatli, $n_{\text{nom}} = 950 \text{ ayl/min}$, $\text{FIK} \eta = 0,9$ asinxron motor kanaldagi suvni 20 m ga ko'tarib, shirkat, fermer, dehqon xo'jaliklarining yerlarini sug'oradi. Nasos 1 sekundda qancha suv yetkazib beradi? 1 soatda, 1 sutkada bu suv qancha bo'ladi?

Yechish. $P_{\text{nom}} = \frac{\gamma QH}{\eta_{\text{nom}}}$ formuladan $Q = \frac{P_{\text{nom}} \cdot \eta_{\text{nom}}}{\gamma H} = \frac{630 \cdot 10^3 \cdot 0,9}{10^3 \cdot 20} = 28,35 \text{ m}^3/\text{s}$. 1 soatda suv miqdori $Q = 28,35 \cdot 3600 = 102060,0 \text{ m}^3$; 1 sutkada esa $102060 \cdot 24 = 2449440 \text{ m}^3$.

10.12. Samarqand shahrida ommaviy ishlab chiqarilgan "Sino" rusumli muzlatgich elektr motorining pasport ko'rsatkichlari: $U_{\text{nom}} = 220 \text{ V}$; $I_{\text{nom}} = 1,3 \text{ A}$; $\cos\varphi = 0,6$; $\eta = 0,7$.

Motor o'rta hisobda bir soatda 15 minut manbaga ulanadi. Yillik elektr energiya iste'molini aniqlang, 1 kVt · soat elektr energiyaning narxi 15 so'm tursa, yillik to'lov nechga so'm bo'ladi?

Yechish. To'la quvvat:

$$S = U_{\text{nom}} I_{\text{nom}} = 220 \cdot 1,3 = 286 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Aktiv quvvat:

$$P = S \cos\varphi = 286 \cdot 0,6 = 171,6 \text{ Vt}$$

Motor 1 soat davomida 15 minut ishlashini hisobga olib, bir soatdagi elektr energiya iste'molini hisoblaymiz, $W = Pt = 171,6 \cdot 0,25 = 42,9 \text{ Vt} \cdot \text{soat} = 0,0429 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$. 1 yil 8760 soatga tengligini inobatga olsak, muzlatgichning bir yilda iste'mol qiladigan elektr energiyasi $W_{\text{yil}} = 0,0429 \cdot 8760 = 368,000 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ ekanligi ma'lum bo'ladi. Yillik to'lovni hisoblaymiz: $15 \cdot 368 = 5520 \text{ so'm}$.

10.13. Elektr yuritmaning motori 10 minut davomida $P = 7,5 \text{ kVt}$ quvvat bilan, 35 minut davotida 2,5 kVt quvvat bilan ishladi. Davomli ish rejimi uchun motorning ekvivalent quvvati aniqlansin.

10.14. Elektr yuritmaning motori 10 minut davomida $P = 15 \text{ kVt}$, 1 minut davomida 40 kVt, 5 minut davomida 20 kVt va 4 minut davomida 10 kVt quvvat bilan ishlaydi. Agar sikl 30 minut davom etsa, qisqa muddatli

takrorlanuvchi rejimda ishlaydigan elektr motorning ekvivalent quvvati aniqlansin.

10.15. Elektr motorning nominal parametrlari: $n_{\text{nom}} = 950$ ayl/min; $\eta = 0,95$; $U_{\text{nom}} = 220$ V. U davomli rejimda ishlaydigan elektr yuritmaga o'rnatilgan. Ish rejimi davomiyligi 2 minut bo'lgan 5 sikldan iborat. Yakor toki mos ravishda $I_{\text{ya}} = 40; 30; 20; 30; 40$ A ga teng bo'lganda elektr motorning ekvivalent quvvati topilsin.

10.16. Aylanish chastotasi $n = 1440$ ayl/min, qisqa muddatli takrorlanuvchi rejimda ishlaydigan motorning quvvati aniqlansin. Sikl davomiyligi 30 minut, ish vaqti har birining davomiyligi 5 minutdan bo'lgan 5 bosqichdan iborat va har bir bosqichdagi aylanuvchi moment mos ravishda $M = 50; 20; 30$ va $45 \text{ N} \cdot \text{m}$ ga teng.

10.17. Mexanizm davomli rejimda ishlaydi va ishlash sikli quyidagi parametrlarga ega: $\sum t_i = 30$ s, $t_1 = 4$ s, $t_2 = 20$ s, $t_3 = 6$ s, $M_1 = 250 \text{ N} \cdot \text{m}$, $M_2 = 95 \text{ N} \cdot \text{m}$, $M_3 = 125 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Nominal kattaliklari $P_{\text{nom}} = 15$ kVt, $n_{\text{nom}} = 970$ ayl/min, $M_{\text{max}} = 2M_{\text{max}}$ bo'lgan 4A160M6 rusumli faza rotorh asinxron motor quvvati va momenti bo'yicha shu mexanizmga to'g'ri keladimi?

10.18. Kesish kuchi $F = 2000$ N, arraning o'rtacha tezligi $v = 3$ m/s va FIK $\eta = 0,8$ bo'lgan pilorama uchun elektr motor quvvatini aniqlang.

10.19. Elektr kranning yuk ko'tarishi $G = 1,5$ t, yuk ko'tarish tezligi $v = 0,4$ m/s, $\eta = 0,75$. Kran uchun elektr motor tanlansin.

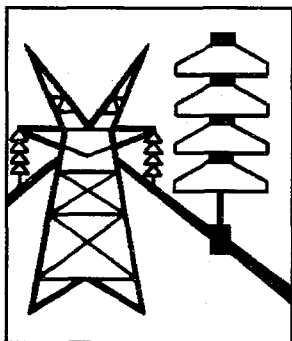
10.20. Parmalovchi stanok shpindelini aylantiruvchi momenti $M_{\text{par}} = 300 \text{ N} \cdot \text{m}$, tezlik qutisi (korobkasi)ning uzatish soni $i = 6$, $n = 40$ ayl/min, $\eta = 0,7$. Stanok uchun elektr motor tanlansin.

10.21. Havo sarfi $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$, bosimi $p = 560$ Pa va FIK $\eta = 0,64$ bo'lgan ventilyator uchun asinxron motorning quvvati tanlansin. Zaxira koeffitsienti $k_z = 1,1$ deb olinsin.

10.22. Ish unumdorligi $Q = 55 \text{ m}^3/\text{soat}$ bo'lgan va suvni $H = 60$ m ga ko'taradigan nasos uchun quvvur suv bosimi aniqlansin. Nasos FIK – 81%.

10.23. Ish unumdorligi $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, ko'tarish balandligi (napor) $H = 12$ m; $\eta = 0,7$. Nasos uchun elektr motor quvvati aniqlansin. Ko'tarilayotgan suyuqlikning solishtirma massasi $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$.

10.24. Massasi 550 kg yukni ko'taradigan ko'taruvchi qurilma elektr motorining quvvati 4 kVt. Agar uzatish moslamalarining FIK lari $\eta_1 = 0,96$ va $\eta_2 = 0,96$ bo'lsa, yuk ko'tarish tezligi aniqlansin.



11-BOB

Elektr energiya ishlab chiqarish, taqsimlash va iste'mol qilish

11.1 ELEKTR ENERGIYANING TAQSIMLANISHI

Kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan uzatish liniyalari (11.1-rasm) *ruxsat etilgan iste'mol tok* bo'yicha quyidagi ifodadan foydalanib hisoblanadi:

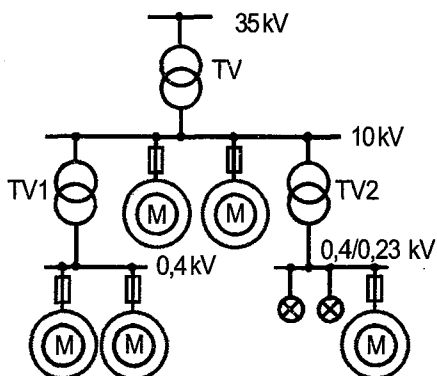
$$k_1 k_2 I_r \geq I_h \quad (11.1)$$

bunda k_1 – havo haroratiga qarab ma'lumotnomalardan olinadigan tuzatma koeffitsient; k_2 – kabel liniyalar uchun kiritiladigan tuzatma koeffitsient, yonma-yon joylashtirilgan kabellarning o'zaro qizishiga qarab olinadi; I_r , I_h – berilgan kesim yuzi uchun mos ravishda ruxsat etilgan va hisoblangan tok. Bundan tashqari, o'tkazgich simining ko'ndalang kesimi *himoyalash shartini* hisobga olgan holda quyidagi ifodadan foydalanib tanlanadi:

$$k_1 k_2 I_r \geq k_3 I_e, \quad (11.2)$$

bunda k_3 – avtomat yoki eruvchan saqlagich turiga bog'liq himoyalash koeffitsienti, I_e – eruvchan saqlagich yoki avtomat ajratgich toki.

Shu tarzda tanlab olingan ko'ndalang kesim yuzi kuchlanish isrofi (5–6,5)% va mexanik mustahkamlik bo'yicha ham tekshiriladi. Kuchlanishi 1000 V dan yuqori bo'lgan uzatish liniyalari *tok yuklamasi* (11.1) formula asosida hamda *kuchlanish isrofi* (havo-dagi uzatish liniyalari uchun 8% gacha, kabel liniyalari uchun 6% gacha) va mexanik mustahkamligi bo'yicha hisoblanadi (alumin sim-



11.1-rasm

lar uchun minimal ko'ndalang kesim yuzi $S = 35 \text{ mm}^2$, po'lat-alumin simlar uchun $- 25 \text{ mm}^2$).

Yuqori kuchlanishli liniyalardan o'tadigan tokning iqtisodiy zichligi va ish toki ta'sirida qizishi, ya'ni termik mustahkamlik bo'yicha hisoblanadi.

Birinchi holda simlarning ko'ndalang kesim yuzi:

$$S = I_{\text{ish}}/\gamma \quad (11.3)$$

bunda I_{ish} — magistral liniyadagi ish toki, γ — ma'lumotnomalardan olinadigan tokning iqtisodiy zichligi, A/mm^2 . Ikkinchi holda simning ko'ndalang kesimi 9-ilovada keltirilgan ma'lumotlardan olinadi.

Qisqa tutashish toklariga bardosh bera oladigan simning ko'ndalang kesim yuzi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$S = I_{\text{q.t}} \sqrt{t/k_s}. \quad (11.4)$$

Bunda t — rassepitel (ajratgich)ning ajratish vaqti, s; k_s — qisqa tutashish toki bo'yicha himoyalash koeffitsienti (mis uchun $140 \text{ A} \cdot \text{s}^{1/2}/\text{mm}^2$ va alumin uchun $95 \text{ A} \cdot \text{s}^{1/2}/\text{mm}^2$).

Uch simli liniyalar uchun kuchlanish isrofi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{\text{ish}} l (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi). \quad (11.5)$$

Bunda l — aktiv R_0 va reaktiv X_0 (Om/km) tashkil etuvchilari bo'lgan liniyaning uzunligi; I_{ish} — ish toki; $\cos \varphi$ — yuklamaning quvvat koeffitsienti.

Ikki simli yoritish yuklamaga mo'ljallangan uzatish liniya uchun kuchlanish isrofi (nominal kuchlanishning foizida) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta U = \frac{2Pl\rho}{U^2 S} \cdot 100\%, \quad (11.6)$$

bunda P — yuklamaning hisoblangan quvvati, Vt ; l — liniyaning uzunligi, m; U — liniyaning kuchlanishi, V; ρ — simning solishtirma qarshiligi, $\text{Om} \cdot \text{m/mm}^2$; S — simning ko'ndalang kesim yuzi, mm^2 .

To'rt simli yoritish yuklamaga mo'ljallangan uzatish liniya uchun kuchlanish isrofi:

$$\Delta U = \frac{Pl\rho}{U^2 S} \cdot 100\%. \quad (11.7)$$

Tanlab olingan simlarning ko'ndalang kesim yuzi hisoblanganidan katta bo'lishi kerak.

Masalalar

11.1. Nominal kuchlanishi 10 kV va quvvati $1600 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan uch fazali transformator havo uzatish liniyasiga ulangan. Shu liniyadagi kuchlanish isrofi 8% dan oshmasligi kerak.

Zanjirda ishlash vaqti 0,5 s va qisqa tutashish toki $160 I_{\text{nom}}$ gacha bo'lgan himoyalash uskunasi o'rnatilgan. Agar tokning iqtisodiy zichligi $\gamma = 1,2 \text{ A/mm}^2$ bo'lsa, uzunligi 1 km qog'oz izolyatsiyali o'tkazgich simlari – aluminiyli kabelning ko'ndalang kesim yuzi tanlansin. Quvvat koefitsienti $\cos \varphi = 1$ va temperatura bo'yicha tuzatma koefitsienti $k_t = 1$.

Yechish. Uzatish liniya simlarining ko'ndalang kesim yuzi tokning iqtisodiy zichligi talablariga javob berishi kerak:

$$S = P/U_{\text{nom}} \gamma = 1600/10 \cdot 1,2 = 133 \text{ mm}^2.$$

Qisqa tutashish toklariga bardosh bera oladigan kesim yuzini 11.4. formula bo'yicha hisoblaymiz:

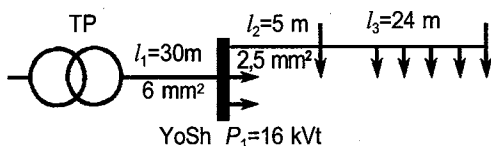
$$S = 160 I_{\text{nom}} \sqrt{t/95} = 160 \cdot 100 \sqrt{0,5/95} = 117 \text{ mm}^2.$$

Masala shartiga ko'ra $\cos \varphi = 1$ bo'lgani uchun $P = S \cos \varphi$ simning ishchi tok $I_{\text{ish}} = P/U_1 = 1600/10 = 160 \text{ A}$ bilan qizishini hisobga olib, uning ko'ndalang kesim yuzini 9-ilovadan foydalanib tanlaymiz: $S = 120 \text{ mm}^2$.

Ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha ko'ndalang kesimni hisoblaymiz: $S = 2Pl \rho / U^2 \Delta U = 2 \cdot 1600 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0,0312/10^8 \cdot 0,08 = 12 \text{ mm}^2$

Qo'yilgan barcha talablarga javob berish uchun hisoblangan kesimlarning eng kattasini tanlash kerak. Eng yaqin standart ko'ndalang kesim yuzi $S = 155 \text{ mm}^2$.

11.2. Umumiy uzunligi 24 m li liniyaga har birining quvvati 160 Vt li yettita lyuminessent yoritgichlar bir-biridan bir xil masofada ulangan. Shu liniya umumiy quvvati 16 kVt li yoritish shchiti (YoSh) orqali transformator podstantsiyasi (TP) ga ulangan. Simlarning kesimi va uzunligi sxemada keltirilgan (11.2-rasm). Yoritgichlarni manbaga ulash uchun ishlatiladigan apparatlardagi quvvat isrofi 25% deb olinsin. Transformator podstantsiyasidan eng so'nggi yoritgichgacha bo'lgan masofada kuchlanish isrofi aniqlansin.



11.2-rasm

Yechish. Ulab-uzgich apparatlaridagi quvvat isrofini hisobga olib, yoritgichlarning quvvatini aniqlaymiz:

$$P = nP_{\text{yor}} \cdot 1,25 = 7 \cdot 0,16 \cdot 1,25 = 1,4 \text{ kVt}.$$

Yoritish shchitidan yoritgich yuklama markazigacha bo'lgan masofa

$$l = l + \frac{l_3}{2} = 5 + \frac{24}{2} = 17 \text{ m}.$$

Shchitdan eng uzoqdagi yoritgichgacha (liniya ikki simli, kesim yuzi $S = 2,5 \text{ mm}^2$) masofada kuchlanish isrofi

$$\Delta U_1 = \frac{2 P I_p \cdot 100\%}{U_f^2 \cdot S} = \frac{2 \cdot 1400 \cdot 17 \cdot 0,0312 \cdot 100\%}{220^2 \cdot 2,5} = 1,25\%.$$

TP dan YoSh gacha uchastkadagi kuchlanish isrofi (kesim yuzi $S = 6 \text{ mm}^2$):

$$\Delta U_2 = \frac{P_{\text{lin}} \cdot 100\%}{U_{\text{lin}}^2 \cdot S} = \frac{1600 \cdot 30 \cdot 0,0312 \cdot 100}{380^2 \cdot 6} = 0,41\%.$$

Natijaviy kuchlanish isrofi $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = (1,25 + 0,41)\% = 1,46\%$.

11.3. Quvvati 210 kV · A bo‘lgan qurilish maydonchasi kuchlanishi 380 V li uch fazali havo liniyasidan ta‘minlanadi. Agar harorat bo‘yicha tuzatma koeffitsienti $k_t = 1$ bo‘lsa, qizishga bardosh bera oladigan simning ko‘ndalang kesim yuzi aniqlansin.

11.4. Hisoblangan 34, 85, 25, 10, 140 A toklar uchun plastmassa trubalardagi to‘rt simli liniya o‘tkazgich simlarining kesim yuzi tanlansin.

11.5. Ishlab chiqarish korxonasining liniyalaridagi qisqa tutashish toki 15000 A gacha oshishi mumkin. Agar himoya uskunasi ishga tushish vaqti 0,5 s bo‘lsa, bu tokka bardosh bera oladigan alumin simning kesim yuzi topilsin.

11.6. Quvvati 150 kVt li yuklama uzunligi 2 km bo‘lgan ikki simli liniya orqali kuchlanishi 1 kV li manbaga ulangan. Kuchlanish isrofi 8 % dan oshmasligi uchun alumin simning ko‘ndalang kesim yuzi aniqlansin.

11.7. Aktiv va reaktiv quvvatlari mos ravishda $P = 40 \text{ kVt}$ va $Q = 30 \text{ kvar}$ bo‘lgan yuklama pol osti kanaliga joylashtirilgan to‘rt simli alumin kabel orqali kuchlanishi 380 V bo‘lgan manbaga ulangan. Kabelning ko‘ndalang kesim yuzi va ruxsat etilgan tok aniqlansin.

11.8. Suvni ko‘tarib beruvchi elektr nasosning elektr motori (quvvati 100 kVt va $\cos\varphi = 0,8$) aktiv qarshiligi $R_0 = 0,92 \text{ Om/km}$ va reaktiv qarshiligi $X_0 = 0,4 \text{ Om/km}$, uzunligi $l = 1,5 \text{ km}$ alumin havo liniya orqali ikkilamchi nominal kuchlanishi $U_{\text{nom}} = 6 \text{ kV}$ bo‘lgan transformatorga ulangan. Nominal kuchlanishga nisbatan kuchlanish isrofi foizlarda aniqlansin.

11.9. Liniyadagi kuchlanishni o‘zgartirish uchun uning boshi va oxiriga transformatsiya koeffitsienti $k = 30$ bo‘lgan transformatorlar ulangan. Transformatsiya koeffitsienti $k = 50$ bo‘lgan transformatorlar o‘rnatilsa, liniyadagi isroflar necha marta kamayadi?

11.2. KORXONALAR VA TURAR JOYLARNING ELEKTR TA‘MINOTI

Elektr ta‘minotdagi asosiy bosqich — bu elektr yuklamalarni hisoblashdir. Iste‘molchilar guruhlarining aktiv va reaktiv quvvatlari quyidagi ifodalar bo‘yicha aniqlanadi:

$$P = \sum k_t P_{o'r}, \quad Q = \sum P_{o'r} \text{tg}\varphi. \quad (11.8)$$

bunda $P_{0,r}$ — oʻrnatilgan quvvat, kVt, $\operatorname{tg}\varphi$ — reaktiv quvvatning koeffitsienti, k_t — isteʼmolchilarning ish rejimiga, quvvatiga va guruhdagi soniga bogʻliq boʻlgan talab koeffitsienti.

Masalalar

11.10. Isteʼmolchining quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1 = 0,75$ boʻlganda liniyadagi quvvat isrofi isteʼmolchi quvvatining 8%ini tashkil etadi. Liniyadagi quvvat isrofini saqlagan holda quvvat koeffitsientini $\cos\varphi_2 = 0,95$ gacha koʻtarilsa, tarmoqning aktiv quvvatini qanchaga oshirish mumkin?

Yechish. Liniyadagi quvvat isrofi $\Delta P = 2 RP^2$ ifoda boʻyicha aniqlanadi. Agar shu isrof saqlanib qolsa, liniyadagi toklar qiymati ham oʻzgarmaydi, yaʼni:

$$I = P_1/U \cos\varphi_1 \quad \text{va} \quad I = P_2/U \cos\varphi_2,$$

bunda P_1 va P_2 mos ravishda $\cos\varphi_1 = 0,75$ va $\cos\varphi_2 = 0,95$ dagi quvvatlar. Binobarin $P_2 = P_1 \cos\varphi_2 / \cos\varphi_1 = 1,27$, P_1 yaʼni quvvatni 27% ga oshirish mumkin. Bunda liniyadagi tok kamayadi:

$$I_2 = I_1 \cos\varphi_1 / \cos\varphi_2 = 0,79 I_1.$$

Quvvat isrofi tokning kvadratiga proporsional, yaʼni $\Delta P_2 / \Delta P_1 = 0,623$, $\Delta P_2 = 5\%$ va $1 : 0,623 = 1,6$. Shunday qilib, quvvat isrofi 1,6 marta kamayadi.

11.11. Sex elektr tarmogʻiga $P_{1as.nom} = 30$ kVt, $\eta_{nom} = 0,9$, $\cos\varphi_{nom} = 0,87$ boʻlgan 10 ta asinxron motor va oʻta qoʻzgʻatilgan sinxron motor ($P_{2sin.nom} = 220$ kVt, $\eta_{nom} = 0,9$, $\cos\varphi_{nom} = 0,85$) ulangan. Sex tarmogʻi qanday quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ bilan ishlaydi?

Yechish. Asinxron motorlar reaktiv quvvatni isteʼmol qiladi, oʻta qoʻzgʻatilgan sinxron motor esa reaktiv quvvatni ishlab chiqaradi.

Foydali ish koeffitsientlarini hisobga olgan holda motorlarning umumiy aktiv quvvati:

$$\begin{aligned} P_{um} &= \frac{P_{1as.nom} n}{\eta_{nom}} + \frac{P_{2sin.nom}}{\eta_{nom}} = P'_{1as.nom} + P'_{2sin.nom} = \\ &= \frac{30 \cdot 10}{0,9} + \frac{220}{0,9} = 333 + 244 = 577 \text{ kVt.} \end{aligned}$$

Motorlarning umumiy reaktiv quvvati $Q = Q_1 - Q_2 = P'_{1as.nom} \operatorname{tg}\varphi_1 - P'_{2sin.nom} \operatorname{tg}\varphi_2 = 333 \cdot 0,55 - 244 \cdot 0,62 = 32$ kvar.

Quvvatdan foydalanish koeffitsienti $\operatorname{tg}\varphi = Q/P_{um} = 32/577 = 0,055$ va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi \approx 1$.

Shunday qilib, oʻta qoʻzgʻatilgan sinxron motorni asinxron motorlar bilan birga ulab ishlatish yuklama va umuman elektr tarmogʻining quvvat koeffitsientini oshiradi.

Masalalar

11.12. Kuchlanishi 220 V li o'zgarmas tok elektr tarmog'iga ulangan elektr motor 15 minut davomida 10 A tok olgan. Motorning qabul qilgan energiyasi aniqlansin.

11.13. Quvvati 2,4 MVt va $\cos\varphi = 0,75$ bo'lgan sanoat korxonasi uzunligi 4 km li uch fazali liniya orqali transformatsiya koeffitsienti $k = 3$ bo'lgan transformator podstantsiyasiga ulangan. Agar quvvat koeffitsienti $\cos\varphi = 0,92$ gacha ko'tarilsa, liniyaning o'tkazish qobiliyati qanchaga ortadi?

11.14. Uzunligi 4,5 km, qarshiligi $R_0 = 0,45 \text{ Om/km}$ va toki $I_{\text{nom}} = 95 \text{ A}$ uch fazali kabel liniya kuchlanishi 10 kV li manbaga ulangan. Agar shu liniya $t = 3300$ soat ishlagan bo'lsa, kabelda shu vaqt davomidagi energiya isrofi topilsin. $7800 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ elektr energiyani uzatishda liniyadagi isrof necha foizni tashkil etadi?

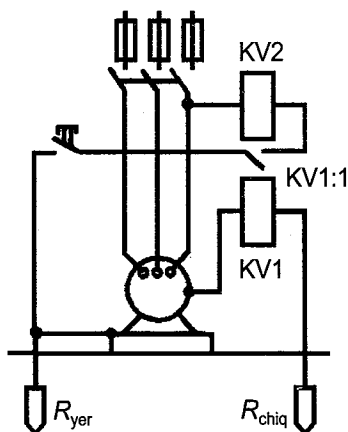
11.15. Elektr uzatish liniyasining kuchlanishi 6 kV dan 10 kV ga o'tkazilganda uning o'tkazish qobiliyati qanchaga oshadi? Yuklamaning quvvati va o'tkazgichlarning ko'ndalang kesim yuzi o'zgarmaydi deb qabul qiling.

11.16. Chorvoq GES idagi elektr generatorlarning umumiy quvvati 620,5 MVt. Agar 1 kVt $\cdot$ soat elektr energiya tannarxi 3,5 so'm bo'lsa, o'n oy davomida gidroelektrostansiya necha so'mlik ish bajaradi?

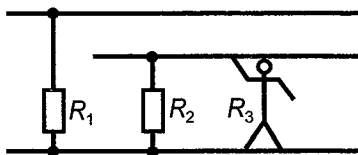
11.17. 11.3-rasmdagi elektr uskuna-ning korpusida 36 V dan katta kuchlanish paydo bo'lganda ishlaydigan himoyalash ajratgichining sxemasi keltirilgan. Elektr motor kuchlanishi 380 V li manbaga ulangan. Agar yerga ulash qarshiligi $R_{\text{chiq}} = 500 \text{ Om}$ bo'lsa, KV1 va KV2 relelarni ishlash toki qanday bo'lishi kerak?

11.18. Liniya kuchlanishi 220 V, izolyatsiyasining qarshiligi $R_1 = 80 \text{ kOm}$ bo'lgan o'tkazgichga elektr montyor tegib ketganda (11.4-rasm) (tana qarshiligini $R_3 = 1 \text{ kOm}$ deb qabul qiling) undan qanday tok o'tadi?

11.19. Elektr energiyasi ishlab chiqarishda qanday turdagi elektr stansiyalar ekologik jihatdan sof hisoblanadi?



11.3-rasm



11.4-rasm

11.3. ELEKTR ISITISH QURILMALARI. ELEKTR PAYVANDLASH

Bevosita isitish uchun xromnikel va xromalumin qotishmalaridan tayyorlangan simlar va lentalar qo'llaniladi.

Isitgichni hisoblash — berilgan quvvat P , kuchlanish U va rusat etilgan solishtirma sirt quvvati W bo'yicha ularning uzunligi va ko'ndalang kesimi yuzini aniqlashdan iborat.

Simli isitgich uchun sim diametri d va uzunligi l quyidagi formulalaridan aniqlanadi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4P_{\text{nom}}^2 \rho}{\pi U^2 W_p}}; \quad l = \frac{\pi U^2 d^2}{4P_{\text{nom}} \rho} \quad (11.9)$$

lentasimon isitgichning qalinligi a va uzunligi l quyidagi formuladan topiladi:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{P_{\text{nom}}^2 \rho}{2m(m+1)U^2 W_p}}; \quad l = \frac{U^2 m d}{P_{\text{nom}} \rho}. \quad (11.10)$$

Keltirilgan formulalarda P_{nom} — isitgichning nominal quvvati, Vt; U — tarmoq kuchlanishi, V; ρ — sim yoki lentaning solishtirma qarshiligi, $\text{Om} \cdot \text{m}$ ($\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$); W — yuzaning solishtirma quvvati, Vt/m^2 ; $m = \frac{b}{a}$; bunda lentaning eni b va qalinligi a ; d — simning diametri, m.

Induksion qo'ra induktori to'g'ridan-to'g'ri o'zgaruvchan tok tarmoq'iga yoki yuqori chastotali manbaga ulanishi mumkin. Chastota qizitiladigan material va qo'raning sig'imi bilan aniqlanadi:

$$f = \frac{25 \cdot 10^6 \rho}{\mu_r \mu_0 D^2}, \quad (11.11)$$

bunda ρ , μ_r — metallning nisbiy qarshiligi va nisbiy singdiruvchanligi; μ_0 — magnit doimiysi; D — qo'ra silindrsimon tigelingining diametri.

Induksion qo'raning asosiy kamchiligi — uning quvvat koeffitsientini kichik bo'lishidir. Quvvat koeffitsientini oshirish uchun qo'raning induktoriga kompensatsion kondensator batareyasi parallel ulanadi.

Payvandlash generatorlari va transformatorlarining samaradorligi unumdorlik koeffitsienti k_{un} bilan tavsiflanadi:

$$k_{\text{un}} = t_{\text{pay}} / (t_{\text{pay}} + t_{\text{op}}). \quad (11.12)$$

Bunda t_{pay} va t_{op} — payvandlash operatsiyasi va operatsiyalar orasidagi vaqt davomiyligi.

k_{un} ni hisobga olganda payvandlash apparatlarining maksimal toki:

$$I_{\text{max}} = I_{\text{nom}} \sqrt{k_{\text{un}}}, \quad (11.13)$$

bunda I_{nom} – generator yoki transformatorning davomli yuklanishdagi nominal toki.

Yarim o'tkazgichli asboblarni va mikrosxemalarni payvandlash uchun elektron-nur va lazer qizitish qurilmalari qo'llaniladi.

Masalalar

11.20. Elektr qaynatgich (kipyatilnik) 20 l suvni isitish uchun qo'llanilgan. Agar idishdagi suv 10 minutda qaynasa va uning FIK $\eta = 70\%$ bo'lsa, qaynatgich toki va quvvati aniqlansin. Tarmoq kuchlanishi 220 V, suvning boshlang'ich harorati $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

Yechish. Suvning qaynashi uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdori

$$Q = sm(t_2 - t_1) = 4,19 \cdot 20 \cdot 80 = 6700 \text{ kJ},$$

bunda $s = 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ suvning solishtirma issiqlik sig'imi, m – suv massasi, kg.

Qaynatgichning quvvati $P = W/(\eta t)$ yoki berilganlarni qo'yib, $P = 6,7 \text{ MJ}/(600 \cdot 0,7) = 16 \text{ kVt}$ topiladi.

$$\text{Qaynatgich toki } I = \frac{P}{U} = \frac{16 \cdot 10^3}{220} = 72,5 \text{ A}.$$

11.21. O'zgarmas tok generatoridan ta'minlanadigan payvandlash apparatining $U = 25 \text{ V}$ kuchlanishdagi yoy quvvati topilsin. Generator vali 1450 ayl/min chastota bilan aylanadi, yakor zanjirining qarshiligi $R_{\text{ya}} = 0,03 \text{ Om}$, ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'ami qarshiligi $R_{\text{qo'z}} = 0,05 \text{ Om}$. Bir qutbning magnit oqimi $\Phi = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}$, o'zgarmas koeffitsient $C_E = 8,5$.

Yechish. O'zgarmas tok generatorining EYuKi:

$$E = C_E n \Phi = 8,5 \cdot 1450 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 37 \text{ V}.$$

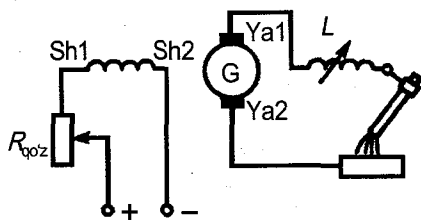
11.5-rasmda keltirilgan elektr zanjir uchun kuchlanish:

$$U = I_{\text{ya}} R_{\text{yuk}} = \frac{E R_{\text{yuk}}}{R_{\text{ya}} + R_{\text{yuk}} + R_{\text{qo'z}}},$$

bundan $R_{\text{yuk}} = (R_{\text{ya}} + R_{\text{qo'z}}) U / (E - U) = 0,08 \cdot 25 / 12 = 0,167 \text{ Om}$.

Yoy paydo bo'ladigan tok, $I = U / R_{\text{yuk}} = 25 / 0,167 = 150 \text{ A}$. Yoy quvvati $P = UI = 25 \cdot 150 = 3,75 \text{ kVt}$.

11.22. Elektr qo'raning nixrom simdan yasalgan isitgichi diametri va uzunligi aniqlansin. Isitgichning quvvati $P_{\text{nom}} = 22 \text{ kVt}$, kuchlanish $U_{\text{nom}} = 220 \text{ V}$, solishtirma yuza quvvati $W = 2,2 \cdot 10^4 \text{ Vt/m}^2$, solishtirma qarshilik $\rho = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Om} \cdot \text{m}$.



11.5-rasm

11.23. Elektr qo'ra uchun nixrom lentadan yasalgan isitgichning o'lchamlari aniqlansin. Isitgichning quvvati $P_{\text{nom}} = 22 \text{ kVt}$, kuchlanish $U_{\text{nom}} = 220 \text{ V}$; solishtirma yuza quvvati $W = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Vt/m}^2$, solishtirma qarshilik $\rho = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Om} \cdot \text{m}$. Lentaning eni $b = 10 \text{ a}$, bunda a – lenta qalinligi.

11.24. FIK 40% bo'lgan elektr isituvchi qo'ra massasi 15 kg bo'lgan latun qotishmani 100°C gacha isitish uchun 15 minut davomida manbaga ulangan. Agar tarmoq kuchlanishi 220 V bo'lsa, pechning toki va quvvati aniqlansin.

11.25. Induksion qo'ra liniya kuchlanishi 380 V bo'lgan uch fazali elektr tarmog'iga ulangan bo'lib, uning quvvati 50 kV·A, quvvat koefitsienti esa $\cos\varphi = 0,08$. Quvvat koefitsientini $\cos\varphi = 0,95$ gacha oshirish uchun ulanadigan kondensatorning sig'imi va reaktiv quvvati aniqlansin. Yuklamaning faza chulg'amlari va kondensator batareyalari manbaga yulduz usulda ulangan.

11.26. Nima uchun elektr isitgich asboblari ishlatilgan fexral va xromel qotishmalardan yasalgan spirallar sovuq holatda ta'mirlanganda deformatsiya qilinishi mumkin emas?

11.27. Agar elektropayalnik 220 V kuchlanishga ulanganda nominal quvvati 150 Vt bo'lsa, spiralning maksimal qarshiligi va toki aniqlansin. Payalnik bir soat ichida qancha issiqlik ajratadi?

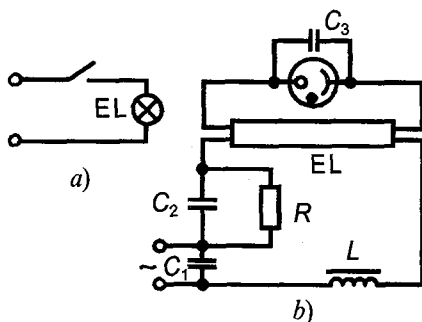
11.4. ELEKTR YORITISH

Yoritish manbalari sifatida issiqlik va gazorazryad lampalardan foydalaniladi. Issiqlik lampalariga *cho'g'lanma lampalar*, *grafit yoyli* va *infraqizil yoritgichlar* kiradi. *Gazorazryad yoritgichlarga yoy razryadli* va *lyuminessent lampalar* kiradi.

Cho'g'lanma lampalar bevosita elektr tarmog'iga ulanadi (11.6- a rasm). Gazorazryad lampalar cho'g'lanma lampalarga qaraganda qator afzalliklarga ega va shu sababli ularni ishlab chiqarish hamda qo'llash ko'payib bormoqda.

Gazorazryad lampalarni yondirish kuchlanishi ishchi kuchlanishdan katta bo'lgani uchun ular tarmoqqa maxsus moslama orqali ulanadi (11.6-b rasm).

Yoritish manbalarini asosiy parametrlariga nominal kuchlanish va quvvat, yoritish kuchi, *yoritilganlik* va *yoritish oqimi* kiradi. Ular o'zaro quyidagicha bog'langan:



11.6-rasm

$$E = \Phi/S; \quad \Phi = I_{\alpha} \alpha_E, \quad (11.14)$$

bunda E – yoritilganlik, lk (lyuks); Φ – yoritish oqimi, lm (lyumen), I_{α} – yoritish kuchi, kd (kandela); S – sirt yuzi, m^2 ; α_E – fazoviy burchak (steradian). Yorug‘likni sferik tarqalishida $\alpha_E = 4\pi$. Bitta yoritish manbaidan hosil bo‘ladigan sirt yoritilganligi:

$$E = I_{\alpha} \cos^3 \alpha / h^2 k_{zax}. \quad (11.15)$$

Bunda h – yoritilayotgan yuzadan yoritish lampasigacha bo‘lgan balandlik; α – yoritish nurining tushish burchagi; k_{zax} – zaxira koeffitsienti.

Hisoblashlarda lampalar soni ish joyining har bir lampadan yoritilganligi bo‘yicha aniqlanadi, ya‘ni

$$E = \sum_{i=1}^n E_i / n.$$

Xonaning o‘lchamlari, lampalarning quvvati va yoritish solishtirma quvvati berilgan bo‘lsa, lampalarning soni quyidagi formuladan topiladi:

$$n = \frac{WS}{P_{lin}}, \quad (11.16.)$$

bunda S – xona yuzi, m^2 ; W – yoritilganlikning solishtirma quvvati, Vt/m^2 ; P_{lin} – bir lampaning quvvati. Yoritilganlikning solishtirma quvvati W – xona yoritilganligiga, uning o‘lchamlariga va yoritgichning texnik xarakteristikalariga bog‘liq bo‘lib, ular ma‘lumotnomalarda keltiriladi.

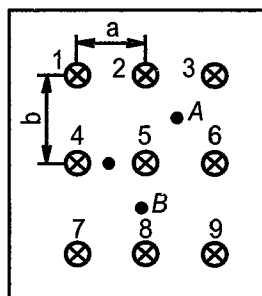
Masalalar

11.28. Xonada lampalarni joylashtirish sxemasi 11.7-rasmda keltirilgan. Lampalar orasidagi masofa $a = 2$ m; $b = 4$ m. Agar 2-, 3-, 5-, 6-lampalarning yorug‘lik kuchi 1500 kd; 1-, 4-, 8-, 9-lampalarniki 1000 kd; 7-lampaniki – 500 kd va yoritilayotgan yuzaga nisbatan lampalar $h = 2$ m balandlikka o‘rnatilgan bo‘lsa, A nuqtadagi o‘rtacha yoritilganlik aniqlansin.

Zaxira koeffitsienti $k_{zax} = 1,3$ deb olinsin.

Yechish. Har bir lampadan hosil bo‘lgan yoritilganlik (11.15) formula bo‘yicha aniqlanadi.

$E_1 = 0,2 I_{\alpha} \cos^3 \alpha$ lk. Rasmda keltirilgan A nuqta 2-, 3-, 5- va 6-yoritgichlardan bir xil masofada joylashgan $l_{1A} = \sqrt{1^2 + 2^2} = 2,24$ m. Binobarin, $\operatorname{tg} \alpha = l_{1A}/h = 1,12$ va $\cos \alpha = 0,667$. Qayd etilgan lampalardan hosil bo‘lgan yoritilganlik $E_2 = E_3 = E_5 = E_6 = 0,2 \cdot 1500 \cos^3 \alpha = 85,5$ lk. Xuddi shunday tartibda A nuqtadan 1- va 4-lampalargacha bo‘lgan masofa aniqlanadi:



11.7-rasm

$l_{2A} = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,6$ m. Bu holda $\operatorname{tg}\alpha = l_{2A}/h = 1,8$ va $\cos\alpha = 0,485$.
Yoritilganlik $E_1 = E_4 = 0,2 \cdot 1000 \cdot \cos^3\alpha = 23$ lk.

A nuqtadan 8- va 9-lampalargacha bo'lgan masofa $l_{3A} = \sqrt{1^2 + 6^2} = 5,1$ m,
 $\operatorname{tg}\alpha = 2,55$. Bu lampalar uchun $E_8 = E_9 = 0,2 \cdot 1000 \cdot \cos^3\alpha = 10$ lk. Yettinchi
lampa uchun $l_{7A} = \sqrt{3^2 + 6^2} = 6,71$ m; $\operatorname{tg}\alpha = 3,36$ va $E_7 = 0,2 \cdot 500 \cdot \cos^3\alpha = 2,5$ lk.

Umumiy yoritilganlik $E = (4 \cdot 85,5 + 2 \cdot 23 + 2 \cdot 10 + 2,5)/9 = 45,6$ lk.

11.29. Quvvati 60 Vt li cho'g'lanma lampaning nur berish qobiliyati 10 lm/Vt. Lampaning nurlanish oqimini aniqlang. Agar stolga lampa nurlanish oqimining 33% i tushsa, $0,25$ m² yuzining yoritilganligi topilsin.

11.30. Yuzi $S = 6 \times 12$ m² xonani yoritish uchun lyuminessent yoritgichlar sonini toping. Har bir yoritgichda ikkitadan quvvati $P_1 = 40$ Vt bo'lgan lampalar o'rnatilgan. Xona uchun yoritish solishtirma quvvati $W = 6,5$ Vt/m².

11.31. Yuzi $S = 6 \times 6$ m² bo'lgan xonani yoritish uchun to'rtta bir lampali yoritgichlar o'rnatish mo'ljallangan. Agar shu xonaning norma bo'yicha yoritish solishtirma quvvati 16 Vt/m² bo'lsa, har bir lampaning quvvati hisoblansin.

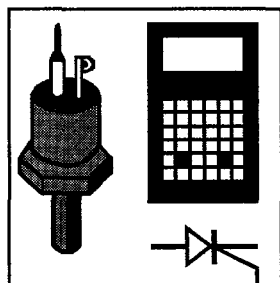
11.32. Yuzi $0,5$ m² bo'lgan ish joyini yoritilganligi norma bo'yicha $E = 300$ lk bo'lishi kerak. Agar yoritgichning 40% yoritish oqimi ish joyi yuziga tushsa va uning FIK 50% bo'lsa, minimal yoritish oqimini toping.

11.33. Yoritish tarmog'ining uchta shoxobchasi har birining quvvati 60 Vt li 15 ta lampadan iborat bo'lib, liniya kuchlanishi 380 V li sanoat tarmog'iga yulduz usulda ulangan. Agar bir sutkada o'rta hisobda lampalar 5 soat yoqilsa, bir oyda sarf bo'ladigan energiya miqdori topilsin. 1 kVt · soat energiyaning narxi 15 so'm bo'lsa, har oyda elektr energiya uchun qancha pul to'lanadi?

11.34. Elektr lyustra beshta lampadan iborat. Ikkita, uchta va beshta lampani ajratgich yordamida alohida ulanishi prinsipial elektr sxemasini chizing.

11.35. Nima sababdan cho'g'lanma lampalarda ko'p o'ramli spiral qo'llaniladi? Spirallarni volframdan va ushlagichlarni molibdendan yasalishi sababi qanday tushuntiriladi?

11.36. Indikator sifatida qo'llaniladigan tiratron kuchlanishi 220 V li manbaga ulangan. Anod toki 0,1 A va tiratronni barqaror yonishi uchun zarur kuchlanish 50 V bo'lsa, yuklamaga ulanadigan qo'shimcha rezistor qarshiligi qancha bo'lishi kerak?



12-BOB

Elektron asboblari va qurilmalar

12.1. ELEKTRON ASBOBLARNING PARAMETRLARI VA XARAKTERISTIKALARI

Eng keng tarqalgan elektr vakuum asbob – *elektron-nur trubkasining* (12.1-rasm) nur dastasi siljishining va og'ishining sezgirliги trubkaning parametrlari bilan quyidagicha bog'langan:

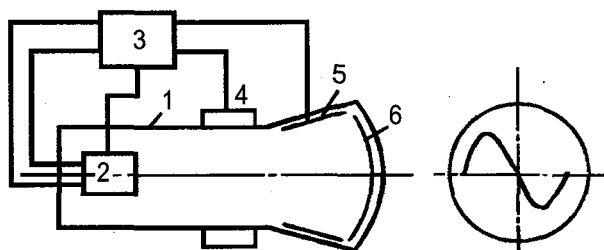
$$S_e = h/U_e = IL/2dU, \quad (12.1)$$

bunda h – trubka ekranida elektron dastasining siljishi; l – siljitish sistema-sining uzunliги; L – uning markazidan ekrangacha bo'lgan masofasi; d – plastinalar orasidagi masofa; U – trubkaning anod kuchlanishi.

Diod – bitta p - n o'tishli yarim o'tkazgich asbob bo'lib, uning qarshiligi berilayotgan kuchlanishning qutbiga nisbatan keskin o'zgaradi. (12.2-a, b, d rasm).

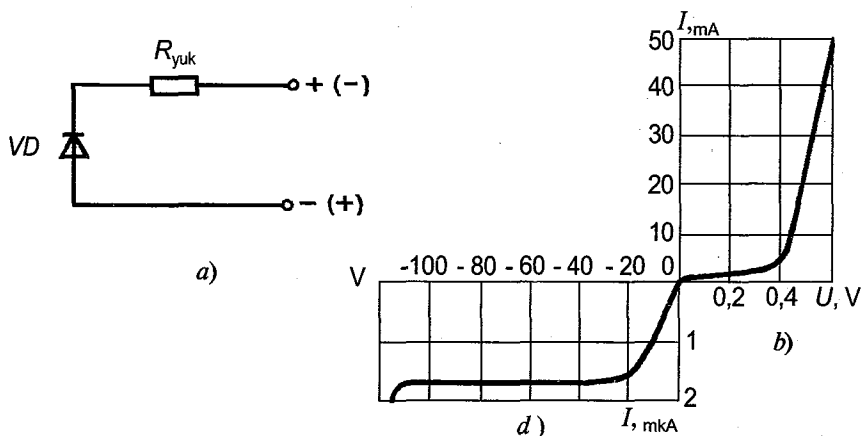
Ikkita p - n o'tishli asboblari tranzistorlar deyiladi. Ko'p hollarda *umumi-y emitterli sxema* (12.3-a rasm) yoki *umumi-y bazali* (12.3-b rasm) sxema ulanadigan *bipolyar tranzistorlardan* foydalaniladi.

Kollektor toki I_k ning boshqaruvchi baza I_b yoki emitter toki I_e ga bog'liqligi mos ravishda quyidagi ifodalardan aniqlanadi:



12.1-rasm

1 – shisha ballon; 2 – elektron proyektor (pushka); 3 – elektron dastani boshqarish bloki; 4 – magnit sistema; 5 – maxsus qoplama; 6 – ekran



12.2-rasm

$$I_k = \beta(I_b + I_{k0}), \quad I_k = 2I_e + I_{k0}, \quad (12.2)$$

bunda $\beta = h_{21e}$ va $\alpha = h_{21b}$ – tok uzatish koefitsientlari; I_{k0} – baza kollektor p - n o'tishining teskari toki, bunda $I_e = 0$.

Umumiy emitterli va umumiy bazali sxemalarning *uzatish koefitsientlari* orasida quyidagi o'zaro bog'lanish mavjud:

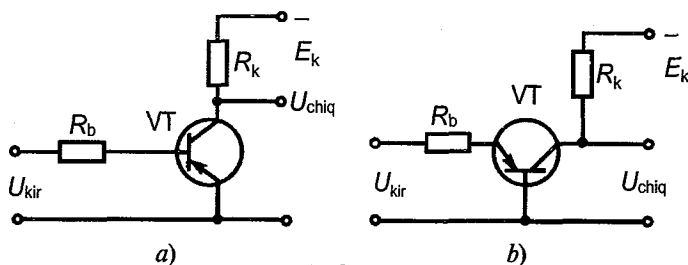
$$\alpha = \beta / (1 + \beta). \quad (12.3)$$

Kalit rejimlari esa ikki holat – ochiq (to'yinish) va berk (uzilish) rejimida bo'ladi. Bu rejim *umumiy emitterli* sxema uchun quyidagi shartlarda bajariladi:

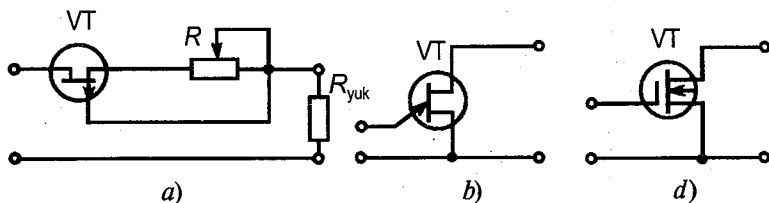
$$U_{kir} \leq R_b I_{k0}; \quad R_b \leq \beta R_k, \quad (12.4)$$

bunda R_b va R_k – baza va kollektor zanjirlarining qarshiligi.

Bi-polyar tranzistorlardan tashqari chastotaviy, kuchaytirish va boshqa xossalari yaxshilangan maxsus turdagi tranzistorlardan foydalaniladi. Ularga *maydon* (12.4-a rasm), *bir o'tishli* (12.4-b rasm) va *zavvori izolyatsiyalangan* (12.4-d rasm) tranzistorlar kiradi.

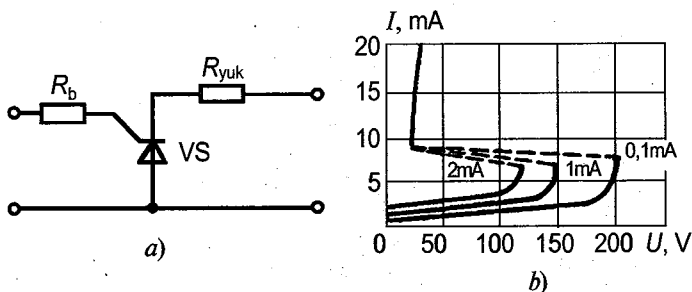


12.3-rasm



12.4-rasm

Impulsi elektron qurilmalarda va quvvat zanjirlarining kontaktisiz kommutatorlarida to'rtta $p-n$ o'tishli yarim o'tkazgichli asboblarda — tiristorlar (12.5-rasm) qo'llaniladi. Bunday asboblarda yopiq holatdan ochiq holatga o'tuvchi yoki aksincha, anod va katoddan tashqari boshqaruvchi elektrod mavjud. Alohida chiqarilgan boshqaruvchi elektrodsiz tiristor *dinistor* deb ataladi.



12.5-rasm

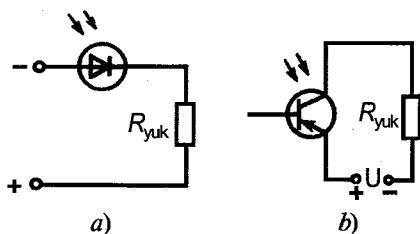
Yarim o'tkazgichli asboblarda ma'lum konstruktiv tuzilishda $p-n$ o'tishga yorug'lik tushganda o'z xarakteristikalarini o'zgartiradilar (12.6-rasm). Bunday asboblarda *fotoelementlar* deyiladi va volt-ampere xarakteristikadan tashqari yorug'lik va spektral xarakteristikaga ega. *Fotoelementning yorug'lik xarakteristikasi deb, o'zgarish kuchlanishida asbob tokining yorug'lik oqimiga bog'lanishiga aytiladi.* Bu egri chiziqli urinishining og'ishi *fotosezgirlik* deyiladi.

$$S_f = \Delta I_f / \Delta \Phi \quad (12.5)$$

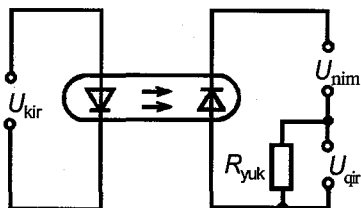
bunda ΔI_f — yorug'lik oqimining o'zgarishi $\Delta \Phi$ ga mos bo'lgan *fotoelement tokining o'zgarishi*.

Spektral xarakteristika — bu, asbob tokini tushayotgan yorug'lik to'liqligiga, ya'ni nurlanish spektriga bog'liqligidir.

Svetodiod (yorug'lik diodi) va fotodiodlarni bitta korpusga joylashtirib *optron* asbob hosil qilinadi. Bunda svetodiodning kirish tokini fotodiod chiqish tokiga aylantirish mumkin. Optronlarda kirish va chiqish zanjirlari elektr jihatdan bir-biridan to'la ajratiladi. Optoelektronikada *fotodiodlar*, *fototranzistorlar* va *fototiristorlar* qo'llaniladi (12.6-a, b rasm; 12.7-rasm).



12.6-rasm



12.7-rasm

Masalalar

12.1. Elektron-nur trubkaning vertikal og'ish plastinalariga berilayotgan kuchlanishni 5 V ga oshirilganda, nur doiraviy ekranning 2/3 radiusigacha og'adi, kuchlanish 3 V ga oshirilganda esa 1/2 radiusgacha og'adi. Agar ekranning diametri 130 mm bo'lsa, trubkaning kuchlanishi va sezgirligi qancha?

Yechish. 12.1 ifodaga asosan berilgan rejimlar uchun kuchlanishga tegishli ikkita tenglama tuzish mumkin.

$$(U + 5)S_e = \frac{2}{3}R \text{ va } (U + 3)S_e = \frac{R}{2},$$

bunda R – ekran radiusi.

Birinchi tenglamani ikkinchisiga bo'lib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

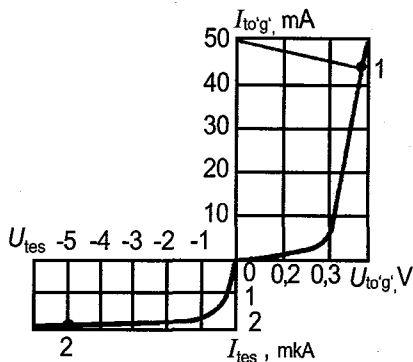
$$\frac{U+5}{U+3} = \frac{4}{3} \text{ yoki } 3U + 15 = 4U + 12, \text{ bundan kuchlanish } U = 3 \text{ V bo'ladi.}$$

Sezgirlikni dastlabki tenglamalardan aniqlash mumkin:

$$S_e = (U + 3) \cdot 2/R = (U + 3) \cdot 4n/D = 6 \cdot 4/130 = 0,185 \text{ V/mm.}$$

12.2. Volt-amper xarakteristikalarini 12.8-rasmda keltirilgan yarim o'tkazgichli diod qarshiligi $R_{yuk} = 100 \text{ Om}$ li rezistor orqali o'zgaruvchan kuchlanishi $U = 3,5 \text{ V}$ li manbaga ulangan. Tokning to'g'ri va teskari yo'nalishlarida yuklamadagi kuchlanish amplitudalari nisbati aniqlansin.

Yechish. Diodli zanjir kirishidagi kuchlanishning amplitudasi $U_{max} = \sqrt{2} \cdot 3,5 = 5 \text{ V}$. Sinusoidal kuchlanishning musbat yarim davrida yuklamadagi kuchlanishni topish uchun VAX ning yarmida yuklama to'g'ri chizig'ini quramiz. Tok o'qida $I = U_{max}/R_{yuk} = 5/100 = 50 \text{ mA}$ tokni belgilaymiz va undan boshlab qiyaligi 1 V ga 10 mA bo'lgan yuklama to'g'ri chizig'ini o'tkazamiz (12.8-rasm). Bu yuklama chizig'i VAX ni 1-nuqtada kesib o'tadi. Shunday



12.8-rasm

qilib, diodli zanjirdagi to'g'ri tok qiymati 45 mA ga teng va yuklama kuchlanishi $U_{yuk} = 4,5$ V. Manba kuchlanishining o'ziga teskari yarim davrida yuklama qarshiligi diod qarshiligidan ancha kam va natijada teskari tok diodning 5 V li kuchlanishga to'g'ri keladigan teskari tokiga teng bo'ladi, ya'ni $I_{tes} = 2$ mA va yuklama kuchlanishi $U_{yuk} = 0,2$ mV ga teng. Demak, diodning to'g'ri va teskari yo'nalishlari uchun yuklama kuchlanishlarining nisbati:

$$n = \frac{4,5}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 22500.$$

12.3. Tranzistorning uzatish koeffitsienti $\beta = 50$, kollektor-baza o'tishning teskari toki $I_{k0} = 10$ mA. Agar umumiy baza va umumiy emitterli sxemalar ulanishida kollektor toki bir xil va boshqarish toklari $I_e = 55I_b$ bo'lsa, I_k , I_e , I_b toklar aniqlansin. Baza toki 50 mA ga o'zgarssa, tranzistor umumiy emitterli sxemada ulanganda emitter toki qanday o'zgaradi?

Yechish. Umumiy emitterli va umumiy bazali sxemalardagi toklar 12.2 formula bilan ifodalanadi. Masala shartiga ko'ra quyidagilarni yozishimiz mumkin: $I_k = 50(I_b + 10)$; $I_k = 0,98 \cdot 55I_b + 10$ yoki $I_b = 50I_b + 500$ va $I_k = 54I_b + 10$.

Bu tenglamani baza tokiga nisbatan yechib, $4I_b = 490$ mA yoki $I_b = 0,122$ mA ni topamiz. Umumiy bazali sxemada emitter toki $I_e = 55I_b = 6,7$ mA. Kollektor tokini birinchi yoki ikkinchi tenglamalar bo'yicha topish mumkin, ya'ni $I_k = 50 \cdot 0,122 + 0,5 = 6,6$ mA. Bazaning boshqaruvchi toki $\Delta I_b = 50$ mA ga o'zgarganda kollektor toki $\Delta I_k = \Delta I_b \beta = 2,5$ mA ga va emitter toki o'zgarishi shu toklarning yig'indisiga teng, ya'ni $\Delta I_e = 2,55$ mA.

12.4. Elektron-nur trubkaning gorizontaal va vertikal plastinalariga o'zgarma 5 V kuchlanish berilgan. Agar plastinalarning sezgirliigi mos ravishda 3 va 5 mm/V bo'lsa, ekran markazidan yoritilgan nuqtagacha bo'lgan masofa aniqlansin.

12.5. Elektron-nur trubkaning vertikal og'ishi plastinalariga ta'sir etuvchi qiymati 15 V o'zgaruvchan kuchlanish berilgan. Nurni xuddi shunday og'ishi uchun qanday o'zgarma kuchlanish berish kerak? Agar gorizontaal va vertikal plastinalarga bitta elektr signal berilsa, ekranda yoritilgan chiziqli og'ishi qanday bo'ladi?

12.6. Elektron-nur trubkaning ekranida: a) aylana; b) ellips; d) sinusoida hosil qilish uchun og'uvchi plastinalariga qanday shakldagi signal berish kerak?

12.7. Yarim o'tkazgichli diod va tranzistorni volt-amper xarakteristikasini ossilloqraf ekranida kuzatish prinsipial elektr sxemasini tuzing.

12.8. Qarshiligi $R_{yuk} = 10$ MOm rezistor orqali teskari ulangan dioddagi kuchlanish aniqlansin. Zanjirdagi tok 1 mA, manbaning kuchlanishi 110 V.

12.9. Kuchlanishi 5 V li manbaga to'g'ri yo'nalishda ulangan dioddagi kuchlanish pasayishi 0,6 V va o'tayotgan tok 110 mA dan oshmasligi uchun zanjirdagi yuklama qarshiligi qanday bo'lishi kerak (12.2-rasm).

12.10. Qarshiligi $R_{yuk} = 50$ Om bo'lgan yuklama to'g'ri yo'nalishda ulangan va volt-ampere xarakteristikasi 12.2-b rasmda keltirilgan diod orqali kuchlanishi 1,5 V li manbaga ulangan. Zanjirdagi tok aniqlansin.

12.11. Kuchlanishi 100 V li manbaga volt-ampere xarakteristikaning teskari qismi 12.2-d rasmda keltirilgan dioddagi kuchlanish aniqlansin. Yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 5$ MOm.

12.12. Bir turdagi uchta diod to'g'ri yo'nalishda parallel ulangan. Har biridagi kuchlanish pasayishi 1,5 V va diodlarning shu kuchlanishdagi qarshiligi 1,8; 2,5; 2,2 Om. Zanjirdagi umumiy tok va har bir dioddagi tok aniqlansin.

12.13. Bir nechta diod elektr zanjirlarda: a) zanjirdagi tok har bir dioddan o'tadigan tokdan katta bo'lishi uchun; b) zanjirdagi kuchlanish har bir diodning teskari kuchlanishidan katta bo'lishi uchun qanday ulanishi kerak?

12.14. Agar baza toki $I_b = 50$ mA , kollektorning teskari toki 10 mA va kollektor toki 3,6 mA bo'lsa, umumiy emitterli sxema bo'yicha ulangan tranzistorning uzatish koeffitsienti β nechaga teng?

12.15. Umumiy bazali sxema bo'yicha ulangan tranzistorning uzatish koeffitsienti α aniqlansin. Agar $I_e = 5$ mA , $I_{k0} = 20$ mA bo'lganda kollektor toki $I_k = 4,9$ mA ga teng bo'lsa, shu tranzistor umumiy emitterli sxema bo'yicha ulanganda uzatish koeffitsienti qancha bo'ladi?

12.16. Umumiy bazali sxema bo'yicha ulangan tranzistorning kollektor toki 50 mA. Agar uzatish koeffitsienti $\alpha = 0,987$; $I_{k0} = 50$ mA bo'lsa, emitterning boshqarish toki aniqlansin. $R_e = 100$ Om va $R_k = 500$ Om li rezistorlardagi kuchlanish topilsin.

12.17. Tranzistor umumiy emitterli sxema bilan ulanganda baza toklariga $I_{b1} = 25$ mA va $I_{b2} = 75$ mA mos ravishda kollektor toklari $I_{k1} = 1,8$ mA va $I_{k2} = 4,8$ mA ga to'g'ri keladi. Teskari tok $I_{k.tesk}$ hamda tranzistorning h_{21e} va h_{21b} uzatish koeffitsientlari aniqlansin.

12.18. Umumiy emitterli sxema bo'yicha ulangan tranzistorning kuchaytirish koeffitsienti $\beta = 250$. Tranzistorlar partiyasidagi shu koeffitsientning qiymati $\pm 10\%$ ga o'zgaradi. Tranzistorlarning umumiy bazali sxemasidagi α kuchaytirish koeffitsienti va uni chegaradan chiqishi aniqlansin.

12.19. Yarim o'tkazgichli diod va tranzistorlarning qaysi turi (germaniyli yoki kremniyli) sanoat elektronikasida ko'proq qo'llaniladi? Ularning xarakteristikalarini qiyoslang.

12.20. Tranzistorlarning qanday sxemalarida umumiy baza yoki umumiy emitter usulda ulanganda: a) kirish signali invertorlanadi (shakli teskari bo'ladi); b) kattaroq kirish qarshilikka ega boladi; d) chastotaviy xarakteristikalari afzalroq bo'ladi?

12.21. Tiristorning VAXi 12.5-b rasmda keltirilgan. Manba kuchlanishi $U_{\text{man}} = 200 \text{ V}$ va $R_{\text{yuk}} = 10 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, tiristorning qayta ulanishi qanday eng kichik tok impulsida ro'y beradi? Tiristorning ishga tushgandan keyingi toki topilsin.

12.22. Tiristorning qayta ulash kuchlanishi boshqaruvchi tokka teskari proporsional $U_{\text{qay}} = k/I$. Agar tok I ikki baravar oshganda U_{qay} kuchlanishi 50 V ga kamaygan bo'lsa, qayta ulash kuchlanishining va boshqarish tokining dastlabki qiymatlari aniqlansin.

12.23. Qanday aralashmalar (fosfor, aluminiy, mishyak, surma, galliy, bor, kremniy, uglerod) aralashtirilganda germaniy yarim o'tkazgichga elektron va kovak o'tkazuvchanlik sifatini beradi?

12.24. Nima uchun yarim o'tkazgich asboblarni masalan, tranzistorlarni kavsharlashda ularni pinset yoki ombur bilan qisib turish kerak?

12.25. Fotoelementning foto sezgirligi 10 mA/lm ga, uning 10^{-5} m^2 aktiv yuzidagi yorug'lik 200 lk ga teng. Fotoelementning toki quyidagi shartlarda aniqlansin: a) shartda berilgan parametrlarda; b) aktiv yuzi 2 baravar oshganda; d) yorug'lik 4 marta kamayganda.

12.26. Quyosh batareyasi sifatida ichki qarshiligi $10 \text{ k}\Omega$ va foto EYuK $0,7 \text{ V}$ bo'lgan fotodioldan foydalanilyapti. Shu manbaga $5 \text{ k}\Omega$ li yuklama ulanganda undan o'tadigan tok topilsin. Yuklama toki $0,1 \text{ mA}$ dan kichik bo'lmisligi uchun nechta fotodiod ulanishi kerak?

12.2. TO'G'RILAGICH QURILMALAR

To'g'rilagichlar manbaning o'zgaruvchan kuchlanishini yuklamaning o'zgarmas kuchlanishiga aylantiradi. To'g'rilagich qurilmasiga (12.9-rasm) transformator, yarim o'tkazgichli to'g'rilagich, silliqlovchi filtr va kuchlanish stabilizatori kiradi. To'g'rilagichlarda odatda tokni bir tomonga o'tkazuvchi yarim o'tkazgich diodlardan foydalaniladi. Keng qo'llaniladigan to'g'rilagich sxemalari 12.10-rasmda keltirilgan, ular *to'g'rilash* $k_{\text{to'g'}}$ va *pulsatsiya* k_p *koeffitsienti* bilan tavsiflanadi.

$$k_{\text{to'g'}} = R_{\text{tes}}/R_{\text{to'g'}}; \quad k_p = U_{\text{lmax}}/U_{\text{to'g'}} \quad (12.6)$$

bunda R_{tes} va $R_{\text{to'g'}}$ — *diodning teskari* va *to'g'ri qarshiligi*; U_{lmax} — birinchi garmonikaning amplitudasi; $U_{\text{to'g'}}$ — to'g'rilangan kuchlanishning *o'zgar-mas tashkil etuvchisi*.

To'g'rilagich parametrlari 7-ildovada keltirilgan. Chiqishdagi pulsatsiyaning kamaytirish maqsadida o'zgarmas tashkil etuvchisiga kichik va yuqori garmonikalarga katta qarshilik ko'rsatadigan silliqlovchi filtrlardan foydalaniladi.

Silliqlovchi filtrlarning asosiy parametri — bu *silliqlash koeffitsienti* (k_s). U kirish pulsatsiya koeffitsienti $k_{p.kir}$ ning *chiqishdagi pulsatsiya koeffitsienti* $k_{p.chiq}$ ga nisbatiga tengdir: $k_s = k_{p.kir}/k_{p.chiq}$. Sxemalari 12.11-

rasmda keltirilgan filtrlar uchun *silliqlash koeffitsienti* quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$k_{sRC} = 2\pi f_p RC; \quad k_{sLR} = \sqrt{1 + (2\pi f_p L/R_{yuk})^2};$$

$$k_{sLC} = k_{sRC} \cdot k_{sLR}, \quad (12.7)$$

bunda f_p – filtr kirishidagi pulsatsiyalarning chastotasi, Gs.

Filtrlarning chiqishidagi kuchlanish shakli o'zgarmas kuchlanishga yaqin.

Stabil kuchlanish olish uchun stabilizatorlar qo'llaniladi. Stabilizatorlarning sifati *stabilizatsiya koeffitsienti* k_{st} bilan baholanadi:

$$\frac{\Delta U_{yuk}}{U_{yuk}} = \frac{1}{k_{st}} \cdot \frac{\Delta U_{kir}}{U_{kir}}; \quad k_{st} = \frac{\Delta U_{kir} U_{yuk}}{\Delta U_{yuk} U_{kir}}. \quad (12.8)$$

Parametrik stabilizatorlarda (12.12-a rasm) volt-amper xarakteristikalarida ideal kuchlanish va tok manbalarining VAX siga yaqin bo'lgan elementlar ishlatiladi.

Stabilitron va *baretter* ulangan sxemalar (12.12-a, b rasm) uchun stabilizatsiya koeffitsienti quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$k_{st-U} = \frac{R_{bal} U_{st}}{R_d U_{kir}}; \quad k_{st-I} = \frac{R_d I_{st}}{U_{kir}}, \quad (12.9)$$

bunda $R_d = \Delta U_{st} / \Delta I_{st}$ – dinamik qarshilik.

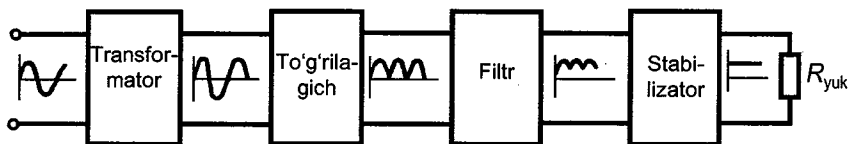
Tok va kuchlanishni stabilizatsiyalash uchun tranzistorli kompensatsion stabilizatorlar sxemasi qo'llaniladi.

Masalalar

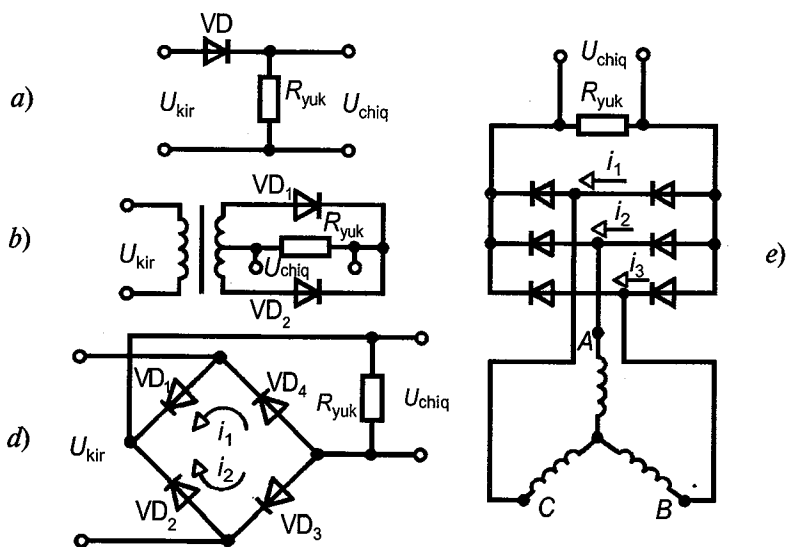
12.27. 12.10-a, b, d rasmda keltirilgan to'g'rilagich sxemalarida agar hamma hollarda $R_{yuk} = 30$ Om bo'lsa, tanlangan diodlarning eng katta teskari kuchlanishi va to'g'ri yo'nalishdagi tok qiymatlari qanday bo'lishi kerak? To'g'rilagich transformatorining transformatsiyalash koeffitsienti $k = 1/5$ bo'lib, u kuchlanishi $U = 220$ V li sanoat tarmog'iga ulangan. Agar diodlarning to'g'ri va teskari ulashdagi qarshiligi hisobga olinsa, diodlar to'g'ri tanlanganmi?

Yechish. 7-ilovadan foydalanib, diodlarning parametrlarini tanlaymiz. Kirish kuchlanishi $U_{kir} = 220/5 = 44$ V. Yarim davrli to'g'rilagich uchun $U_{tes} = 3,14 U_{0to'g'} = 1,4 U_{kir} = 62,2$ V. Yuklama tokining doimiy tashkil etuvchisi $I_{0to'g'} = U_{0to'g'}/R_{yuk} = 0,66$ A, va $I_{max-to'g'} = 1,5 I_{0to'g'} = 1,03$ A, bunda $U_{0to'g'}$ – to'g'rilangan kuchlanishning doimiy tashkil etuvchisi. $I_{max-to'g'}$ – to'g'ri yo'nalishdagi maksimal tok.

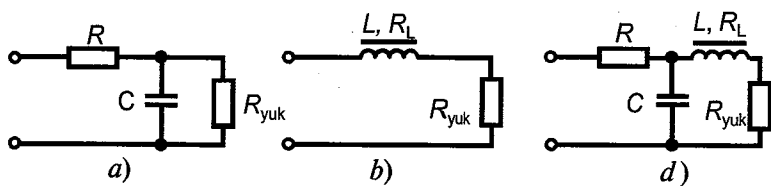
To'g'rilagichlarning boshqa sxemalari uchun diodlarning eng katta to'g'ri toklari bir xil $I_{max-to'g'} = 0,78 U_{tes}/R_{yuk} = 1,03$ A.



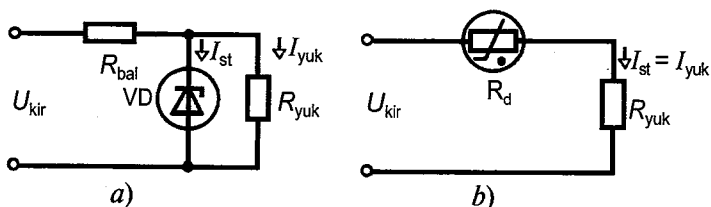
12.9-rasm



12.10-rasm



12.11-rasm



12.12-rasm

Differensial sxemalardagi diodlarning teskari kuchlanishi $U_{tes} = 3,14U_{0\text{ to'g' }} = 2,83U_{kir} = 124,4 \text{ V}$; ko'prik sxemasida esa 2 baravar kam, ya'ni $U_{tes} = 62,2 \text{ V}$.

Diodning $R_{to'g'}$ va R_{tes} qarshiliklarini hisobga olganda uning tok va kuchlanishi kamayadi, binobarin, bu holda ham diod to'g'ri tanlangan.

12.28. Bir yarim davrli to'g'rilagichda diod orqali o'tadigan to'g'rilangan tok $I_0 = 75 \text{ mA}$. Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amlaridagi kuchlanish $U_{2max} = 200 \text{ V}$ bo'lsa, yuklama qarshiligi aniqlansin.

Yechish. Yuklamada to'g'rilangan kuchlanish $U_0 = U_{2max}/\pi$. Yuklamaning qarshiligi:

$$R_{yuk} = U_0/I_0 = U_{2max}/(\pi I_0) = 200/3,14 \cdot 75 \cdot 10^{-3} = 850 \text{ Om}.$$

12.29. Ikki yarim davrli to'g'rilagich transformatorining ikkilamchi chulg'am kuchlanishining amplitudasi $U_{2max} = 210 \text{ V}$. Agar yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 510 \text{ Om}$ bo'lsa, har bir dioddan o'tadigan tok aniqlansin.

Yechish. To'g'rilangan kuchlanish $U_0 = 2U_{2max}/\pi$. Dioddan o'tadigan tok $I_0 = U_0/(2R_{yuk}) = U_{2m}/(\pi R_{yuk}) = 210/3,14 \cdot 510 = 131 \text{ mA}$.

12.30. Ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi yuklamaga silliqlovchi filtr orqali ulangan. Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishi $U_{2max} = 300 \text{ V}$, yuklamadan o'tadigan tok $I_0 = 200 \text{ mA}$, drossel induktivligi $L = 10 \text{ Gn}$, $f = 50 \text{ Gs}$ bo'lsa, silliqlash koeffitsienti aniqlansin.

Yechish. To'g'rilangan kuchlanish:

$$U_0 = 2U_{2max}/\pi = 2 \cdot 300/3,14 = 191 \text{ V}.$$

Yuklamaning qarshiligi $R_{yuk} = U_0/I_0 = 191/(200 \cdot 10^{-3}) = 955 \text{ Om}$.

Silliqlash koeffitsienti:

$$k_{sil} = k_{n.kir}/k_{n.chiq} = X_{lf}/R_{yuk} = 2\pi fL/R_{yuk} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 10/955 = 6,6.$$

12.31. Ikki yarim davrli to'g'rilagich chiqishiga ulangan RL -filtrning silliqlash koeffitsienti aniqlansin. Qarshiligi $R_{yuk} = 15 \text{ Om}$ bo'lgan yuklamadan $1,5 \text{ A}$ tok o'tishi kerak. Drossel chulg'ami $w = 300$ o'ramli, $d = 0,6 \text{ mm}$, uzunligi $l = 50 \text{ m}$ li simdan iborat bo'lib, ko'ndalang kesim yuzi $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ va uzunligi $l = 0,1 \text{ m}$ li quyma po'lat magnit o'tkazgichga o'ralgan.

Yechish. Silliqlash koeffitsienti (12.7) formulaga ko'ra:

$$k_{sLR} = \sqrt{1 + (628L/R_{yuk})^2}.$$

Drosselning aktiv qarshiligi:

$$R_{dr} = \rho l/S = \rho 4l/\pi d^2 = 0,0188 \cdot 50 \cdot 4/\pi \cdot 0,36 = 3,3 \text{ Om},$$

zanjirning aktiv qarshiligi $R = R_{dr} + R_{yuk} = 3,3 + 15 = 18,3$ Om, g'altak induktivligi $L = w^2/R_{\mu} = w^2\mu_a S/l_{o'r}$. Absolut magnit singdiruvchanlikni 5-ilovadan topamiz. Maydon kuchlanganligi $H = w/l_{o'r} = 300/0,1 = 3000$ A/m, bu holda maydon induksiyasi $B = 1,45$ Tl, chunki $\mu_a = 1,45/3000 = 4,5 \cdot 10^{-4}$ Gn/m. Shunday qilib, $L = 300^2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-4}/0,1 = 0,16$ Gn. Hisoblangan R_{yuk} va L larni dastlabki formulaga qo'yib, $k_{sLR} = 5,7$ ni topamiz.

12.32. 12.12-a rasmdagi stabilizatorga ketma-ket ulanadigan ballast qarshilik, stabilizatsiya koeffitsienti va stabilizatorning FIK aniqlansin. Stabilitronning differensial qarshiligi $R_d = 12$ Om, uning toki $I_{st} = I_{yuk} = 5$ mA va kuchlanishlar $U_{st} = 10$ V, $U_{kir} = 15$ V.

Yechish. Zanjirning kirish qarshiligi $U_{kir} = U_{chiq} + I_{bal} R_{bal}$ va zanjirning umumiy toki $I_{bal} = I_{st} + I_{yuk}$, chunki, ballast qarshilik $R_{bal} = (U_{kir} + U_{st})/(I_{st} + I_{yuk}) = 5/10^{-2} = 500$ Om.

Stabilizatsiya koeffitsientini aniqlaymiz:

$$k_{st} = R_{bal} U_{st}/R_d U_{kir} = 5000/(12 \cdot 15) = 28.$$

Stabilizatorning FIK yuklamadagi quvvatni manbaning quvvatiga nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$\eta = I_{yuk} U_0/I_{kir} U_{kir} = 50/150 = 0,33.$$

12.33. Ikkilamchi manbalarda to'g'rilash koeffitsientlari $k_{to'g'1} = 10^5$ va $k_{to'g'2} = 10^4$ bo'lgan ikkita to'g'rilagich o'rnatilgan. Agar to'g'ri qarshilik 10 Om bo'lsa, to'g'rilagichlarning teskari qarshiliklari hisoblansin. Qaysi to'g'rilagichda FIK kattaroq bo'ladi?

12.34. To'g'rilagichning chiqishdagi kuchlanish birinchi garmonikasining amplitudasi $U_{lmax} = 100$ V, o'zgarmas tashkil etuvchisi $U_{0to'g'} = 70$ V bo'lsa, to'g'rilagichning pulsatsiya koeffitsienti aniqlansin. Agar o'zgarmas tashkil etuvchisi 2 baravar ko'paysa, pulsatsiya koeffitsienti qanday o'zgaradi?

12.35. Ikki yarim davrli to'g'rilagich ish rejimida $U_{0to'g'} = 100$ V va $I_{0to'g'} = 1,5$ A bo'lgan yuklamaning manbai sifatida ishlatilgan. To'g'rilagichning kirish kuchlanishi va toki aniqlansin.

Ko'rsatma: 7-ilovadan foydalaniladi.

12.36. Ikki yarim davrli to'g'rilagich (12.10-b rasm) ish rejimida $U_{0to'g'} = 100$ V va $I_{0to'g'} = 1$ A bo'lgan yuklamani ta'minlash uchun foydalanilgan. To'g'rilagichning kirish kuchlanishi va toki aniqlansin.

12.37. Ko'prik sxemali ikki yarim davrli to'g'rilagich (12.10-d rasm) ish rejimida $U_{0to'g'} = 36$ V va $I_{0to'g'} = 1$ A bo'lgan yuklamani ta'minlash uchun ishlatilgan. To'g'rilagichning kirish kuchlanishi va toki aniqlansin. Kirish kuchlanishining musbat va manfiy yarim davrlarida tok qaysi diodlardan o'tishi ko'rsatilsin.

12.38. Agar LC filtrning (12.11-d rasm) parametrlari: $K_{sLC} = 1,5$; $f = 100$ Gs; $R = 1$ kOm va $C = 10$ mkF bo'lsa, uning silliqlash ko'effitsienti qancha?

12.39. Bir yarim davrli to'g'rilagich chiqishiga $R = 1$ kOm bo'lgan RC filtr ulangan. Silliqlash ko'effitsienti 5 bo'lishi uchun filtrga qanday sig'imli kondensator ulanishi kerak? Agar filtr kondensatoriga yana bitta sig'imi 100 mkF li kondensator ulansa, silliqlash ko'effitsienti qancha bo'ladi?

12.40. Uch fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich chiqishiga ulangan LC filtrning (12.11-d rasm) silliqlash ko'effitsienti topilsin. Filtrning parametrlari: $R_L = 4$ Om; $R_{yuk} = 50$ Om; $C = 25$ mkF; $L = 0,1$ Gn; $R = 100$ Om. To'g'rilagich uch fazali sanoat tarmog'iga qo'shilgan.

12.3. ELEKTRON KUCHAYTIRGICHLAR

Kuchlanish k_u va tok kuchaytirish k_i ko'effitsientlari kirish va chiqish signallari orttirmalarining nisbati bo'yicha aniqlanadi.

$k_i = \Delta I_{chiq} / \Delta I_{kir}$; $k_u = \Delta U_{chiq} / \Delta U_{kir}$. Quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti esa:

$$k_p = k_u k_i \text{ bo'ladi.} \quad (12.10)$$

Detsibellarda ifodalanganda:

$$k_{dB} = 20 \lg k_u. \quad (12.11)$$

Ko'p kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsienti:

$$k = k_1 k_2 \dots k_n \text{ yoki } k_{dB} = k_{1dB} + k_{2dB} = \dots + k_{n dB}, \quad (12.12)$$

bunda $k_1, k_2, \dots, k_n$ — alohida kaskadlarning kuchaytirish ko'effitsientlari.

Kuchaytirish kaskadining *chastotaviy buzilish ko'effitsienti*:

$$M = k_0 / k,$$

bunda k_0 — o'rta chastotalardagi kuchaytirish ko'effitsienti; k — ish diapazonidagi ma'lum bir chastotadagi kuchaytirish ko'effitsienti.

Detsibellarda ifodalangan chastotaviy buzilish ko'effitsienti:

$$M_{dB} = 20 \lg M. \quad (12.13)$$

Ko'p kaskadli kuchaytirgichning natijaviy chastotaviy buzilish ko'effitsienti:

$$M_{nat} = M_1 \cdot M_2 \dots M_n;$$

$$M_{nat.dB} = M_{1dB} + M_{2dB} + \dots + M_{n dB}. \quad (12.14)$$

O'rta chastotalarda tranzistorli (12.13-rasm) kaskadning kuchaytirish ko'effitsienti:

$$k_0 = h_{21e} R_{yuk} / R_{kir}, \quad (12.15)$$

bunda h_{21e} – umumiy emitterli sxemadagi baza tokining *statik kuchaytirish koeffitsienti*; R_{yuk} – kollektor yuklamasining qarshiligi, Om; R_{kir} – tranzistorning kirish qarshiligi, Om; C_{ajr} – ajratish kondensatori. Tranzistorli kaskadning emitter zanjirida *harorat bo'yicha stabilizatsiya sxemasi* (12.14-rasm) qo'llanilganda, baza-emitter kuchlanishi:

$$U_{b.e.} = I_{bo1}R_2 - I_{e0}R_e, \quad (12.16)$$

bunda, $I_{bo1} = E_k / (R_1 + R_2)$ – tranzistorning baza zanjiridagi bo'lgichning o'zgarma toki; $I_{bo1} = E_k / (R_1 + R_2)$ – emitter tokining o'zgarma tashkil etuvchisi, A; emitter zanjiridagi *blokirovka etuvchi kondensatorning* C_e sig'imi, $C_e \geq 10 / (2\pi f_q R_e) f_q$ – kuchaytiriluvchi signalning quyi chastotasi, Gs; R_e – emitter zanjiridagi rezistor qarshiligi, Om.

Kuchaytirgichning FIK

$$\eta = P_{chiq} / P_0, \quad (12.17)$$

bunda P_{chiq} – kuchaytirgichning chiqish quvvati; P_0 – manbaning sarflayotgan quvvati.

Yuklama quvvati, $P_{yuk} = \eta P_{chiq}$. Bunda, η – chiqish transformatorining FIK; P_{chiq} – tranzistorda ajralayotgan quvvat.

Chiqish transformatorining (12.15-rasm) birlamchi chulg'amiga keltirilgan R_{kel}^1 yuklama qarshiligi:

$$R_{kel}^1 = R_{yuk} / k^2,$$

bunda k – chiqish transformatorining transformatsiya koeffitsienti.

Manfiy teskari bog'lanishli kuchaytirgich kaskadning kuchaytirish koeffitsienti:

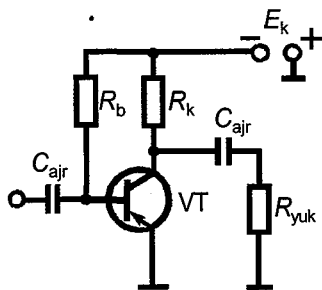
$$k_0 = k_0 / (1 + k_{tb} k_0), \quad (12.18)$$

bunda k_0 – manfiy teskari bog'lanish kiritishdan avval kaskadning kuchaytirish koeffitsienti; k_{tb} – teskari bog'lanish koeffitsienti.

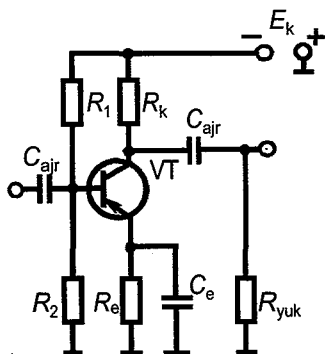
Tebranish konturining *aslligi*:

$$Q = Z_{to1} / r_{isr}, \quad (12.19.)$$

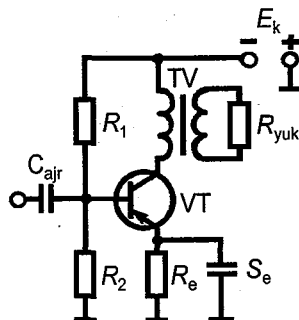
bunda Z_{to1} – konturning to'liq qarshiligi, Om; r_{isr} – isrof qarshiligi, Om.



12.13-rasm



12.14-rasm



12.15-rasm

Masalalar

12.41. Ichki qarshiligi $r_{ich} = 50 \text{ Om}$ va kuchlanishi 25 mV li manba kuchaytirish koeffitsienti $k_u = 10$ bo'lgan kuchaytirgich orqali qarshiligi $R_{yuk} = 10 \text{ kOm}$ li yuklamaga ulangan. Kuchaytirgich ulanganligi sababli xatolik $0,5\%$ dan katta bo'lmاسligi uchun uning kirish va chiqish qarshiligi aniqlansin. Kuchaytirgichning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti hisoblansin.

Yechish. Kuchaytirgichning kirishidagi kuchlanish:

$$U_{kir} = ER_{kir} / (R_{kir} + R_{yuk}).$$

Kuchaytirgichning ulanishi sababli kirishdagi xatolik $0,5\%$ dan katta bo'lmاسligi uchun $U_{kir} \geq 0,995 E$ va $R_{kir} \geq R_{yuk} / 5 \cdot 10^{-3} \geq 10 \text{ kOm}$ bo'lishi kerak. Kuchaytirgich yuklamasining kuchlanishi $U_{yuk} = U_{chiq} R_{yuk} / (R_{kir} + R_{yuk})$. Kuchaytirgichning ulanishi sababli uning chiqishidagi xatolik $0,5\%$ dan katta bo'lmاسligi uchun $U_{yuk} \leq 0,995 U_{chiq}$ yoki $R_{chiq} \leq R_{yuk} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \leq 50 \text{ Om}$ bo'lishi kerak. Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti $k_i = k_u R_{chiq} / R_{kir} = 2000$.

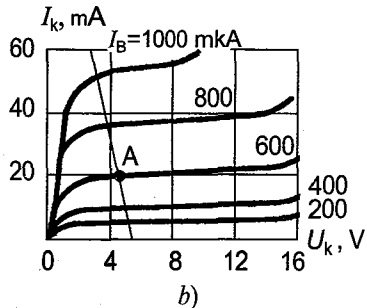
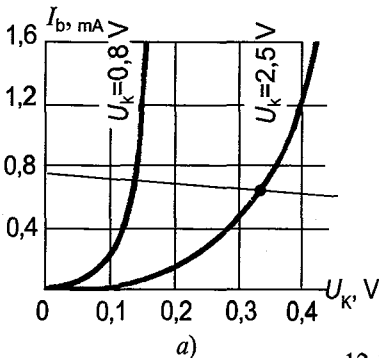
12.42. Sxemasi 12.17-rasmda keltirilgan kuchaytirgich IT308A tranzistorda yig'ilgan. Shu tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikalaridan (12.16-a, b rasm) foydalanib va $R_k = 240 \text{ Om}$, $R_1 = 3 \text{ kOm}$, $R_2 = 100 \text{ Om}$, $E_k = 10 \text{ V}$ ligini hisobga olib, ishchi A nuqta holatini aniqlang.

Yechish. Baza kuchlanishining siljishini hisoblaymiz:

$$U_{be} = E_k R_2 / (R_1 + R_2) = 10 \cdot 100 / (3000 + 100) = 0,32 \text{ V}.$$

Tranzistorning kirish xarakteristikasidagi $U_k = 2,5 \text{ V}$ li egri chiziqdan ishchi nuqta uchun baza tokini topamiz $I_{b0} = 0,6 \text{ mA}$.

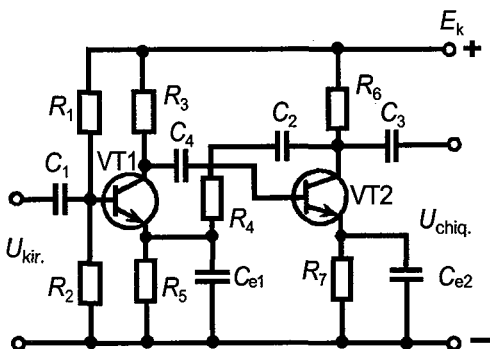
Tranzistorning chiqish xarakteristikalaridan yuklama to'g'ri chizig'ini o'tkazamiz: birinchi nuqtaning koordinatalari $I_k = 0$; $U_k = E_k = 10 \text{ V}$. Ikkinchi nuqtaning koordinatalari $I_k = E_k / R_k = 10 / 240 = 42 \text{ mA}$; $E_k = 0$.



12.16-rasm

Shu yuklama chizig'i bilan $I_{b0} = 600 \text{ mKA}$ bo'lganda chiqish xarakteristikasining kesishgan nuqtasi A ishchi nuqtadir.

12.43. Kuchaytirgichning kirish toki $\pm 5 \text{ mA}$ ga o'zgaradi. Agar tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti 40 dB va yuklama $R_{yuk} = 50 \text{ Om}$ bo'lsa, yuklamadan o'tuvchi tok va kuchlanish aniqlansin. Agar $R_{kir} = 1 \text{ kOm}$ va $R_{chiq} = 5 \text{ Om}$ bo'lsa, kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsientlari topilsin.



12.17-rasm

Yechish. Tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti nisbiy birliklarda:

$$\lg k_i = k_{dB}/20 = 40/20 = 2, \text{ ya'ni } k_i = 100.$$

Kuchaytirgich chiqishidagi signalning amplitudasini tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti $\Delta I_{chiq} = \Delta I_{kir} k_i = 5 \text{ mA} \cdot 100 = 0,5 \text{ A}$ va kuchlanish $k_u = \Delta I_{chiq} R_{yuk} / \Delta I_{kir} R_{kir} = 0,5 \cdot 50 / 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 5$ va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti

$$k_p = k_i k_u = 500.$$

12.44. Kuchaytirish ko'effitsienti $k = 100$ va nochiziq buzilish ko'effitsienti $k_{n.b} = 5\%$ ga ega kuchaytirgich teskari bog'lanish ko'effitsienti $k_{t.b} = 0,04$ o'rnatilgan. Kuchaytirish va nochiziq buzilish ko'effitsientlari qanday o'zgaradi? Nochiziq buzilishlar $k_{n.b} = 0,1\%$ teng bo'lishi uchun teskari bog'lanish ko'effitsienti qancha bo'lishi kerak?

Yechish. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsienti $k_{kuch} = k / (1 + k k_{t.b}) = 100 / (1 + 100 \cdot 0,4) = 20$, ya'ni 5 baravar kamayadi. Xuddi shunday nochiziq buzilish ko'effitsienti ham kamayadi, ya'ni $k_{n.b.2} = k_{n.b.1} / (1 + k_{t.b} k) = 1\%$. Nochiziq buzilish ko'effitsientini $0,1\%$ gacha

kamaytirish uchun teskari bog'lanish ko'effitsienti $k_{t.b} = \frac{1}{k} \left(\frac{k_{n.b.1}}{k_{n.b.2}} - 1 \right) = 0,49$ bo'lishi kerak, lekin bu holda kuchaytirish ko'effitsienti ham kamayadi va $k_{kuch} = 2$ bo'ladi.

12.45. Agar kuchaytirgichning kirishida $I_{kir} = 1 \text{ mA}$, $P_{kir} = 10 \text{ mVt}$ va chiqishida $U_{chiq} = 25 \text{ V}$, $P_{chiq} = 25 \text{ Vt}$ bo'lsa, uning tok, kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsientlarini aniqlang.

12.46. Agar kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsienti $k_p = 40$, kirish signalining quvvati 10 mVt va manbadan olayotgan quvvat $0,48 \text{ Vt}$ bo'lsa, uning FIKni aniqlang. Agar yuklama toki 50 mA bo'lsa, yuklamaning qarshiligi topilsin.

12.47. To'rt kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsientini aniqlang. Har bir kaskadning kuchaytirish ko'effitsienti 5 ga teng.

12.48. To'rt kaskadli kuchaytirgichning umumiy ko'effitsientini aniqlang. Kaskadlarning kuchaytirish ko'effitsientlari $k_1 = 20$ dB, $k_2 = k_3 = 40$ dB va $k_4 = 20$ dB. Kirish toki 0,2 mA bo'lsa, chiqish toki qancha bo'ladi?

12.49. Ikki kaskadli kuchaytirgich sxemasi (12.17-rasm) elementlarining vazifasini tushuntirib bering. Qaysi elementlar birinchi va ikkinchi kaskadlarning kuchaytirish, chastotaviy buzilishlar va teskari bog'lanish ko'effitsientlarini o'zgartiradi?

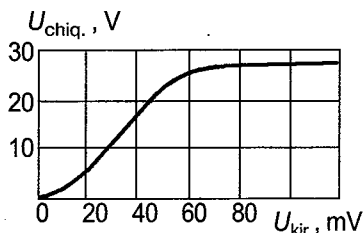
12.50. Kuchaytirgichda (12.17-rasm):

a) C_{e1} — kondensator uzilganda; b) R_{yuk} — zanjiri uzilganda; d) R_5 — rezistor uzilganda uning chiqish signali qanday o'zgaradi?

12.51. Kuchaytirgichning statik xarakteristikasi 12.18-rasmda keltirilgan.

Uning sezmaslik chegarasi, to'yinish

zonasi va ish uchastkasida kuchaytirish ko'effitsienti belgilansin. Kirish signali $U_{kir} = 113$ sin o't V da kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanishning o'niy qiymat grafigini quring.



12.18-rasm

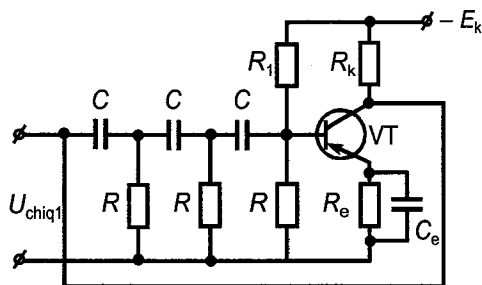
12.4. YUQORI CHASTOTALI TEBRANISHLAR GENERATORLARI

Eng sodda *generator RC* sifatida to'g'ri kuchaytirish k va teskari bog'lanish ko'effitsientlari $k_{t.b}$ ko'paytmasi $kk_{t.b} = 1$ ga teng bo'lgan musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgich xizmat qiladi (12.19- rasm). Bunda natijaviy faza siljishi nolga yoki 2π ga karrali, ya'ni $\varphi_{kuch} + \varphi_{t.b} = 2\pi n$. Bunda n — butun son bo'ladi. Bunday *RC* generatorning tebranishlar chastotasi quyidagicha ifodalanadi:

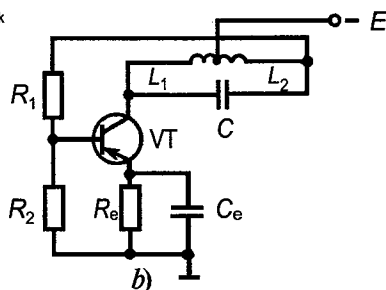
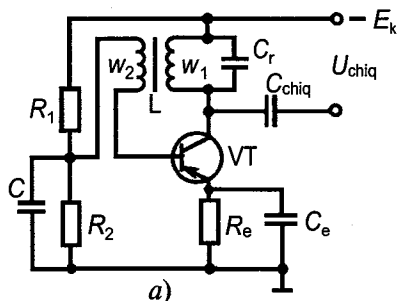
$$f = 1/2\pi\sqrt{6} \cdot RC. \quad (12.20)$$

Generator chiqishidagi signal shakli filtrlovchi zanjirlarning chastotaviy xarakteristikasiga bog'liq. *LC* generatorning chiqishidagi kuchlanish sinusoidal tebranishga yaqin bo'ladi, chunki bunda rezonans konturining chastotaviy xossalardan foydalaniladi. Sinusoidal tebranishlar generatorlarida *transformatorli* (12.20-a rasm), *kondensatorli* (12.20-b rasm) *teskari bog'lanishli sxemalar* qo'llaniladi. Bu turdagi generatorlarning rezonans (f_{rez}) *tebranish chastotasi*, (ρ) *to'lqin qarshiligi*, (Q) *asllik* va (f_d) *o'tkazish kengligi* (polosasi) quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

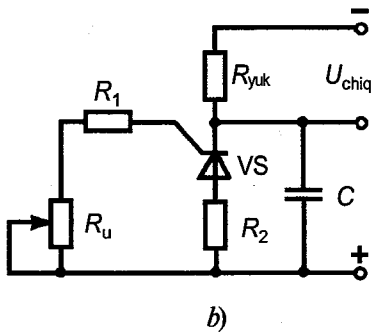
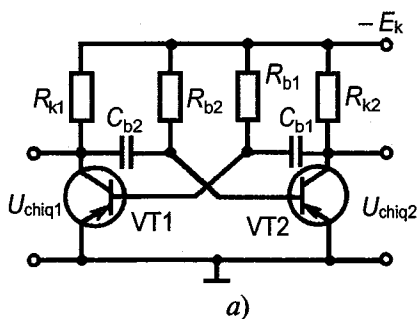
$$f_{rez} = 1/2\pi\sqrt{LC}; \rho = \sqrt{L/C}; Q = \rho/R_L; f_d = f_{rez}/Q. \quad (12.21)$$



12.19-rasm



12.20-rasm



12.21-rasm

Amaliyotda sinusoidal tebranishlar generatorlari bilan bir qatorda *impulsi generatorlar* ham keng tarqalgan. Impulslar (T) *tebranishlari davri*, (f) *chastotasi* va (γ) *oralig'i* bilan xarakterlanadi

$$T = \tau_p + \tau_{i.d.}; \quad f = 1/T; \quad \gamma_{i.d.} = T/\tau_{i.d.} \quad (12.22)$$

bunda τ_p va $\tau_{i.d.}$ — pauza va impulsning davomiyligi; $\gamma_{i.d.}$ — davr mobayni-dagi impuls davomiyligi ko'rsatkichi. To'g'ri burchakli impulslarning eng sodda generatori sifatida *simmetrik multivibratori*ni ko'rsatishi mumkin (12.21-a rasm). Uning tebranishlar davri:

$$T = 0,7(C_{b1}R_{b1} + C_{b2}R_{b2}). \quad (12.23)$$

Sinxronizatsiyalovchi uskunalarda ishlatiladigan quvvati katta va davomiyligi kichik bo'lgan impulsni olish uchun qisqa impulsli generatorlar yoki *bloking-generatorlar* qo'llaniladi. Tiristor asosida yasalgan eng sodda bloking-generator sxemasi 12.21-b rasmda keltirilgan.

Zamonaviy yuqori chastotali generatorlar kuchaytirgichlar kabi operatsion kuchaytirgichlar va mikrosxemalar asosida yasaladi.

Masalalar

12.52. Sig'im bog'lanishli LC generatorda (12.20-b rasm) generatsiyalangan tebranishlar 200 kGs ga teng. Agar $L_1 = 1$ mGn va $L_2 = 1,6$ mGn va ular orasidagi bog'lanish koeffitsienti $k_{bog} = 0,85$ bo'lsa, kondensator sig'imi topilsin. Agar ish rejimida kontur toki 10 mA bo'lsa, konturning kuchlanishi va reaktiv quvvati aniqlansin.

Yechish. Konturning natijaviy induktivligi:

$$L_{ekv} = L_1 + L_2 + 2k_{bog} \sqrt{L_1 L_2} = 4,75 \text{ mGn} ,$$

generatsiyalanayotgan chastota ma'lum bo'lgani uchun $C = 1/L(2\pi f_{rez})^2 = 133$ pF. Konturning kuchlanishi va quvvatini aniqlash uchun uning reaktiv qarshiligi hisoblanadi, ya'ni:

$$X_L - X_C = 2\pi f_{rez} \cdot L_{ekv} = 5,97 \text{ kOm}.$$

Binobarin, konturning kuchlanishi $U_K = 59,7$ V, reaktiv quvvat esa $Q = 0,597$ var.

12.53. Agar tranzistorli multivibratorda (12.21-a rasm) $R_{b1} - R_{b2} = 15$ kOm; $C_{b1} = 10$ pF; $C_{b2} = 50$ pF bo'lsa, baza zanjiri kondensatorlarining zaryadlanish vaqt doimiysini, U_{chiq1} va U_{chiq2} chiqish impulslarining davomiyligini aniqlang. Ikkala chiqish impuls signallarining oralig'ini toping.

Yechish. Kondensator sig'imini rezistor qarshiligiga ko'paytmasi kondensatorning vaqt doimiysini ko'rsatadi. Birinchi zanjir uchun $\tau_1 = R_1 C_{b1} = 15 \cdot 10^3 \cdot 10^{-8} = 0,15$ ms, ikkinchi zanjir uchun $\tau_2 = R_2 C_{b2} = 15 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-8} = 0,75$ ms. Impuls davomiyligi (12.22) formula bilan aniqlanadi, ya'ni $\tau_{i1} = 0,7\tau_1 = 0,105$ ms va $\tau_{i2} = 0,7\tau_2 = 0,525$ ms. Shu formulaga muvofiq tebranishlar davri $T_i = 0,63$ ms, impuls oralig'i $\gamma_{p1} = T/\tau_{i1} = 6$ va $\gamma_{p2} = T/\tau_{i2} = 1,2$.

12.54. Operatsion kuchaytirgich asosida yig'ilgan multivibratorning (12.22-rasm) chiqishidagi impuls va pauzalar davomiyligi quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

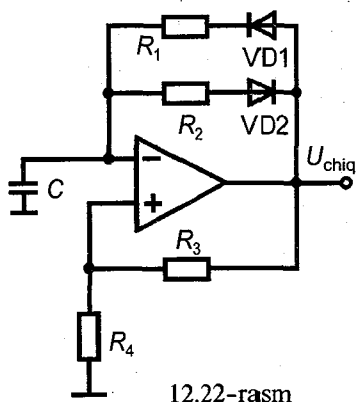
$$\tau_u = R_1 C \ln A; \quad \tau_p = R_2 C \ln A ,$$

bunda $A = [1 + R_4/(R_3 + R_4)]/[1 - R_4/(R_3 + R_4)]$.

Agar multivibrator parametrlari $R_1 = R_2 = 2R_3 = 0,5R_4$ kOm; $C=100$ pF bo'lsa, multivibrator impulslarining davri va chastotasini aniqlang.

12.55. Rezonans konturidagi kondensator sig'imi 1 mkF. Konturning chastotasi 10 kGs bo'lishi uchun qanday induktivlik olish kerak?

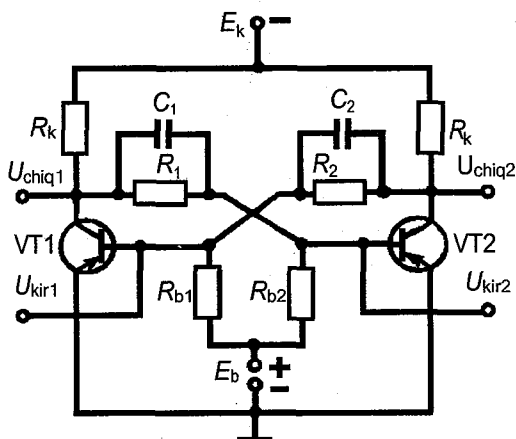
12.56. Kontur aslligi 100 dan kam bo'lmashligi kerak. Drosselning aktiv qarshiligi 50 Om, rezonans chastotasi 5 kGs bo'lishi uchun kondensator sig'imini aniqlang.



12.22-rasm

12.5. ENG SODDA MANTIQUIY SXEMALAR. MIKROSXEMALAR

Ikkilik sanoq sistemasi-ning texnik yechimlari mantiqiy sxemalar asosida ikkita barqaror holatga ega bo'lgan elektron bloklar yordamida bajarishga asoslangan. Bunday sxemalarga triggerlar kiradi. Ular musbat teskari bog'lanishli tranzistorli sxemalardir. Simmetrik trigger (12.23-rasm) boshqaruvchi impuls berilganda bir barqaror holatdan ya'ni tranzistorlardan biri berk, ikkinchisi ochiq bo'lgan boshqa barqaror holatga o'tadi.



12.23-rasm

Tranzistorlarning barqaror holatini ta'minlaydigan shartlar tranzistor kirish qarshiligi va baza tokining quyidagi nisbati bo'yicha aniqlanadi:

$$R_b \leq E_b / I_{k0}; I_b \geq E_k / \beta R_k. \quad (12.24)$$

Trigger mantiqiy amallar (operatsiyalar) blokida hamda xotira elementlarida qo'llaniladi. Raqamli hisoblash mashinalarida raqamli informatsiyani ma'lum qoidalar bo'yicha o'zgartiradigan mantiqiy bloklardan foydalaniladi. Har qanday murakkab mantiqiy amallarni bajarish uchun uchta «YO'Q» (inkor etish), «VA» (konyuksiya), «YOKI» (dizyunsiya) bloklari bo'lishi yetarli (12.24-rasm).

Mantiqiy amallarni bajaradigan bloklar hisoblash mashinalarida, mikroshemalarda, mikroprotssessorlar (summator, shifratör va deshifratör) da qo'llaniladi.

Masalalar

12.57. Simmetrik triggerdan (12.23-rasm) impulsni shakllantiruvchi sxema sifatida foydalanilgan. Uning kirishiga chastotasi o'lanayotgan va amplitudasi $U_{\max} = 3 \text{ V}$ bo'lgan kuchlanish berilgan.

O'lanayotgan chastotaga triggerning chiqishidagi τ_u impulsning davomiyligi qanday bog'langanligi aniqlansin. Chastota $f = 3, 15, 30 \text{ kGs}$ ga teng bo'lganda, τ_u qiymatlari topilsin. Triggerning ishg'a tushish kuchlanishi $U_{\text{ish.t}} = 1,5 \text{ V}$.

Yechish. Triggerning ishg'a tushish vaqti $t_{\text{ish.t}} = T/12$ va qayta ulanish vaqti $t_{\text{q.ul}} = 5T/12$. Impulsning davomiyligi $\tau_u = t_{\text{q.ul}} - t_{\text{ish.t}} = T/3$ yoki $1/3f$. Shu ifodaga masala shartida berilgan chastota qiymatlarini qo'yib, $\tau_u = 110, 22$ va 11 mks ni topamiz.

12.58. «YO'Q» mantiqiy amalini bajaruvchi blokda (12.24-a rasm) manba kuchlanishi 15 V . Rezistorlarning qarshiligi $R_1 = 1 \text{ kOm}$, $R_2 = 100 \text{ Om}$. Agar $\beta = 50$ bo'lsa, tranzistorning berk va ochiq holatiga mos keladigan kirish kuchlanishi qiymatini toping.

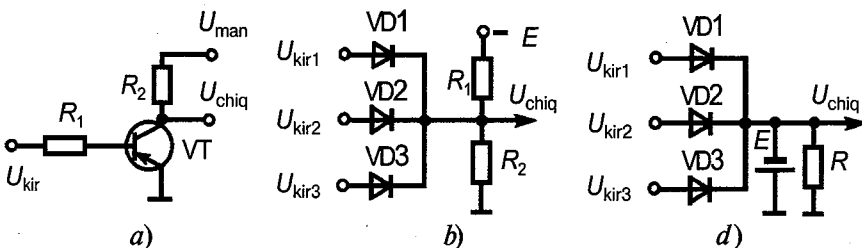
Yechish. Tranzistorning ochiq holatiga mos keladigan baza toki

$$I_b = \frac{U}{\beta R_2} = \frac{15}{50 \cdot 0,1} = 3 \text{ mA}, U_{\text{h.e}} \text{ ni kuchlanish kichik bo'lgani uchun hisob-}$$

ga olmasak, tranzistorning ochiq holatiga mos keladigan kirish kuchlanishi $U_{\text{kir}} = I_b R_1 = 3 \cdot 1 = 3 \text{ V}$.

Binobarin, tranzistorning ochiq holati uchun kuchlanish $U_{\text{kir}} \geq 3,0 \text{ V}$ ga va berk holati esa kichikroq kuchlanishga to'g'ri keladi.

12.59. Simmetrik triggerda (12.23-rasm) tranzistorlarning parametrlari $\beta = 60$ va $I_{k0} = 1 \text{ mA}$. Kollektor va baza zanjirlarining manba kuchlanishi mos ravishda 15 va $1,5 \text{ V}$. Agar kollektor zanjiridagi $R_k = 10 \text{ kOm}$ bo'lsa, triggerning ishonchli ishlashi uchun baza zanjiridagi R_b qarshilik va I_b tok topilsin.



12.24-rasm

12.60. Triggerning ochiq va berk holatlarida uning tranzistorida ajralayotgan quvvat topilsin. Manba kuchlanishi 5 V, tranzistorning to'yin-gan holatida kollektor-emitterdagi $U_{ke} = 0,2$ V. Kollektorning teskari toki $I_{k0\ tes} = 2,5$ mA, kollektor rezistorining qarshiligi $R_k = 1,5$ kOm.

12.61. Mantiqiy "VA" amalni bajaruvchi blokning sxemasi 12.24-b rasmda keltirilgan. Kuchlanish bo'lgichiga ($R_2/R_1 = 5$) $U = 15$ V kuchlanish berilayotgan bo'lsa, chiqish qismalaridagi kuchlanishning ishorasini o'z-gartira oladigan kirish qismalariga beriladigan minimal kuchlanish topilsin.

12.62. Mantiqiy "YOKI" amalini bajaradigan blokning sxemasi 12.24-d rasmda keltirilgan. Uning tayanch manbaining EYuKi $E = -5$ V. Agar $R = 100$ Om bo'lsa va har bir diodga $U_{kir} = 1,5$ V kuchlanish berilsa, blokning chiqishidagi kuchlanish topilsin. Agar dioddagi kuchlanish pa-sayishi hisobga olinmasa, R rezistordagi tok aniqlansin.

12.63. Yarim o'tkazgichli va gibrid integral sxemalarning konstruktiv xususiyatlarini bayon eting. Raqamli va analog integral sxemalarning asosiy farqi nimadan iborat?

12.64. Mikroshemalarning korpusini va diskret yarim o'tkazgich as-boblar korpuslarining asosiy farqlarini va integral mikroshemalarni statik elektrikdan himoya qilish usullarini izohlab bering. Mikroshemalarning issiqlik rejimlari qanday ta'minlanadi?

**Xalqaro sistemada (SI) elektr, magnit va mexanik kattaliklar,
parametrlar va ularning o'lchov birliklari**

Kattaliklar nomi	(SI) Xalqaro sistemadagi birliklar		
	Nomi	O'lchov birligi	Belgisi
Uzunlik	metr	m	<i>l</i>
Yuza, sirt	kv. metr	m ²	<i>S</i>
Hajm	kub. metr	m ³	<i>V</i>
Massa	kilogramm	kg	<i>m</i>
Vaqt	sekund	s	<i>t</i>
Tezlik	metrning sekundga nisbati	m/s	<i>v</i>
Kuch	nyuton	N	<i>F</i>
Ish	joul (vatt sekund)	J	<i>W</i>
Issiqlik miqdori	joul	J	<i>Q</i>
Harorat	kelvin	K	<i>T</i>
Burchak tezligi, burchak chastotasi	radianning sekundga nisbati	rad/s	ω
Yassi burchak	radian	rad	α, φ, ψ
Kuch momenti	nyuton · metr	N·m	<i>M</i>
Aktiv quvvat	vatt	W	<i>P</i>
Reaktiv quvvat	volt-ampere reaktiv	var	<i>Q</i>
To'la quvvat	volt-ampere	V·A	<i>S</i>
Kuchlanish, EYuK	volt	V	<i>U, E</i>
Tok	ampere	A	<i>I</i>
Tok zichligi	ampere kv. metr ga nisbati	A/m ²	<i>d</i>
Zaryad, elektr miqdori	kulon	C	<i>Q, q</i>
Elektr maydon kuchlanganligi	voltning metr ga nisbati	V/m	<i>E_n</i>
Sig'im	farada	F	<i>S</i>
Absolut dielektrik singdiruvchanlik	faradaning metr ga nisbati	F/m	Σ_0
Qarshilik	om	Ohm	<i>R</i>
Solishtirma qarshilik	om metr	Ohm · m	ρ
O'tkazuvchanlik	simens	S	<i>g</i>
Solishtirma o'tkazuvchanlik	simensning metr ga nisbati	S/m	γ
Magnit oqim	veber	Wb	Φ
Magnit induksiya	tesla (veberning kv. metr ga nisbati)	T	<i>B</i>
Magnit maydon kuchlanganligi	ampere metr ga nisbati	A/m	<i>H</i>
Absolut magnit singdiruvchanlik	genri metr ga nisbati	Gn/m	μ_0
Induktivlik	genri	Gn	<i>L</i>
Reaktiv qarshilik	om	Ohm	<i>X</i>
To'la qarshilik	om	Ohm	<i>Z</i>
Chastota	gers	Gs	<i>f</i>

O'nga karrali va bo'lakli birliklar

Bog'lovchining nomi	Bog'lovchining belgisi		Asosiy birlik ko'paytmasi
	o'zbekcha	xalqaro	
deka	da	<i>da</i>	10^1
gekto	g	<i>h</i>	10^2
kilo	k	<i>k</i>	10^3
mega	M	<i>M</i>	10^6
giga	G	<i>G</i>	10^9
detsi	d	<i>d</i>	10^{-1}
santi	s	<i>c</i>	10^{-2}
milli	m	<i>m</i>	10^{-3}
mikro	mk	μ	10^{-6}
nano	n	n	10^{-9}
piko	p	p	10^{-12}

Elektr o'tkazgich materiallarning asosiy xarakteristikallari

Material	Zichlik, kg/m ³	Solishtirma qarshilik, 10^{-6} , Om·m	Solishtirma o'tkazuvchanlik, 10^6 , Sm/m	Qarshilikning temperatura koeffitsienti, 10^{-6} , 1/K
Mis	8900	0,0176	57	4,11–4,20
Alumin	2700	0,0278	35	4,31–4,39
Latun	8500	0,04	25	2,70–2,80
Volfram	19100	0,0612	16,34	4,1–5,0
Po'lat sim	7900	0,13	7,6	5,7–6,2
Qalay	7300	0,143	7	4,4
Qo'rg'oshin	11400	0,221	4,52	3,8–4,1
Nixrom	8200	0,98	1,02	0,15
Konstantan	8800	0,4–0,51	2,5–1,98	0,005
Fexral	7600	1,4	0,7	0,28
Manganin	8100	0,42	2,38	0,06

Dielektriklarning asosiy xarakteristikallari

Material	Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik	Elektr mustahkamlik, MV/m
Havo (293K va bosim 100 kPa)	1*	3,3**
Qog'oz	1,8–2,6	10
Parafin	2–2,3	40
Poliyeten	2,4	40
Polistirol	2,4	50
Karton	4,8	15
Lakotkan	5–6	100
Mineral yog'	2,2–2,5	20
Ebonit	3–3,5	20

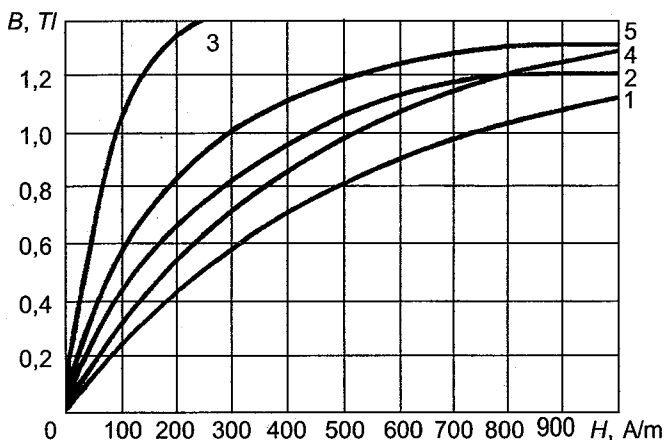
Material	Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik	Elektr mustahkamlik, MV/m
Kvars, shisha, slyuda	5–10	25
Farfor (chinni)	4,5–6	15
Alumin oksidi	—	100
Bariy titanat	800–2200	—

* – dielektrik singdiruvchanlikning o'rtacha qiymatlari ko'rsatilgan;

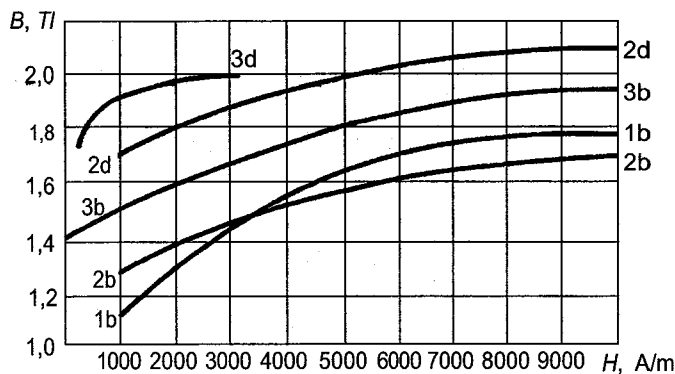
** – dielektrikning 1 mm qalinligi uchun.

5-i l o v a

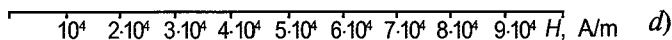
Elektrotexnik materiallarning magnitlanish egri chizig'i



a)



b)



c)

I z o h. 1 – quyma po'lat, 2 – elektrotexnik po'lat 1512 (issiq holatda yoyilgan); 3 – sovuq holatda yoyilgan elektrotexnik po'lat tunuka 3411; 4 – issiq holatda yoyilgan elektrotexnik po'lat tunuka 1212; 5 – issiq holatda yoyilgan elektrotexnik po'lat tunuka 1410

O'zgaras tok mashinalari

Elektr motor turi	Nominal quvvat P_{nom} kVt	Maksimal aylanish chastotasi, ayl/min				Siltash momenti, kg·m ²	Massasi, kg
		110	220	340	440		
$n_{nom} = 1000$ ayl/min							
2PB132M	1,6	4000	3000	2500	2500	0,15	86
2PB132L	1,9	4000	3000	2500	2500	0,187	96
2PB160M	2,5	4000	3000	2500	2500	0,334	141
2PB160L	3,2	4000	3000	2500	2500	0,416	152
2PB180M	4,5	3500	3000	2500	2500	0,8	213
2PH180L	10,0	3500	3000	2500	2500	0,916	234
$n_{nom} = 750$ ayl/min							
2PH132M	1,6	3000	2500	2000	1850	0,15	86
2PH132L	1,9	3000	2500	2000	1850	0,187	96
2PH160M	3,0	3000	2500	2000	1850	0,334	141
2PH160L	4,0	3000	2500	2000	1850	0,416	159
2PH180M	5,6	3000	2500	2000	1850	0,8	213

Qisqa tutashtirilgan rotorli 4A seriyali asinxron elektr motorlarning texnik xarakteristikallari

Motor turi	P_{nom} , kVt	Nominal yuklanishda			$\frac{M_{max}}{M_{nom}}$	$\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}}$	$\frac{M_{min}}{M_{nom}}$	$\frac{I_{ish.t}}{I_{nom}}$	j, kg·m ²
		n, ayl/min	η , %	cos φ					
$n = 3000$ ayl/min (sinxron)									
4AA50A2Y3	0,09	2740	60,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,245 \cdot 10^{-4}$
4AA50B2Y3	0,12	2710	63,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,268 \cdot 10^{-4}$
4AA56A2Y3	0,18	2800	66,0	0,76	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,14 \cdot 10^{-4}$
4AA56B2Y3	0,25	2770	68,0	0,77	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,65 \cdot 10^{-4}$
4AA63A2Y3	0,37	2750	70,0	0,86	2,2	2,0	1,5	4,5	$7,63 \cdot 10^{-4}$
$n = 1500$ ayl/min (sinxron)									
4AA50A4Y3	0,06	1380	50,0	0,60	2,2	2,0	1,7	2,5	$0,29 \cdot 10^{-4}$
4AA50B4Y3	0,09	1370	55,0	0,60	2,2	2,0	1,7	2,5	$0,325 \cdot 10^{-4}$
4AA56A4Y3	0,12	1375	63,0	0,66	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,0 \cdot 10^{-4}$
4AA56B4Y3	0,18	1365	64,0	0,64	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,88 \cdot 10^{-4}$
4AA63A4Y3	0,25	1380	68,0	0,65	2,2	2,0	1,5	4,0	$12,4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B4Y3	0,37	1365	68,0	0,69	2,2	2,0	1,5	4,0	$13 \cdot 10^{-4}$
4A71A4Y3	0,55	1390	70,5	0,70	2,2	2,0	1,8	4,5	$13,8 \cdot 10^{-4}$
$n = 1000$ ayl/min (sinxron)									
4AA63A6Y3	0,18	885	56,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$2 \cdot 10^{-3}$
4AA63B6Y3	0,25	890	59,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$22 \cdot 10^{-4}$
4A71A6Y3	0,37	910	64,5	0,69	2,2	2,0	1,8	4,0	$17 \cdot 10^{-4}$
4A71B6Y3	0,55	900	67,5	0,71	2,2	2,0	1,8	4,0	$2 \cdot 10^{-3}$
4A80A6Y3	0,75	915	69,0	0,74	2,2	2,0"	1,6	4,0	$3 \cdot 10^{-4}$

Motor turi	P_{nom} , kVt	Nominal yuklanishda			$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{nom}}}$	$\frac{M_{\text{ish.t}}}{M_{\text{nom}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{nom}}}$	$\frac{I_{\text{ish.t}}}{I_{\text{nom}}}$	j, kg·m²
		n, ayl/min	η , %	cos φ					
$n = 750$ ayl/min (sinxron)									
4A71B8Y3	0,25	680	56,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,0	$18,5 \cdot 10^{-4}$
4A80A8Y3	0,37	675	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$33,8 \cdot 10^{-4}$
4A90LB8Y3	1,10	700	70,0	0,68	1,9	1,6	1,2	3,5	$86,3 \cdot 10^{-4}$
4A100L8Y3	1,50	700	74,0	0,65	1,9	1,6	1,2	4,0	$1,3 \cdot 10^2$

7-i l o v a

To'g'rilagichlarning asosiy parametrlari

To'g'rilagich parametrlari	To'g'rilagichlarning turlari			
	bir yarim davrli	bir fazali ikki yarim davrli		uch fazali ikki yarim davrli
		o'rta nuqta	ko'priki	
To'g'rilangan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi (nolinchi garmonika), $U_{to'g'}$	$0,45^* I_{kir}$	$0,9 U_{kir}$	$0,9 U_{kir}$	$1,35 U_{kir}$
To'g'rilangan tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi (nolinchi garmonika) $I_{to'g'}$	$0,637 I_{kir}^*$	$1,27 I_{kir}$	$0,9 I_{kir}$	$0,95 I_{kir}$
To'g'rilagichning toki	$1,57 I_{to'g'}$	$0,78 I_{to'g'}$	$0,78 I_{to'g'}$	$0,58 I_{to'g'}$
Pulsatsiya k_{n0} koeffitsienti	1,57	0,78	0,78	0,26
To'g'rilagichning teskari yo'nalishdagi kuchlanishi U_{tesk}	$3,14 U_{0to'g'}$	$3,14 U_{0to'g'}$	$1,57 U_{0to'g'}$	$1,05 U_{0to'g'}$
Pulsatsiya chastotasi f_p	f_s^{**}	$2 f_s$	$2 f_s$	$6 f_s$

* U_{kir} va I_{kir} — kirish kuchlanishi va tokning ta'sir etuvchi qiymati.** f — manba kuchlanishi chastotasi.

8-i l o v a

PN va MN tipli o'zgarmas tok mashinalarining universal magnit xarakteristikalari

$I_{qo'z}/I_{qo'z.nom}$	Φ/Φ_{nom}	$I_{qo'z}/I_{qo'z.nom}$	Φ/Φ_{nom}	$I_{qo'z}/I_{qo'z.nom}$	Φ/Φ_{nom}
0,00	0,05	0,55	0,75	1,10	1,04
0,05	0,10	0,60	0,80	1,15	1,06
0,10	0,20	0,65	0,84	1,20	1,08
0,15	0,30	0,70	0,88	1,25	1,10
0,20	0,40	0,75	0,91	1,30	1,12
0,25	0,45	0,80	0,93	1,35	1,14

**Ba'zi bir izolyatsiyalangan o'tkazgich (simlar) va kabellar uchun davomli
tok yuklamasi**

		Kuchlanish kabellari uchun yuklama toki, A		
Ko'ndalang kesim yuzi, mm²	ikki simli kuchlanish 1kV gacha	uch simli		to'rt simli 1 kV gacha
		6 kV gacha	10 kV gacha	
Yer ostida				
6	80/60	—	—	—
10	105/80	80/60	—	85/65
16	140/110	105/80	95/75	115/90
25	185/140	135/705	120/90	150/115
35	225/175	160/125	150/115	175/135
50	270/210	200/155	180/140	215/165
70	325/250	245/190	215/165	265/200
95	380/290	295/225	265/205	310/240
120	435/335	140/260	310/240	350/270
150	500/385	390/300	355/270	395/305
185	—	440/340	400/310	450/345
240	—	510/390	460/355	—
Havoda				
6	55/42	—	—	—
10	75/55	55/42	—	60/45
16	95/75	65/60	60/46	80/60
25	130/100	90/70	85/65	100/75
35	150/115	110/85	105/80	120/95
50	185/140	145/110	135/105	145/110
70	225/175	175/135	165/130	185/140
95	275/210	215/165	200/155	215/165
120	320/245	250/190	240/185	260/200
150	375/290	290/225	270/210	300/230
185	—	325/250	305/235	340/260
140	—	375/290	350/270	—

I z o h l a r: 1. Suratda mis simlar uchun maxrajda alumin simlar uchun yuklama berilgan.

2. Kabellar yuklamalari (ularning chuqurligi 0,7 m transheyalariga bittadan ortiq ko'milmagan) yer osti temperaturasi 15 °C li sharoitga to'g'ri keladi.

3. Sun'iy ventilyatsiyasi bo'lmagan yer ostiga ko'milgan trubalardan o'tkazilgan bitta kabelga yuklama havodan o'tkazilgan kabel yuklamalari kabi olinadi.

4. Agar aralash uchastkadan o'tkaziladigan kabelning uzunligi 10 m dan uzun bo'lsa, uning yuklamasi eng og'ir issiqlik shartlaridan kelib chiqqan holda olinadi. Bu hollarda ko'ndalang kesimi kattaroq kabel vstavkalar olish tavsiya etiladi.

5. Transheyaga bir necha kabel yotqizilganda (quvurlardan o'tkazilganda ham) yuklamalar kamaytirilishi lozim.

6. Transheyaga yotqiziladigan kabellarning orasi 100 mm dan kam bo'lmasligi shart.

JAVOBLAR

I BOB

1.4. 2. **1.5.** $3,33 \text{ N}$. **1.6.** $3,3 \cdot 10^{-8} \text{ Kl}$. **1.7.** Kichik zaryaddan 33 mm . **1.8.** $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$. **1.9.** $2,53 \text{ N}$; $0,85 \text{ N}$; $0,45 \text{ N}$. **1.10.** $0,08 \text{ Kl/m}^2$. **1.14.** $5 \cdot 10^{-5} \text{ Kl}$. **1.15.** $0,62 \text{ nF}$. **1.17.** $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$. **1.18.** $0,557 \text{ nF}$. **1.19.** $56,5$. **1.20.** $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. **1.21.** $7,25 \div 38,25 \text{ pF}$. **1.22.** $1,65$; $1,28$; $1,11$. **1.23.** $23 \div 180 \text{ pF}$. **1.24.** $9,5 \text{ mm}$; $9,7 \text{ mm}$; $9,8 \text{ mm}$. **1.25.** 50 mJ . **1.26.** $31,2 \text{ mJ}$; 125 mJ ; 281 mJ . **1.27.** 11 . **1.28.** 60 mkF . **1.29.** 80 pF . **1.30.** $0,48 \text{ m}$. **1.31.** 6 mkF .

II BOB

2.13. $1,5 \text{ mm}$; $0,09 \text{ Om}$. **2.14.** 78 Om ; 65 mm^2 . **2.15.** $3,14 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$. **2.16.** $3,8 \text{ mm}$. **2.17.** 8 m . **2.18.** 50 m . **2.19.** $1,41$; $0,5$; $0,315$. **2.21.** $0,625$; $2,1$ marta. **2.22.** 11 kOm . **2.23.** 10^{-3} K^{-1} . **2.25.** $6,17 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$; 265 Om . **2.27.** 20 mA ; 40 mA ; 25 mA ; 100 mA . **2.29.** 10 V ; 5 V ; $2,5 \text{ V}$. **2.31.** 200 V . **2.34.** $6,6$ va 0 A . **2.36.** 5 A ; $4,5 \text{ A}$; $4,4 \text{ A}$; 18 A va 22 A . **2.37.** 7 V . **2.40.** $1,875 \text{ A}$; 10 Om . **2.41.** $6,2 \text{ A}$; $5,9 \text{ A}$. **2.42.** $0,141 \text{ A}$; $11/6$. **2.46.** $0,16 \text{ s}$. **2.49.** $0,69 \text{ ms}$. **2.50.** $0,73 \text{ ms}$.

III BOB

3.7. $0,67 \text{ mGn/m}$. **3.8.** $0,628 \text{ mGn/m}$. **3.9.** $0,16 \text{ A/m}$; 20 A .

IV BOB

4.10. 10 A ; 120 V ; 12 Om . **4.11.** $i = 8,5 \sin(314t - 45^\circ) \text{ mA}$. **4.13.** $12,7 \text{ A}$ va 127 V . **4.14.** $4,2 \text{ Om}$; 10 A ; 42 V . **4.15.** a) $8,4 \text{ Om}$, aktiv, b) $4,2 \text{ Om}$, sig'ım, c) $4,2 \text{ Om}$, induktiv, d) $8,4 \text{ Om}$, aktiv. **4.17.** $7,6 \text{ mkF}$. **4.19.** $i = 6,8 \sin(2500t - \pi/2) \text{ A}$. **4.21.** $70,3 \text{ Om}$. **4.23.** $2,2 \text{ mkF}$, diagonallar uzilganda $C_{\text{ekv}} = 1,66 \text{ mkF}$; qisqa tutashtirilganda $C_{\text{ekv}} = 0,33$. **4.29.** 627 Vt ; $940,5 \text{ Vt}$. **4.30.** 5 Vt ; 4 mGn . **4.31.** $2,2 \text{ Vt}$; $26,5 \text{ mkF}$. **4.32.** $13,1 \text{ A}$, $\angle 85^\circ$; $2,88 \text{ kV} \cdot \text{A}$; 251 Vt ; $2,87 \text{ kvar}$. **4.33.** $5,7 \text{ A}$, $\angle 79^\circ$; $1,25 \text{ kV} \cdot \text{A}$; 228 Vt ; $1,23 \text{ kvar}$. **4.34.** $0,235 \text{ A}$, $\angle -83^\circ$; $51,8 \text{ V} \cdot \text{A}$; $4,5 \text{ Vt}$; $51,6 \text{ var}$. **4.35.** $36,7 \text{ mA}$; A^2 ; $8 \text{ V} \cdot \text{A}$; 8 Vt ; $0,3 \text{ var}$. **4.41.** chastota ifodasidan $f = f_0 \sqrt{L_0/L} = 7,1$; 5 va $31,6 \text{ kGs}$. **4.42.** $Z_1 = Z_2 = 153 \text{ Om}$; $S = 80 \text{ V} \cdot \text{A}$; $P = 51,5 \text{ Vt}$; $Q = \pm 60 \text{ var}$. **4.44.** $\Delta f = 225 \text{ Gs} \pm 6 \%$. **4.47.** $(4,68 \div 5,44) \text{ kGs}$.

V BOB

5.7. 127 V; 220 V. **5.8.** 3,5 A; 220 V. **5.9.** 30 A; 127 V. **5.10.** 3,1 A; 2,8 A; 3,8 A; $I_0 = 1,5$ A. **5.11.** $I_{fa} = 10,3$ A; $I_{fb} = 12$ A; $I_{fc} = 9,8$ A; $I_0 = 3$ A. **5.12.** $I_{fa} = 15,25$ A; $I_{fb} = 21,2$ A; $I_{fc} = 16,9$ A; $I_0 = 12$ A. **5.16.** 127 V va 3,5 A. **5.17.** 7 A. **5.18.** 18,2 A. **5.19.** $11,0\sqrt{3}$ A; $13,7\sqrt{3}$ A va $13\sqrt{3}$ A. **5.20.** 5,8 A, $\angle 82^\circ$; 9,2 A, $\angle -120^\circ$; 15,8 A, $\angle 125^\circ$. **5.21.** a) $I_{fb} = I_{fc} = 51,4$ A; $I_{fa} = 10,3$ A; b) $I_{fc} = 25,7$ A; $I_{fa} = 51,4$ A. **5.22.** 13,4 kV · A; 20 va 35 A. **5.23.** 132 mkF. **5.24.** 28,3 A; 21,4 A.

VI BOB

6.5. 0,5. **6.7.** 100 bo'linma; 2 mA/bo'l va 60 mA. **6.8.** Shkala tenglamasi $y = 10\sqrt{x}$ bundan a) 7,1 A; b) 5 A; d) 8,7 A. **6.12.** 440 m; 90 mVt. **6.14.** 320 V · A; 250 var; 0,625. **6.15.** 504 kVt; 7,6 kVt · soat. **6.17.** 1100 Vt; 3300 Vt. **6.18.** 786 kVt · soat. **6.21.** Ko'priknig balans tenglamasi $(R_x + R/2)R_1 = (R_1 + R_2/2)R_2$ bundan $R_x = 400$ Om. **6.24.** $R_x = R_V U / (IR_V - U) = 917$ Om. **6.25.** 1,45 mkF. **6.26.** $(0,4 \div 40)$ mGn. **6.27.** 1 Om; 15,6 mGn. **6.28.** 26 mGn va 4.

VII BOB

7.7. 222 V. **7.8.** 800 va 200. **7.9.** 3. **7.10.** $4 \pm 0,03$. **7.13.** 500 va 250. **7.15.** 1. **7.16.** 4,2 va 1,3. **7.17.** 11,4 mm². **7.22.** 600; 55 Vt. **7.23.** O'ramlar orasidagi kuchlanish 11 V; kontakt qarshilik 110 Om. **7.25.** 100. **7.30.** Y/Y - 12 da $U_{lin2} = 400$ V va Y/ Δ - 11 da $U_{lin2} = 230$ V.

VIII BOB

8.6. 0,8 Om. **8.8.** 11,5 A va 191,5 A. **8.9.** Dastlabki tenglamalar sistemasi $E = C_E n \Phi$ va $E + 120 = C_E 1,5 n \Phi$, bundan $E_1 = 120$ V; $E_2 = 240$ V. **8.10.** Dastlabki tenglamalar sistemasi $I = E / (R_{yuk} + R_{ya})$ va $1 - 10 = E / (2R_{yuk} + R_{ya})$; bundan $I_1 = 21$ A va $I_2 = 11$ A. **8.11.** Yakor chulg'amlarini tok bo'lgichi sifatida qarash mumkin va shuning uchun $I_{ya1} = \frac{I_{ya} R_{ya}}{R_{ya1} + R_{ya2}} = 143$ A va $I_{ya2} = I_{nom} \frac{R_{ya2}}{R_{ya1} + R_{ya2}} = 205$ A. **8.12.** 550 va 60,5 kVt; 1,32 kA. **8.13.** 2,5 mA. **8.26.** 83,6% va 0,91. **8.27.** 2% va 92,5%. **8.29.** 5 va 35%. **8.31.** 2,66% va 4. **8.32.** a) 129 V; b) 2,8 V. **8.35.** 11,78 kVt; 13,86 kVt. **8.36.** 138 kVt va 0,9.

IX BOB

9.6. 13 A ($I_{nom} = 16$ A); 24 A ($I_{nom} = 25$ A); 30 A ($I_{nom} = 40$ A).

X BOB

10.4. Motor validagi moment $M_m = 9,55P/\eta n = 11,6 \text{ N} \cdot \text{m}$; uzatish koeffitsientlari 2; 3 va 4; Aylanish chastotasi 1900; 2850 va 3800 ayl/min. **10.16.** 6,86 kVt. **10.17.** 14,1 kVt va 295 N · m. **10.19.** $P_m = vG/\eta$. **10.20.** 10,8 kVt ($P_{st} = 11 \text{ kVt}$). **10.21.** 2,9 kVt ($P_{st} = 3 \text{ kVt}$). **10.22.** 14 kVt ($P_{st} = 15 \text{ kVt}$). **10.23.** 20,2 kVt ($P_{st} = 22 \text{ kVt}$). **10.24.** 0,68 m/s.

XI BOB

11.5. 113 mm². **11.6.** 217 mm² ($S_{nom} = 240 \text{ mm}^2$). **11.7.** I_x 76 A; $S_{nom} = 10 \text{ mm}^2$. **11.8.** 4%. **11.9.** 2,8 marta. **11.13.** 1,22 marta. **11.14.** $\Delta W = 3I^2 R t = 180 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ yoki 2,3%. **11.17.** 760 va 72 mA. **11.18.** 1,5 mA. **11.22.** 6 mm; 52 m. **11.23.** 1,5 mm va 41 m. **11.24.** 1,6 kVt; 7,3 A. **11.25.** 643 mkF; 49,8 kvar. **11.30.** $n = WS/2 P_1 = 6$. **11.31.** 144 Vt ($P_{nom} = 150 \text{ Vt}$).

XII BOB

12.10. 0,5 V Ba 20 mA. **12.11.** 90 V. **12.12.** 2,1 A. **12.16.** 50,6 mA; 5 V; 25 V. **12.17.** Dastlabki tenglamalar sistemasi $1,8 = \beta(25 + I_{k0})$ va $4,8 = \beta(75 + I_{k0})$ bunda $I_{k0} = 50 \text{ mA}$, $\alpha = 0,99$ va $\beta = 60$. **12.18.** $\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta\beta}{\beta} \cdot \frac{1}{\beta+1} = 0,04\%$ va $\alpha = 0,996 \pm 0,0004$. **12.21.** 1; 20 mA. **12.22.** $U_{qayta ul} = 100 \text{ V}$ va tok 1 mA. **12.36.** 110 V; 0,4 A. **12.37.** 40 V va 1,1 A. **12.39.** 16 mkF; 8,2. **12.40.** 4,7. **12.46.** 83,3%; 160 Om. **12.55.** 0,254 mGn. **12.56.** 6,4 nF. **12.60.** $P_{berk} = 0,05 \text{ mVt}$; $P_{ochiq} = 16 \text{ mVt}$.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Березкина Т.Ф. Гусев Н.Г., Масленников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники. М.: Высшая школа, 2001. — 380 с.
2. Karimov A.S., Mirhaydarov M.M. va boshq. Elektrotexnika va elektronika asoslari — T.: O'qituvchi, 1995. — 469 b.
3. Новиков П.Н. Клужман В.Я. и др. Задачник по электротехнике: Проф. обр. издат. М., 2001. — 336 с.
4. Majidov S. Elektrotexnika. — T.: O'qituvchi, 2000. — 264 b.
5. Majidov S. Elektr mashinalari va elektr yuritma. — T.: O'qituvchi, 2002. — 360 b.
6. Электротехника / Под ред. А. Я. Шихина. — М.: Высшая школа, 1989. — 336 с.

MUNDARIJA

Soʻz boshi	3
1-bob. Elektrostatika	4
1.1. Elektrostatik maydon	4
1.2. Kondensatorlar	5
2-bob. Oʻzgarmas tok elektr zanjiri qonunlari	10
2.1. Om va Kirxgof qonunlari.	10
2.2. Oʻzgarmas tok murakkab zanjirlarini hisoblash usullari	22
2.3. Elektr zanjirlarda oʻtish jarayonlari	28
3-bob. Magnit zanjirlar	31
3.1. Magnit zanjirlarning xarakteristikallari. Elektromagnitlar	31
3.2. Tarmoqlanmagan magnit zanjirni hisoblash	34
3.3. Tarmoqlangan magnit zanjirni hisoblash	36
4-bob. Oʻzgaruvchan tok elektr zanjirlari	39
4.1. Bir fazali sinusoidal tok zanjirlarini hisoblash	39
4.2. Sinusoidal oʻzgaruvchan tokda quvvat va quvvat koeffitsienti	51
4.3. Oʻzgaruvchan tok elektr zanjirida rezonans	54
5-bob. Uch fazali oʻzgaruvchan tok zanjirlari	58
5.1. Uch fazali oʻzgaruvchan tok zanjirlarini hisoblash usullari	58
6-bob. Elektr oʻlchash asboblari va ularning qoʻllanilishi	66
6.1. Elektr oʻlchash asboblarning asosiy xarakteristikallari va oʻlchash xatoliklari	66
6.2. Tok, kuchlanish, quvvat va energiyani oʻlchash	69
6.3. Rezistor va reaktiv elementlarning parametrlarini oʻlchash	73
7-bob Transformatorlar	79
7.1. Transformatorlarning xarakteristikallari va ish rejimlari	79
7.2. Avtotransformatorlar. Maxsus transformatorlar	85
7.3. Uch fazali transformatorlar	87
8-bob Elektr mashinalar	91
8.1. Oʻzgarmas va oʻzgaruvchan tok generatorlari	91
8.2. Oʻzgarmas tok motorlari	95
8.3. Oʻzgaruvchan tok motorlari	97
9-bob Elektr apparatlar	105
9.1. Dastaki va avtomatik boshqariladigan apparatlar	105

9.2. Elektr zanjirni uzuvchi avtomatlar	106
9.3. Elektromagnit va elektron relelar	107
10-bob. Elektr yuritma va elektroavtomatika	109
10.1. Elektr yuritma va uning ish rejimlari	109
10.2. Elektr yuritma uchun elektr motor tanlash	111
11-bob. Elektr energiya ishlab chiqarish, taqsimlash va iste'mol qilish	116
11.1 Elektr energiyaning taqsimlanishi	116
11.2. Korxonalar va turar joylarning elektr ta'minoti	119
11.3. Elektr isitish qurilmalari. Elektr payvandlash	122
11.4. Elektr yoritish	124
12-bob. Elektron asboblari va qurilmalar	127
12.1. Elektron asboblarning parametrlari va xarakteristikalar	127
12.2. To'g'rilagich qurilmalar	133
12.3. Elektron kuchaytirgichlar	138
12.4. Yuqori chastotali tebranishlar generatorlari	142
12.5. Eng sodda mantiqiy sxemalar. Mikrosxemalar	145
Illovalar	148
Javoblar	154
Foydalanilgan adabiyotlar	157

Nasim Jabborov
Mirjalil Yakubov

ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA
ASOSLARIDAN MASALALAR TO'PLAMI

Bosh muharrir	M. Saparov
Muharrir	I. Tursunova
Badiiy muharrir	A. Lopatin
Texnik muharrir	A. Sariboyev
Dizayner va sahifalovchi	I. Kravchenko
Muqova dizayneri	P. Petrov
Musahhih	F. Qurbonova

«Uzinkomsentr» elektron va bosma nashrlar bosh tahririyati.
Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 107 A.
Shartnoma № BT-07-2003

Bosishga ruxsat etildi 10.12.2003.
Bichimi 60x90 $\frac{1}{16}$. Ofset bosma. Times garnituras.
Shartli bosma tabog'i 10,0. Nashr tabog'i 8,8.
Adadi 5000 nusxa. Buyurtma 105.
Bahosi shartnoma asosida.

«Sharq» nashriyot-matbaa aksiyadorlik kompaniyasi bosmaxonasi.
700083, Toshkent shahri, Buyuk Turon ko'chasi, 41