

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

NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI

ENERGETIKA KAFEDRASI

**5310200-Elektr energetikasi
yo`nalishlari uchun**

«NAZARIY ELEKTROTEXNIKA»

Fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2022

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

Nam MOI
Ro'ykatga olindi.
№
2022 yil. « »
O'quv-uslubiy bo'limi
№ 32
"18" 01 2022y.



«5310200- Elektr energetikasi» yo`nalishlari uchun

«NAZARIY ELEKTROTEXNIKA»
fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2022

“Nazariy elektrotexnika” fanidan o’quv-uslubiy majmua.

Namangan: NamMQI – 2022 y. _____ bet

Ushbu o’quv-uslubiy majmua “Nazariy elektrotexnika” fani bo’yicha ma’ruza, amaliy va tajriba mashg’ulotlari asosida yaratilgan bo’lib, unda ma’ruza, amaliy va tajriba mashg’ulotlarini o’rganish bo’yicha 5310200-Elektr energetikasi ta’lim yo’nalishi uchun fanning o’quv dasturi, ishchi o’quv dasturi, ma’ruzalar matni, amaliy va tajriba mashg’ulotlariga uslubiy ko’rsatmalar, ta’lim texnologiyasi, vizual va ko’rgazmali taqdimot slaydlari, savol-javoblar, test savollari jamlangan.

Mazkur o’quv-uslubiy majmua 5330200-Informatika va axborot texnologiyalari ta’lim yo’nalishi talabalari uchun ham tavsiya etiladi. Shu bilan birga o’quv-uslubiy majmuadan professor-o’qituvchilar, ilmiy xodimlar, tadqiqotchilar va ishlab chiqarish korxonalarining mutaxassislari ham foydalanishlari mumkin.

Tuzuvchilar: O.Otamirzayev – Elektr energetika kafedrasida katta o’qituvchisi
M.To’ychiyeva – Elektr energetika kafedrasida katta o’qituvchisi

Taqrizchilar: Sh.Nabiev – NamMQI, Energetika kafedrasida dotsenti, f.-m.f.n.
Rajabov O.- Namangan xududiy elektr tarmoqlari OAJ, bo’lim boshlig’i.

Nazariy elektrotexnika fanining o’quv-uslubiy majmuasi Energetika kafedrasining 2022 yil “__27__” _____10_____dagi “__5/22__”-sonli yigilishida muhokamadan o’tgan va fakultet ilmiy-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Ushbu o’quv-uslubiy majmua Energetika va mehnat muhofazasi fakulteti kengashining 2022 yil “__28__” _____10_____dagi “__5__”-sonli yigilishida muhokama qilingan va institut ilmiy-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Ushbu o’quv-uslubiy majmua institut ilmiy-uslubiy kengashining 2021 yil “__18__” _____01_____dagi “__6__”-sonli yigilishida muhokama qilingan va o’quv jarayonida foydalanish uchun tavsiya etilgan.

M U N D A R I J A

I.	O'quv materiallari	
1.1.	Ma'ruza mashg'ulotlari	
1.2.	Amaliy mashg'ulotlar	
1.3.	Tajriba mashg'ulotlari	
II.	Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari	
III.	Glossariy	
IV.	Ilovalar	
4.1.	Fan dasturi	
4.2.	Ishchi fan dasturi	
4.3.	Baholash mezonlari	
4.4.	Testlar to'plami	
V.	Adabiyotlar ro'yhati	

I.O'quv materiallari

1.1.Ma'ruza mashg'ulotlari

Mavzu: Kirish. O'zgarmas tok elektr zanjirlari. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. Tok va kuchlanish manbalari.
3. Tugun va konturlar.
4. Elektr zanjirning asosiy qonuniyatlari.
5. O'zgarmas tokning ishi va quvvati.
6. Manba va iste'molchilarni ulanish usullari.

Umumiy tushunchalar

Elektr zanjiri deb elektr tokini hosil qiluvchi va uni oqib o'tishini ta'minlash uchun berk yo'l hosil qiladigan qurilmalar yig'indisiga aytiladi. Elektr zanjirlaridagi elektromagnitaviy jarayonlar tok, kuchlanish, elektr yurituvchi kuch (EYuK) qarshilik (o'tkazuvchanlik), induktivlik, sig'im kabi tushunchalar orkali ifodalanadi. Zanjirlardagi tok ikki xil o'zgaruvchan yoki o'zgarmas bo'lishi mumkin. SHuningdek nosinusoidal tok deb ataluvchi elektr toklari ham mavjud bo'lib bunday zanjirlarni keyinroq ko'ramiz.

Vaqt davomida son qiymati va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok- o'zgarmas tok deb ataladi. Ya'ni bunda zaryad tashuvchilar (elektronlar) bir tomonga xarakatlanadi. O'zgarmas elektr tokida tok kuchi, kuchlanish, EYuK va qarshilik kabi parametrlar o'zaro bog'langan bo'ladi, shu bog'lanishni urganish elektr zanjirlarida muxim rol o'ynaydi. Xalqaro SI birliklar sistemasida tok kuchi Amper (A), kuchlanish Volt (V), qarshilik Om va o'tkazuvchanlik simens (Sm) deb qabul qilingan. Bu birliklar orasida tok kuchi va kuchlanishni bog'lanishi muxim xususiyatga ega va buni voltamper xarakteristika deb ataladi. Agar elektr zanjiri, yoki elementning voltamper xarakteristikasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa bu zanjir yoki element chiziqli deb ataladi.

Masalan aktiv qarshilik $R = S \frac{\ell}{s}$, bu yerda ρ -solishtirma qarshilik, L-uzunlik, S-simning kesim yuzasi om qonunga ko'ra bu qarshilikdan utayotgan tok kuchi $J = \frac{U}{R}$, yoki $J = g \cdot U$ ($g = \frac{1}{R}$ o'tkazuvchanlik) bo'lgani uchun aktiv qarshilik chiziqli element bo'lib, aktiv qarshiliklardan tuzilgan zanjir ham chiziqli elektr zanjiri bo'ladi. Agar elementning voltamper xarakteristikasi egri chiziqdan iborat bo'lsa (masalan diod, termorezistor va xakoza) bunday element nochiziqli element, bunday elementli elektr zanjiri nochiziqli zanjir deb ataladi.

Tok va kuchlanish manbalari

Har qanday elektr energiyasi manbai EYuK Ye ga va ichki qarshilik r ga egadir. Bu manba qutblaridagi kuchlanish to'la zanjir uchun Om qonuniga ko'ra

$$U = E - J \cdot r$$

bundan ko'rinadiki tashqi zanjirda tokning ortishi manba qutblaridagi kuchlanishni kamayishiga olib keladi, chunki Ye va r o'zgarmasdir. Real tok manbalarida doimo $r > 0$

bo'ladi, lekin u yetarlicha kichik bo'lishi mumkin, shuning uchun ikkita chegaraviy xolni ko'ramiz:

a) $r = 0$ bu ideal tok manbai bo'lib $Y_e = U$ bo'ladi, ya'ni manba qutblaridagi kuchlanish tok kuchiga bog'lik emas, bu xolda manba EYuK manbasi deb yuritiladi.

b) agar manbaning ichki qarshiligi juda katta $r \rightarrow \infty$ bo'lsa bunday manba tok manbai deb ataladi, r va Y_e cheksiz bo'lib ularni nisbati $Y_e/r = J_k$ chekli kattalik bo'ladi va bu tok tashqi nagruzka qarshiligiga bog'lik emas.

2.1.-rasmda manba tokning kuchlanishga bog'likligi ko'rsatilgan. Real manbaga a rasm mos keladi, bunda tok ortishi bilan (tashqi zanjir qarshiligi kamayishi hisobiga) kuchlanish kamayadi, b va v shakllar mos xolda EYuK va tok manbalari xoliga mos voltamper xarakteristika bo'lib ularda mos xolda kuchlanish yoki tok kuchi o'zgarmas bo'ladi.

Tok va kuchlanish manbalari ideal manba bo'lib amalda bo'lishi mumkin emas, chunki ichki qarshilik r doimo chekli qiymatga ega. SHuni unutmaslik kerakki tok manbai bilan EYuK manbaini aralashtirib yubormaslik kerak.

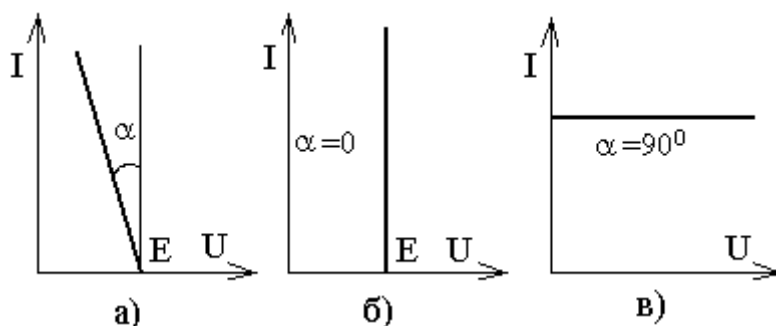


Рис-2.1

Tugun va konturlar

Elektr zanjirlarini hisoblashda tugun va kontur tugunchalari ko'p ishlatiladi. Kontur halqa so'ziga mos bo'lib elektr zanjirida tokning yopiq halqa hosil qilgan yulini bildiradi. Tugun esa elektr zanjirlarida tarmoqlanish nuqtalarini bildiradi, boshqacha aytganda ikkitadan ortiq simlarning o'zaro tutashgan joyi tugun deb ataladi. Konturda ikki tugunning oraligi tarmoq deb yuritiladi va tarmoqda elementlar ketma-ket joylashgan bo'ladi.

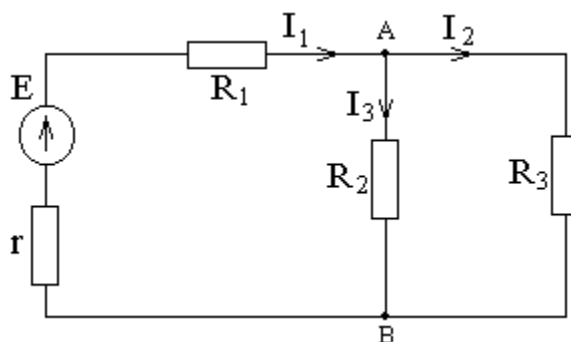


Рис-2.2

Rasm-2.2 da keltirilgan tarmoqlangan zanjirda A va V nuqtalar tugunlar deyiladi. Zanjirda 3 ta kontur mavjud $Y_e R_1 R_2 r$ -chap kontur, $R_2 A R_3 B$ undagi va $E R_1 A R_3 B r$ tashqi kontur, tarmoqlar esa uchta bo'lib A, V tugunlarga nisbatan olinadi. 1-tarmoqda Y_e, r, R_1 elementlar mavjud 2-tarmoqda R_2 , 3-tarmoqda R_3 qarshiliklar mavjud.

Zanjirni biror qismidagi kuchlanishni topish uchun shu qism uchlaridagi potentsiallar ayirmasi hisoblanadi, masalan 2.2-rasmida R_2 qarshilikdagi U_2 kuchlanish A va V tugunlar potentsiallari ayirmasiga teng, $U_{AV} = \phi_A - \phi_V$ yoki Om qonuniga ko'ra R_2 qarshilikdagi kuchlanish

$$U_2 = \varphi_A - \varphi_B = I_2 \cdot R_2 \quad (1.4)$$

Tarmoqda iste'molchidan tashqari eyuk manbasi ham bo'lishi mumkin, bunda potentsiallar farqini hisoblashda eyuk ni yo'nalishi va tarmoqdagi tok yo'nalishini bilish kerak. Potentsial doimo tok yo'nalishi bo'yicha kamayib boradi, agar eyuk tok yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa e.yu.k. manfiy ishora bilan, aksincha musbat ishora bilan olinadi. Masalan: 2.2 rasmda A va V tugunlar orasidagi potentsiallar farqini U_{AB} tarmoq bo'yicha hisoblash mumkin, ya'ni:

$$U_{AV} = \varphi_A - \varphi_V = I r + I R_1 - E. \quad (2.5)$$

Bunda tok yo'nalishi konturda soat strelkasi yo'nalishida deb hisobladik.

Elektr zanjirning asosiy qonuniyatlari

Elektr zanjirida asosiy elektr kattaliklar tok kuchi, kuchlanish, qarshilik (o'tkazuvchanlik) kabi parametrlar R_1 va Kirxgof qonunlari orkali o'zaro boglangan. Zanjirdagi (Rasm-2.2) dagi R_2 dan o'tayotgan tok kuchi A va V tugunlar orasidagi kuchlanishga to'g'ri proportsional va R_2 ga teskari proportsional, ya'ni: $I = \frac{U_{AB}}{R_2}$

Bu munosabat zanjirni bir qismi uchun R_1 qonunini ifodalaydi, chunki u zanjirning biror bir qismidagi tokni aniqlaydi va bunda shu qismlar qarshiligi katnashadi. O'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash koidalariga ko'ra R_2 va R_3 qarshiliklar o'zaro parallel ulangan bo'lib, ularning birgalikdagi qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ yoki } R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Zanjirda R_1 qarshilik R_{23} qarshilikka ketma-ket ulangan, shuning uchun u quyidagiga teng bo'ladi: $R_{123} = R_1 + R_{23} = R_{ekv}$
Bunda R_{ekv} -qarshilik zanjirning ekvivalent qarshiligi deb yuritiladi. Agar R_1 R_2 R_3 qarshiliklarni bitta R_{ekv} qarshilik deb qaraydigan bo'lsak bu qarshilik har doim EYuK manbasining ichki qarshiligiga ketma-ket ulangan bo'ladi, shuning uchun Om qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$I = \frac{E}{R_{ekv} + r} \text{ - bu ifoda berk zanjir uchun Om qonuni deb ataladi.}$$

Manba kiskichlaridagi kuchlanish $U_m = E - I R_t$ ga teng bo'lsa, u EYuK dan kichik bo'lib, tashki zanjirdagi kuchlanish tushuvi $I R_t$ ni kompensatsiyalaydi. Manbadan chikuvchi energiya $R_m = E \cdot I$ yoki $R_{ist} = I^2 r + I^2 R_t$

EYuK manbaining ichki qarshiligi kancha kichik bo'lsa, uning ishlab chiqarayotgan energiyasining quvvati shunchalik katta bo'ladi. Manbaning ichki qarshiligi nolga teng bo'lsa bunday manbalar cheksiz quvvatli generatorlar deb ataladi, lekin amalda doimo manbaning ichki qarshiligi noldan katta bo'ladi.

Barcha turdagi elektr zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari ham o'rinlidir. Kirxgofning birinchi qonunini ifodalash uchun yana 2.2-rasmga qaytamiz. A tugunga kirayotgan I_1 tok shu tugundan chikayotgan I_2 va I_3 toklarning algebraik yigindisiga teng. Boshkacha qilib aytganda tugunda toklar yuqolmaydi, buni xuddi arikdagi suvga

o'xshatish mumkin. Umumiy xolda Kirxgofning birinchi qonuni quyidagicha ta'riflaymiz: «Tugundagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng», ya'ni:
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Kirxgofning ikkinchi qonuni elektr zanjiri konturlariga tegishli bo'lib, uni quyidagicha ifodalash mumkin: «Konturdagi EYuK larning algebraik yigindisi shu kontur elementlaridagi kuchlanish tushuvlarining algebraik yigindisiga teng», ya'ni:
$$\sum R \cdot I = \sum E$$

Ushbu r , E , R_1 va R_2 elementlardan iborat kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonunini quyidagicha yozish mumkin: $Y_e = I_I(R_1 + R_2 + r) - I_{II}R_2$
 Chunki R_2 qarshilikdan I_I va I_{II} toklar qarama-qarshi yo'nalishda o'tadi.

Konturtoklarni taxlil qilish shu narsani ko'rsatadiki, ixtiyoriy elektr zanjirini biror nuqtasini yerga ulab qo'ysak zanjirdagi toklar taqsimoti o'zgarmaydi, chunki zanjirda xech qanday yangi kontur xosil bo'lmaydi. Demak elektr zanjirini ixtiyoriy nuqtasini yerga ulash mumkin va bu bilan zanjirda xech narsa o'zgarmaydi ko'pchilik xollarda elektr zanjirlari potentsial diogramma bilan xarakterlanadi. Potentsial diogramma deb shunday boglanishga aytiladiki, bunda X o'qiga zanjir qismlari qarshiligi, U o'qiga bu qarshiliklarga mos keluvchi kuchlanishlar quyiladi.

Zanjirdagi o'zgarmas tokning ishi va quvvati

Elektr tokining ish bajarish hususiyatini bilish uchun elektr yurituvchi kuch (EYuK) manbaini uning a va v qismlari orasidagi potentsiallar ayirmasi $E = \varphi_A - \varphi_V$ sifatida tushunish foydalidir. Bu holda e.yu.k. tashqi kuchlarning bajargan ishi bo'lib, manbaning ichida musbat birlik zaryadni potentsiali kichik φ_V qismdan potentsiali katta φ_A qismga olib o'tishda sarflayotgan manba ishi tushuniladi.

Demak, potentsiallar ayirmasi U_{AV} va zaryadlar soni $\Sigma q_0 = q$ qancha katta bo'lsa, bajarilayotgan ish ham shuncha katta bo'ladi, ya'ni: $A = q \cdot U$ $q = I \cdot t$ $A = I \cdot U \cdot t$

Vaqt bo'yicha o'zgarmas kuchlanish va tokning bajargan ishi kuchlanishni tokka va vaqtga ko'paytmasiga teng.

Bajarilgan ishni vaqtga nisbatini ifodalovchi quvvat tushunchasi ham mavjud, ya'ni: $P = A/t = U \cdot I$ (Vt), (kVt), (MVt)

Uzatish liniyalarida elektr energiyasini issiqlikka ketadigan isrofini kamaytirish maqsadida, manba beradigan quvvatni kuchlanishi orttirilib, tok kuchi kamaytiriladi. Bunda uzatish liniyasining o'zida kuchlanishlar tushuvi unchalik katta bo'lmaydi.

Agar elektr uzatish liniyasining kirish qismidagi kuchlanish U_0 ga teng bo'lsa, u xolda zanjirdagi tok quyidagiga teng bo'ladi:
$$I = \frac{U_0}{R_{\text{li}} + R_{uc}}$$

Bu yerda R_L - liniya qarshiligi, R_{is} -iste'molchining qarshiligi.

U holda manbaning quvvatini quyidagicha ifodalash mumkin, ya'ni:

$$P_0 = U_0 \cdot I = \Delta U_1 \cdot I + U_{ast} \cdot I = I^2 \cdot R_1 + I^2 \cdot R_{ist} \quad P_0 = \Delta P_1 + P_{ist}$$

Elektr uzatish liniyasining foydali ish ko'effitsienti (FIK)- liniyadagi kuchlanish isrofi (ΔU_1) yoki tok (I) qanchalik kichik bo'lsa shunchalik katta bo'ladi, ya'ni:

$$\eta = \frac{P_{ucm}}{P_0} = \frac{U_{ucm} \cdot I}{U_0 \cdot I} = \frac{U_{ucm} \cdot I}{\Delta U_1 \cdot I + U_{ucm} \cdot I}$$

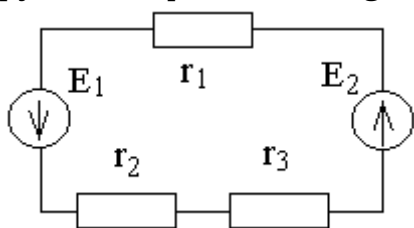
Xalqaro birliklar tizimi (SI) da energiya (ish) birligi qilib Joule qabul qilingan, lekin bu elektroenergetika qurilmalarini ishini real yoritish uchun bu juda kichik miqdordir.

SHuning uchun amalda (kvt.soat) lardan foydalaniladi: $1\text{kVt}\cdot\text{soat}=3,6\cdot 10^6\text{J}$

Elektr tokining issiqlik ta'siri Joule Lents qonuniga binoan quyidagiga teng bo'ladi:
 $A=I\cdot U\cdot t=I^2\cdot r\cdot t=Q$

Masala:

Qarshiliklari $r_1=2\text{ Om}$, $r_2=5\text{ Om}$, $r_3=3\text{ Om}$ bo'lgan elektr zanjiri elektr yurituvchi kuchlari $E_1=50\text{ V}$, $E_2=70\text{ V}$ bo'lgan manbaga ulangan. (Rasm-1.2) Zanjirdagi tokning qiymati va qarshiliklardagi kuchlanishlarning pasayishini aniqlang.



Echish:

Berk zanjir (Rasm-2.3) uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz:

$E_1+E_2=I(R_1+R_2+R_3)$. Bu tenglamadagi parametrlarni o'rniga qiymatlarni qo'yib yechamiz:

$$120=10\cdot I \quad I=12\text{ A}$$

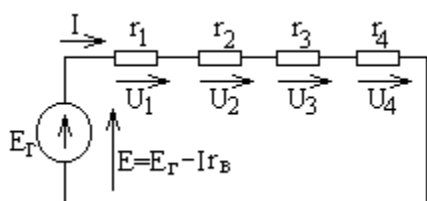
Har bir qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvini hisoblaymiz:

$$U_1=R_1 I=2\cdot 12=24\text{ B}, \quad U_2=R_2 I=5\cdot 12=60\text{ B}, \quad U_3=R_3 I=3\cdot 12=36\text{ B}$$

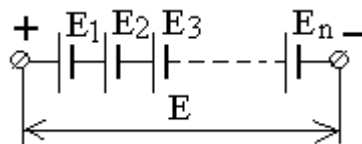
Manba va iste'molchilarni ulanish usullari

Ketma-ket ulangan qarshiliklarda tok kuchi bir xil bo'ladi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan quyidagi tenglamani tuzish mumkin:

$$E=E_1+E_2+E_3+E_4=I(r_1+r_2+r_3+r_4)=I\cdot r$$



Rasm-3.1.



Rasm-3.2

Zanjirning umumiy qarshiligi rezistorlar qarshiliklarini yig'indisiga teng: $r =$

$$\sum_{k=1}^n r_k$$

Om qonuniga binoan kuchlanishlar: $U_1=I\cdot r_1$; $U_2=I\cdot r_2$; $U_3=I\cdot r_3$; $U_4=I\cdot r_4$;

Zanjirning quvvati qismlar quvvatlarining yig'indisiga teng:

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = I^2 r_1 = I^2 r_2 = I^2 r_3 = I^2 r_4;$$

Elektr energiya manbalari ketma-ket ulanganda (Rasm-3.2), manba kuchlanishi ortib ketadi, ya'ni: $E=E_1+E_2+E_3+\dots+E_n=nE_0$

Bunda umumiy manbaning ichki qarshiligi ham shunchaga ortadi, ya'ni: $R_{\text{ich}}=n\cdot R_0$

Paralel ulash

Rezistorlar paralel ulanganda hamma parallel tarmoqlarning qisqich-laridagi kuchlanish bir xil bo'ladi: $U = I_1 r_1 = I_2 r_2 = I_3 r_3 = I_4 r_4$;

Zanjirdagi tok kuchi Kirxgofning birinchi qonuniga asosan parallel tarmoqlar dagi tok kuchlarining yig'indisiga teng:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = U/r_1 + U/r_2 + U/r_3 + U/r_4 = U(g_1 + g_2 + g_3 + g_4)$$

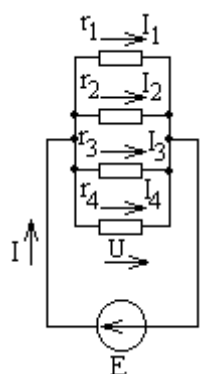


Рис. 3.3

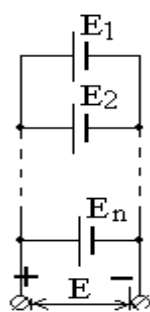


Рис. 3.4

Umumiy o'tkazuvchanlik parallel tarmoqlarning o'tkazuvchanliklarini yig'indisiga teng:

$$g = \sum_{k=1}^n g_k \quad \text{yoki} \quad r = \frac{1}{g} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n g_k}$$

Parallel tarmoqlarning tok kuchlari Ohm qonuniga binoan:

$$I_1 = Ug_1; \quad I_2 = Ug_2; \quad I_3 = Ug_3; \quad I_4 = Ug_4$$

Zanjirning quvvati tarmoqlar quvvatlarini yig'indisiga teng, ya'ni:

$$P = \sum_{k=1}^n p_k = \sum_{k=1}^n r_k I_k^2 = \sum_{k=1}^n U^2 / g_k$$

Elektr energiya manbalari parallel ulanganda, manba kuchlanishi o'zgarmaydi, ya'ni: $U_e = E_0$

Bunda umumiy manbaning ichki qarshiligi shunchaga kamayib ketadi, ya'ni:

$$R_{ich} = R_0 / m$$

Elektr energiya manbalari parallel ulanganda, umumiy quvvat ortib ketadi, ya'ni:

$$R = m \cdot R_0$$

Aralash ulash

Elektr energiya manbalarini va aste'molchilarini aralash ham ulash mumkin. Agar bir nechta manbalarni ketma-ket ulab, kerakli kuchlanishni xosil qilib, xuddi shunday ketma-ket ulangan zanjirlarni bir nechtasini parallel ulansa aralash ulangan zanjir xosil bo'ladi (Rasm-3.4).

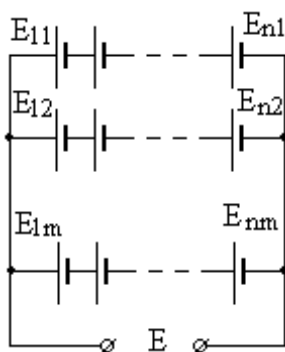


Рис. 3.4

Bunda manbaning kuchlanishi quyidagicha bo'ladi: $U_e = E_{kk} = n \cdot E_0$

Manbaning ichki qarshiligi esa quyidagicha bo'ladi: $R_{ich} = \frac{n}{m} \cdot R_0$ bu

yerda: R_0 -bitta manbaning ichki qarshiligi; n-ketma-ket ulangan manbalar soni; m-parallel ulangan manbalar soni.

Manbaning quvvati esa quyidagigiga teng bo'ladi: $R = m \cdot P_0$ bu yerda R_0 -bitta manbaning quvvati.

Masala: Ichki qarshiligi $R_{ich} = 6 \text{ Om}$ ga va kuchlanishi $U_e = 1,5 \text{ V}$ ga teng bo'lgan EYuK manbalari aralash ulangan (rasm-2.4), bu yerda n=6 va m=3 ga teng bo'lsa, umumiy kuchlanishni va ichki qarshilikni aniqlang.

Echilishi: Manbaning kuchlanishi aniqlaymiz: $U_e = n \cdot E_0 = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ V}$.

Manbaning ichki qarshiligini aniqlaymiz: $R_{ich} = \frac{n}{m} \cdot R_0 = \frac{6}{3} \cdot 6 = 12 \text{ (Om)}$

Agar elektr energiya iste'molchilarining bir nechta parallel va bir nechta ketma-ket ulansa, bunday zanjirlar aralash ulangan zanjirlar yoki murakkab zanjirlar deyiladi. Bunday zanjirlarni o'rganishda turli usullardan foydalanib, tok kuchi, kuchlanishlar tushuvi va boshqa parametrlar aniqlanadi.

Masala: Rasm-2.1 da berilgan zanjirda $R_1=2\text{ Om}$, $R_2=3\text{ Om}$, $R_3=4\text{ Om}$, $E=50\text{ V}$ va $r=1\text{ Om}$ bo'lsa, har bir tarmoqdagi toklarni hisoblang.

Echilishi: Zanjirni ekvivalent qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{\text{ekv}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + R_1 + r = \frac{3 \cdot 4}{3 + 4} + 2 + 1 = 4,7\text{ Om}$$

Har bir tarmoqdagi toklarni hisoblaymiz:

$$I_1 = \frac{E}{R_{\text{ekv}}} = \frac{50}{4,7} = 10,6\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E - I_1 R_1}{R_2} = \frac{50 - 10,6 \cdot 2}{3} = 9,6\text{ A}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 10,6 - 9,6 = 1\text{ A}$$

Murakkab elektr zanjirlarni turli usullar bilan hisoblashda bazan zanjirning yoki uning bir qismining ekvivalent qarshiligini ixtiyoriy olingan ikkita tugunga nisbatan aniqlash zarur bo'ladi, ammo barcha hollarda ham murakkab ulashni oddiy ketma-ket yoki parallel ulash bilan almashtirib bo'lmaydi.

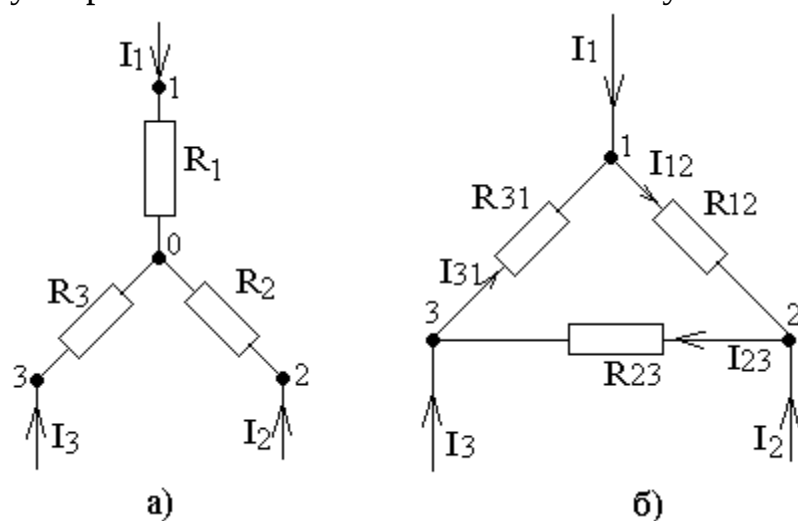


Рис. 3.5

Agar zanjirning bir qismi yulduz usulida ulangan R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklar va ularga tashqi zanjirdan ixtiyoriy I_1 , I_2 va I_3 toklar kelayotgan bo'lsa, shu zanjirga ekvivalent bo'lgan uchburchak usulida ulangan zanjir, qarshiliklari R_{12} , R_{23} , R_{31} bo'lgan 1, 2 va 3 tugunlar ichiga joylashgan bo'lib, butunlay yangi rejimda ishlaydi, lekin butun zanjirning ish rejimini o'zgartirmaydi.

Qarshiliklari yulduz tarzida ulangan zanjirni

qarshiliklari uchburchak tarzida ulangan ekvivalent zanjirga almashtirishni ikkita sharti mavjud, ya'ni:

1. Tugunlarga (1, 2 va 3) kelayotgan I_1 , I_2 va I_3 toklar o'zlarining avvalgi yo'nalishlarini va miqdorlarini saqlashlari shart, ya'ni:

$$\begin{cases} I_1 = I_{12} - I_{31} \\ I_2 = I_{23} - I_{12} \\ I_3 = I_{31} - I_{23} \\ I_1 + I_2 + I_3 = 0 \end{cases}$$

2. Tugunlar orasidagi U_{12} U_{23} U_{31} kuchlanishlar o'zlarining avvalgi yo'nalishlari va miqdorini o'zgartirmasligi shart, ya'ni:

$$\begin{cases} U_{12}=U_1-U_2 \\ U_{23}=U_2-U_3 \\ U_{31}=U_3-U_1 \\ U_{12}+U_{23}+U_{31}=0 \end{cases}$$

Yuqoridagi ikkala tenglamalar sistemasini birgalikda yechib, yulduz tarzida ulangan zanjir qarshiliklari R_1 R_2 va R_3 bo'yicha unga ekvivalent bo'lgan uchburchak tarzida ulangan zanjir qarshiliklari R_{12} R_{23} va R_{31} aniqlash mumkin, ya'ni:

$$\begin{cases} R_{12}=R_1+R_2+\frac{R_1R_2}{R_3} \\ R_{23}=R_2+R_3+\frac{R_2R_3}{R_1} \\ R_{31}=R_3+R_1+\frac{R_3R_1}{R_2} \end{cases}$$

Huddi shu yo'l bilan uchburchak usulida ulangan zanjir qarshiliklarini, o'sha zanjir qarshiliklari R_{12} R_{23} va R_{31} ga ekvivalent bo'lgan R_1 R_2 va R_3 qarshiliklari yulduz usulida ulangan zanjirga almashtirish mumkin, bunda quyidagi shartlar bajarilishi kerak, ya'ni:

$$R_1=\frac{R_{12}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

$$R_2=\frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

$$R_3=\frac{R_{23}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

2.1-Masala.

Rasm-2.3.a. da berilgan zanjir uchun ekvivalent induktivlikni aniqlang. Zanjir parametrlari quyidagicha: $L_1=L_4=2$ Gn; $L_2=L_3=4$ Gn

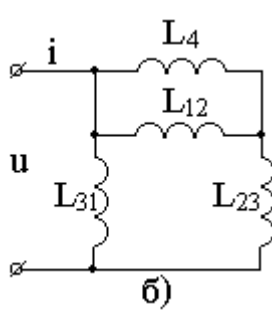
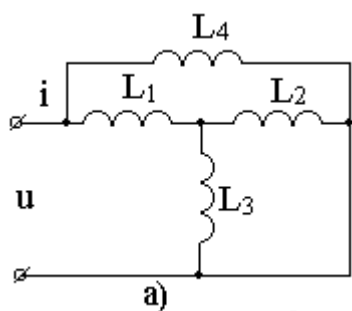
Echish:

1. Zanjirdagi yulduz usulida ulangan L_1 , L_2 va L_3 induktivliklarni. uchburchak usulida ulangan ekvivalent sxemaga almashtiramiz (Rasm-3.6 b):

$$L_{12}=L_1+L_2+L_1L_2/L_3=2+4+2\cdot4/4=8 \text{ Gn}$$

$$L_{23}=L_2+L_3+L_2\cdot L_3/L_1=4+4+4\cdot4/2=16 \text{ Gn}$$

$$L_{31}=L_3+L_1+L_3L_1/L_2=4+2+4\cdot2/4=8 \text{ Gn}$$



Расм-3.6

2. L_4 va L_{12} induktivliklar parallel ulangani uchun ularga ekvivalent bo'lgan induktivlikni topamiz:

$$L_{124}=\frac{L_4 \cdot L_{12}}{L_4 + L_{12}} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \text{ Gn.}$$

3. Butun zanjirlarni ekvivalent induktivligini topamiz:

$$L'_{23}=L_{124}+L_{23}=1,6+16=17,6 \text{ Gn}$$

$$L_{\text{ekv}}=\frac{L_{31} \cdot L_{23}^1}{L_{31}+L_{23}^1}=\frac{8 \cdot 17,6}{8+17,6}=5,5 \text{ Gn}$$

Sinov savollari

1. Elektr yurituvchi kuch (EYuK), kuchlanish va tok kuchi qanday birliklarda o'lchanadi?
2. Elektr energiya quvvati, qarshilik qanday birliklarda o'lchanadi?
3. Zanjirning bir qismi va butun zanjir uchun Om qonunini ifodalang?
4. Kirxgof qonunlarini ifodalang?
5. Elektr zanjirlanini tekshirishdan maqsad nima?
6. Elektr energiya manbalariga misollar keltiring?
7. Qarshiliklar ketma-ket, parallel va aralash ulanganda zanjirning ekvivalent qarshiligi qanday hisoblanadi?
8. Elektr energiya manbalari ketmi-ket yoki paralel ulanganda uning quvvati qanday o'zgaradi?
9. «Yulduz» va «Uchburchak» tarzida ulangan tarmoqlarni o'zaro almashtirishni qanday shartlari bor?
10. Aralash ulanganda manbaning ichki qarshiligi qanday aniqlanadi?
11. Kondensatorlar parallel ulanganda sig'im qanday o'zgaradi? Ketma-ket ulangandachi?

2-ma'ruza

Mavzu: O'zgarmas tok murakkab zanjirlarini hisoblash. (2 soat)

1. Kirxgof va Om qonunlarini bivosita qo'llash usuli.
2. Kontur toklar usuli.
3. Tugun potentsiallar usuli.
4. Ustma-ust usuli.

Kirxgof va Om qonunlarini bivosita qo'llash usuli

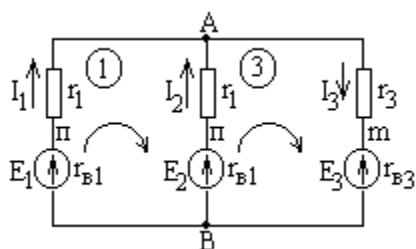


Рис. 4.1

Ikki va undan ortiq manbaga ega elektr zanjiri murakkab hisoblanadi. Bunday murakkab zanjirlarni bir necha usulda o'rganish mumkin, masalan, Kirxgof qonunlarini bevosita qo'llash usulida I va II qonunlar asosida elektr zanjirini tugunlari va konturlari uchun tenglamalar tuziladi va bu tenglamalar yechilib noma'lum toklar topiladi. Tenglamalarni umumiy soni noma'lum toklar soniga teng bo'lishi kerak. Kirxgofning

I qonuni asosida tuzilgan tenglamalar soni zanjir tugunlari sonidan bitta kam bo'lishi kerak. Qolgan tenglamalar Kirxgofning II qonuni asosida tuziladi. Masalan, Rasm-3.1 da keltirilgan zanjirda tugunlar soni 2-ta, demak I qonun bilan bitta tenglama tuzamiz.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Zanjirda uchta noma'lum tok kuchi bor, demak yana ikkita tenglamani Kirxgofning II qonuniga binoan tuzamiz, masalan I va II belgilangan konturlar uchun:

$$I_1 (r_1 + r_{u1}) - I_2 (r_2 + r_{u2}) = E_1 - E_2$$

$$I_2 (r_2 + r_{u2}) + I_3 (r_3 + r_{u3}) = E_2 - E_3$$

Konturlarni aylanish yo'nalishini (rasmda ko'r-satilgan) soat ko'rsatkichini aylanishi yo'nalishida oldik. Tuzilgan uch tenglamani yechib, noma'lum tok kuchlarini topami, masalan:

$$I_1 = \frac{(E_1 - E_2)(R_2 + R_{U2} + R_3 + R_{U2}) + (E_2 - E_3)(R_2 + R_{U2})}{(R_1 + R_{U1})(R_2 + R_{U2}) + (R_2 + R_{U2})(R_3 + R_{U3}) + (R_3 + R_{U3})(R_1 + R_{U1})}$$

$$I_2 = \frac{I_1(R_1 + R_{U1}) - E_1 + E_2}{R_2 + R_{U2}}; \quad I_3 = I_1 + I_2$$

Toklarni topib, boshqa kerak bo'lgan kattaliklarni topish mumkin.

Kontur toklar usuli

Kontur toklar usulida tenglamalar faqat Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tuziladi, buning uchun konturlarning kerakli soni tanlanadi. Har bir konturda kontur toki

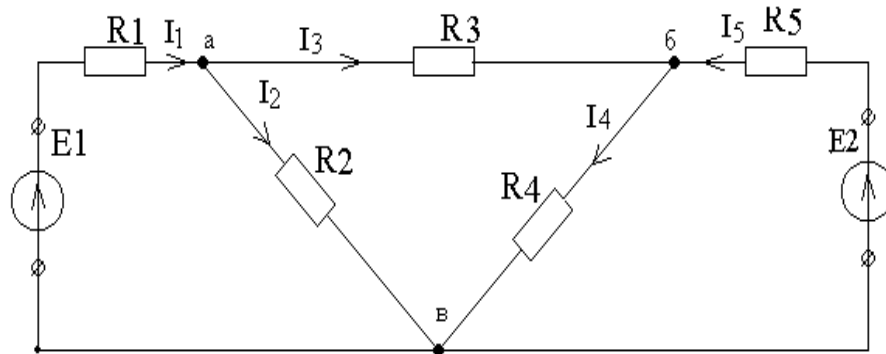


Рис-4.2

mavjudligi ko'zda tutiladi, tokning musbat yo'nalishi ixtieriy ko'rsatib qo'yiladi. Ustama printsipidan kelib chiqib, hisoblanadiki, xar bir konturda kontur toklari oqadi va ulardan tarmoq toklari hosil bo'ladi. Tenglamalar har bir kontur uchun tuziladi,

konturni o'zini kontur toki yo'nalishida aylaniladi va har bir kontur tokdan hosil bo'lgan kuchlanish tushuvi hisobga olinadi. Bunda mazkur tok konturni aylanish yo'nalishi bilan to'g'ri kelsa, qo'shiladigan qiymatlarni musbat hisoblanadi va yo'nalishlar teskari bo'lsa, manfiy hisoblanadi. Mazkur konturning qarshiliklarini yig'indisini konturning o'zini qarshiligi deyiladi. Ikkita kontur tarkibiga kiradigan qarshiliklarni yig'indisi o'zaro qarshilik deyiladi. Qaysidir konturda harakatlanaetgan hamma EYuK-larni algebraik yig'indisi kontur EYuK-si deyiladi. Tuzilgan tenglamalarni har qaysi kontur toki I_K -ga nisbatan yechib, uning qiymati topiladi. Har bir rezistordagi tok kuchi kontur toklarning algebraik yig'indisiga teng.

Rasm-4.2 da berilgan zanjir uchun I, II va III konturlardan faqat kontur toklar I_I , I_{II} va I_{III} o'tayotgin va bu toklar qarshiliklarda kuchlanishlar tushuvini xosil qilayotgan bo'lsa, uxolda tarmoqdagi xaqiqiy toklar bilan kontur toklar quyidagicha bog'langin bo'ladi: $I_1 = I_I$ $I_2 = I_I - I_{II}$ $I_3 = I_{II}$ $I_4 = I_{II} + I_{III}$ $I_5 = I_{III}$

$$\begin{cases} \text{I}_I (\text{R}_1+\text{R}_2)-\text{I}_{II}\text{R}_2=\text{E}_1 \\ -\text{I}_I \text{R}_2+\text{I}_{II}(\text{R}_2+\text{R}_3+\text{R}_4)+\text{I}_{III} \text{R}_4=0 \\ \text{I}_{II}\text{R}_4+\text{I}_{III}(\text{R}_4+\text{R}_5)=\text{E}_2 \end{cases}$$

Umumiy xolda n ta kontur va m ta tugunga ega bo'lgan zanjir uchun kontur toklar tenglamalarini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{cases} \mathbf{I}_I \mathbf{R}_{12} - \mathbf{I}_{II} \mathbf{R}_2 = \mathbf{E}_1 \\ -\mathbf{I}_I \mathbf{R}_2 + \mathbf{I}_{II} \mathbf{R}_{234} + \mathbf{I}_{III} \mathbf{R}_4 = 0 \\ \mathbf{I}_{II} \mathbf{R}_4 + \mathbf{I}_{III} \mathbf{R}_{45} = \mathbf{E}_2 \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_I R_{11} + I_{II} R_{12} + I_{III} R_{13} \dots\dots + I_n R_{1n} = E_{11} \\ I_I R_{21} + I_{II} R_{22} + I_{III} R_{23} \dots\dots + I_n R_{2n} = E_{22} \\ I_I R_{31} + I_{II} R_{32} + I_{III} R_{33} \dots\dots + I_n R_{3n} = E_{33} \\ \dots\dots\dots \\ I_I R_{n1} + I_{II} R_{n2} + I_{III} R_{n3} \dots\dots + I_n R_{nn} = E_{nn} \end{array} \right.$$

Yuqoridagi tenlamalar sistemasiga aniqlovchilar va minorlarni tadbiq qilib, kontur toklarni topish mumkin.

Echilishi:

Berilgan zanjir uchun I, II va III konturlardan faqat kontur toklar o'tayotgan bo'lib, ular tegishli qarshiliklarda kuchlanishlar tushuvini xosil qilayotgan bo'lsa, u xolda tarmoq toklari bilan kontur toklar quyidagicha boglangan bo'ladi: $I_1=I_1$
 $I_2=I_1-I_{II}$ $I_3=I_{II}$ $I_4=I_{II}+I_{III}$ $I_5=I_{III}$

$$\begin{cases} E_1 = I_I R_{11} - I_{II} R_{12} \\ 0 = -I_I R_{21} + I_{II} R_{22} + I_{III} R_{23} \\ E_2 = I_{II} R_{32} + I_{III} R_{33} \end{cases}$$

$$\begin{array}{lll} R_{11}=(R_1+R_2) =4 \text{ Om}, & R_{12}=R_{21}=R_2=2 \text{ Om}, & R_{22}=(R_2+R_3+R_4) =4 \text{ Om} \\ R_{23}=R_{32}=R_4=1 \text{ Om}, & R_{33}= (R_4+R_5) =2 \text{ Om}, & R_{13}=R_{31}=0 \end{array}$$

16

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & R_{13} \\ -R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & -2 & 0 \\ -2 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 20$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} R_{22} & R_{23} \\ R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 7$$

$$\Delta_{12} = \Delta_{21} = (-1)^{1+2} \cdot \begin{vmatrix} -R_{21} & R_{23} \\ R_{31} & R_{33} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} -2 & 1 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} = 4 \quad \Delta_{13} = \Delta_{31} = \begin{vmatrix} -R_{21} & R_{22} \\ R_{31} & R_{32} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -2 & 4 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = -2$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{13} \\ R_{31} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} = 8$$

$$\Delta_{23} = \Delta_{32} = (-1)^{2+3} \cdot \begin{vmatrix} R_{22} & R_{23} \\ R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 4 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 4$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} \\ -R_{21} & R_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 12$$

$$E_{11} = E_1 = 40 \text{ B} \quad E_{22} = 0 \quad E_{33} = E_2 = 10 \text{ B}$$

Yuqoridagilardan foydalanib kontur toklarni quyidagicha topish mumkin:

$$I_1 = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{13}}{\Delta} \cdot E_2 = 13 \text{ A} \quad I_{11} = \frac{\Delta_{21}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{23}}{\Delta} \cdot E_2 = 6 \text{ A} \quad I_{111} = \frac{\Delta_{31}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \cdot E_2 = 2 \text{ A}$$

Topilgan kontur toklarga asosan xar bir tarmoqdagi toklarni topish mumkin:

$$I_1 = I_I = 13 \text{ A} \quad I_2 = I_I - I_{II} = 7 \text{ A} \quad I_3 = I_{II} = 6 \text{ A}$$

$$I_4 = I_{II} + I_{III} = 8 \text{ A} \quad I_5 = I_{III} = 2 \text{ A}$$

Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tekshirib aniqlash mumkin, ya'ni:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 6 = 13 \text{ A}$$

$$I_4 = I_3 + I_5 = 6 + 2 = 8 \text{ A}$$

Tugun potentsiallar usuli

Ma'lumki, agar zanjirdagi berilgan EYuK manbalari va qarshiliklari bo'yicha zanjirning tarmoqlaridagi toklari va barcha tugunlari orasidagi kuchlanishlar tushuvi topilishi mumkin bo'lsa, bunday zanjirni taxlil qilish mumkin deb hisoblanadi.

Agar ixtiyoriy murakkab elektr zanjirdagi tugunlardan bittasini ajratib olib, uning potentsiali nolga tenglashtirilsa, u holda qolgan barcha tugunlarning potentsiali ana shu tugunga nisbatan aniqlanadi:

Masalan: Rasm-4.2. dagi elektr zanjir uchun tenglamalar soni ikkita bo'ladi, ya'ni a, b va v tugunlarning potentsiallarini tegishli $\varphi_a = \varphi_1$; $\varphi_b = \varphi_2$ va $\varphi_3 = 0$ orqali belgilab, butun zanjirning toklari uchun quyidagi tenglamalarni tuzamiz: $I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1)$

$$I_2 = g_2 \cdot \varphi_1$$

$$I_3 = g_3(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$I_4 = g_4 \cdot \varphi_2$$

$$I_5 = g_5(E_2 - \varphi_2)$$

$g_1, g_2, \dots, g_5$ – zanjirning tegishli tarmoqlarining o'tkazuvchanligi.

Bu toklarning qiymatlarini Kirxgofning birinchi qonuniga binoan quyidagicha

yo'zish mumkin:

$$g_1(E_1 - \varphi_1) + g_2 \cdot \varphi_1 - g_3(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

$$g_3(\varphi_1 - \varphi_2) - g_4 \cdot \varphi_2 + g_5(E_2 - \varphi_2) = 0$$

Butenglamalarni yechish uchun quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$g_{11} = g_1 + g_2 + g_3 - 1 \text{ - tugunning xususiy o'tkazuvchanligi,}$$

$$g_{22} = g_3 + g_4 + g_5 - 2 \text{ - tugunning xususiy o'tkazuvchanligi,}$$

$$g_{12} = g_{21} = g_3 - 1 \text{ va 2-tugunlarning o'zaro o'tkazuvchanligi.}$$

Yuqoridagi formulalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$g_{11}\varphi_1 - g_{12}\varphi_2 = I_1$$

$$-g_{21}\varphi_1 + g_{22}\varphi_2 = I_2$$

Bu tenglamalar sistemasini ham minorlar va aniqlovchilar yordamida yechish mumkin.

Masala: Rasm-4.2. da berilgan zanjir uchun xar bir tarmoqdagi toklarni tugun potentsiallar usuli bilan hisoblang. Bunda: $R_1=R_2=2 \text{ Om}$, $R_3=R_4=R_5=1 \text{ Om}$, $E_1=40 \text{ V}$, $E_2=10 \text{ V}$ ga teng.

Echilishi:

Berilgan zanjir uchun tenglama tuzib, bu tenglamalarga o'tkazuvchanlik va EYuK larni qiymatini qo'yib quyidagi tenglamani xosil qilamiz:

$$I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1) = 20 - 0,5\varphi_1$$

$$I_2 = g_2 \cdot \varphi_1 = 0,5\varphi_1$$

$$I_3 = g_3(\varphi_1 - \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$I_4 = g_4 \cdot \varphi_2 = \varphi_2$$

$$I_5 = g_5(E_2 - \varphi_2) = 10 - \varphi_2$$

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz:

$$I_1 - I_2 - I_3 = (20 - 0,5\varphi_1) - (0,5\varphi_1) - (\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

$$I_3 - I_4 + I_5 = (\varphi_1 - \varphi_2) - (\varphi_2) + (10 - \varphi_2) = 0$$

yoki

$$\begin{cases} 20 - 2\varphi_1 + \varphi_2 = 0 \\ 10 + \varphi_1 - 3\varphi_2 = 0 \end{cases}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechib, birinchi va ikkinchi tugunlarni potentsiallarini topamiz: $\varphi_1 = 14 \text{ V}$ va $\varphi_2 = 8 \text{ V}$

Topilgan potentsiallarning qiymatiga asoslanib tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_1 = 20 - 0,5\varphi_1 = 13 \text{ A}, \quad I_2 = 0,5\varphi_1 = 7 \text{ A}, \quad I_3 = \varphi_1 - \varphi_2 = 6 \text{ A}, \quad I_4 = \varphi_2 = 8 \text{ A}, \quad I_5 = 10 - \varphi_2 = 2 \text{ A}$$

Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning 1-qonuniga asosan tekshiramiz:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 13 - 7 - 6 = 0, \quad I_3 - I_4 + I_5 = 6 - 8 + 2 = 0$$

4.4. Ustma-ust usuli

Bu usul bilan murakkab zanjirlarni hisoblanganda, zanjirda nechta E.Yu.K manbai bo'lsa, shuncha zanjir tuzib olinadi, bunda qarshiliqlar o'z o'rnida qoladi, bunda toklarni yo'nalishini o'zgartirish mumkin.

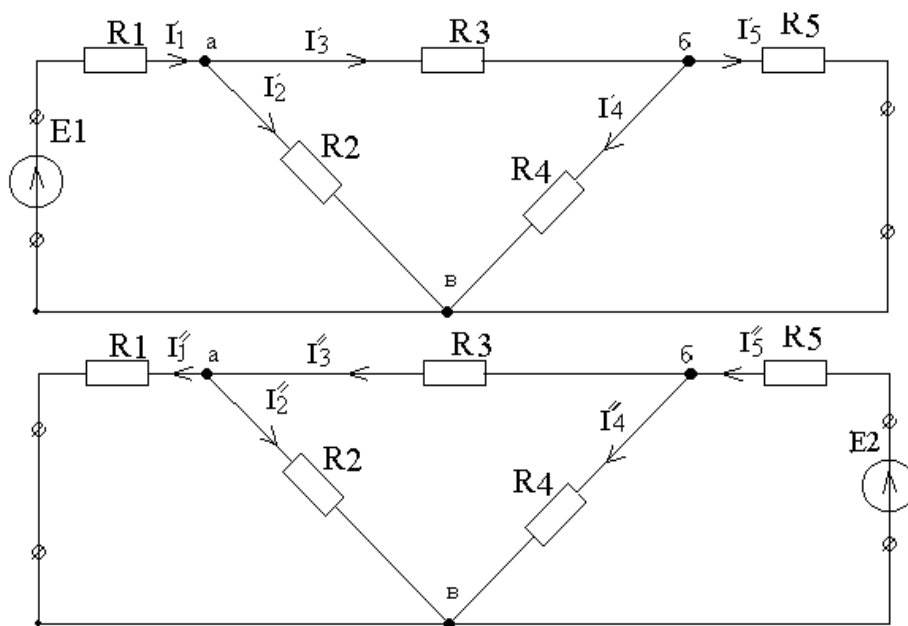


Рис.4.4. а, б.

Masalan: Rasm-4.1-dagi zanjirda ikkita EYuK manbai bor, demak zanjirni ikkita alohida-alohida EYuK-lardan ta'minlangan zanjir deb qarash mumkin.

Bu ikkala zanjirlarni alohida-alohida deb hisoblash mumkin, ya'ni ekvivalent qarshiliklarni hisoblab topib, Ohm qonuniga asosan har bir tarmoqdagi toklarni topish mumkin.

Berilgan zanjirdagi toklar, bu ikkala zanjirdagi toklarning algebraik yig'indisi deb qarash mumkin, lekin bunda toklarni yo'nalishini hisobga olish kerak bo'ladi. Agar I' va I'' toklarning yo'nalishlari bir xil bo'lsa ular qo'shiladi, aksincha qarama-qarshi bo'lsa ular ayiriladi.

Masala: Rasm-4.2. da berilgan zanjir uchun xar bir tarmoqdagi toklarni ustma-ust usuli bilan hisoblang. Bunda: $R_1=R_2=2\text{ Om}$, $R_3=R_4=R_5=1\text{ Om}$, $E_1=40\text{ V}$, $E_2=10\text{ V}$ ga teng.

Echilishi:

Berilgan zanjirni ikkita alohida-alohida zanjirga bo'lib olamiz (Rasm-4.4.a,b.). Bunda berilgan zanjir uchun tarmoq toklarini, birinchi va ikkinchi zanjir tarmoq toklari orqali ifodalab olamiz:

$$I_1 = I_1^I - I_1^{II}; \quad I_2 = I_2^I + I_2^{II}; \quad I_3 = I_3^I - I_3^{II}; \quad I_4 = I_4^I + I_4^{II}; \quad I_5 = I_5^I + I_5^{II}$$

Birinchi zanjirni ekvivalent qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{1 \cdot 1}{1 + 1} = 0,5$$

$$R_{34} = R_3 + R_{45} = 1 + 0,5 = 1,5$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{2 \cdot 1,5}{2 + 1,5} = 0,86$$

$$R_{\text{экв}}^I = R_1 + R_{23} = 2 + 0,86 = 2,86\text{ Ом}$$

Ohm qonuniga asosan birinchi zanjir uchun tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_1^I = \frac{E_1}{R_{\text{экв}}^I} = \frac{40}{2,86} = 14 \text{ A}$$

$$U_1^I = R_1 \cdot I_1 = 28 \text{ B}$$

$$U_2^I = E_1 - U_1 = 12 \text{ B}$$

$$I_2^I = \frac{U_2}{R_2} = 6 \text{ A}$$

$$I_3^I = I_1 - I_2 = 8 \text{ A}$$

$$U_3^I = R_3 \cdot I_3 = 8 \text{ B}$$

$$U_4^I = U_2 - U_3 = 4 \text{ B}$$

$$I_4^I = \frac{U_4}{R_4} = 4 \text{ A}$$

$$I_5^I = I_3 - I_4 = 4 \text{ A}$$

Ikkinchi zanjirni ekvivalent qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} = 1$$

$$R_{23} = R_3 + R_{12} = 1 + 1 = 2$$

$$R_{34} = \frac{R_4 \cdot R_{23}}{R_4 + R_{23}} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2} = 0,67$$

$$R_{\text{экв}}^{II} = R_5 + R_{34} = 1 + 0,67 = 1,67 \text{ Ом}$$

Om qonuniga asosan ikkinchi zanjir uchun tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_5^{II} = \frac{E_2}{R_{\text{экв}}^{II}} = \frac{10}{1,67} = 6 \text{ A}$$

$$U_5^{II} = R_5 \cdot I_5 = 6 \text{ B}$$

$$U_4^{II} = E_2 - U_5 = 4 \text{ B}$$

$$I_4^{II} = \frac{U_4}{R_4} = 4 \text{ A}$$

$$I_3^{II} = I_5 - I_4 = 2 \text{ A}$$

$$U_3^{II} = R_3 \cdot I_3 = 2 \text{ B}$$

$$U_2^{II} = U_4 - U_3 = 2 \text{ B}$$

$$I_2^{II} = \frac{U_2}{R_2} = 1 \text{ A}$$

$$I_1^{II} = I_3 - I_2 = 1 \text{ A}$$

Birinchi va ikkinchi zanjirlarni ustma-ust qo'yib, berilgan zanjirdagi tarmoq toklarini aniqlaymiz:

$$I_1 = I_1^I - I_1^{II} = 14 - 1 = 13 \text{ A} \quad I_2 = I_2^I + I_2^{II} = 6 + 1 = 7 \text{ A} \quad I_3 = I_3^I - I_3^{II} = 8 - 2 = 6 \text{ A}$$

$$I_4 = I_4^I + I_4^{II} = 4 + 4 = 8 \text{ A} \quad I_5 = -I_5^I + I_5^{II} = -4 + 6 = 2 \text{ A}$$

Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tekshirib aniqlash mumkin, ya'ni:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 6 = 13 \text{ A}, \quad I_4 = I_3 + I_5 = 6 + 2 = 8 \text{ A}$$

Sinov savollari

1. Kontur toklar usulini tushuntiring.
2. Tugun potentsiallar usulini tushuntiring.
3. Ustma-ust usulini tushuntiring.
4. Kontur toklarning yo'nalishini qanday belgilanadi?
5. Elektr zanjirlarni hisoblashni yana qanday usullarini mavjud?

3-ma'ruza

Mavzu: Bir fazali sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlari. (2 soat)

1. Sinusoidal o'zgaruvchan EYuK va toklar.
2. Bir fazali sinusoidal o'zgaruvchan tok.
3. Sinusoidal tokni xarakterlovchi asosiy kattaliklar.
4. O'zgaruvchan tokning o'rtacha va effektiv qiymatlari.

Sinusoidal o'zgaruvchan E.Yu.K. va toklar

Vaqt bo'yicha ma'lum qonuniyat bilan o'zgaradigan tok-o'zgaruvchan tok deyiladi, ya'ni tokning miqdori vaqtning funktsiyasidir: $i=F(t)$ i -tokning oniy qiymati.

O'zgaruvchan tokni uch turga bo'lish mumkin:

1. Miqdori o'zgaruvchan ammo yo'nalishi o'zgarmas (pulsatsiyalanuvchi) tok, (Rasm-5.1.a,b,v).
2. Miqdori va yo'nalishi o'zgaruvchan tok, (rasm-5.1.g,d,e).
3. Davriy o'zgaruvchan tok, (Rasm-5.1.v, d, ye).

Davriy o'zgaruvchan tokning oniy qiymatlari davr deb ataladigan teng vaqtlar ichida ma'lum qonuniyat bilan takrorlanib turadi, ya'ni:

$$i=F(t)=F(t+\kappa T) \quad (\kappa=1,2,3,\dots n)$$

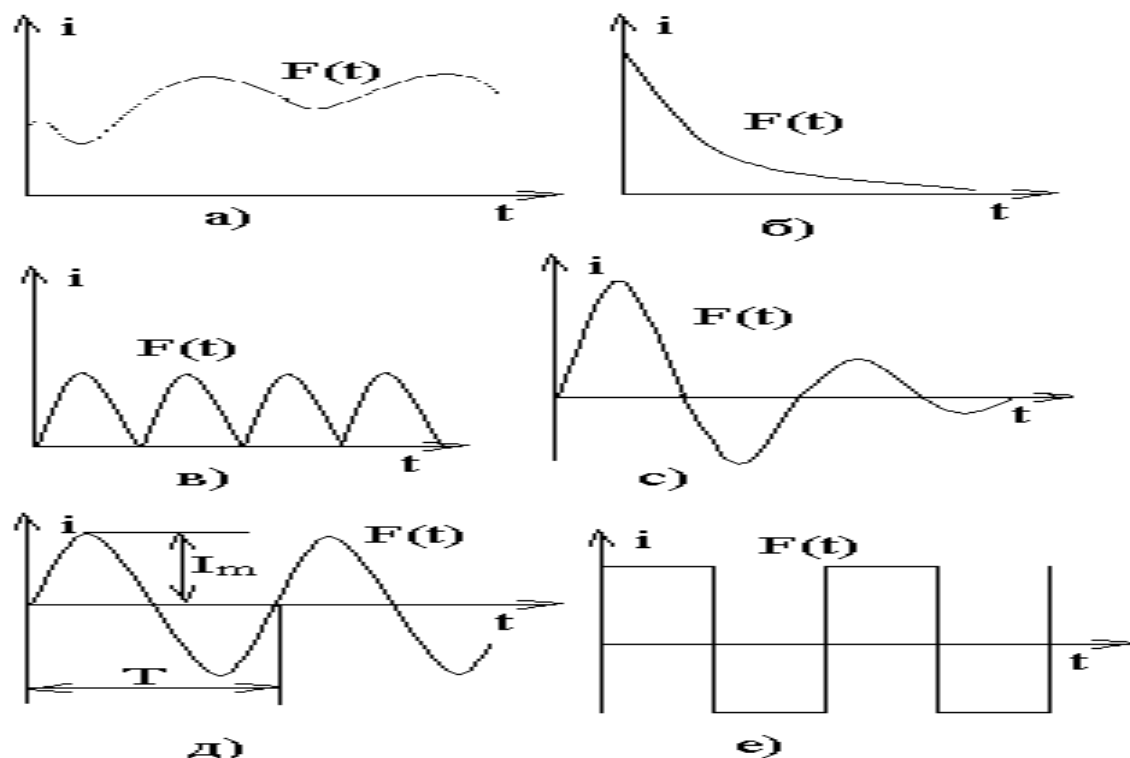
Masalan: Rasm-4.1.d) dagi davriy sinusoidal tokning tenglamasi quyidagicha bo'ladi: $i=I_m \sin(2\pi t/T)=I_m \sin(2\pi f t)=I_m \sin \omega t$
bunda $f=1/T$ - tokning chastotasi [Gts].

Bu xolda, tokning yo'nalishi birinchi yarim davrda musbat, ikkinchi yarim davrda esa manfiy deb hisoblanadi. $t=0, T/2, T$ va x.k. vaqtning oraliqlarida zanjirdagi tok nolga teng.

Elektrotexnikada ishlatiladigan davriy toklarning chastotalari doirasi juda keng, lekin standart chastotalar bizning Respublikamizda 50 gts va ba'zi mamlakatlarda esa 60 gts ni tashkil etadi.

CHastotalarning 50-60 gts dan kichik qiymatlarida elektr mashinalar va transformator ulchamlari juda katta bo'lib ketadi va tannarxni oshirib yuboradi.

SHuningdek chastotani 50 gts dan birmuncha ortishi elektr mashinalarda energiya isrofini ortishiga olib keladi. Radiotexnika va televideniya chastotasi 10000 mGts (megogerts) gacha bo'lgan toklardan foydalaniladi.



Рисунг 5.1

Бир fazali sinusoidal o'zgaruvchan tok

O'zgaruvchan tokning eng ko'p tarkalgan manbalaridan biri mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi generatordir.

Qo'zg'almas magnitli elektr mashina oddiy bir fazali o'zgaruvchan tok generatori bo'lib, uning magnit maydonida ramka ko'rinishidagi ω -o'ramli g'altak, o'q atrofida aylanadi. G'altakning ikkala uchi aylanayotgan xalqalarga ulangan bo'ladi. (Rasm-5.2.)

Agar g'altak (ramka) ω -burchak tezlik bilan aylansa, magnit oqimining oniy qiymati g'altak (ramka) tekisligiga nisbatan $\Phi = \Phi_{\max} \cos \omega t$ qonuniyat bilan ramkaning aylanishi hisoblash o'qi MN ga nisbatan ψ burchak ostida bo'lganda aylana boshlasa $\Phi = \Phi_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$ qonuniyat bilan o'zgaradi va bu oqim quyidagi EYuK ni induksiylaydi: $E = E_m \sin(\omega t + \Psi)$

Bu yerda Ψ -boshlangich faza, ya'ni $t=0$ bo'lgandagi faza.

Agar generatorning chikish qismiga (ramkaning ikkala uchiga) yaklama qarshiligini ulasak, undan quyidagicha tok o'ta boshlaydi: $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$

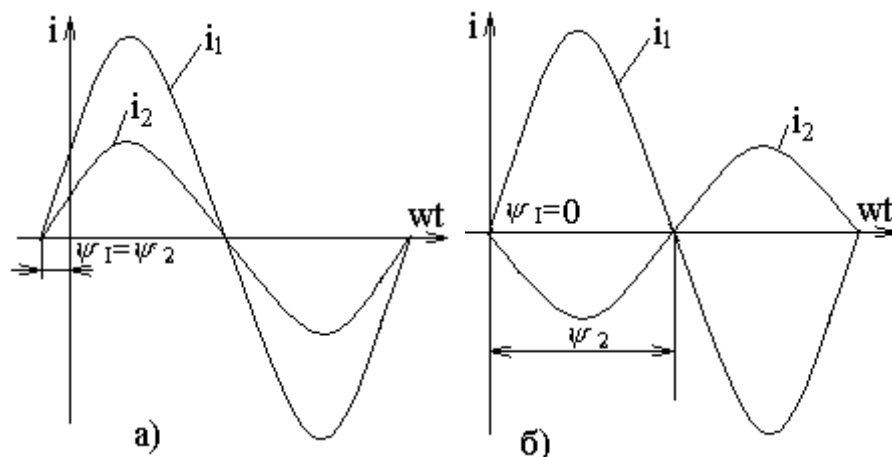
Bunda I_m -tok amplitudasi; ψ_i -uning boshlangich fazasi;

Qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvi: $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ ga teng bo'ladi.

O'zgaruvchan tokning burchak chastotasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

Agar ikkita bir xil chastotadagi $i_1(\omega t)$ va $i_2(\omega t)$ sinusoidal miqdorlari bir xil boshlangich fazaga ega ($\psi_1 = \psi_2$) bo'lsa ularning yo'nalishlari faza jixatidan mos deyiladi (Rasm-



Рисунг-5.3

4.3.a).

Agar ularning boshlangich fazalari $(\psi_1 - \psi_2) = \pm \pi$ farqli bo'lsa, u xolda ular karama-qarshi fazali deyiladi. (Rasm-5.3.b).

5.3. Sinusoidal tokni xarakterlovchi asosiy kattaliklar

Vaqt bo'yicha sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaruvchan tok sinusoidal tok deyiladi, ya'ni: $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$

Bu funktsiyaning maksimal qiymati (I_m) amplituda deb ataladi. To'la bir tebranishga ketgan vaqt bir davr (T) deb ataladi.

Bir sekund davomida tebranishlar soni chastota deb ataladi, ya'ni: $f = 1/T$ yoki $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ - burchak chastota deyiladi.

Funktsiya sinusining argumenti, ya'ni $(\omega t + \psi_i)$ faza deyiladi. Har qanday sinusoidal o'zgaruvchan funktsiya uchta kattalik, amplituda, burchak chastota va boshlang'ich fazalar bilan xarakterlanadi.

O'zgaruvchan tokning effektiv va o'rtacha qiymatlari

O'zgaruvchan tok ham xuddi o'zgarmas tok kabi elektr zanjirda ma'lum ishni bajaradi. Masalan qarshiligi r bo'lgan o'tkazgichdan T - vaqt davomida o'zgarmas tok oqib utganda ajralib chikkan issiklik bajargan ish quyidagicha bo'ladi: $A = I^2 \cdot R \cdot T$

SHu zanjirdan o'sha T vaqt davomida miqdori o'zgarmas tokning issiklik effektiga teng bo'lgan o'zgaruvchan tok o'tganda uning bajargan ishi quyidagiga teng, ya'ni: $A = \int_0^T i^2 R dt$

Agar vaqtni (t) davriy o'zgaruvchan tokning davri T ga teng desak, u xolda o'zgarmas va o'zgaruvchan toklarning bajargan ishlari bo'yicha ekvivalent bo'ladi, ya'ni: $I^2 \cdot R \cdot T = \int_0^T i^2 R dt$ $I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$ Bundan $I = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T i^2 dt}$

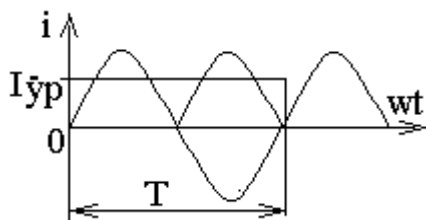
Yuqoridagi ifoda o'zgaruvchan sinusoidal tokning o'rtacha kvadratik yoki effektiv qiymatini ifodalaydi. Sinusoidal $i = I_m(\omega t + \psi_i)$ tok uchun $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ifodani yozish mumkin, bu effektiv qiymatga teng.

Demak, sinusoidal tokning effektiv qiymati uning amplituda (I_m) qiymatidan $\sqrt{2}$ marta kichik. SHunga o'hshash, sinusoidal eyuk va kuchlanishlarning ham effektiv qiymatlari quyidagiga teng: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

Sinusoidal miqdor amplitudasining uning effektiv qiymatiga nisbati $K_a = \sqrt{2}$ amplituda koeffitsienti deb ataladi.

Zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tganda unda quyidagi miqdordagi elektr zaryadi aylanib yuradi: $q = \int_0^T i dt$

Bu kattalik son jixatidan tok sinusoidasining t vaqt oraligi uchun olingan yarim to'liq bilan chegaralangan yuzaga teng (Rasm-5.1d). Ammo o'zgaruvchan tokning to'la davrida zanjirga qanday miqdordagi elektr zaryadi keltirilsa, manbaga shuncha miqdordagi elektr zaryadi kaytariladi. SHuning uchun elektr zaryadlari miqdorlarining yigindisi nolga teng: $\Sigma q = \int_0^T i dt = 0$



Demak, o'zgaruvchan tokning to'la davri uchun o'rtacha qiymat nolga teng.

O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish zanjirlarida o'zgaruvchan tokning davri uchun o'rtacha qiymati asosi T bo'lgan to'g'ri turtburchakning balandligini ifodalaydi, uning yuzasi esa tok $I = I_m \sin \omega t$ ning musbat yarim to'liq chegaralangan yuzaga

teng, ya'ni: $I_{o,r} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t \cdot dt \approx 0,9 \cdot I$

Bu ifoda o'zgaruvchan tokning o'rtacha qiymatini ifodalaydi.

Tok effektiv qiymatini o'rtacha qiymatiga nisbati sinuoida shaklining egrilik koeffitsienti K_f deyiladi, ya'ni: $K = I/I_{o,r} = P/2\sqrt{2} \approx 1,11$

SHunga o'hshash e.yu.k. va kuchlanishlarning o'rtacha qiymatlari quyidagiga teng: $Y_{e,o,r} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E$ $U_{o,r} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$

Davriy o'zgaruvchan magnitaviy oqim (F) dan xosil bo'lgane.yu.k. ning effektiv qiymati quyidagiga teng: $Y_e = K_F \cdot E_{o,r} = 4,44 f \omega \Phi$ $E_{o,r} = 4 f \omega \Phi$ ω -O'ramlar soni.

To'g'rilagich sxemali magnitoelektrik tizim asboblari tokning o'rtacha qiymatini, boshka o'zgaruvchan tokni ulchash uchun mo'ljallangan asboblari (elektromagnit, elektrodinamik va x.k.) tokning effektiv qiymatini o'lchaydi.

Sinov savollari

1. Qanday kuchlanish sinusoidal kuchlanish deyiladi?
2. Faza deb nimaga aytiladi?
3. CHastota nima?
4. O'zgaruvchan tokning o'rtacha qiymati nimaga teng?
5. O'zgaruvchan tokning effektiv qiymati bilan amplituda qiymati o'rtasida qanday farq bor?

4-ma'ruza

Mavzu: R, L va S elementlari kema-ket ulangan zanjirlar. (2 soat)

1. Aktiv qarshilikdagi sinusoidal tok. Induktivlikdagi sinusoidal tok.
2. Kondensatordagi sinusoidal tok.
3. R, L va C elementlari ketma-ket ulangan zanjirlar.

Aktiv qarshilikdagi sinusoidal tok

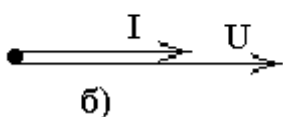
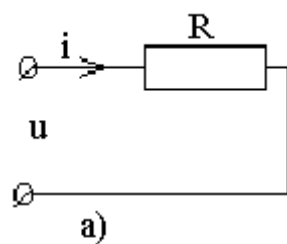


Рис. 6.1

Rasm-6.1 da aktiv qarshilik keltirilgan bo'lib, undan $i = I_m \sin \omega t$ sinusoidal tok oqib o'tadi, bunda Ohm qonuniga asosan aktiv qarshilikdagi kuchlanish tushuvi quyidagicha bo'ladi: $u = iR = RI_m \sin \omega t$ yoki $u = U_m \sin \omega t$ bu yerda $U_m = RI_m$ – kuchlanishning maksimal yoki amplituda qiymati.

Aktiv qarshilikdagi tok kuchi faza jixatidan shu qarshilikdagi kuchlanish bilan ustma-ust tushadi, bu rasm-5.1.b da keltirilgan vektor diagrammadan ham ko'rinib turibdi. Bunda faza siljish burchagi nolga teng bo'ladi va zanjir aktiv xarakterga ega zanjir deyiladi.

Induktivlikdagi sinusoidal tok

Amalda har qanday induktiv g'altak induktivlik L va aktiv qarshilik R_L ga ega bo'ladi. Sxemalarda induktiv g'altakni ketma-ket ulangan induktivlik va aktiv qarshilik deb qarash mumkin.

Agar bunda induktivlikni o'zini ajratib olsak, ya'ni g'altakni aktiv qarshiligi nolga teng deb olsak, ya'ni $R_L = 0$ bo'lsa uxolda rasm-6.2.a dagi sxema vujudga keladi.

Agar L orqali (aktiv qarshiliksiz) sinusoidal $i = I_m \sin \omega t$ tok oqib o'tsa, g'altakda o'zinduksiya E.Yu.K si vujudga keladi, ya'ni: $e_L = \omega L I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$ Bundan g'altakdagi kuchlanish tushuvining oniy qiymatini quyidagicha ifodalash mumkin: $u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$

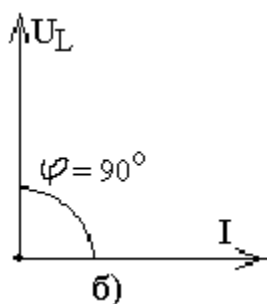
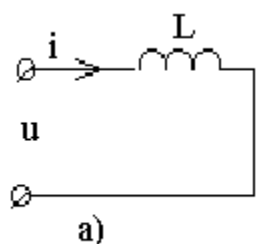


Рис. 6.2

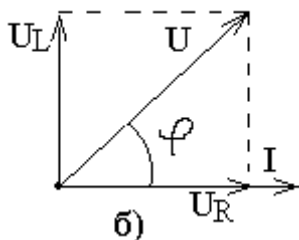
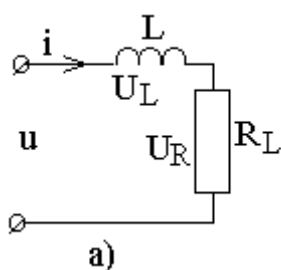


Рис. 6.3

Ohm qonuniga asosan

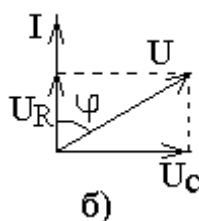
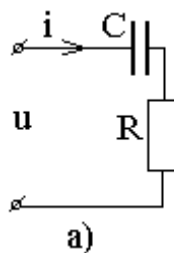
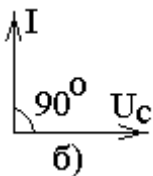
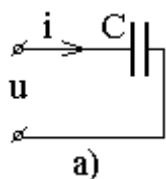
$U_m = X_L \cdot I_m = \omega L \cdot I_m$ bo'ladi, bu yerda $X_L = \omega L$ –

induktiv qarshilik deb ataladi. Shunday qilib, induktivlikdagi tok kuchlanishdan 90° ga orqada qoladi.

Agar induktiv g'altakni aktiv qarshiligini hisobga oladigan bo'lsak, $R_L \neq 0$ bo'lsa, u xolda zanjir rasm-6.3.a dagi ko'rinishda bo'ladi. Bunda zanjirdagi umumiy kuchlanish induktivlik L va aktiv qarshilik R_L dagi kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisiga teng, ya'ni: $u = u_L + u_R$

(Rasm-o'rtasidagi quyidagicha

qarshiligi ega zanjir noldan katta



Amalda induktiv g'altakdan o'tayotgan tok kuchlanishdan α -burchakka orqada qoladi. 6.3.b). Bu yerda α – kuchlanish va tok kuchi faza siljish burchagi deb ataladi va ifodalanadi: $\cos \alpha = R/Z$ yoki $\arccos(R/Z)$.

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ – g'altakning to'la

deyiladi. Bunday zanjir induktiv xarakterga deyiladi va bunda faza siljish burchagi bo'ladi.

Kondensatordagi o'zgaruvchan tok

Agar kondensatordagi kuchlanish vaqt bo'yicha o'zgarmasa, kondensatorning bir qoplamasida $q=Cu$ zaryad, ikkinchi qoplamasida esa $-q=-Cu$ zaryad bo'ladi va kondensatordan tok oqib o'tmaydi.

Agar bu kuchlanish vaqt bo'yicha sinusoidal qonuniyat bilan o'zgarsa, kondensatordagi zaryad miqdori ham sinusoidal $u=U_m \sin \omega t$ qonun bilan o'zgaradi: $q=Su=CU_m \sin \omega t$

Bunda kondensator razryadlanadi va razryadlanadi, bu vaqtda zaryadlanish va razryadlanish toki oqib o'tadi, bu tok ham sinusoidal $i=I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ qonun bilan o'zgaradi. Demak kondensatordagi tok kuchlanishdan 90° ga oldinga o'tib ketadi. (Rasm-5.4.b). Om qonuniga asosan kondensatordagi tok quyidagiga teng bo'ladi: $I_m = \frac{U_m}{X_C}$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$ -sig'im qarshilik, bunda zanjarning (Rasm-5.4.a) to'la qarshiligi uning sig'im qarshiligiga teng bo'ladi, ya'ni: $Z=X_C$ $R=0$ Faza siljish burchagi nolga teng, chunki:

$$\varphi = \arccos(R/Z) = \arccos(0/X_C) \quad \varphi = 0$$

Agar kondensator bilan aktiv qarshilik ketma-ket ulansa (Rasm-5.5.a), u xolda zanjarning to'la qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \varphi = \arccos(R/Z)$$

Zanjirdagi umumiy kuchlanish kondensatordagi va aktiv qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvining yig'indisiga teng, ya'ni: $U=U_C+U_R$

Bunday zanjirda tokmanba kuchlanishidan φ -burchakka oldinga o'tib ketadi va bunday zanjir sig'im xarakterga ega bo'lgan zanjir deyiladi, bunda faza siljish burchagi noldan kichik bo'ladi, ya'ni: $\varphi < 0$

R, L va C elementlari ketma ket ulangan zanjirlar

Parametrlari R , L va C ketma ket ulangan oddiy zanjir $U_q U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ sinusoidalkuchlanish manbaiga ulangan bo'lsa, bu kuchlanish tufayli zanjirdan (Rasm-6.7.a) $I=I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ tok uta boshlaydi.

Zanjir parametrlari chiziqli bo'lganligi tufayli tok sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi. Umuman olganda bu tokning fazasi manba kuchlanishi fazasiga

nisbatan $\psi_u - \psi_I = \varphi$ burchakka siljigan bo'lishi mumkin. Bu burchak faza siljish burchagi φ - deb ataladi. Agar $\psi_I = 0$ ($\psi_u = \varphi$) Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan:

$$u = u_R + u_L + u_C$$

Bu yerda u_R , u_L va u_C - mos ravishda rezistor R dagi, g'altak L dagi va kondensator S dagi kuchlanishlar tushuvining oniy qiymatlari.

Agar $I = I_m \sin \omega t$ ni hisobga olib va yuqoridagi ifodada matematik amallarni bajarib quyidagini xosil qilish mumkin:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

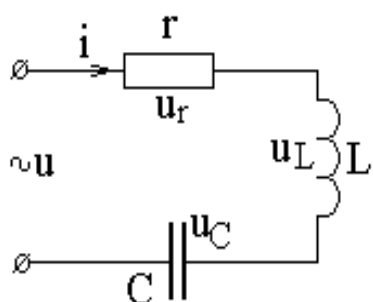
Bu ifoda o'zgaruvchan tokning amplituda miqdori bo'lib, ketma ket ulangan zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi.

Effektiv qiymatlar bilan Om qonunining ifodadagi quyidagicha bo'ladi:

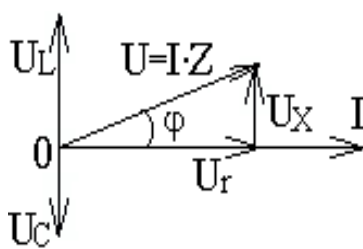
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad \text{yoki} \quad I = \frac{U}{Z}$$

Bu yerda $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ -zanjirning to'la qarshiligi, R-aktiv qarshilik, $X_L = \omega L$ - induktiv qarshilik, $X_C = 1/\omega C$ -sig'im qarshilik.

$X = X_L - X_C$ -Zanjirning reaktiv qarshiligi.



a)



b)

Рис-6.7

Kuchlanish va tok orasidagi faza siljish burchagi $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ ga teng.

SHuningdek ayrim R, L va C elementlardagi kuchlanishning oniy qiymatlarini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$u_R = U_{mR} \sin \omega t$$

$$u_L = U_{mL} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$u_C = U_{mC} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Bu kuchlanishlarning fazalarini tokning fazasi bilan takkoslab, quyidagi xulosaga kelish mumkin:

Rezistordagi kuchlanish faza jixatidan tok bilan ustma-ust tushadi, induktivlikda induktiv kuchlanish tokdan $\pi/2$ burchakka oldinga utib ketadi, kondensatorda sigim kuchlanish tokdan $\pi/2$ burchakka orkada koladi.

Agar $U_L > U_C$ ($X_L > X_C$), bo'lsa $\varphi > 0$ bo'ladi va zanjirdagi tok kuchlanishdan φ burchakka orkada koladi, aktiv induktiv zanjir deyiladi. (Rasm-5.7.b).

Agar $U_L < U_C$ ($X_L < X_C$), bo'lsa $\varphi < 0$, bo'ladi va zanjirdagi tok kuchlanishdan φ burchakka oldinga utib ketadi, bunday zanjir aktiv sigimiy zanjir deyiladi.

Agar $U_L = U_C$ ($X_L = X_C$), bo'lsa $\varphi = 0$ bo'ladi va zanjirdagi tok kuchlanish bilan ustma ust tushadi, bunday zanjir rezonansli zanjir deyiladi.

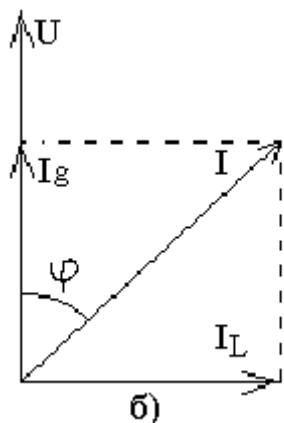
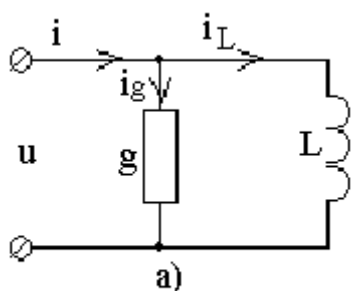
Sinov savollari

1. Faza siljish burchagi nima?
2. Kondensatorda tok qanday o'zgaradi?
3. Induktiv qarshilik nima?
4. To'la qarshilik nima?
5. Reaktiv qarshilik qachon nolga teng bo'ladi?

Mavzu: R, L va S elementlari paralel ulangan zanjirlar. (2 soat)

1. R va L elementlari paralel ulangan zanjirlar.
2. R va C elementlari paralel ulangan zanjirlar.
3. R, L va C elementlari paralel ulangan zanjirlar.
4. Qarshiliklar va o'tkazuvchanliklar uchburchagi.
5. R, L va C elementlari paralel va ketma-ket ulangan zanjirlarni o'zaro almashtirish.

R va L elementlari paralel ulangan zanjirlar



Расм-7.1

Aktiv qarshilik va induktivlik paralel ulangan zanjirning (Rasm-7.1.a) to'la o'tkazuvchanligi quyidagiga teng bo'ladi: $Y = \sqrt{g^2 + b_L^2}$ Bu yerda Y -to'la o'tkazuvchanlik, g -aktiv o'tkazuvchanlik, b_L -induktiv o'tkazuvchanlik.

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan manbadan kelayotgan tok, aktiv qarshilik va induktivlikdan o'tayotgan toklarning algebraik yig'indisiga teng, ya'ni: $i = i_g + i_L$

Agar manba kuchlanishi $u = U_m \sin \omega t$ sinusoidal bo'lsa, uxolda ayrim tarmoqlardagi toklar quyidagicha bo'ladi: $i_g = g \cdot u$ $i_L = b_L u$ $b_L = 1/\omega L$ -induktiv o'tkazuvchanlik.

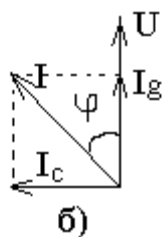
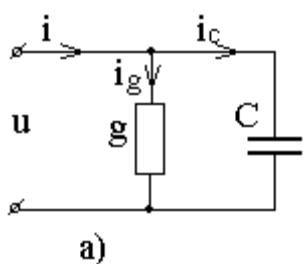
Zanjir parametrlari chiziqli bo'lganligi tufayli manbadan kelayotgan yig'indi tok ham sinusoidal bo'ladi, ya'ni $i = I_m \sin(\omega t - \alpha)$. Ammo bu tok faza jixatidan ϕ -burchakka farq qiladi. Bu yerda ϕ -faza siljish burchagi deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\phi = \arctg(b_L/g)$$

Tok va kuchlanishlarning effektiv qiymatlari uchun yuqoridagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin: $I = I_g + I_L$ ya'ni, manbadan kelayotgan tokning effektiv qiymati ayrim tarmoqlardagi toklarning effektiv qiymatlarini geometrik

yig'indisiga teng. Rasm-6.1.b da keltirilgan vektor diogrammadan ko'rinib turibdiki, faza siljish burchagi noldan katta bo'lib, zanjir aktiv-induktiv xarakterga ega, chunki zanjir faqat aktiv va induktiv qarshiliklardan iborat.

R va C elementlari paralel ulangan zanjirlar



Расм-7.2

Aktiv o'tkazuvchanligi g bo'lgan rezistor va kondensator S dan tuzilgan zanjir (Rasm-7.2.a) sinusoidal kuchlanish $u = U_m \sin \omega t$ manbaiga paralel ulangan. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan ayrim tarmoqlardagi toklar i_g va i_c ning yig'indisi manbadan kelayotgan tok i ga teng, ya'ni:

$$i = i_g + i_c \text{ bunda } i_g = g \cdot u \text{ } i_c = b_s u \text{ } b_s = \omega S \text{-sig'im o'tkazuvchanlik.}$$

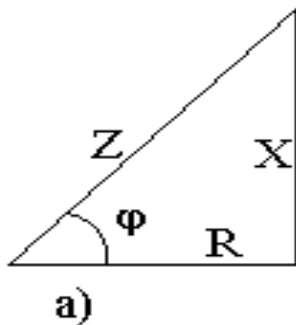
Zanjir parametrlari chiziqli bo'lganligi tufayli manbadan kelayotgan yig'indi tok ham sinusoidal bo'ladi, ya'ni $i = I_m \sin(\omega t + \phi)$. Ammo bu tok faza jixatidan ϕ -burchakka farq qiladi. Bu yerda ϕ -faza siljish burchagi deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\phi = \arctg(b_s/g)$$

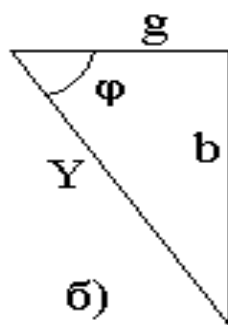
Tok va kuchlanishlarning effektiv qiymatlari uchun yuqoridagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin: $I = I_g + I_s$

ya'ni, manbadan kelayotgan tokning effektiv qiymati ayrim tarmoqlardagi toklarning effektiv qiymatlarini geometrik yig'indisiga teng.

Om qonuniga asosan zanjirdagi tok kuchlanish bilan zanjirning to'la o'tkazuvchanliging ko'paytmasiga teng, ya'ni: $I = YU$ $Y = \sqrt{g^2 + b_c^2}$



a)



b)

Bu yerda, Y -to'la o'tkazuvchanlik, b_C -sig'im o'tkazuvchanlik.

Rasm-7.2.b dagi vektor diagrammadan ko'rinib turibdiki, manbadan kelayotgan tokning effektiv qiymati, kondensator va aktiv qarshilikdan o'tayotgan toklarning effektiv qiymatlarini geometrik yig'indisiga teng. Bu zanjir uchun faza siljish burchagi noldan kichik bo'lib, zanjir sigim xarakterga ega, chunki zanjir faqat aktiv qarshilik va kondensatordan iborat.

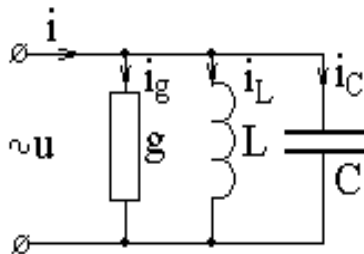
R,L va C elementlari parallel ulangan zanjirlar

Aktiv o'tkazuvchanligi g bo'lgan rezistor, induktivlik va kondensatordan tuzilgan zanjir (Rasm-6.3.a) $u=U_m \sin \omega t$ sinusoidal kuchlanish manbaiga ulangan. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan ayrim parallel tarmoqlardagi toklarning yigindisi manbadan kelayotgan tok ga teng, ya'ni:

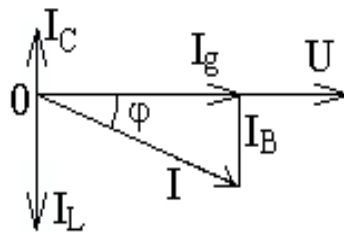
$$i=i_R+i_L+i_C$$

Рис-6.4

Zanjir chiziqli bo'lganligi sababli yigindi tok I ham berilgan kuchlanish kabi sinusoidal bo'ladi, ammo undan faza bo'yicha φ -burchakka farq qiladi, ya'ni: $I=I_m \sin(\omega t - \varphi)$ va $u=U_m \sin \omega t$ ni hisobga



a)



b)

olgan xolda quyidagilarni yozish mumkin:

$$I_m=U_m \cdot \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$$

Bu ifodani $\sqrt{2}$ ga bo'lib, butun zanjir uchun tok va kuchlanishning effektiv qiymatlari orasidagi bog'lanish

Рис-6.3

topish mumkin:

$$I=I_m/\sqrt{2} \quad U=U_m/\sqrt{2} \quad I=U \cdot \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$$

Bu tenglama sinusoidal tokning parallel zanjiri uchun Ohm qonunini ifodalaydi.

Bu zanjir uchun to'la o'tkazuvchanlik quyidagiga teng bo'ladi:

$$Y=\sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$$

Bu yerda g -aktiv o'tkazuvchanlik, $b=(b_L-b_C)$ -reaktiv o'tkazuvchanlik, b_L - induktiv o'tkazuvchanlik, b_C -sigim o'tkazuvchanlik.

Faza siljish burchagi φ quyidagiga teng bo'ladi: $\varphi=\arctg(b/g)$

Zanjirning ayrim tarmoqlaridagi oniy toklarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_g=I_{gm} \sin \omega t$$

$$I_L=I_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$I_C=I_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Demak, rezistordagi tok zanjirga berilgan kuchlanish bilan faza bo'yicha ustma ust tushadi, induktivlikda tok kuchlanishdan $\pi/2$ burchak orqada koladi, sigimda tok kuchlanishdan $\pi/2$ burchak oldinga utib ketadi.

Agar $I_L > I_C$ ($b_L > b_C$), bo'lib, $\varphi > 0$ bo'lsa, butun zanjirdagi tok kuchlanishdan φ -burchakka orqada koladi va aktiv- induktiv zanjir deyiladi.

Agar $I_L < I_C$ ($b_L < b_C$), bo'lib, $\varphi < 0$ bo'lsa, butun zanjirdagi tok kuchlanishdan φ -

burchakka oldinga utib ketadi va aktiv sigimiy zanjir deyiladi.

Agar $I_L=I_C$ ($b_L=b_C$), bo'lib, $\varphi=0$ bo'lsa, butun zanjirdagi tok kuchlanish bilan faza bo'yicha ustma-ust tushadi.

Qarshiliklar va o'tkazuvchanliklar uchburchagi

O'zgaruvchan tok zanjirlarida induktivlik v sig'im bo'lganda bu zanjirning to'la qarshiligi umumiy holda quyidagicha bo'ladi; ya'ni:

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$$

bu yerda $X_L=\omega L$ -induktiv qarshilik, $X_C=\frac{1}{\omega C}$ -sig'im qarshilik. $X=X_L-X_C$ -reaktiv qarshilik.

Bundan to'la qarshilikni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Z=\sqrt{R^2+X^2} \quad \operatorname{tg}\varphi=\frac{X}{R}$$

Bu yerda Z -ni to'g'ri burchakli uchburchakning gipotenuzasi, R va X uning katetlari deb qarash mumkin (Rasm-6.4.a).

To'la o'tkazuvchanlikni umumiy xolda quyidagicha ifodalash mumkin $u=\sqrt{g^2+\epsilon^2}$ bu yerda $v=v_L-v_S=\frac{1}{\omega L}-\omega S$ -reaktiv o'tkazuvchanlik.

Bu yerda ham u -ni to'g'ri burchakli uchburchakning gipotenuzasi, g va v esa katetlari deb qarash mumkin bunda:

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{\epsilon}{g};$$

Qarshiliklar uchburchagi to'la qarshilikni aktiv va reaktiv qarshiliklar bilan bog'lanish grafigini ko'rsatadi.

O'tkazuvchanliklar uchburchagi to'la o'tkazuvchanlikni aktiv va reaktiv o'tkazuvchanlik bilan bog'lanish grafigini ko'rsatadi.

R,L,C elektrlari parallel va ketma-ket ulangan zanjirlarni o'zaro almashtirish

Sinusoidal uzgaruvchan tok zanjirlarini hisoblashda, xar qanday zanjirni unga ekvivalent bo'lgan, R , L va S elementlari parallel yoki ketma-ket ulangan zanjirga almashtirib olishga to'g'ri keladi. Bunda ketma-ket zanjirda aktiv va reaktiv qarshiliklarni ketma-ket ulangan ekvivalent zanjir past parallel zanjirda esa, aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklarni parallel ulangan ekvivalent zanjirdan (rasm-6.5 a, b) foydalaniladi.

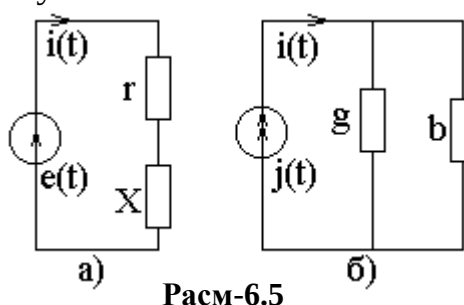


Рис-6.5

Agar ketma-ket ulangan zanjirga (rasm-6.5.a) EYuK manbai $e(t)$ ulangan bo'lsa, zanjirdagi tok quyidagicha buladi:

$$e(t)qE_m \sin(\omega tQ\Psi_u)$$

$$e(t)q\frac{E_m}{Z} \sin(\omega tQ\Psi_a-\varphi)$$

bu yerda, φ q arc $\operatorname{tg}(X/Z)$ -faza siljish burchagi

$$Zq\sqrt{r^2+x^2}-\text{to'la qarshilik.}$$

Agar parallel ulangan zanjirga $j(t)$ tok manbai ulangan bo'lsa, zanjir elementlaridagi kuchlanishni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$i(t)qI_n \sin(\omega tQ\Psi_i)$$

$$u(t) = \frac{I_m}{y} \sin(\omega t Q\Psi_i + \varphi)$$

bu yerda $\varphi = \arctg(\frac{\epsilon}{g})$ -faza siljish burchagi.

$u = \sqrt{g^2 + \epsilon^2}$ -to'la o'tkazuvchanlik.

Ketma-ket ulangan ekvivalent zanjirni parallel ulangan ekvivalent zanjirga almashtirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

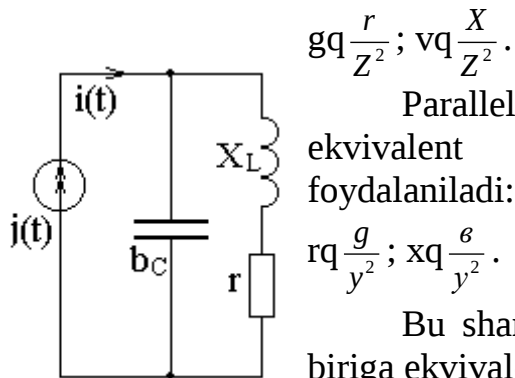


Рис. 6.6

$$g = \frac{r}{Z^2}; \quad b_c = \frac{X_L}{Z^2}.$$

Parallel ulangan ekvivalent zanjirni ketma-ket ulangan ekvivalent zanjirga almashtirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$$r = \frac{g}{y^2}; \quad X_L = \frac{\epsilon}{y^2}.$$

Bu shartlar bajarilsa ikkala zanjir ham (rasm-0.1 a, v) bir-biriga ekvivalent hisoblanadi.

6.1-Masala:

Agar tok manbai va zanjir parametrlari quyidagicha bo'lsa, rasm-6.6 da berilgan zanjirning kirishidagi kuchlanish $u(t)$ ni aniqlang:

$$i(t) = 0,1 \sin 500 t \text{ (A)}$$

$$v_s = 0,1 \text{ (Sm)}, \quad X_L = 10 \text{ (Om)}$$

Echish:

1. X_L va r ketma-ket ulangan zanjirni parallel ekvivalent zanjirga almashtiramiz:

$$g = \frac{r}{Z^2} = \frac{r}{r^2 + X_L^2} = \frac{10}{200} = 0,05 \text{ (Cm)}$$

$$b_c = \frac{X_L}{Z^2} = \frac{X_L}{r^2 + X_L^2} = \frac{10}{200} = 0,05 \text{ (Cm)}$$

2. Bu umum zanjir uchun ekvivalent to'la va reaktiv o'tkazuvchanlikni hisoblaymiz:

$$v = v_L - v_s = 0,05 - 0,2 = -0,15 \text{ (Sm)}$$

$$u = \sqrt{g^2 + \epsilon^2} = \sqrt{0,05^2 + (-0,15)^2} = 0,16 \text{ (Cm)}$$

3. Zanjirni kirishidagi kuchlanishni amplituda qiymatini hisoblaymiz:

$$U_m = \frac{I_m}{y} = \frac{0,1}{0,16} = 0,625 \text{ (v)}$$

4. Faza siljish burchagini hisoblaymiz:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\epsilon}{g}\right) = \arctg\left(\frac{-0,15}{0,05}\right) = \arctg(-3).$$

5. Zanjir kirishidagi kuchlanishning oniy qiymati quyidagicha buladi.

$$u(t) = U_m \sin(500t + \varphi) \text{ yoki}$$

$$u(t) = U_m \sin(500t - 23^\circ)$$

Yuqoridagi ifodalardan bu zanjir sigimiy xarakterga ega ekanligi kelib chiqadi, chunki

$$V_L < V_S.$$

Sinov savollari

1. R va L elementlari parallel ulangan zanjirning to'la qarshiligi nimaga teng?
2. To'la o'tkazuvchanlik nima?
3. Sig'im harakterga ega zanjir uchun vektor diagramma qanday bo'ladi?
4. Aktiv yoki rezonansli zanjirda to'la o'tkazuvchanlik nimaga teng?
5. Qarshiliklar uchburchagi nima?

6-ma'ruza

Mavzu: O'zgaruvchan elektr tokining quvvati. (2 soat)

1. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om va Kirxgof qonunlari.
2. O'zgaruvchan tokning quvvati.
3. Quvvatlar uchburchagi.
4. O'zgaruvchan tok zanjirlarini ekvivalent zanjirga almashtirish.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om va Kirxgof qonunlari.

Elektrotexnikaning asosiy qonunlari bo'lgan Om va Kirxgof qonunlari o'zgaruvchan tok zanjirlarida ham o'z kuchini saqlab qoladi.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha yozish mumkin, ya'ni:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Bu yerda Z va U-to'la qarshilik va to'la o'tkazuvchanlik yoki

$$I = U \cdot U = \sqrt{g^2 + (e_L - e_C)^2} \cdot U.$$

«Zanjirdagi tok kuchining effektiv qiymati zanjirdagi kuchlanishning effektiv qiymatiga to'g'ri proporsional, zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsional».

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning birinchi qonuni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sum_{k=1}^n \vec{I}_k = 0 \text{ yoki } \sum_{k=1}^n i_k = 0$$

«Tugundagi toklarning oniy qiymatlarini algebraik yig'indisi nolga teng» yoki «Tugundagi toklarning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi nolga teng».

Kirxgofning ikkinchi qonunini o'zgaruvchan tok zanjiri uchun quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^n i_k R_k \text{ yoki } \sum_{k=1}^n \vec{E}_k = \sum_{k=1}^n \vec{I}_k \cdot R_k$$

«Konturdagi EYuK-larning oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvlarining oniy qiymatlarini algebraik yig'indisiga teng» yoki

«Konturdagi EYuK-larning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvining effektiv qiymatlarini geometrik yig'indisiga teng».

O'zgaruvchan tokning quvvati

Zanjirga xar qanday sinusoidal o'zgaruvchan tok I berilganda U kuchlanish

ta'sirida t vaqtda $A = \int_0^t u i dt$ ish bajariladi, bu ish miqdor jixatdan kuchlanish, tok va vaqtning ko'paytmasiga teng. Bu ishning intensivligi p_{qu-i} ko'paytmaga bog'liq. bu p-kattalik manbadan zanjirga kelayotgan quvvatning oniy qiymati deb ataladi.

Agar $u = U_m \sin \omega t$ va $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ bo'lsa, $P = U \cdot I \cos \varphi - U \cdot I \cos(2\omega t - \varphi)$ bo'ladi, ya'ni oniy quvvat ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'lib, ulardan birinchisi vaqt ga bog'liq bo'lmay, ikkinchisi vaqt ichida miqdori va yo'nalishi bo'yicha ikkilangan chastota (2ω) bilan o'zgaradi.

Manbadan kelayotgan energiya quvvati T davr ichida uzining o'rtacha qiymati atrofida bo'ladi, bu qiymat son jixatidan quyidagiga teng, ya'ni: $P = UI \cos \varphi$ bu ifoda sinusoidal tok zanjirining aktiv (foydali) quvvati deb ataladi. XBT (SI) da aktiv quvvat birligi qilib [vt] kabul kilingan, bundan tashkari

$1 \text{ mVt} = 10^6 \text{ Vt}$; $1 \text{ kVt} = 10^3 \text{ vt}$. lar ham ishlatiladi.

$\cos \varphi$ -quvvat koeffitsienti deyiladi va bu kattalik amalda $\cos \varphi < 1$ bo'ladi, chunki zanjirda doimo L va C elementlari bo'ladi.

Sinusoidal tok zanjirlarining quvvati kup xollarda to'la quvvat deb ataladigan miqdordan kichik bo'ladi.

To'la quvvat energetik kurilmalarning ishlatilish vaqtida kuchlanish va tok bo'yicha bera oladigan nominal qiymatlarini ifodalaydi: $S = U \cdot I$ (BA), (kBA), (MBA).

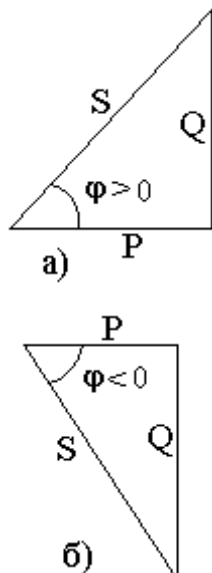
Zanjirdagi foydali ishni tokning fakat bir qismigina bajaradi, ya'ni $I_g = I \cos \varphi$ ga teng bo'lgan tokning aktiv tashkil etuvchisi. Tokning reaktiv tashkil etuvchisi $I_b q I \sin \varphi$ elektr va magnit maydonini xosil kilish uchun sarf bo'lib, ularning energiyasi L va C elementlarida davriy ravishda yigilib, yana manbaga kaytariladi. SHu sababli reaktiv quvvat tushunchasi kiritilib, u son jixatdan $Q = UI \sin \varphi$ ga teng. Ulchov birligi XBT (SI) da: (Var) (kVar) (Mvar).

R, L, C elementlar ketma ket ulangan zanjirlar uchun quyidagilarni yozish mumkin: $P = UI \cos \varphi = U_r I = I^2 R$ $Q = UI \sin \varphi = U_x I = I^2 X$ $S = UI = I^2 Z$;

Parallel ulangan zanjirlar uchun:

$P = UI \cos \varphi = UI_g = g U^2$ $Q = UI \sin \varphi = UI_b = b U^2$ $S = UI = I U^2$;

P va S lar doimo musbat Q reaktiv quvvat esa $\varphi > 0$ bo'lsa, musbat (induktiv zanjir) va $\varphi < 0$ bo'lganda esa manfiy (sig'imiyl zanjir) bo'ladi.



Quvvatlar uchburchagi.

O'zgaruvchan tok zanjirida aktiv quvvat $R = U \cdot I \cos \varphi$, reaktiv quvvat $Q = U \cdot I \sin \varphi$ va to'la quvvat $S = U \cdot I$ ga teng. Aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar orasida quyidagi bog'lanish mavjud, ya'ni $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

Bu bog'lanish xuddi qarshiliklar uchburchagiga o'xshaydi, to'la quvvatni to'g'ri burchakli uchburchakning gipotnuzasi, aktiv va reaktiv quvvatlarni esa uning katetlari deb qarash mumkin. Faza siljish burchagi φ ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$; yoki $\varphi = \arctg \frac{Q}{P}$.

Quvvatlar uchburchagidan quyidagilar kelib chiqadi:

agar $\varphi > 0$ bo'lsa, bunday zanjir induktiv xarakterga ega bo'ladi. (Rasm-7.1 a).

agar $\varphi < 0$ bo'lsa, bunday zanjir sig'im xarakterga ega bo'ladi. (Rasm-7.1 b). Quvvatlar uchburchagi to'la quvvat bilan aktiv va reaktiv quvvatlar o'rtasidagi bog'lanish grafigini ko'rsatadi.

7.4. O'zgaruvchan tok zanjirlarini ekvivalent zanjirga almashtirish

Bir fazali manbadan ta'minlanlanayotgan o'zgaruvchan tok murakkab zanjirlarida zanjirga berilayotgan kuchlanish U , tok I va faza siljish burchagi φ ning miqdori va yo'nalishi asosiy parametrlar hisoblanadi.

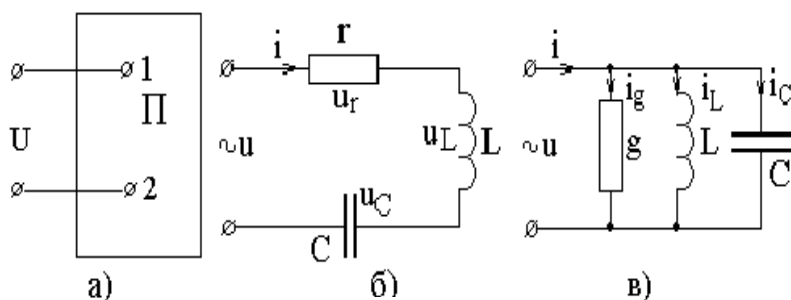


Рис-7.2

Agar bu zanjirni qandaydir passiv ikki qutblik P tarzida tasavvur kilsak (Rasm-7.2.a), u ketma ket va parallel ulangan zanjirlarning bir xil xarakterlik va aniqlikdagi ifodasi bo'ladi. Agar bu zanjir uchun U , I va φ qiymatlar ma'lum bo'lsa, u xolda ikki qutblikning

parametrlari zanjir qismlarining qarshiliklari yoki o'tkazuvchanliklari bo'yicha aniqlanadi.

Birinchi xol uchun:

$$Z = \frac{U}{I} \quad R = Z \cos \varphi \quad X = Z \sin \varphi = X_L - X_C$$

Bunda $\varphi > 0$ bo'lsa $X_L > X_C$ va $\varphi < 0$ bo'lsa $X_L < X_C$ bo'ladi.

Ikkinchi xol uchun:

$$Y = \frac{I}{U} \quad g = Y \cos \varphi \quad b = b_L - b_C = Y \sin \varphi$$

Bunda $\varphi > 0$ bo'lsa $b_L > b_C$ va $\varphi < 0$ bo'lsa $b_L < b_C$ bo'ladi.

Ular asosida ketma ket va parallel ulangan ikkita zanjirni bir-biriga ekvivalent deb hisoblanadi. buning uchun quyidagi ekvivalentlik shartlari bajarilishi kerak: $Z_E = \frac{U}{I}$

va $Y_E = \frac{I}{U}$ chunki: $Z_E = 1/Y_E$

$$\sin \varphi = \frac{X_E}{Z_E} = \frac{b_E}{Y_E} \quad \cos \varphi = \frac{R_E}{Z_E} = \frac{g_E}{Y_E}$$

Ekvivalent aktiv, reaktiv qarshilik va o'tkazuvchanliklar uchun quyidagi munosabatlarni yozish mumkin:

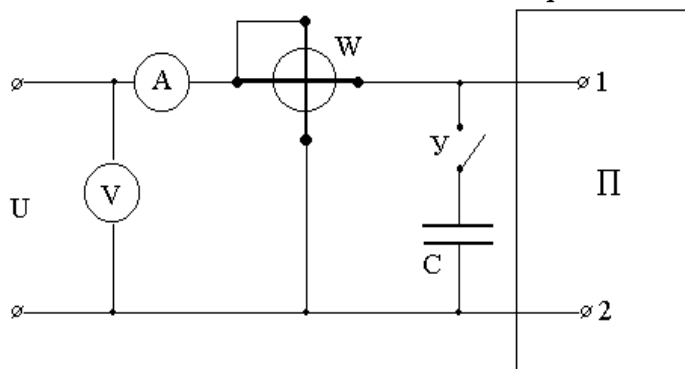


Рис-7.3

$$R_E = Z_E \cos \varphi = \frac{P}{I^2}$$

$$G_E =$$

$$Y_E \cos \varphi = \frac{P}{U^2}$$

Aralash ulangan murakkab zanjirlarni

hisoblashda, ba'zan, zanjirning barcha elementlarini ketma-ket yoki parallel ulashga keltirish zarur bo'ladi.

Agar I_e , g_e va b_e elementli parallel zanjir berilgan bo'lsa, unga ekvivalent bo'lgan ketma-ket zanjirning qarshiligi:

$$Z_E = 1/Y_E \quad R_E = \frac{g_e}{Y_e^2} \quad X_E = \frac{b_e}{Y_e^2}$$

Bazan amaliy hisoblashlarda ichki ulanish sxemasi noma'lum zanjirning ekvivalent qarshiligi (o'tkazuvchanligi) va faza siljish burchagi φ ni aniqlash kerak bo'ladi.

Bunda berilgan zanjirning tashqi qismlari 1 va 2 bilan belgilanib, passiv ikki qutblik P shaklida ko'rsatiladi. Rasm-7.3 dagi sxemani yig'ib, o'lchov asboblari ko'rsatishiga karab U, I va P ni aniqlaymiz, bulardan foydalanib φ ni hisoblab

topamiz: $\varphi = \arccos \frac{P}{UI}$

φ ning ishorasini fazometr yordamida yoki quyidagicha aniqlash mumkin: tekshirilayotgan zanjirga Rasm-7.3 dagi kabi kondensator ulab, ampermetrni o'zgarishiga qarab φ ni ishorasi aniqlanadi.

Agar tok avvalidan ma'lum miqdorga kamaysa ($I' < I$) u xolda $\varphi > 0$, agar zanjirdagi tok ($I' > I$) ortib ketsa u xolda $\varphi < 0$ bo'ladi.

Sinov savollari

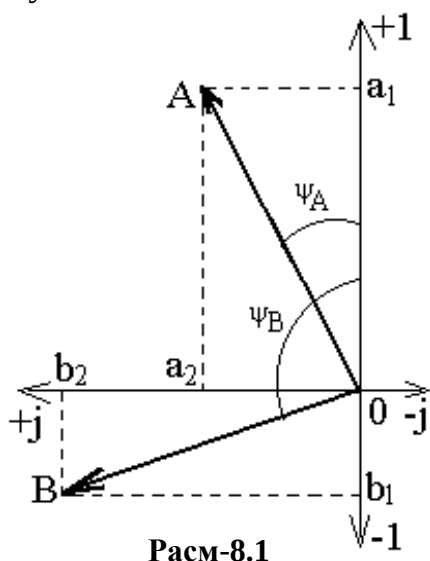
1. To'la quvvat nima?
2. Ekvivalent zanjir deganda nimani tushunasiz?
3. Quvvatlar uchburchagini tushuntiring.
4. Faza siljish burchagi deganda nimani tushunasiz?

Mavzu: Hisoblashning kompleks usuli. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. Om va Kirxgof qonunlarining kompleks ifodasi.
3. Quvvat kompleksi.
4. Topografik yoki potensial daogramma.

Umumiy tushunchalar

Murakkab sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlarini oddiy matematik usul bilan hisoblash noqulay va ko'p mexnat talab qiladi va undan amaliy hisoblashlarda foydalanish qiyin. SHuning uchun murakkab zanjirlarni hisoblashda kompleks usuldan foydalaniladi.



Kompleks usul, ya'ni aylanuvchi vektorlarni kompleks sonlar yordamida ifodalash geometrik yasashlarni talab kilmay, kompleks sonlar ustida amallar bajariladi. Rasm-8.1 da xakikiy (± 1) va mavxum ($\pm j$) uklarda kompleks tekislik ko'rsatilgan bo'lib, unda A va V kompleks sonlar tasvirlangan. Bu sonlarni tasviri koordinata boshidan chikib A va V modullarga ega bo'lgan vektorlarni ifodalaydi.

Bu vektorlar ikki xil kurinishda berilishi mumkin:

1. Daraja ko'rsatkichli shaklda: $\dot{A} = Ae^{j\psi_A}$ va $\dot{B} = Be^{j\psi_B}$

2. Algebraik yoki trigonometrik shaklda: $\dot{A} = a_1 + ja_2$ va $\dot{B} = b_1 + jb_2$

Kompleks sonlar uchun Eyler formulasiga asosan yuqoridagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin: $ye^{jz} = \cos z + j\sin z$ $ye^{-jz} = \cos z - j\sin z$

$\dot{A} = A(\cos \psi_A + j \sin \psi_A)$ $\dot{B} = B(\cos \psi_B + j \sin \psi_B)$ Yuqoridagi $\dot{A} = Ae^{j\psi_A} = a_1 + ja_2$ kompleks son uchun quyidagi nisbatlarni keltirish mumkin:

$$A = A\sqrt{a_1^2 + a_2^2} \quad \psi_A = \arctg \frac{a_2}{a_1}$$

a_1 - kompleks sonning xakikiy qismi, a_2 - kompleks sonning mavxum qismi.

Demak sinusoidal o'zgaruvchan $I = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ tokka kompleks tekislikda I_m amplituda va ψ_i - argument bilan aniqlanadigan quyidagi vektor mos keladi:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$$

Xakikiy hisoblashlarda toklar, e.yu.k. va kuchlanishlarning effektiv qiymatlari beriladi, u xolda tegishli komplekslar quyidagicha kurinishda yozish mumkin: $\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$

$$\dot{U}_m = U_m e^{j\psi_u} \quad \dot{E}_m = E_m e^{j\psi_e}$$

SHunday qilib, kompleks usul sinusoidal funktsiyalardan kompleks sonlarga o'tish imkonini beradi.

Om va Kirxgof qonunlarining kompleks ifodasi

Berilgan biror passiv zanjir $u=U_m\sin(\omega t + \psi_u)$ kuchlanish manbaiga ulangan bo'lsa, zanjir elementlarining ulanish usulidan qat'iy nazar, butun zanjirning toki $I=I_m\sin(\omega t + \psi_i)$ bo'lsa, kuchlanish va tokning effektiv qiymatlarining komplekslari quyidagicha bo'ladi:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i} \quad \dot{U}_m = U_m e^{j\psi_u}$$

Om qonuniga binoan, bu zanjirning to'la qarshiligi kompleks shaklda quyidagicha yoziladi:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z e^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi$$

$z=rQjx$ – zanjirning kompleks qarshiligi, r , x va z - lar mos ravishda aktiv, reaktiv va to'la qarshiliklarning modullari.

Zanjirning kompleks o'tkazuvchanligi ham shunday aniqlanadi:

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = Y e^{-j\varphi} = y \cos \varphi - jy \sin \varphi$$

$y=g-jb$ - zanjirning kompleks o'tkazuvchanligi. g , b va y – mos ravishda zanjirning aktiv, reaktiv va to'la o'tkazuvchanliklarining modullari.

SHunday qilib, Om qonunini umumiy kurinishda quyidagi shakllarda yozish mumkin:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad \dot{U} = \dot{I} Z \quad \dot{I} = \dot{U} Y \quad \dot{U} = \frac{\dot{I}}{Y}$$

Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari quyidagi kompleks kurinishda bo'ladi:

$$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0 \quad \text{va} \quad \sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{U} = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K Z_K$$

«Tugundagi kompleks toklarning algebraik yig'indisi nolga teng».

«Konturdagi kompleks EYuK larning algebratik yig'indisi shu konturdagi kompleks kuchlanishlar tushuvlarining algebraik yig'indisiga teng».

Quvvat kompleksi

Sinusoidal tok zanjiridagi aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni U va I ning berilgan effektiv qiymatlari, shuningdek, bu miqdorlarning vektorlari orasidagi faza siljish burchagi $\varphi = \psi_u - \psi_i$ orkali hisoblash mumkin, ya'ni: $P=UI\cos\varphi$; $Q=UI\sin\varphi$; $S=UI$,

Agar $S=UI$ kupaytmaning komplekslari ($\dot{U}$ yoki $\dot{I}$) dan birortasining argumenti teskari ishorali qilib olinsa, kupaytma vektorining argumenti $\pm\varphi$ ga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\dot{S} = U e^{-j\psi_u} \cdot I e^{j\psi_i} = UI e^{-j\varphi} = UI \cos \varphi - jUI \sin \varphi = P - jQ$$

$$\dot{S} = U e^{j\psi_u} \cdot I e^{j\psi_i} = UI e^{j\varphi} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ$$

SHunday qilib, kuchlanish va tokning teskari ishorada olingan argumentli komplekslari, ya'ni argumentning ishorasini sun'iy ravishda teskarisiga almashtirish kompleks $\dot{S}$ ning moduliga teng to'la quvvat S ni va uning aktiv, reaktiv tashkil etuvchilarini bir vaqtda hisoblashga imkon beradi.

Agar tok kompleksi $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$ urniga $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$ ni olsak, aksincha $-jQ$ qism zanjirning sigim xarakteriga, $+jQ$ esa induktiv xarakteriga ega ekanligiga mos keladi.

8.1-Masala: Iste'molchidagi tok va kuchlanishlarning kompleks qiymatlari $\dot{I}=j100$ va

$\dot{U}=16+j12$ ga teng bo'lsa, aktiv va reaktiv qarshiliklarni hamda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni hisoblang.

Echilishi:

1. To'la qarshilikni quyidagicha hisoblab topamiz:

$$\dot{Z}=\dot{U}/\dot{I}=j100/(16+j12)=5e^{j53^\circ}=(3+j4)\text{ Om}$$

Kompleks to'la qarshilikni xakikiy qismi aktiv qarshilikka, mavxum qismi esa reaktiv qarshilikka teng bo'lganligi uchun: $r=3\text{ Om}$, $X=4\text{ Om}$ va $Z=5\text{ Om}$ ga teng bo'ladi.

2. Kompleks quvvatni topish uchun tok kuchini mavxum qismidagi ishorasini karama-qarshisiga o'zgartirib kompleks kuchlanishga kupaytiramiz:

$$\dot{S}=\dot{U}\cdot\dot{I}=j100(16-j12)=2000e^{j53^\circ}=(1200+j1600)\text{ VA.}$$

Bunda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni qiymatlari:

$P=1200\text{ Wt}$, $Q=1600\text{ var}$, $S=2000\text{ VA}$ ga teng bo'ladi.

8.2-Masala

Rasm-8.2 da berilgan sxemadagi toklarni oniy qiymatlarini aniqlang. Zanjir parametrlari

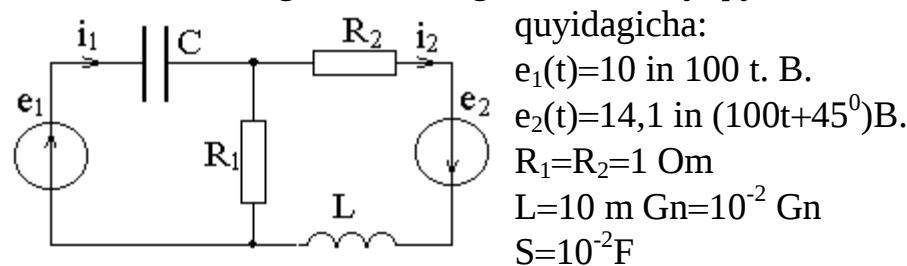


Рис-8.2

Echilishi:

Manba kuchlanishlarini kompleks ko'rinishda yozamiz:

$$\dot{E}_{m1}=10\text{ B}; \dot{E}_{m2}=14,1\text{ ye}^{j45^\circ}\text{ B.}$$

Tarmoqlardagi kompleks qarshiliklarni hisoblaymiz;

$$Z_L=j\omega L=j100\cdot 10^{-2}=j1\text{ Om}$$

$$Z_C=-\frac{j1}{\omega C}=-\frac{j1}{100\cdot 10^{-2}}=-j1\text{ Om.}$$

$$Z_1=R_L=1\text{ Om}$$

Kontur toklar usuliga asoslanib tenglamalar tuzib, bu tenglamalarni yechamiz:

$$\dot{I}_{m11}(Z_C+R_1)=\dot{E}_{m1}$$

$$\dot{I}_{m22}(R_1+R_2+Z_L)=\dot{E}_{m2}$$

$$\dot{I}_{m11}=\frac{\dot{E}_{m1}}{Z_C+h_1}=\frac{10}{-j1+1}=16e^{j60^\circ}$$

$$\dot{I}_{m22}=\frac{\dot{E}_{m2}}{R_{1c}+R_2+Z_L}=\frac{14,1e^{j45^\circ}}{2+j1}=13,4e^{j27^\circ}$$

Tarmoqdagi toklarni kontur toklar bilan ifodalaymiz va ularni kompleks qiymatini aniqlaymiz:

$$\dot{I}_{m1}=\dot{I}_{m11}=16e^{j60^\circ}\text{ A}$$

$$\dot{I}_{m2}=\dot{I}_{m22}=13,4e^{j27^\circ}\text{ A}$$

Toklarni oniy qiymatlarini yozamiz:

$$i_1(t)=16\sin(100t+60^\circ) \text{ A}$$

$$i_2(t)=13,4\sin(100t+27^\circ) \text{ A.}$$

8-ma'ruza

Mavzu: Elektr zanjirlarni kompleks usulda hisoblash. (2 soat)

1. Kompleks qarshiliklarni ketma-ket ulash.
2. Kompleks o'tkazuvchanliklarni parallel ulash.

Kompleks qarshiliklarni ketma-ket ulash

Ketma-ket ulangan qarshiliklardan tuzilgan oddiy zanjir va o'zgaruvchan kuchlanish manbai berilgan bo'lsa, zanjirning barcha elementlari uchun umumiy bo'lgan I effektiv tok $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ qarshiliklarda tegishli kuchlanishlar tushuvining effektiv qiymatlarini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U_1=IZ_1; \quad U_2=IZ_2; \dots; U_n=IZ_n$$

Bu kuchlanishlar tushuvlari vektorlarining geometrik yigindisi manba kuchlanishining vektoriga teng. Kompleks belgilashlarga utilganda uni quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{U} = \sum_{K=1}^n \dot{U}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K Z_K = \dot{I} \sum_{K=1}^n Z_K = \dot{I} Z$$

Agar to'la qarshiliklarning $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$; $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ va $Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ tashkil etuvchilari berilgan bo'lsa, u xolda butun zanjirning kompleks qarshiligini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$Z = \sum_{K=1}^n Z_K = \sum_{K=1}^n R_K + j \sum_{K=1}^n X_K = R + jX$$

Bunda R- butun zanjirning aktiv qarshiligi; X- butun zanjirning reaktiv qarshiligi. Reaktiv qarshilik musbat (induktiv) va manfiy (sigimiy) $x_1, x_2, \dots, x_n$ qarshiliklarning algebraik yigindisiga teng.

Kuchlanish va tokning vektorlari orasidagi siljish burchagi quyidagicha aniqlanadi: $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$;

Agar kuchlanish $\dot{U} = Ue^{j\psi_u}$ kompleks kurinishda berilgan bo'lsa, u xolda zanjirdagi tokning kompleksi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U} e^{j\psi_u}}{Z e^{j\varphi}} = Ie^{j(\psi_u - \varphi)} = Ie^{+j\psi_i}$$

9.1-Masala

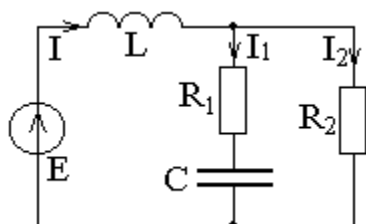


Рис.9.1

Rasm-9.1 da berilgan zanjirda sig'imdan o'tayotgan tok $I_1=5$ A ga teng va $R_1=R_2=X_L=X_C=1$ Om bo'lsa, EYuK ning effektiv qiymatini aniqlang.

Echish:

Har bir tarmoq uchun to'la qarshiliklarni aniqlaymiz:

$Z_L = X_L = j \ 1 \ \text{Om}; Z_2 = R_2 = 1 \ \text{Om}; Z_1 = R_1 - jX_c \ \text{Om} = 1 - j1 \ \text{Om}.$

Birinchi tarmoqdagi kuchlanishni aniqlaymiz:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot Z_1 = 5(1 - j1) = 5 - j5 \ \text{B}$$

$$\dot{U}_2 = 5 - j5 \ \text{B}.$$

Ikkinchi tarmoqdagi tokni topamiz:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{Z_2} = \frac{5 - j5}{1} = 5 - j5 \ \text{A}.$$

Induktivlikdan o'tayotgan tokni topamiz:

$$\dot{I}_L = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 5 + 5 - j5 = 10 - j5 \ \text{A}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_L \cdot Z_1 = j1(10 - j5) = 5 + j10 \ \text{B}.$$

EYuK ning kompleks qiymatini topamiz:

$$\dot{E} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 5 + j10 + 5 - j5 = 10 - j5 = 11,2 \ e^{-j}$$

EYuK ning effektiv qiymatini topamiz:

$$E = 5\sqrt{5} = 11,2 \ \text{V}$$

Kompleks o'tkazuvchanliklarni parallel ulash

Parallel ulangan $y_1, y_2, \dots, y_n$ o'tkazuvchanliklardan tuzilgan oddiy zanjir va o'zgaruvchan kuchlanish manbai berilgan bo'lsa (rasm-13) zanjirning barcha elementlari uchun umumiy bo'lgan effektiv kuchlanish U-tarmoqlarning o'tkazuvchanliklariga proporsional bo'lgan toklarni xosil qiladi:

$$I_1 q U Y_1 \quad I_2 q U Y_2 \quad I_n q U Y_n$$

Bu toklar effektiv qiymatlari vektorlarining geometrik yigindisi zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi effektiv tokning vektoriga teng. Kompleks belgilashlarga utsak

$$\dot{I} = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K = \sum_{K=1}^n \dot{U} Y_K = \dot{U} \sum_{K=1}^n Y_K = \dot{U} Y \quad \text{xosil bo'ladi.}$$

Agar to'la o'tkazuvchanliklarning

$$Y_1 q \sqrt{g_1^2 + b_1^2} \quad Y_2 q \sqrt{g_2^2 + b_2^2} \quad Y_n q \sqrt{g_n^2 + b_n^2}$$

tashkil etuvchilari berilgan bo'lsa, u xolda butun zanjirning kompleks o'tkazuvchanligini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$Y = \sum_{K=1}^n Y_K = \sum_{K=1}^n g_K - j \sum_{K=1}^n b_K = g - jb$$

Bunda g- butun zanjirning aktiv o'tkazuvchanligi, b- butun zanjirning reaktiv o'tkazuvchanligi bo'lib, musbat (induktiv) va manfiy (sigimiy) reaktiv o'tkazuvchanliklarning algebraik yigindisiga teng bo'ladi.

Kuchlanish va tokning vektorlari orasidagi siljish burchagi quyidagicha aniqlanadi:

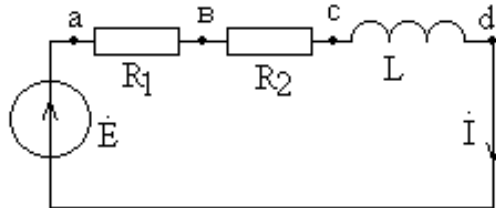
$$\varphi_{qarctg}(b/g)$$

Agar kompleks ko'rinishdagi kuchlanish berilgan bo'lsa, u xolda zanjirning tarmoqlanmagan tok kompleksi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{I} = \dot{U} Y = U e^{j\psi_U} \cdot Y e^{-j\varphi} = I e^{j\psi_I}$$

9.2-Masala:

Rasm-9.2 da keltirilgan sxemada EYuK $u_e = 141 \sin \omega t$ V ga, aktiv qarshiliklar R_1 va R_2 , induktivlik L ga teng bo'lsa, zanjir elementlaridagi tok va kuchlanishlarni aniqlang.



Расм-9.2

Echilishi: Ber: $R_1 = 3 \text{ Om}$, $R_2 = 2 \text{ Om}$, $L = 9,55 \text{ mGn}$

Echish: 1. Berilgan zanjir uchun tenglama tuzamiz:

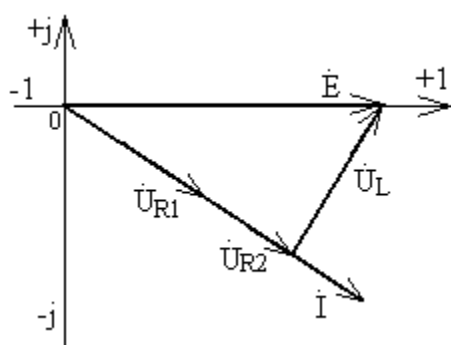
$$i(R_1 + R_2) = L \frac{di}{dt} = e \quad \text{yoki} \quad \dot{I}(R_1 + R_2) = j\omega L \dot{I} = \dot{E} \quad \text{yoki} \quad \dot{I}Z = \dot{E}$$

2. To'la kompleks qarshilikni hisoblaymiz:

$$Z = R_1 + R_2 + j\omega L = 3 + 2 + j314 \cdot 9,55 \cdot 10^{-3} = 5 + j3 = 5,82 e^{j31}$$

3. EYuK ning kompleks ta'sir etuvchi qiymatini topamiz:

$$\dot{E} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{141}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V}$$



4. Zanjirdagi tok kuchini topamiz.

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z} = \frac{100}{5 + j3} = \frac{100(5 - j3)}{25 + 9} = 14,7 - j8,8 = 17,2 e^{-j31}$$

5. R_1 -qarshilikdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_{R1} = \dot{U}_{av} = \dot{I} R_1 = (14,7 - j8,8) \cdot 3 = 44,1 - j26,4 = 51,6 e^{-j31} \text{ B}$$

6. R_2 -qarshilikdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_{R2} = \dot{U}_{vsq} = \dot{I} R_2 = (14,7 - j8,8) \cdot 2 = 29,4 - j17,6 = 34,4 e^{-j31} \text{ B}$$

7. Induktiv g'altakdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_L = \dot{U}_{cd} = j\omega L \dot{I} = 314 \cdot 9,55 \cdot 10^{-3} \cdot (14,7 - j8,8) = 26,4 - j44,1 = 51,6 e^{j59} \text{ B}$$

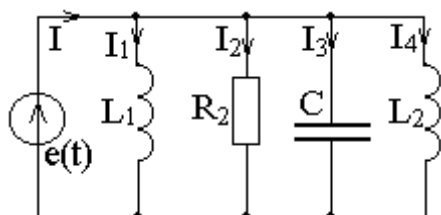
$$8,8) \cdot 26,4 - j44,1 = 51,6 e^{j59} \text{ B}$$

8. Ma'lum masshtabda vektor diagrammani ko'ramiz

(Rasm-9.2).

9.3-masala.

Rasm-9.3 da berilgan zanjir sinusoidal $u_q U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga ulangan. Tarmoqlardagi tok kuchi I_1, I_3, I_4 bo'lsa, zanjirdagi umumiy tokni effektiv qiymatini aniqlang.



Echish:

1. Tarmoqlardagi toklarni kompleks qiymatlarini aniqlaymiz:

$$\dot{I}_1 = 10 \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = 10 \text{ A}; \quad \dot{I}_3 = -j10 \text{ A}; \quad \dot{I}_4 = 10 \text{ A}.$$

2. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan umumiy tokni topamiz:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{10} - I_{10j} - I_{10Qj} - I_{10Qj}$$

$$I_{10Qj} = I_0 \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200} = 14,14.$$

Zanjirdagi umumiy tokning effektiv qiymati

$I_{14,14}$ A ga teng.

Sinov savollari

1. Kompleks to'la qarshilikni tushuntiring.

2. Kirxgof va Om qonunlarini kompleks shaklini yozing.

9-ma'ruza

Mavzu: r, L va S elementlari ketma-ket ulangan zanjirda rezonans. (2 soat)

1. Rezonans xodisasi xaqida asosiy tushunchalar.
2. Kuchlanishlar rezonansi.
3. Rezonansli ketma-ket ulangan zanjirning chastotaviy xarakteristikalar.

Rezonans xakida asosiy tushunchalar

Rezonans xodisalari tebranish tizimlarida, ya'ni energiyaning tebranib o'zgarishi ruy beradigan elementli tizimlarda sodir bo'ladi. Mayatnikning xarakati quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$mL \frac{d^2 X}{dt^2} + mgX = 0$$

m-mayatnikning massasi (kg)

L-mayatnikning uzunligi (m)

g-erkin tushish tezlanishi (m/sec^2)

X-ogish burchagi (rad.).

$$\omega_0^2 = \frac{g}{L} \quad \text{belgilasak, } \frac{d^2 X}{dt^2} + \omega_0^2 X = 0 \quad \text{bundan } X = A_{\max} \sin \omega_0 t = X_{\max} \sin \omega t \text{ kelib chiqadi.}$$

Demak mayatnikning tebranma xarakati xam ω_0 -chastotali sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaradi.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}} \text{ (rad/sek)}$$

Xuddi shunga o'hshash, S- sig'imga boshlangich q_0 zaryad berilgan L-C tebranish konturida tok xam o'shanday tebranadi. Zanjirning muvozanat tenglamasi quyidagicha

$$\text{bo'ladi: } LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + U_C = 0 \text{ yoki } \frac{d^2 U_C}{dt^2} + \omega_0^2 U_C = 0$$

Bu yerda U_C - kondensator (S) dagi oniy kuchlanish, L- konturning induktivligi; (Gn), S- Sig'im (F),

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ -konturning xususiy tebranish chastotasi (rad/sek).} \quad u_C = U_0 \sin \omega t$$

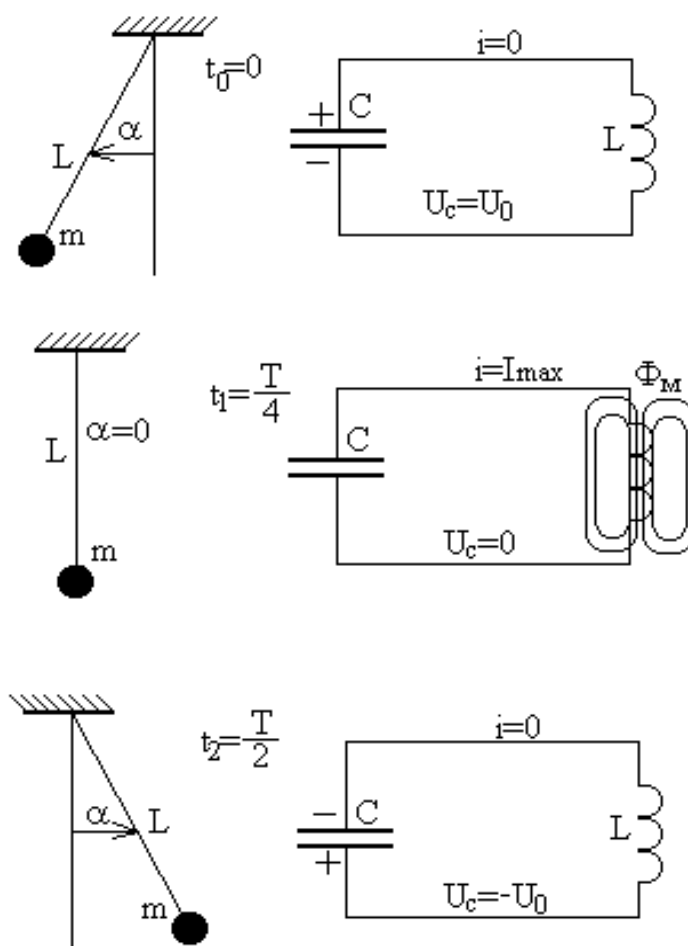


Рис. 6.1

Demak sig'ir S- dagi kuchlanishning tebranishi mayatnikka o'xshash ω_0 -chastota bilan sinusoidal qonun asosida o'zgaradi.

Elektr konturida kondensatorning elektr maydoni energiyasi W_e g'altakning magnit maydoni energiyasiga W_M davriy ravishda aylanib turadi:

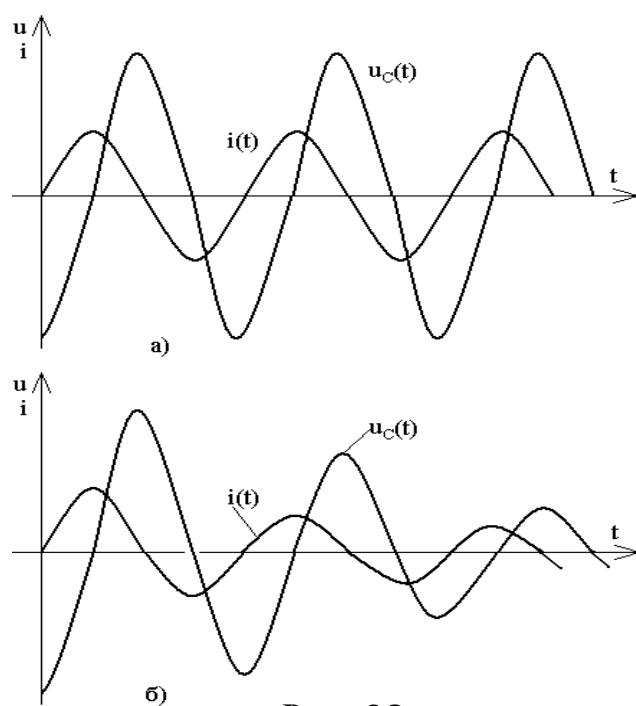


Рис. 6.2

$$W_e = \frac{CU_0^2}{2} \quad W_M = L \frac{I_{\max}^2}{2}$$

Ammo real tebranishlarda tebranishning amplitudasini o'zgarmay kolishiga qarshilik ko'rsatuvchi kuchlar mavjud, ya'ni ishqalanish kuchi, konturning aktiv qarshiligi tufayli issiklik isrofi, mana shular tufayli tizimda to'plangan energiyaning bir qismi sarf bo'ladi.

SHuning uchun tebranish amplitudasi xar bir tsiklda kamaya boradi, ya'ni sunuvchi sinusoida buyicha kamayadi (rasm-6.2.b). bunday tebranishlar sunuvchi tebranishlar deyiladi.

Tebranish tizimlarida erkin tebranishlarni o'zgarmas amplitudali qilib tutib turish uchun unda isrof bo'ladigan energiya urnini tashqi manbadan to'ldirib turish kerak.

Agar manbaning ta'sir etuvchi ω chastotasi tebranish tizimsining xususiy tebranishlar chastotasi ω_0 ga teng bo'lsa, u xolda tebranishlar tashqaridan minimal energiya iste'mol kilish bilan tutib turiladi. Bu esa rezonans xolati deyiladi.

Rezonansli tebranishlar (rezonans xodisa) deganda xususiy tebranishlar chastotasining majburiy kuchlar chastotasi bilan mos tushish xodisasi tushuniladi.

Kuchlanishlar rezonansi

Agar $u = U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga aktiv r , induktiv $x_L = \omega L$ va sig'im $x_C = 1/\omega C$ qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'lsa, (rasm-6.3a) zanjirning muvozanat xolati tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$u_r + u_L + u_C = u \quad \text{yoki} \quad r\dot{I} + j\omega L\dot{I} + \frac{1}{j\omega C}\dot{I} = \dot{U}$$

Zanjirning kompleks qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi: $Z = r + j(\omega L + \frac{1}{\omega C}) = r + jX = ze^{j\varphi}$

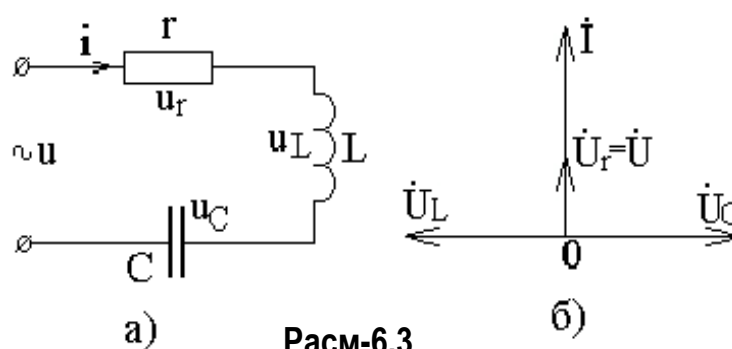


Рис-6.3

Zanjirda rezonans xodisasi sodir bo'lganda unga berilayotgan kuchlanish aktiv qarshilikdagi U_r kuchlanish tushuvini kompensatsiyalab turishi kerak, ya'ni: $U_r = r\dot{I} = \dot{U}$ yoki $\dot{U}_L + \dot{U}_C = 0$.

Demak zanjirda rezonans bo'lishi uchun $\omega L = 1/\omega C$, ya'ni reaktiv elementlarning qarshiliklari o'zaro teng ($X_L = X_C$), bo'lishi kerak.

Rezonans vaqtida $z = r$ va $\varphi = 0$ bo'lib, zanjirdagi tok $\dot{I}$ bilan manba kuchlanishi $\dot{U}$ bir xil fazada bo'ladi. (rasm-3.b).

Elementlari ketma-ket ulangan zanjirlarda rezonansga erishishni ikki xil usuli mavjud, ya'ni:

1. Tebranish konturining parametrlari o'zgarmas bo'lganda ($L = \text{const}$, $C = \text{const}$), manba chastotasi (ω) ni o'zgartirib xususiy tebranishlar chastotasi ω_0 bilan

tenglashtirish usuli $\omega = \omega_0$.

2. Manba chastotasi o'zgarmas ($\omega = \text{sonst}$) bo'lganda tebranish konturi parametrlaridan birortasini o'zgartirib, quyidagi tenglik xosil qilish usuli:

$$L_0 = \frac{1}{\omega^2 C} \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$$

Bunda $\omega_0 = \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ chastota rezonans chastotasi deyiladi.

Rezonans vaqtida zanjirning to'la qarshiligi minimal qiymatga erishadi, bu vaqtda manbadan maksimum tok iste'mol kilinadi: $I_{\max} = I_{\text{rez}} = \frac{U}{r}$;

Bu tok uz navbatida katta miqdordagi reaktiv kuchlanishlar $U_L = IX_L$ va $U_C = IX_C$ ni xosil qiladi, bu kuchlanishlar manba kuchlanishi U dan bir necha marta katta bo'ladi, shuning uchun xam kuchlanishlar rezonansi deb ataladi.

G'altak va kondensator reaktiv qarshiligining miqdorlari nisbati: $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ (Om) qarshilik birligi o'lchamiga ega bo'lgan tebranish konturining to'lqin qarshiligi deyiladi.

Reaktiv kuchlanishlarning manba kuchlanishidan necha marta kattaligini bildiruvchi kattalik konturning asllik koefitsienti deyiladi, ya'ni: $Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\rho}{R}$

Asllik koefitsientiga teskari bo'lgan kattalik konturning sunishi deyiladi: $d = \frac{1}{Q} = \frac{Z}{\rho}$;

Parametrlari ketma-ket ulangan zanjirda rezonans egri chiziklari

Rasm-64.a da zanjirning to'la qarshiligi Z va uning tashqil etuvchilari R va X , shuningdek burchak siljishi φ ni manba chastotasi ω ga bog'likligini ko'rsatuvchi egri chiziklar ko'rsatilgan.

Tok $I(\omega)$ va kuchlanish $U_R(\omega)$, $U_L(\omega)$ va $U_C(\omega)$ larning zanjir qismlaridagi kuchlanish effektiv qiymati $U = \text{const}$, o'zgarmas bo'lganda ularning chastotaga bog'likligini ko'rsatadigan egri chiziklar (rasm -6.4v) rezonans egri chiziklari yoki chastotaviy xarakteristikalar deb ataladi.

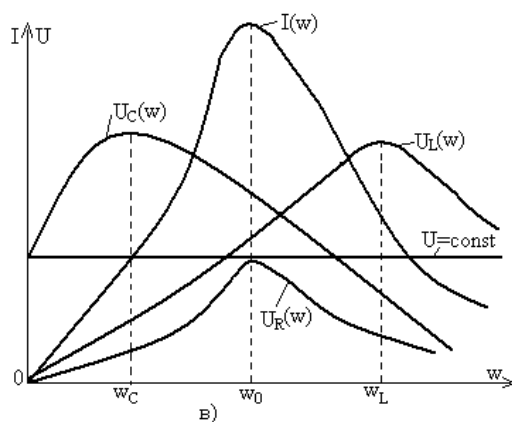
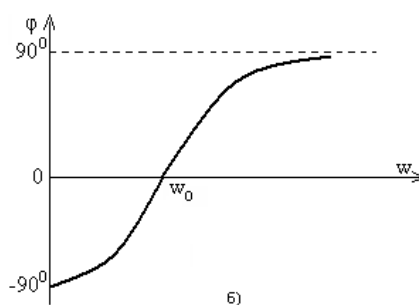
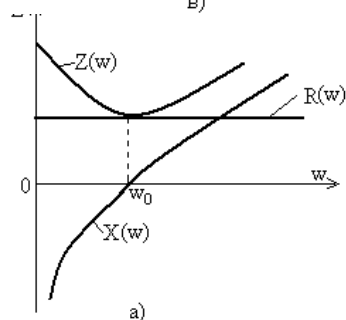


Рис-6.4



Sinov savollari

- 1.Rezonans xodisasi nima?
- 2.Kuchlanishlar rezonansi xodisasini tushuntiring.
- 3.Kuchlanishlar rezonansiga erishishning qanday usullari mavjud?
- 4.Elektr zanjirida rezonans deb nimaga aytiladi?
- 5.Reaktiv va to'la qarshiliklar qanday aniqlanadi? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?

Mavzuga doir tayanch so'z va iboralar

- 1.Rezonans.
- 2.Kuchlanishlar rezonansi.
- 4.Rezonans chastota.
- 5.Asillik ko'effitsenti.
- 6.Konturning so'nishi.
- 7.Rezonans egri chiziqlari.

10-ma'ruza

Mavzu: q, L va S elementlari parallel ulangan zanjirda rezonans. (2 soat)

1. Toklar rezonansi.
2. Rezonansli parallel ulangan zanjirning chastotaviy xarakteristikalar.
3. Elektr zanjirlarda rezonans xodisalarining amaliy ahamiyati.

Toklar rezonansi

O'tkazuvchanliklari g , $b_L = \frac{1}{\omega L}$ va $b_C = \omega C$ bo'lgan qarshiliklar parallel ulangan zanjir $u = U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga ulangan bo'lsa, bu zanjirning muvozanat xolati tenglamasi quyidagicha bo'ladi: $i = i_g + i_L + i_C$ yoki $g \dot{U} + \frac{\dot{U}}{j\omega L} + j\omega C \dot{U} = \dot{I}$

Zanjirning kompleks to'la o'tkazuvchanligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = g - jb = Y e^{-j\varphi}$$

Rezonans sharti buyicha butun zanjirning toki $\dot{I}$, aktiv tarmokdagi tok I_g ga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$\dot{I}_g = g \cdot \dot{U} = \dot{I}$$

Buning uchun g'altak va sig'imning reaktiv o'tkazuvchanliklari o'zaro teng ($b_c = b_L$) bo'lishi shart, ya'ni: $b = (\frac{1}{j\omega L} - j\omega C) = 0 \quad \frac{1}{j\omega L} = j\omega C$

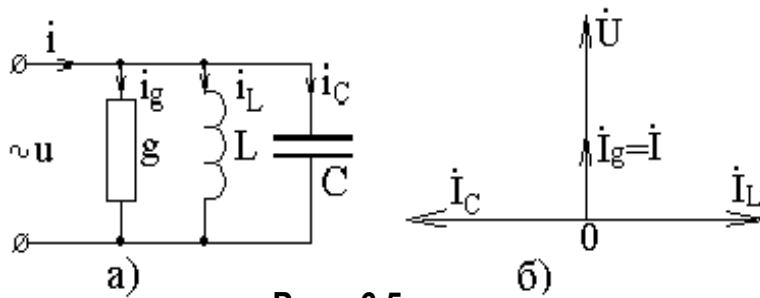


Рис. 6.5

Elementlari parallel ulangan zanjirlarda rezonansga ikki xil usul bilan erishish mumkin, ya'ni:

1. Zanjir parametrlari o'zgarmas (L va C) bo'lganda, manba chastotasini o'zgartirib, uni tebranishlarning xususiy chastotasiga tenglash usuli.
2. Manba chastotasi o'zgarmas bo'lganda zanjir parametrlaridan birini (L yoki C) o'zgartirib, $\omega_0 = \omega$ ga erishish usuli:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} \text{ yoki } C = \frac{1}{\omega^2 L}$$

Rezonans paytida $b_L = b_C$ bo'lgani uchun zanjirning to'la o'tkazuvchanligi minimal qiymatga erishadi, bunda zanjirning manbadan iste'mol kilayotgan toki xam minimal bo'ladi $I_{\min} = I_{\text{rez}} = gU$

Ammo reaktiv tok I_L va I_C lar miqdor jixatidan manbadan kelayotgan umumiy tokdan bir necha barobar ortib ketishi mumkin, shuning uchun bu xodisa toklar rezonansi deb ataladi.

Elementlari parallel ulangan zanjirning (tebranish konturining) to'liq o'tkazuvchanligi $\gamma = \sqrt{\frac{L}{C}}$; ($1/\Omega_m$) ga teng bo'ladi.

Zanjir reaktiv toklarining manba tokidan necha marta kattaligini ko'rsatuvchi kattalik asillik koeffitsienti deyiladi, ya'ni: $Q = \frac{\gamma}{g}$;

Unga teskari bo'lgan kattalik konturning sunishi deb ataladi.

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{g}{\gamma}.$$

Elementlari parallel ulangan zanjirlarda rezonans egri chiziklari

Rasm-5.6 da zanjirning to'la o'tkazuvchanligi Y va uning tashqil etuvchilari g va b , shuningdek faza siljish burchagi φ ning manba kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda manbaning chastotasiga bog'liqligini ko'rsatuvchi egri chiziklar berilgan.

$$\varphi = \arctg \frac{b}{g}; \quad I_L = \frac{U}{j\omega L}; \quad I_C = j\omega C U;$$

$$I = YU = \sqrt{g^2 + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} \cdot U$$

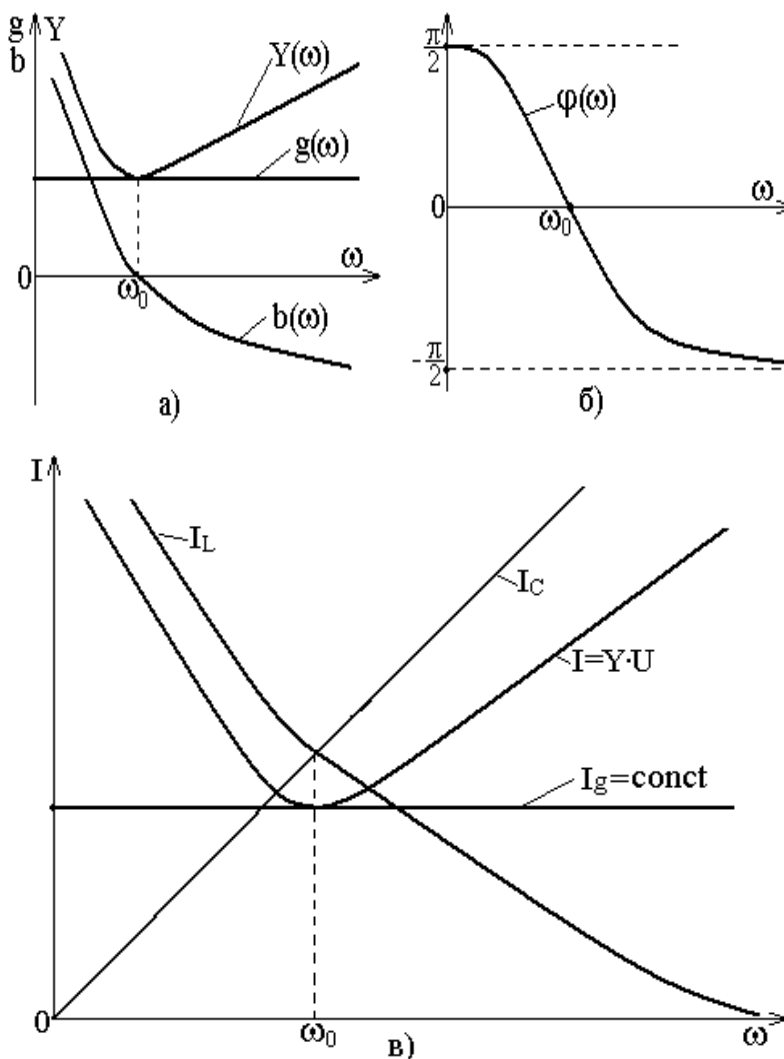


Рис. 6.6

Elektr zanjirlardagi rezonansning amaliy ahamiyati

Kuchlanish va toklar rezonansining sababi manba o'zgaruvchan toki chastotasi tebranish konturining xususiy tebranishlar chastotasi bilan mos tushganda ulardagi reaktiv kuchlanish va toklar tebranish amplitudalarining ortishidir. Demak L va C parametrli rostlanadigan tebranish konturida rezonansdan aniq chastotali signallarni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin. Xuddi mana shu xususiyatga yagona zanjirga birlashib ishlayotgan turli manbalarning turli chastotalar spektridan kerakli chastotadagi signalni ajratib olish asoslangan.

Barcha radio va televizion priyomniklarning kirish qismlarida tashqi antenna bilan ulangan tebranish konturi bor. Bu antenna radio va televizion stantsiyalar tarkatayotgan elektromagnit to'lqinlar maydoniga joylashib, priyomnikning L C

tebranish konturidagi induktivlikda e.yu.k. xosil qiladi. Parametr S ni bir tekis yoki pogonali rostlab tebranish konturining xususiy tebranishlar chastotasi tanlangan stantsiyaning chastotasiga sozlanadi. Bu rezonans xodisasi hisobiga priyomnikda kabul kilinayotgan stantsiyaning signalini oldindan kuchaytirib, sungra maxsus elektron kuchaytirgichlar yordamida yana xam kuchaytiriladi va xalakit beruvchi uzga signallardan tozalanib (filtrlar yordamida), priyomniklarning chikish qismlariga tovush yoki tasvir tarzida beriladi.

Kuchlanishlar rezonansi xodisasi 50 Gts chastotali elektr tarmoklarining ayrim qismlarida xam sodir bo'lishi mumkin. Bu xolda induktiv g'altak rolini xar xil transformatorlar (reaktorlar), kondensator rolini esa o'tkazgich simlar oraligidagi sig'im, kabellarda uning simlari orasidagi sig'im bajaradi. Bunday xollarda rezonans xodisasi uta kuchlanish xosil qilib, elektr tarmokning nominal kuchlanishiga muljallangan elektr apparatlar, mashinalar va tizimlarning boshqa elementlarini buzilishiga sabab bo'ladi.

Bu xolatni oldini olish maqsadida ω_0 xususiy tebranishlar konturining «sozini buzish» maqsadida elektr tarmoklarga sun'iy ravishda reaktiv qarshiliklar kiritiladi.

Toklar rezonansi xodisasi esa elektr tizimlarning ishlashi uchun bir muncha qulay bo'lib, energiya manbalarining quvvat imkoniyatidan to'la foydalanishga imkon beradi.

S i n o v s a v o l l a r i

- 1.Toklar rezonansi xodisasini tushuntiring.
- 2.Toklar rezonansiga erishishning qanday usullari mavjud?
- 3.Elektr zanjirida rezonans deb nimaga aytiladi?
- 4.Induktiv qarshilik nima va u qanday birliklarda aniqlanadi?
- 5.Toklar rezonansi shartini yozing?

11-ma'ruza

Mavzu: Induktiv bog'lanishli zanjirlar. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. Induktiv bog'lanishli zanjirlar.
3. Transformatorlar.
4. Transformatorning nominal kattaliklari.

Umumiy tushunchalar

Elektromagnit maydon nazariyasiga kura, tokli xar qanday o'tkazgich undagi tok xosil qilgan magnit maydon bilan uralgan. Bu tokning va magnit maydonining vaqt buyicha xar qanday o'zgarishi o'tkazgichda uzinduktsiya eyuk xosil qiladi:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt};$$

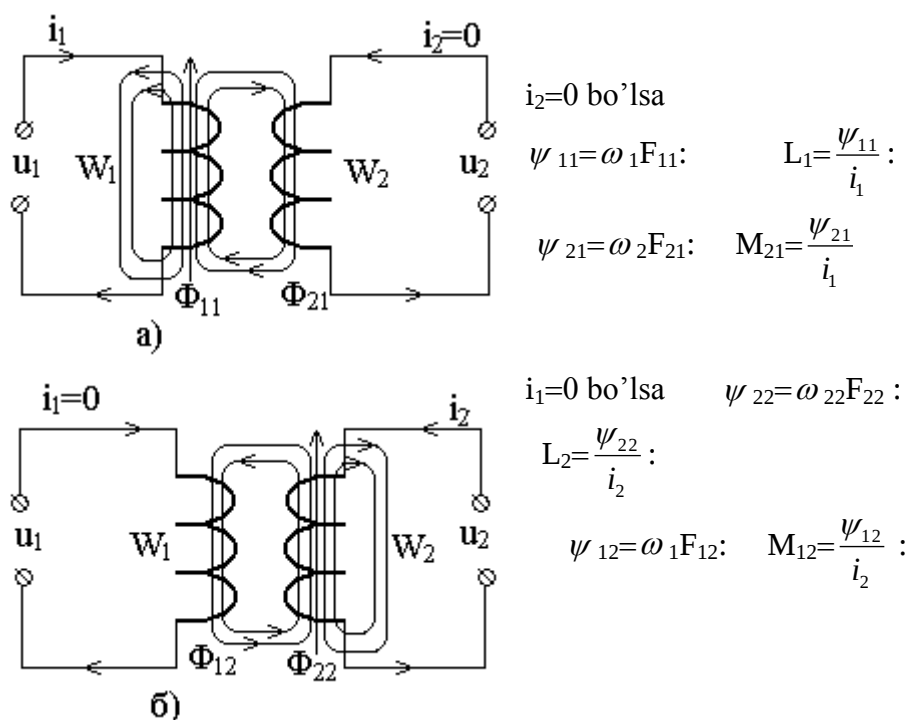
Agar mana shu tokli o'tkazgich xosil qilgan magnit maydonda boshqa o'tkazgich xam bo'lsa, uning qismlarida o'zaro induktsiya e.yu.k. induktsiyalanishi mumkin, ya'ni:

$$e_m = -M \frac{di}{dt}; \quad M - \text{o'zaro induktivlik}$$

Birinchi o'tkazgichdagi tokning o'zgarishi $(\frac{di}{dt})$ bilan ikkinchi o'tkazgichdagi induktsiyalangan e.yu.k. e_m orasidagi proportsionallik koeffitsienti o'zaro induktivlik M (Genri) deb ataladi.

Bunday o'tkazgichlardan tuzilgan zanjirlar induktiv boglanishli zanjirlar deb ataladi.

Agar o'ramlar soni $\omega_1 \omega_2$ bo'lgan induktiv boglangan ikkita kontur berilgan bo'lsa, (rasm-13.1) ulardagi i_1 va i_2 toklar tegishli ravishda F_{11} F_{22} magnit oqimlarni xosil qiladi.



Rasm-13.1

M -o'zaro induktivlik.

Agar o'zaro magnit oqimlar F_{12} va F_{21} bir xil masofada va magnit qarshiligi R_m bir xil bo'lgan muxit orqali tutashtirilgan bo'lsa, demak:

$$M = M_{12} = M_{21} = \frac{\omega_1 \omega_2}{R_\mu} \text{ bo'ladi.}$$

Bu yerda ψ -o'zaro induktsiya; F - magnit oqimi,

Agar o'zaro magnit oqimlar F_{21} va F_{12} konturlarning xususiy oqimlari F_{11} va F_{22} yo'nalishi bilan mos tushsa, bunday konturlar mos ravishda ulangan deyiladi va $M > 0$ bo'ladi.

Agar o'zaro magnit oqimlar F_{21} va F_{12} konturning xususiy oqimlari F_{11} va F_{22} ga qarama-qarshi yunalgan bo'lsa, bunday konturlar qarama-qarshi ulangan deyiladi va $M < 0$ bo'ladi.

Xususiy induktivliklari L_1 , L_2 va o'zaro induktivligi M bo'lgan ikki konturning induktiv bogliklik darajasi boglanish koeffitsienti K orkali aniklanadi: $K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$:

Induktiv boglanishli zanjirlarni xisoblash

Bitta manbadan ta'minlanayotgan, elementlari induktiv boglangan eng oddiy zanjirni xisoblashni ko'rib chikamiz.

Elementlari mos ravishda ulangan zanjirning (Rasm-13.2.a) tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

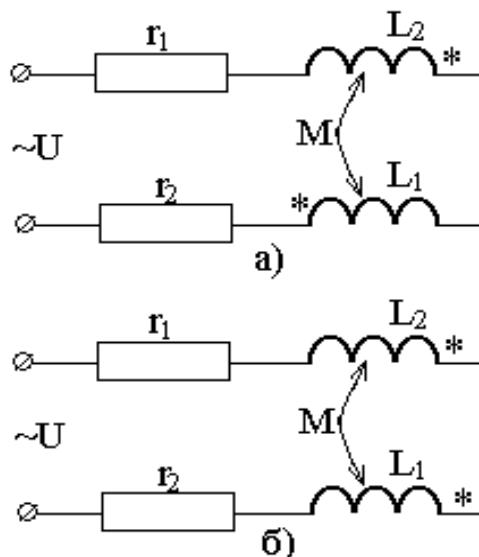
$$u = U_1 + U_2 = (r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}) + (r_2 i + L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}) = (r_1 + r_2) i + (L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt}$$

bu yerda: $e_{L1} = -L_1 \frac{di}{dt}$ va $e_{L2} = -L_2 \frac{di}{dt}$ uzinduksiya E.Yu.Ksi. $e_m = M \frac{di}{dt}$ - o'zaro induksiya E.Yu.Ksi.

Bu tenglamani kompleks ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\dot{U} = (r_1 + r_2) \dot{I}_{\text{mos}} + j\omega (L_1 + L_2 + 2M) \dot{I}_{\text{mos}} = (r_1 + r_2 + j\omega (L_1 + L_2 + 2M)) \dot{I}_{\text{mos}} = Z_{\text{mos}} \dot{I}_{\text{mos}}$$

Bu yerda: Z_{mos} - zanjirning kompleks to'la qarshiligi, $\dot{I}_{\text{mos}}$ - kompleks tok kuchi.



Rasm-13.2

Agar zanjir elementlari qarama-qarshi ulangan bo'lsa, (rasm-13.2.b) bu zanjirning tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$u = u_1 + u_2 = (r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}) + (r_2 i + L_2 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}) = (r_1 + r_2) i + (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}$$

Bu tenglamani kompleks ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\dot{U} = (r_1 + r_2) \dot{I}_{\text{kk}} + j\omega (L_1 + L_2 - 2M) \dot{I}_{\text{kk}} = (r_1 + r_2 + j\omega (L_1 + L_2 - 2M)) \dot{I}_{\text{kk}} = Z_{\text{kk}} \dot{I}_{\text{kk}}$$

Z_{kk} - elementlari karama-qarshi ulangan zanjirning kompleks to'la qarshiligi.

$\dot{I}_{\text{kk}}$ - kompleks tok kuchi.

Yukoridagi ifodalardan ko'rinib turibdiki, elementlari mos ulangan sxemada butun zanjirning qarshiligi o'zaro induktivlik ($2X_m = 2\omega M$) xisobiga birmuncha ortadi. Elementlari karama-qarshi ulangan zanjirda esa, aksincha o'zaro induktivlik ($2X_m = 2\omega M$) xisobiga zanjirning qarshiligi kamayadi.

Elementlari mos ulanganda konturlardagi magnit oqimlar o'zaro kuchayib, tokning vaqt jixatidan o'zgarishida induktiv elementlarning umumiy reaksiyasi ortadi va zanjirdagi tok kamayadi

Elementlari karama-qarshi ulangan konturlardagi magnit oqimlar o'zaro kuchsizlanadi, buning

natijasida g'altakdagi teskari e.yu.k. kamayib, tok kuchi ortadi

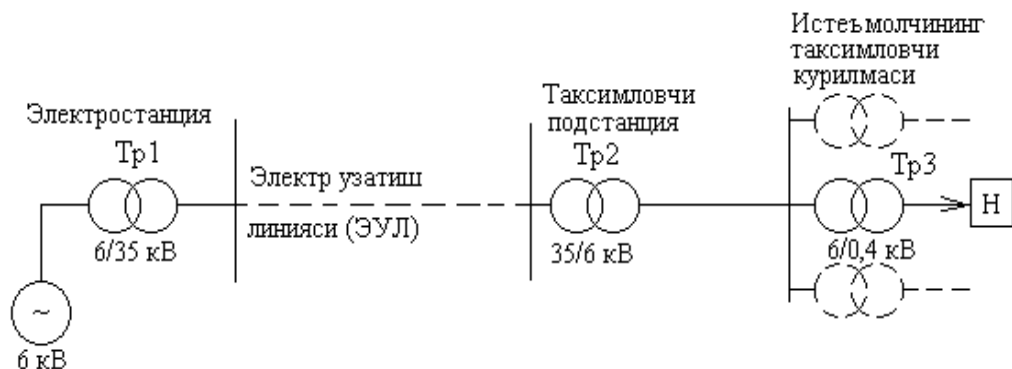
Ikkita g'altakning o'zaro induktivligini tajriba yuli bilan aniqlash mumkin:

$$Z_{\text{mos}} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_{\text{moc}}} \text{ va } Z_{\text{kg'k}} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_{\text{moc}}} \quad M = \frac{Z_{\text{moc}} Z_{\text{kk}}}{j\omega}$$

Transformatorlar

Elektrotexnikaning asosiy vazifalaridan biri elektr energiyasining bir joydan ikkinchi joyga uzatishdir. Elektr energiyasini uzatishda Joul -Lents qonuniga asosan o'tkazgichda issiklik energiyasi ajralib chikadi. Bu ajralib chikadigan energiyani kamaytirish maqsadida generatordan chikkan kuchlanishni (21 kV gacha) yukori kuchlanishlarga (1150 kvgacha) aylantirish kerak bo'ladi. Bu vazifani transformatorlar yordamida amalga oshiriladi.

Quvvat va chastotani o'zgartirmay, kuchlanish va tok kuchini o'zgartirib beruvchi asbob yoki



Rasm-13.3

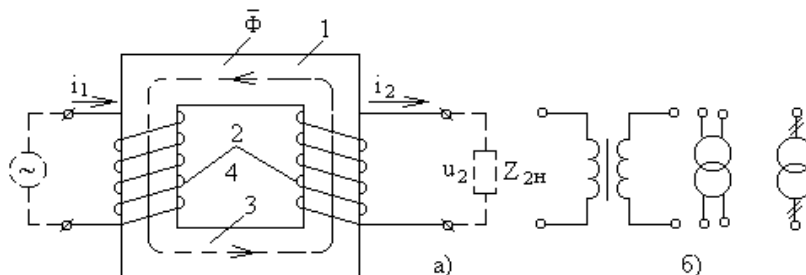
kurilma transformator deyiladi.

Transformatorlar bajaradigan vazifasiga kura quyidagi turlarga bulinadi.

1. Elektr energiyasini uzatish va taksimlash uchun muljallangan katta quvvatli (uch fazali) transformatorlar.
2. Kerakli joylarda kuchlanishni keng doirada o'zgartirib berish va dvigatellarni ishga tushirish uchun muljallangan avtotransformatorlar.
3. Taksimlash tarmoklaridagi kuchlanishni rostlab turish uchun muljallangan induksion rostlagichlar.
4. Ulchov asboblari va ximoya vositalarini sxemalarga ulash uchun muljallangan ulchov transformatorlari.
5. Payvandlash, kizdirish pechlari, tugrilash va x.k. lar uchun muljallangan maxsus transformatorlar.

Transformatorlarning turlari ko'p bo'lishiga qaramay, ularda bo'ladigan elektromagnit jarayonlar umumiy o'xshashlikka ega bo'lib, ularning ishlash printsipti bir xildir.

Bir fazali oddiy transformatorning sxemasi Rasm-13.4 a da keltirilgan. Transformator po'lat o'zak (1) va ikkita mis chulg'am (2) dan iborat. Po'lat o'zakning induksion toklar xisobiga kizib



Rasm-13.4

ketishini kamaytirish maqsadida u qalinligi 0,35-0,5 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat plastinkalardan yig'iladi, plastinkalarning ikki tomoniga izolyatsion lak surtiladi. Bu po'lat o'zak magnit zanjirini xosil qilish uchun xizmat qiladi.

Transformatorlarni manbaga ulangan chulg'ami- birlamchi va iste'molchiga ulangan chulg'ami

ikkilamchi deb ataladi (ω_1 va ω_2).

Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan sinusoidal kuchlanish ta'sirida chulg'amdan o'zgaruvchan tok okib utadi. Bu tok transformatorning po'lat uzagida o'zgaruvchan magnit oqimi (F) ni xosil qiladi. Chulg'amlarni kesib o'tayotgan bu asosiy magnit oqimi birlamchi chulg'amda uzinduksiya, ikkilamchi chulg'amda esa o'zaro induksiya xodisasiga binoan tegishli e_1 va e_2 e.yu.k. larni induktsiyalaydi.

$$E_1 = 4,44 f \cdot \omega_1 \cdot \Phi$$

$$E_2 = 4,44 f \cdot \omega_2 \cdot \Phi$$

f - o'zgaruvchan tok chastotasi (gts)

Φ - asosiy magnit oqimi (Vb)

ω_1 va ω_2 - birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'ramlar soni.

Demak, chastota va magnit oqimi o'zgarish bo'lganda chulg'amlardagi e.yu.k. lar ularning

o'ramlar soniga proporsional, ya'ni: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = K$

Bu yerda K - transformatorning transformatsiya koeffitsienti deyiladi.

Transformatorning manbadan olayotgan birlamchi quvvati $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ bo'lsa, uning iste'molchiga berayotgan quvvati $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ bo'ladi.

Agar $P_1 \approx P_2$ va $\varphi_1 \approx \varphi_2$ bo'lsa, u holda $K = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ bo'ladi.

Demak transformator chulg'amlaridagi toklar kuchlanishlarga teskari proporsional bo'ladi.

Agar $K > 1$ bo'lsa, transformator pasaytiruvchi transformator, agar $K < 1$ bo'lsa, transformator kuchlanishni ko'paytiruvchi (orttiruvchi) transformator deyiladi.

Xar qanday elektr mashinalardagi kabi transformatorlarda xam keltirilgan energiyaning bir qismi uning uzida isrof bo'ladi, ya'ni:

1. Tokning issiqlik ta'siri tufayli mis chulg'amlarda yuzaga kelgan quvvat isrofi:

$$P_m = I_{1nom}^2 \cdot R_1 + I_{2nom}^2 \cdot R_2$$

2. Magnit oqimining o'zgaruvchanligi tufayli yuzaga kelgan po'lat o'zakdagi gisterezis va uyurma toklarga sarf bo'ladigan quvvat isrofi po'lat o'zakning materialiga, magnit induktsiyasiga va o'zgaruvchan tokning chastotasiga bogliq:

$$P_p = P_g + P_u$$

Bu isroflarni xisobga olib, transformatorni f.i.k.ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_1 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_1 + P_p + P_m}$$

R_1 - transformatorning kirishidagi quvvat.

R_2 - transformatorning chiqishidagi quvvat.

ΔP - transformatorni umumiy quvvat isrofi.

Transformatorning qanday yuklanganligini ko'rsatuvchi yuklanish koeffitsientini quyidagicha ifodalash mumkin: $\beta = I_2 / I_{2n}$;

Transformatorlarda $R_p = R_m$ bo'lganda, uning yuklanish koeffitsienti optimal ($\beta = 0,5 \div 0,6$) bo'lib, bunda transformatorning f.i.k. eng yuqori bo'ladi.

Katta quvvatli transformatorlarda f.i.k. $\eta = 0,97 \div 0,99$ kichik quvvatli transformatorlarda f.i.k. $\eta = 0,82 \div 0,9$ atrofida bo'ladi.

Transformatorning nominal kattaliklari

Transformatorlardan normal foydalanish maqsadida uning pasportida quyidagi nominal kattaliklar ko'rsatilgan bo'ladi:

1. Transformatorning turi.
2. Chikishdagi nominal to'la quvvati S_{nom} , kVA.
3. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal liniya kuchlanishlari U_{1n} va U_{2n} .
4. Salt ishlagandagi quvvat isrofi R_0
5. Mis chulg'amlardagi, ya'ni kiska tutashuv paytidagi quvvat isrofi $R_k = R_m$.
6. Kiska tutashuv kuchlanishi U_r (%)

7. Yuklama nominal bo'lganda va $\cos\varphi_2=1$ teng bo'lgandagi f.i.k. η .

Birlamchi chulg'am kuchlanishi U_1 va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1$ o'zgaras bo'lganda ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish U_2 ning nagruzka toki I_2 ga bog'ligini ifodalovchi egri chizik $U_2=f(I_2)$ transformatorning tashqi xarakteristikasi deyiladi.

Liniyadagi kuchlanishlar pasayishini xisobga olib iste'molchiga o'rnatiladigan katta quvvatli transformatorlarning chikish tomonidagi kuchlanishi, odatda, nominaldan 5% ortik qilib loyixalanadi.

S i n o v s a v o l l a r i

- 1.Transformatorni ishlash printsipini va tuzilishini tushuntiring.
- 2.Transformatsiya koeffitsenti nima va u qanday aniqlanadi?
- 3.O'zaro induktivlik nima?
- 4.Transformatorning qanday turlarini bilasiz?
- 5.Transformatorning axamiyati nimadan iborat?
- 6.Qanday zanjir induktiv bog'langan bo'ladi?

12-ma'ruza

Mavzu: Uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirlari. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. Uch fazali EYuK hosil qilish.
3. Uch fazali zanjirlarni yulduz usulida ulash.
4. Uch fazali zanjirlarni uchburchak usulida ulash.

Umumiy tushunchalar

Bir fazali tok o'zgaruvchan tokning barcha afzalliklariga ega bo'lishiga qaramay, xalq xo'jaligida keng qo'llanishiga uning ayrim kamchiliklari to'sqinlik qiladi. Masalan; bir fazali tok yordamida aylanuvchi magnit maydonini hosil qilib bo'lmaydi. Bunday maydon esa o'zgaruvchan tokda ishlovchi barcha dvigatellarning «yuragi» hisoblanadi.

Uch fazali tokning keng ko'lamda ishlatilishi quyidagi sabablar bilan bog'liq:

Elektr energiyasini uch fazali tok tizimlari yordamida uzoq masofalarga uzatish uni fazalar soni boshqacha bo'lgan o'zgaruvchan tok bilan uzatishga qaraganda iqtisodiy jihatdan birmuncha tejamli hisoblanadi.

Uch fazali tok tizimsining asosiy elementlari hisoblangan uch fazali AD va transformatorlarning tuzilishi oddiy va ishlatishga qulay bo'lib, ishonchliligi hamda tejamliligi nisbatan yuqoridir.

Bir yo'la ikkita ishchi kuchlanish, ya'ni faza va liniya kuchlanishining borligi, turli nominal kuchlanishdagi iste'molchilarni ulash imkoniyati faqat uch fazali tizimga xosdir.

Agar uch fazali EYuK tizimsiga simmetrik yuklama ulangan bo'lsa, uning oniy quvvati har qanday vaqt uchun o'zgaras bo'ladi.

Uch fazali EYuK hosil qilish

Uch fazali EYuK uch fazali sinxron generatorda hosil qilinadi. Bu generator qo'zg'almas stator va uning ichida aylanuvchi rotordan iborat.

Statorning pazlariga (ariqchalariga) o'ramlar soni o'zaro teng bo'lgan va bir-biridan faza bo'yicha 120° ga siljigan uchta A-X, V-U, S-Z chulg'amlar joylashtirilgan.

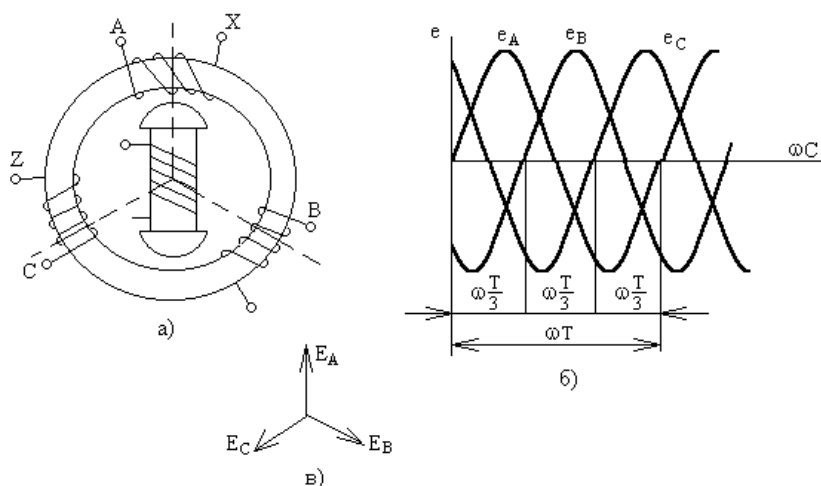


Рис-14.1

CHulg'amlarning bosh uchlari A, V, S va oxirgi uchlari X, U, Z xarflari bilan belgilangan. Bu chulg'amlarida induktsiyalangan EYuK larining ta'sir etuvchi qiymatlari Y_{eA} , Y_{eV} va Y_{eS} xarflari bilan belgilanadi.

Rotor o'zgarmas magnit yoki elektromagnitdan yasalgan bo'lib, mashinaning asosiy magnit maydonini hosil

qilish uchun xizmat qiladi. Unga o'ralgan «o'yg'otish chulg'ami» dan o'tadigan tok yordamida rotorning magnit maydonini boshqarish mumkin.

Rotor o'zgarmas burchak tezlik ω bilan aylanganda uning magnit kuch chiziqlari statorning har bir chulg'amida (fazasida) elektromagnit induktsiyasi qonuniga ko'ra, amplituda va chastotalari bir xil bo'lgan, ammo bir-birlaridan faza bo'yicha $\frac{2\pi}{3}$ ga (yoki $T/3$ davrga) farqlanuvchi sinusoidal o'zgaruvchan EYuK larni induktsiyalaydi:

$$e_A = E_m \sin \omega t; e_V = E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); e_S = E_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3});$$

Bu ifodalardan foydalanib, uch fazali tok va kuchlanishlarni ham quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

$$u_A = U_m \sin \omega t; u_V = U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); u_S = U_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3});$$

$$i_A = I_m \sin \omega t; i_V = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); i_S = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3});$$

CHastota va amplitudalari bir xil bo'lib, faza jihatidan $\frac{2\pi}{3}$ ga farq qilgan uchta EYuK lar yig'indisi uch fazali EYuK larning simmetrik tizimsi deyiladi. EYuK larning simmetrik tizimsida uchala faza EYuK lar oniy qiymatlarining yig'indisi istalgan vaqt laxzasida nolga teng.

$$e_A + e_V + e_S = 0$$

Uch fazali zanjirlarda har bir faza EYuK lari o'zlarining maksimumlariga $T/3$ davr o'tib erishadi. shunga ko'ra ularning vektor diagrammasi rasm-14.1.v, dagi kabi bo'ladi va ularning geometrik yig'indisi nolga teng bo'ladi:

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0$$

Uch fazali zanjirlarni yulduz usulida ulash

Generator va iste'molchi fazalari oxirgi uchlarini tegishli 0 va 0¹ nuqtalarga ulash yulduz usulida ulash deyiladi. Bu nuqtalar generator va iste'molchining nolnchi yoki neytral nuqtasi deyiladi. Mana shu nuqtalarni birlashtiruvchi sim nol sim yoki neytral sim deyiladi.

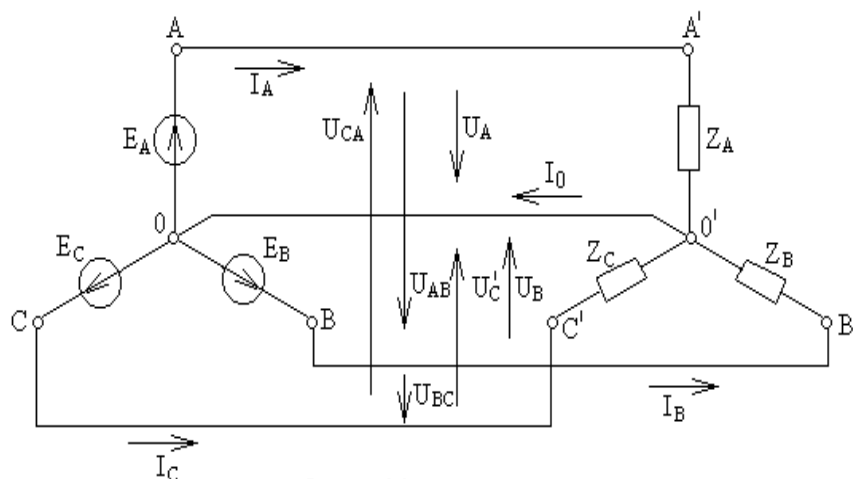


Рис.14.2

Manba va iste'molchi bir nomli fazalarining bosh uchlarini birlashtiruvchi simlar (A-A'; V-V'; S-S') liniya simlari deyiladi. Ana shu simlardan o'tadigan toklar (I_A ; I_B ; I_S) liniya toklari deyiladi.

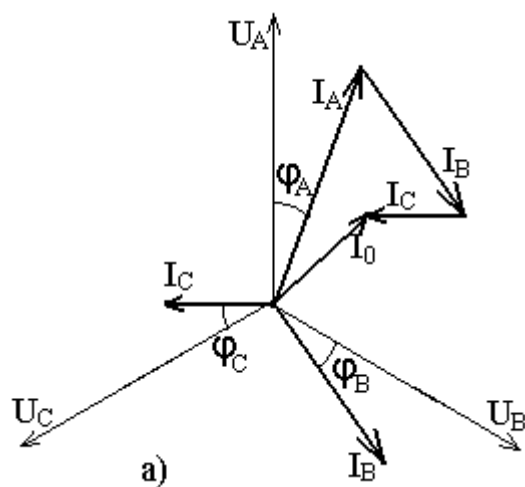
Manba va iste'molchining bir nomli fazalaridan o'tadigan

toklar faza toklari deyiladi. Yulduz usulida ulangan liniya va faza toklari bir-biriga teng bo'ladi: $I_l = I_f$.

Ixtiyoriy liniya simi bilan nolinchii sim orasidagi kuchlanish faza kuchlanishi (U_A ; U_V ; U_S) deyiladi.

Istalgan ikkita liniya simi orasidagi kuchlanish liniya kuchlanishi (U_{AV} ; U_{VS}) deyiladi

Iste'molchining faza qarshiliklari (Z_A , Z_V , Z_S) uch fazali manbaning faza kuchlanishlariga ulansa, u holda iste'molchining har bir fazasidagi tok va quvvat koeffitsienti quyidagicha topiladi:



$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}; I_V = \frac{U_B}{Z_B}; I_S = \frac{U_C}{Z_C}; \text{ yoki } I_f = \frac{U_\phi}{Z_\phi}; \cos\phi_A = \frac{R_A}{Z_A};$$

$$\cos\phi_B = \frac{R_B}{Z_B}; \cos\phi_C = \frac{R_C}{Z_C}; \cos\phi_f = \frac{R_\phi}{Z_\phi};$$

Uch fazali EYuK va toklarning musbat shartli yo'nalishlari rasm-14.2 dagi sxemada ko'rsatilgan.

Uch fazali zanjirlar yulduz usulida ulanganda Kirxgofning birinchi qonuniga asosan, nolinchii simdagi tok (I_0) liniya (yoki faza) toklarining geometrik yig'indisiga teng:

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$$

Generatorning fazalariga ulanadigan qarshiliklar o'zaro teng va bir xil xarakterga ega bo'lsa, bunday yuklama simmetrik yuklama deyiladi.

Generatorning fazalariga ulangan qarshiliklar o'zaro teng bo'lmasa yoki bir xil xarakterga ega bo'lmasa nosimmetrik yuklama deyiladi.

To'rt simli tizimda uch fazali zanjirning har bir fazasi mustaqil zanjir hisoblanadi. Faza qarshiliklarining qiymatidan qat'iy nazar uchala

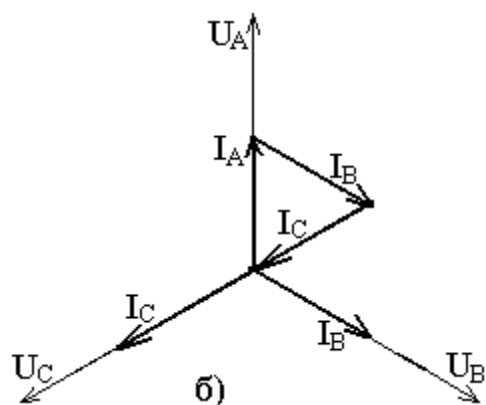


Рис.14.3

faza kuchlanishlari o'zaro teng. $U_A=U_B=U_C=U_f$. Biror fazadagi qarshilikning o'zgarishi shu fazada va nolindagi tokning o'zgarishiga sabab bo'ladi.

Agar nosimmetrik yuklamada nol sim uzilsa, yuklamasi kichikroq fazaning kuchlanishi nominaldan ortib ketadi va shu fazadagi qarshilik qiziydi yoki quyib ketadi. Yuklamasi kattaroq fazaning kuchlanishi esa nominaldan kamayib ketadi. SHuning uchun nosimmetrik yuklamada faza kuchlanishlarining simmetriyasini saqlash maqsadida nol simga saqlagich qo'yilmaydi.

Rasm-14.3 da nosimmetrik (a) va simmetrik (b) yuklamalar uchun vektor diagrammalar berilgan. Bu diagrammalardan ko'rinib turibdiki, simmetrik yuklamada nol simdan tok o'tmaydi va nol simga extiyoj qolmaydi.

EYuK va kuchlanishlarning shartli yo'nalishlarini hisobga olib qaraganda, liniya kuchlanishlari faza kuchlanishlarining geometrik ayirmasiga teng bo'ladi:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B; \vec{U}_{VS} = \vec{U}_V - \vec{U}_S; \vec{U}_{SA} = \vec{U}_S - \vec{U}_A;$$

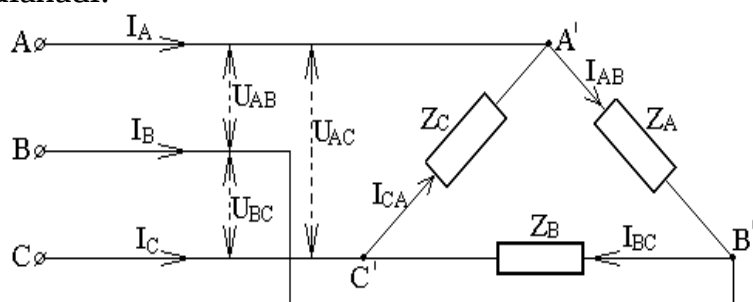
Yuqoridagi tenglamalar tizimsini geometrik (grafik) usul bilan yechib, quyidagi ifodaga ega bo'linadi:

$$U_l = \sqrt{3} U_f$$

Demak, elektr iste'molchilari yulduz usulida ulanganda liniya kuchlanishlari faza kuchlanishlaridan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi.

Uch fazali zanjirlarni uchburchak usulida ulash

Uch fazali tok iste'molchilarini uchburchak usulida ulash deb, birinchi fazaning oxirgi uchini ikkinchi fazaning bosh uchi bilan, ikkinchi fazaning oxirgi uchini fazaning bosh uchi bilan, uchinchi fazani oxirgi uchini birinchi fazaning bosh uchi bilan ulashga aytiladi, ya'ni $X \rightarrow V$, $U \rightarrow S$, $Z \rightarrow A$. Generator chulg'amlari amalda yulduz usulida ulanadi.



a)

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; & \vec{I}_B &= \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}; \end{aligned}$$

Uch fazali zanjirlarni uchburchak usulida ulanganda, faza kuchlanishlari liniya kuchlanishlariga teng bo'ladi:

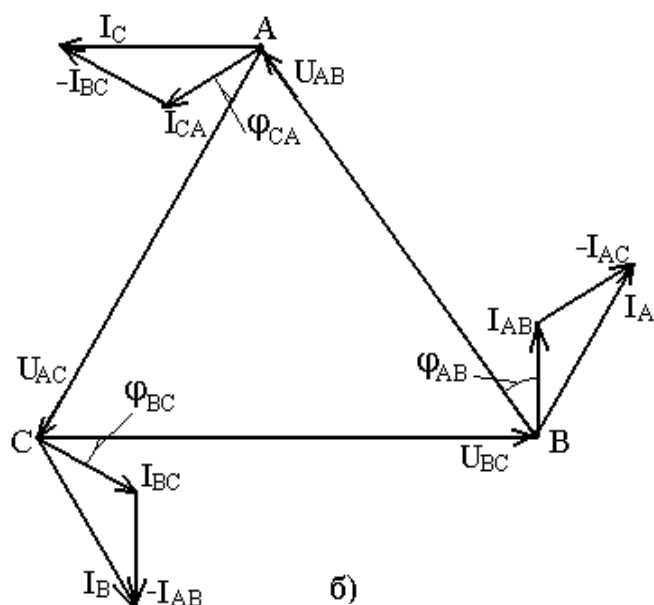
$$U_l = U_f$$

Iste'molchining faza qarshiliklaridan o'tayotgan toklar (I_{AS} ; I_{VS} ; I_{SA}) faza toklari liniya simlaridan o'tayotgan toklar (I_A ; I_V ; I_S) liniya toklari deyiladi.

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}; I_{AS} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}; I_{SA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}};$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{R_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \cos \varphi_{BS} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}};$$

$$\cos \varphi_{SA} = \frac{R_{CA}}{Z_{CA}};$$



b)

umumiy holda $I_f = \frac{U_\phi}{Z_\phi}$; $\cos\varphi_f = \frac{R_\phi}{Z_\phi}$;

Uch fazali uchburchak ulangan zanjirning vektor diagrammasini chizish uchun, avvalo liniya (faza) kuchlanishlar uchburchagini chizib olinadi (rasm-14.4, b). So'ngra faza toklari mos ravishda kuchlani vektorlaridan uchburchakka kechikuvchi qilib chiziladi yuqoridagi ifodadan foydalanib liniya toklarini vektorlari chiziladi.

Iste'molchilarni uchburchak usulida ulanganda, agar ular simmetrik bo'lsa liniya toklari faza toklaridan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi: $I_l = \sqrt{3} I_f$

Iste'molchi nosimmetrik bo'lganda har bir liniya toki alohida o'lchanadi yoki ma'lum faza toklari bo'yicha tok va kuchlanishlarni vektor diagrammasini tegishli masshtabda qurib aniqlanadi.

Sinov savollari

1. Simmetrik va nosimmetrik yuk nima?
2. Noldagi simning vazifasi nimalardan iborat?
3. Faza va liniya kuchlanishlarini qanday farqi va o'xshashliklari bor?
4. Liniya toki faza tokidan qanday farq qiladi?

13-ma'ruza

Mavzu: Uch fazali o'zganuvchan tok zanjirlarida quvvat. (2 soat)

1. Uch fazali zanjirlarda quvvat.
2. Uch fazali zanjirlarda quvvatni o'lchash usullari.
3. Uch fazali zanjirlarda yuqori garmonikalar.

Uch fazali zanjirlarda quvvat

Bir fazali tok zanjiridagi aktiv, reaktiv va to'la quvvat tushunchalari uch fazali tok zanjirida ham o'z ma'nosini to'la saqlaydi.

Uch fazali zanjirlarda yuklama nosimmetrik bo'lganda har bir fazaning quvvati alohida hisoblab topiladi.

$$\Delta) R_A = U_A \cdot I_A \cdot \cos\varphi_A; R_V = U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi_V; R_S = U_S \cdot I_S \cdot \cos\varphi_S;$$

$$\Delta) R_{AV} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos\varphi_{AB}; R_{VS} = U_{BS} \cdot I_{BS} \cdot \cos\varphi_{BS}; R_{SA} = U_{SA} \cdot I_{SA} \cdot \cos\varphi_{SA};$$

Uch fazali zanjirning aktiv quvvati alohida fazalar aktiv quvvatlarining yig'indisiga teng:

$$R_\Delta = R_A + R_V + R_S; R_\Delta = R_{AV} + R_{VS} + R_{SA};$$

$$\Delta) Q_A = U_A \cdot I_A \cdot \sin\varphi_A; Q_V = U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi_V; Q_S = U_S \cdot I_S \cdot \sin\varphi_S;$$

$$\Delta) Q_{AV} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \sin\varphi_{AB}; Q_{VS} = U_{BS} \cdot I_{BS} \cdot \sin\varphi_{BS}; Q_{SA} = U_{SA} \cdot I_{SA} \cdot \sin\varphi_{SA};$$

$$Q_\Delta = Q_A + Q_V + Q_S; Q_\Delta = Q_{AV} + Q_{VS} + Q_{SA};$$

$$\Delta) S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2}; S_V = \sqrt{P_V^2 + Q_V^2}; S_S = \sqrt{P_S^2 + Q_S^2};$$

$$\Delta) S_{AV} = \sqrt{P_{AB}^2 + Q_{AB}^2}; S_{VS} = \sqrt{P_{BS}^2 + Q_{BS}^2}; S_{SA} = \sqrt{P_{CA}^2 + Q_{CA}^2};$$

$$\Delta) S_\Delta = \sqrt{P_\Delta^2 + Q_\Delta^2}; S_\Delta = \sqrt{P_\Delta^2 + Q_\Delta^2};$$

Yuklama simmetrik bo'lsa

$$\begin{aligned}
 I_A=I_B=I_C=I_f; \quad \varphi_A=\varphi_B=\varphi_C=\varphi_f; \quad R_A=R_B=R_C=R_f; \quad R_f=I_f \cdot U_f \cdot \cos\varphi_f; \quad R_\Delta=3 \cdot R_f; \\
 Q_A=Q_B=Q_C=Q_f; \quad Q_f=I_f \cdot U_f \cdot \sin\varphi_f; \quad Q_\Delta=3 \cdot Q_f; \\
 S_A=S_B=S_C=S_f; \quad U_p \cdot I_f=S_f; \quad S_\Delta=3 \cdot S_f=3U_f \cdot I_f \\
 I_l=I_f; \quad U_l=\sqrt{3} U_f \quad I_{AV}=I_{BS}=I_{CA}=I_f; \quad \varphi_{AV}=\varphi_{BS}=\varphi_{CA}=\varphi_f; \\
 R_{AV}=R_{BS}=R_{CA}=R_f; \quad R_f=I_f \cdot U_f \cdot \cos\varphi_f; \quad R_\Delta=3 \cdot R_f; \\
 Q_{AV}=Q_{BS}=Q_{CA}=Q_f; \quad Q_f=I_f \cdot U_f \cdot \sin\varphi_f; \quad Q_\Delta=3 \cdot Q_f; \\
 S_{AV}=S_{BS}=S_{CA}=S_f; \quad U_f \cdot I_f=S_f; \quad S_\Delta=3 \cdot S_f=3U_f \cdot I_f \\
 U_l=U_f; \quad I_l=\sqrt{3} I_f \quad R=\sqrt{3} U_l \cdot I_l \cdot \cos\varphi_f \quad Q=\sqrt{3} U_l \cdot I_l \cdot \sin\varphi_f \quad S=\sqrt{3} U_l \cdot I_l
 \end{aligned}$$

Yuklama qarshiliklarini yulduz usulidan uchburchak usuliga va aksincha o'tkazib ulash amalda ko'p uchrab turadi. Yuklama qarshiliklarini Δ dan Δ usuliga o'tkazib ulanganda iste'molchining quvvati uch marta ortib ketadi yoki aksincha ulansa uch marta kamayadi, ya'ni: $R_\Delta=3 \cdot R_\Delta$

Uch fazali zanjirlarda quvvatni o'lchash usullari

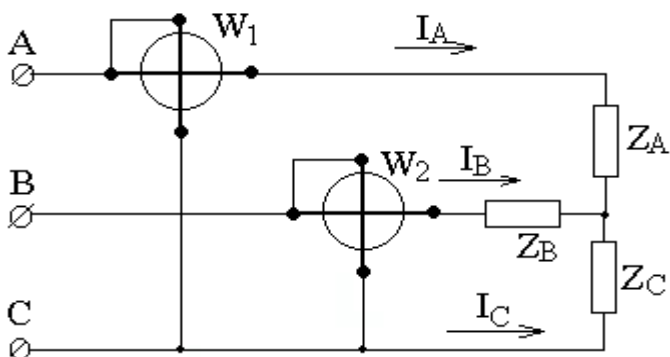


Рис.15.1

Uch fazali tok zanjiridagi aktiv quvvatni bitta, ikkita va uchta vattmetrlar yordamida o'lchash usullari mavjud.

Simmetrik sistemadagi uch fazali quvvatni o'lchash uchun bitta voltmetrodan foydalansa buladi, chunki bunda iste'molchilarning aktiv, tula qarshiliklari bir xil buladi va iste'molchilarning tok kuchi, kuchlanishi faza siljishi va xar bir

fazadagi aktiv quvvat bir xil buladi, ya'ni:

$$Z_A=Z_B=Z_C \quad I_A=I_B=I_C \quad \varphi_A=\varphi_B=\varphi_C \quad R_A=R_B=R_C$$

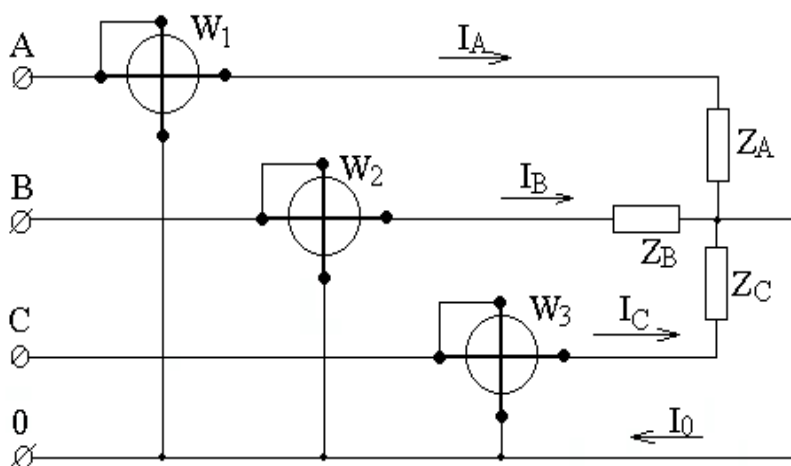


Рис.15.2

Uch simli nosimmetrik zanjirda xar bir fazadagi tok kuchi, faza siljishi va aktiv quvvat turlicha buladi. Xatto faza va liniya kuchlanishlari xam xar xil bulishi mumkin. Bunday zanjirning quvvatini ikkita vattmetr yordamida o'lchash mumkin. Ikkita vattmetrni uch simli zanjirga ulash sxemasi 7.1-rasmda keltirilgan. Sxemadan kurinib turibdiki uch fazali zanjirning quvvati ikkala vattmetrni

kursatishi R_{w1} va R_{w2} larning algebraik yigindisiga teng buladi, ya'ni: $R = R_{w1} + R_{w2}$

Notekis (nosimmetrik) nagruzkali to'rt simli zanjirlardagi uch fazali quvvatni uchta vattmetr yordamida o'lchash mumkin.

Rasm-15.2.dagi sxemadan kurinib turibdiki xar bir vattmetr aloxida fazalarning aktiv kuvvatini o'lchaydi, ya'ni:

$$R_A=R_{w1}=U_A \cdot I_A \cdot \cos\varphi_A=I_A^2 Z_A \cdot \cos\varphi_A$$

$$R_V=R_{w2}=U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi_V=I_V^2 Z_V \cdot \cos\varphi_V$$

$$R_S=R_{w3}=U_S \cdot I_S \cdot \cos\varphi_S=I_S^2 Z_S \cdot \cos\varphi_S$$

Uch fazali zanjirning aktiv kuvvati uchala vattmetr kursatgan kuvvatlarning algebraik yigindisiga teng, ya'ni: $R_{uch}=R_A+R_V+R_S$ yoki $R_{uch}=\sqrt{3} U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi$

Kuvvat koefitsientini quyidagicha xisoblash mumkin.

$$\cos\varphi_A=\frac{P_A}{I_A^2 Z_A}; \quad \cos\varphi_V=\frac{P_B}{I_B^2 \cdot Z_B}; \quad \cos\varphi_C=\frac{P_C}{I_C^2 \cdot Z_C}; \quad R=\sqrt{3} U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi$$

Amalda bir vaktning uzida ikkita va uchta vattmetrlarning kursatilishini kuzatish kiyin, shuning uchun sanoatimizda ikki elementli va uch elementli, uch fazali vattmetrlar ishlab chikariladi.

Bir fazali tok zanjirida kurilgan aktiv, reaktiv va tula kuvvat tushunchalari uch fazali tok zanjirida xam uz ma'nosini tula saklaydi. Uch fazali zanjirning tula kuvvati aloxida fazalar kuvvatlarining yigindisiga teng, ya'ni:

$$S_u=S_A+S_V+S_C$$

Uch fazali zanjirning kuvvat koefitsienti quyidagicha aniklanadi:

$$\cos\varphi=\frac{P_{yq}}{S_{yq}}$$

Uch fazali zanjirlarda yuqori garmonikalar

Eng mukammal konstruksiyali uch fazali generatorlar ham ideal shakldagi sinusoidal EYuK xosil qilmaydi. Agar zanjirda chiziqli elementlar bo'lsa, iste'mol qilinayotgan tok tarkibida yuqori garmonikalar yanada zo'rayadi, chunki elementlar yuqori garmonikalar manbai xisoblanadi.

Uch fazali zanjirlar simmetrik bo'lganligi tufayli, uchala fazada ham garmonikalarning amplituda va chastotaviy tarkibi bir xil bo'ladi. Fazalardagi EYuK larning egri chiziqlari o'zaro 120° burchakka siljigan bo'ladi. Masalan A, V va S fazalardagi EYuK lar quyidagicha garmonik tashkil etuvchilarga ega bo'lishi mumkin:

$$e_A=E_{1m}\sin\omega t+E_{3m}\sin(3\omega t+\psi_3)+E_{5m}\sin(5\omega t+\psi_5)+E_{7m}\sin(7\omega t+\psi_7)$$

$$e_V=E_{1m}\sin(\omega t-120^\circ)+E_{3m}\sin(3\omega t+\psi_3-3 \cdot 120^\circ)+E_{5m}\sin(5\omega t+\psi_5-5 \cdot 120^\circ)+E_{7m}\sin(7\omega t+\psi_7-7 \cdot 120^\circ)$$

$$e_S=E_{1m}\sin(\omega t+120^\circ)+E_{3m}\sin(3\omega t+\psi_3+3 \cdot 120^\circ)+E_{5m}\sin(5\omega t+\psi_5+5 \cdot 120^\circ)+E_{7m}\sin(7\omega t+\psi_7+7 \cdot 120^\circ)$$

Uch fazali generatorning chulg'amlari usulida ulanganda faza kuchlanishining effektiv qiymati $U_F=\sqrt{U_1^2+U_3^2+U_5^2+U_7^2+U_9^2+U_{11}^2+\dots}$ bo'lsa, faza kuchlanishining tarkibiga kiruvchi uchga karrali bo'lgan garmonikalar liniya kuchlanishining tarkibida bo'lmaydi, ya'ni: $U_{AB}=U_A-U_B$; $U_{BC}=U_B-U_C$; $U_{CA}=U_C-U_A$

$$U_L=\sqrt{3} \sqrt{U_1^2+0+U_5^2+U_7^2+0+U_{11}^2+0+\dots} \quad \text{yoki} \quad U_L<\sqrt{3} U_F \quad \text{bo'ladi.}$$

Sinov savollari

- 1.Uch fazali o'zgaruvchan tok zanjiridagi foydali quvvatlarni o'lchashning qanday usullari bor?
- 2.To'la quvvat deganda nimani tushunasiz?

3. Aktiv va reaktiv quvvat nimaga teng?

4. Qanday xollarda uch fazali tok zanjirlarining foydali quvvatlari bitta vattmetr usuli bilan o'lchanadi?

14-ma'ruza

Mavzu: Nosinusoidal elektr miqdorlar. (2 soat)

1. Nosinusoidal elektr miqdorlarning maksimal, effektiv va o'rtacha qiymatlari.
2. Davriy nosinusoidal tokning quvvati.
3. Nosinusoidal o'zgaruvchan tokli zanjirdagi rezonans xodisalari.
4. Uch fazali tok zanjirlaridagi yukori garmonik tashkil etuvchilar.
5. Davriy nosinusoidal o'zgaruvchan funksiyalarning simmetrik alomatlari.
6. Nosinusoidal o'zgaruvchan simmetrik egri chiziqlarning garmonikalarini tarkiblari.

Nosinusoidal elektr miqdorlarni maksimal, effektiv va o'rtacha qiymatlari

Deyarli barcha xollarda, davriy o'zgaruvchan tok deyilganda xar doim sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaruvchi tok tushiniladi. CHunki asosan sanoat chastotasidagi EYuK, kuchlanish va toklar sinusoidal shaklga ega bo'ladi, bunda elektr energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylanishi uchun qulay.

Agar elektrotexnikaga oid radiotexnika, elektronika, aloqa, avtomatika va telemexanika, xisoblash texnikasi va avtomatik boshqarish soxalarida foydalaniladigan o'zgaruvchan elektr miqdorlari deyarli xech qachon sinusoidal bo'lmaydi. Rasm-8.1 da nosinusoidal deb ataladigan elektr miqdorlari toklarining xarakterli va tez-tez uchrab turadigan egri chiziqlari ko'rsatilgan.

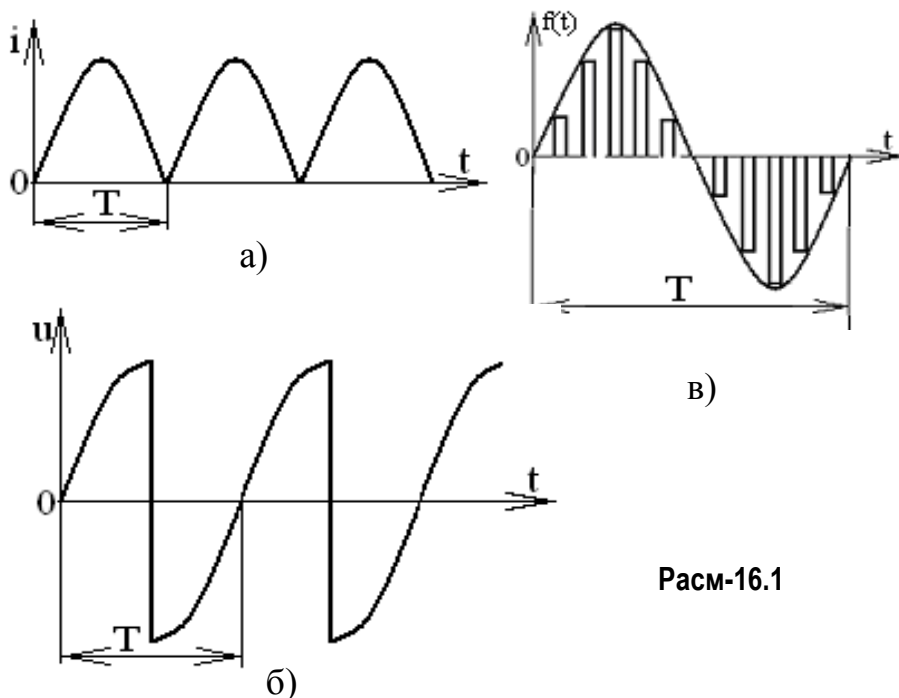


Рис-16.1

Bu o'zgaruvchan miqdorlarning oniy qiymatlari umumiy xolda $i=\varphi(t)$ qonuniyat bilan o'zgarishi mumkin. Nosinusoidal miqdorlar xam ma'lum vaqt oralig'ida o'sha fazada qayta takrorlanganligi uchun u davriy xisoblanadi, ya'ni bu quyidagi shartni qanoatlantiradi: $F(t)=F(t+kT)$ Bu yerda T-shu funktsiyaning davri, k-xar qanday butun musbat son.

Nosinusoidal E.Yu.K., kuchlanish va tokli zanjirlarni xisoblashda nosinusoidal elektr miqdorlarining zanjir elementlariga ta'siri foydali bulishini bilishda davriy funktsiyanig ampilitudasi va uning effektiv xamda o'rtacha kiymatlarini aniklash

muxim axamiyatga ega.

Davriy nosinusoidal funtsiya $f(\omega t)$ ning amplituda qiymati uchun birdavr ichidagi o'zgarishi natijasida erishgan oniy qiymatlaridan eng kattasi olinadi. Funksiya $f(\omega t)$ ning effektiv qiymati uchun, sinusoidal funktsiyalardagiga o'xshash, bir davr ichidagi o'rtacha kvadratik qiymati olinadi: $A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(\omega t) dt}$

Umuman nosinusoidal EYuK, kuchlanish va toklarning miqdorlari xaqida gapirilganda, ularning effektiv qiymati tushuniladi. Elektr o'lchash asboblarning ko'rsatishi xam effektiv qiymatga moslangan bo'ladi.

Agar nosinusoidal quyidagi qonuniyat bilan o'zgarsa: $U(\omega t) = \sum_{k=0}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ku})$, uning effektiv qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(\omega t) dt} \quad \text{yoki} \quad U^2 = U_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2 = \sum_{k=0}^{\infty} U_k^2$$

Demak xar bir $k\omega$ chastotali garmonikaning effektiv kuchlanishi quyidagiga teng bo'ladi: $U_k = \frac{U_{km}}{\sqrt{2}}$

Agar kuchlanish quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsa: $u = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_{1u}) + U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_{2u}) + \dots + U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ku})$, u xolda bu kuchlanishning effektiv qiymati quyidagicha bo'ladi: $U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2}$

SHunga o'xshash EYuK va tok kuchining effektiv qiymatlari xam quyidagicha bo'ladi:

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_k^2} \quad I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2}$$

Nosinusoidal davriy funktsiyaning o'rtacha qiymati umumiy xolda quyidagiga teng bo'ladi:

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T |f(\omega t)| dt$$

Bu qiymat, asosi T davrga teng bo'lgan shartli to'g'ri to'rtburchakning balandligiga teng bo'lib, uning yuzi esa T davr ichida $f(\omega t)$ egri chiziq bilan chegaralangan yuzlarning arifmetik yig'indisiga teng. (Rasm-8.2).

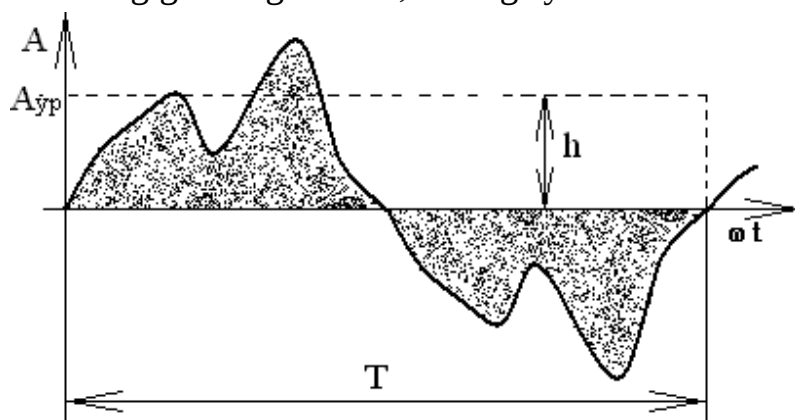


Рис. 16.2

Agar $f(\omega t)$ egri chiziq ωt o'qiga nisbatan simmetrik bo'lsa, o'rtacha qiymat quyidagiga teng bo'ladi:

$$A_{yp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} f(\omega t) dt$$

Davriy nosinusoidal tokning quvvati

Zanjirdagi o'zgaruvchan tokning aniy quvvati tok bilan u xosil qilgan kuchlanish tushuvining ko'paytmasiga teng, ya'ni: $p = ui$

Bu quvvatning bir davr ichida o'rtacha qiymati yoki aktiv quvvat quyidagiga teng: $P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$

Agar nosinusoidal o'zgaruvchan tok va kuchlanish quyidagi ko'rinishda bo'lsa: $u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{uk}), \quad i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ik})$ u xolda quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k$$

Ya'ni davriy nosinusoidal o'zgaruvchan tokning aktiv quvvati kuchlanish va tok kuchining spektrlariga kiruvchi o'zgarmas tashkil etuvchi va barcha garmonikalarning aktiv quvvatlari yig'indisiga teng.

Sinusoidal tokdagiga o'xshash nosinusoidal o'zgaruvchan toklarda xam reaktiv va to'la quvvat tushunchalari mavjud bo'lib, ular quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2} \cdot \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}$$

$$Q = U_0 I_0 + U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + \dots + U_k I_k \sin \varphi_k = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k$$

Davriy nosinusoidal o'zgaruvchan tokli zanjirning quvvat ko'effitsenti aktiv quvvatni

reaktiv quvvatga nisbati bilan ifodalanadi, ya'ni: $\alpha = \frac{P}{S}$

Davriy nosinusoidal o'zgaruvchan tokli zanjirning quvvat ko'effitsentidan farqli ravishda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi faza siljish burchagining kosinusiga teng emas, chunki kuchlanish va tok kuchi nosinusoidal bo'lganligi uchun, faza siljish burchagi fizik ma'noga ega emas.

Har qanday ixtiyoriy parametrlarga ega bo'lgan zanjirga o'zgaruvchan nosinusoidal kuchlanish va tok ta'sir etsa, bu zanjirning to'la quvvati quyidagicha bo'ladi: $S > \sqrt{P^2 + Q^2}$. Agar zanjir faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa, u xolda to'la quvvat aktiv quvvatga teng bo'ladi, bunda quvvat ko'effitsenti birga teng bo'ladi, ya'ni: $S=P \quad \alpha=1$

Nosinusoidal tok zanjirlarida rezonans xodisilari

Nosinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlarida rezonans deganda tebranish konturi xususiy chastotasining manba kuchlanishi yoki toki chastotasi bilan mos tushishi tushiniladi. Chastotalarning bunday mos tushishi faqat asosiy garmonikada emas, balki xar qanday yuqori garmonikada xam ro'y berishi mumkin.

Elementlari ketma-ket ulangan zanjirning to'la qarshiligi $\kappa\omega$ -chastotada quyidagicha teng bo'ladi:

$$Z_k = \sqrt{r^2 + (k\omega L - \frac{1}{k\omega C})^2}$$

SHu chastotada rezonans bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak: $\kappa\omega L = 1/\kappa\omega C$ yoki $\kappa^2 \omega^2 LC = 1$

Rezonansli garmonikada zanjirning qarshiligi minimal ($Z_k=R$), uning toki esa maksimal qiymatga ega bo'ladi. Rezonans paytda K-garmonika tokining amplitudasi

boshqa garmonika toklarining amplitudasidan ancha ortib ketishi mumkin, xolda butun zanjir umumiy tokining effektiv qiymati asosan K-garmonika tokining amplitudasi

bilan aniqlanadi:
$$I = \sqrt{\sum_{K=0}^{\infty} I_k^2} \approx I_k = \frac{U_k}{Z_k} = \frac{U_k}{r}$$

Murakkab zanjirning to'la o'tkazuvchanligi $k\omega$ -rezonans chastotada amalda nolga teng bo'lishi mumkin, ya'ni:
$$Y_k = \sqrt{g^2 + \left(\frac{1}{k\omega L} - k\omega C\right)^2} = g = 0$$

U xolda bu garmonikaning toki boshqa garmonikalarning tokiga nisbatan xisobga olinmaslik darajada kichik bo'ladi.

Bu ikki xodisadan foydalanib, chastota filtirlarining sxemalarini xisoblashda iste'molchining zanjirida tanlangan signalni ajratish va iste'molchi uchun «begona» signallarni tutib qolish ishlarini amalga oshiriladi.

Uch fazali zanjirlarda yuqori garmonikalar

Eng mukammal konstruktiviyali uch fazali generatorlar xam ideal shakldagi sinusoidal EYuK xosil qilmaydi. Agar zanjirda chiziqli elementlar bo'lsa, iste'mol qilinayotgan tok tarkibida yuqori garmonikalar yanada zo'rayadi, chunki elementlar yuqori garmonikalar manbai xisoblanadi.

Uch fazali zanjirlar simmetrik bo'lganligi tufayli, uchala fazada xam garmonikalarning amplituda va chastotaviy tarkibi bir xil bo'ladi. Fazalardagi EYuK larning egri chiziqlari o'zaro 120° burchakka siljigan bo'ladi. Masalan A, V va S fazalardagi EYuK lar quyidagicha garmonik tashkil etuvchilarga ega bo'lishi mumkin:

$$\begin{aligned} e_A &= E_{1m}\sin\omega t + E_{3m}\sin(3\omega t + \psi_3) + E_{5m}\sin(5\omega t + \psi_5) + E_{7m}\sin(7\omega t + \psi_7) \\ e_V &= E_{1m}\sin(\omega t - 120^\circ) + E_{3m}\sin(3\omega t + \psi_3 - 3 \cdot 120^\circ) + E_{5m}\sin(5\omega t + \psi_5 - 5 \cdot 120^\circ) + E_{7m}\sin(7\omega t + \psi_7 - 7 \cdot 120^\circ) \\ e_S &= E_{1m}\sin(\omega t + 120^\circ) + E_{3m}\sin(3\omega t + \psi_3 + 3 \cdot 120^\circ) + E_{5m}\sin(5\omega t + \psi_5 + 5 \cdot 120^\circ) + E_{7m}\sin(7\omega t + \psi_7 + 7 \cdot 120^\circ) \end{aligned}$$

Uch fazali generatorning chulg'amlari usulida ulanganda faza kuchlanishining effektiv qiymati

$U_F = \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2 + U_{11}^2 + \dots}$ bo'lsa, faza kuchlanishlarining tarkibiga kiruvchi uchga karrali bo'lgan garmonikalar liniya kuchlanishining tarkibida bo'lmaydi, ya'ni:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_A - U_B; \quad U_{BC} = U_B - U_C; \quad U_{CA} = U_C - U_A \\ U_L &= \sqrt{3} \sqrt{U_1^2 + 0 + U_5^2 + U_7^2 + 0 + U_{11}^2 + 0 + \dots} \\ U_L &< \sqrt{3} U_F \text{ bo'ladi.} \end{aligned}$$

Davriy nosinusoidal funktsiyalarning simmetriklik alomatlari

Amalda uchraydigan davriy nosinusoidal o'zgaruvchan elektr miqdorlari berilgan koordinatalar sistemasida biror simmetrik alomatlariga ega bo'lgan egri chiziqlar bilan ifodalanadi.

Agar $f(t)$ nosinusoidal davriy o'zgaruvchan funktsiya, quyidagi shartni qanoatlantirsa, uning egri chizig'i abtsissalar o'qiga nisbatan simmetrik xisoblanadi:

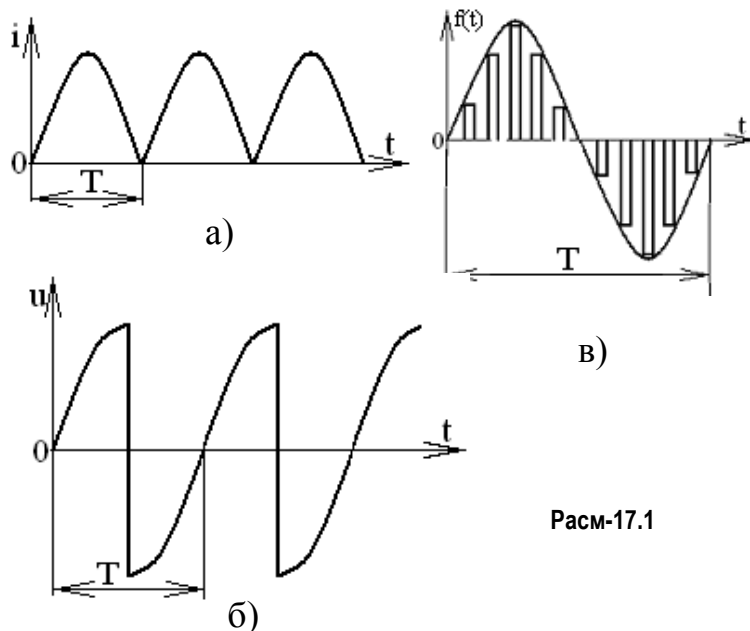


Рис-17.1

$$F(t) = -f\left(t + \frac{T}{2}\right)$$

Rasm-17.1.v.da ko'rsatilgan egri chiziq abstraktsalar o'qiga nisbatan simmetrik xisoblanadi, chunki uning manfiy yarim to'lqini yarim davrdan keyingi musbat yarim to'lqinining aksidir.

Agar $f(t)$ nosinusoidal davriy o'zgaruvchan funktsiya, (Rasm-17.3.a) quyidagi shartni qanoatlantirsa, uning egri chizig'i ordinatalar o'qiga nisbatan simmetrik xisoblanadi: $f(t) = f(-t)$

Agar $f(t)$ nosinusoidal davriy o'zgaruvchan funktsiya, (Rasm-17.3.b) quyidagi shartni qanoatlantirsa, uning egri chizig'i koordinatalar sistemasining markaziy nuqtasiga nisbatan simmetrik xisoblanadi:

$$f(t) = -f(-t)$$

Davriy cheklangan nosinusoidal egri chiziqlar

Bir davriy funktsiya tebranishiga boshqa davriy funktsiya tebranishi ta'siri natijasidan olingan egri chiziqlar davriy cheklangan egri chiziqlar deyiladi. Bu tebranishlar tashqi belgilari va davriylik xususiyatlari bilan nosinusoidal funktsiyalarning aloxida turini tashkil etib, pul'satsiya va amplitudaviy modulyatsiyalangan sinusoidal tebranishlarga bo'linadi.

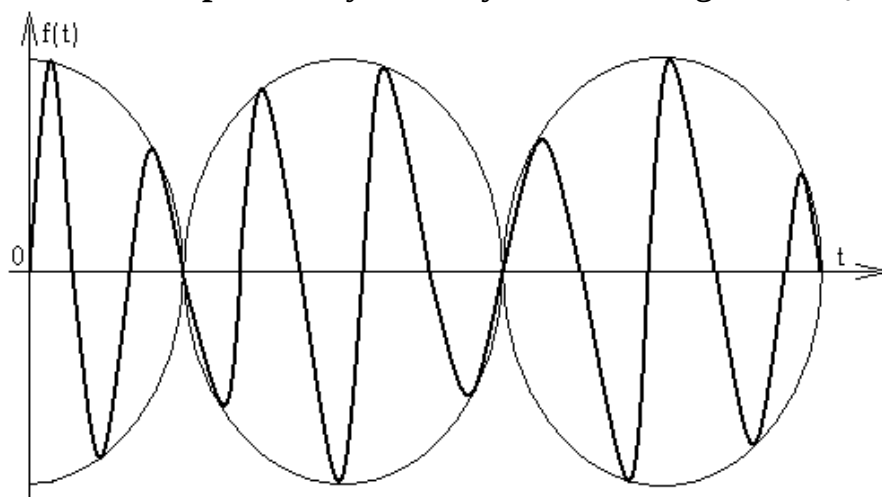
1. **Pul'satsiya**-amplitudalari bir-biriga teng bo'lgan, chastotalari o'zaro yaqin, ammo teng bo'lmagan ikkita sinusoidal tebranishlarning bir-birlariga ustma-ust tushishi natijasida olingan davriy tebranishlarning murakkab turi xisoblanadi. (Rasm-17.2).

Pul'satsiya egri chizig'i vaqt jixatidan quyidagi qonun asosida o'zgaradi: $f(t) = A_m(\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)$ yoki $f(t) = 2A_m \cos Qt \cdot \sin \omega t$

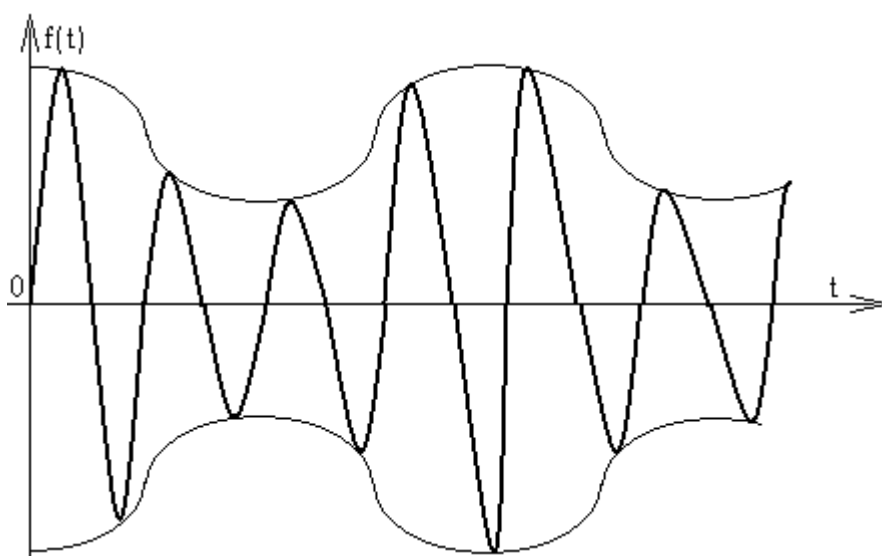
Bu yerda: $Q = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ - sinusoidal $f(t)$ funktsiyaning asosiy to'lqinining amplitudasini o'zgartiradigan burchak chastota.

$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ - funktsiya $f(t)$ ning oniy qiymatini o'zgartiradigan burchak chastota.

2. Amplitudaviy modulyatsilash- o'zgarmas ω_0 -chastotali sinusoidal funktsiya



Расм-17.2



Расм-17.3

amplitudasining avvaldan berilgan qonun bo'yicha boshqarish demakdir. (Rasm-17.3). Vaqt bo'yicha o'zgarish qonuni, ya'ni amplituda $A_m(t)$ ning modulyatsiyasi umumiy xolda ixtiyoriy bo'lib, davriy yoki nodavriy bo'lishi mumkin.

Rasm-17.3 dagi amplitudaviy modulyatsilash quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$A_m(t) = (1 + m \cdot \cos Qt) A_{m0}$$

Bu yerda: $Q = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ - amplitudaning o'zini o'rtacha miqdori atrofida o'zgarish chastotasi, m- modulyatsilash koeffitsenti. ($0 < m < 1$)

Sinov savollari

1. Qanday funktsiya nosinusoidal davriy funktsiya deyiladi?
2. Nosinusoidal el. miqdorlarning maksimal va effektiv qiymati qanday aniqlanadi?
3. Nosinusoidal davriy tokning quvvati nimaga teng?
4. Nosinusoidal davriy tok zanjirlarida quvvat koeffitsenti qanday aniqlanadi?
5. Nosinusoidal davriy tokning reaktiv quvvati nimakga teng?
6. Rezonans xodisasi nima?
7. Nosinusoidal tok zanjirlarida rezonans qanday xosil bo'ladi?
8. Funktsiyaning simmetriklik alomatlarini bilasizmi?
9. Pul'satsiya bilan amplitudaviy modulyatsilash o'rtasida qanday farq va o'xshashlik bor?

15-ma'ruza

Mavzu: To'rtkutbliliklar va zanjiriy sxemalar. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. To'rtkutbliliklarning asosiy tenglamalari.
3. To'rtkutbliliklarning ekvivalent sxemalari.
4. To'rtkutblilikning uzatuvchanlik funksiyasi.
5. Zanjiriy sxemalar.
6. Zanjiriy sxemalarning asosiy tenglamalari.
7. Zanjiriy sxemalarning xarakteristikalar.

Umumiy tushunchalar

Ikkita kirish va ikkita chiqish qismlari bo'lgan har qanday murakkab elektr zanjir to'rtkutblilik deb ataladi.

To'rtkutblilik kirish qutblari kuchlanish manbai U_1 ga chiqish qutblari esa elektr energiya iste'molchisiga (Z_{is}) ulanadi.

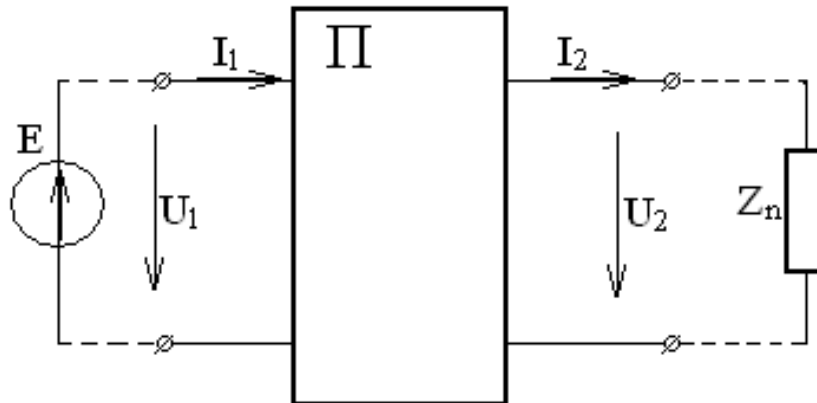


Рис.22.1

To'rtkutbliliklar ko'rinishidagi murakkab zanjirlarni o'rganishdan asosiy maqsad, to'rtkutbliliklar ichki strukturasi tashkil etuvchi elementlarning ish rejimlaridan qat'i nazar, zanjirning kirish va chiqish qismlari orasidagi funktsional bog'lanishni aniqlashdan iborat, ya'ni manbaning kuchlanishi U_1 va toki I_1 ma'lum bo'lsa, iste'molchining kuchlanishi U_2 va toki I_2 ni aniqlashning qonuniyatlarining va bog'lanishini topish.

Ichki tarmoqlarida e.yu.k. va tok manbai bo'lmagan to'rtkutblilik passiv to'rtkutblilik deyiladi.

Ichki tarmoqlarida bitta bo'lsa ham e.yu.k yoki tok manbai bo'lsa, bunday to'rtkutbliliklar aktiv to'rtkutbliliklar deyiladi.

To'rtkutbliliklarning asosiy tenglamalari

Passiv to'rtkutblilik ya'ni murakkab zanjir P ning parametrlari va uning kirish qismlaridagi kuchlanish va tokni bog'lovchi tenglamani topish uchun, bu zanjir uchun tenglamalar sistemasini kontur toklar usulida tuzamiz:

$$\begin{aligned} Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \dots + Z_{1p}I_p &= U_1 \\ Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \dots + Z_{2p}I_p &= -U_2 \\ Z_{p1}I_1 + Z_{p2}I_2 + \dots + Z_{pp}I_p &= 0 \end{aligned}$$

Bu yerda: $Z'_{22} = Z_{22} - Z_{ist}$

Z_{11} ; Z'_{22} ; $Z_{pp} - p$ ga konturga kiruvchi barcha qarshiliklarning yig'indisiga teng bo'lgan, shu konturning xususiy to'la qarshiligi;

Z_{21} ; Z_{12} ; Z_{p1} Z_{1p} - p chi va 1 chi konturlarning orasida hosil bo'lgan yondosh tarmoq barcha qarshiliklarining yig'indisiga teng bo'lgan o'zora to'la qarshilik;

I_1 ; I_2 ; I_3 ; $I_p - p$ ta mustaqil kontur bo'yicha ulangan kontur toklari ;

Yuqoridagi tenglamalar sistemasini to'la aniqlovchisi Δ -ni va to'ldiruvchisini hisoblab, kontur toklar I_1 va I_2 ni topish mumkin, yani:

$$\Delta = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= Y_{11} \dot{U}_1 + Y_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= Y_{21} \dot{U}_1 + Y_{22} \dot{U}_2 \end{aligned}$$

Bu yerda: $Y_{11} = \Delta_{11}/\Delta$ $Y_{22} = -\Delta_{22}/\Delta$ $Y_{12} = -\Delta_{12}/\Delta$ $Y_{21} = \Delta_{21}/\Delta$

Yuqoridagi tenglamalar sistemasidan kelib chiqib qo'yidagi tenglamalar sistemasini yozish mumkin:

$$\begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2 \\ I_1 &= CU_2 + DI_2 \end{aligned}$$

Bu yerda A, V, S va D lar turtqutblikning doimiy parametrlari deyiladi, bu kattaliklar ham kompleks sonlardan iborat bo'ladi.

Bu parametrlar orasida qo'yidagi bog'lanish mavjud: **AD-BC =1**

Parametrlari A=D bo'lgan to'rtqutbliklar simmetrik to'rtqutbliklar deyiladi.

To'rtqutbliklarning ekvivalent sxemalari

To'rtqutbliklar, ya'ni elektrqurilmalarni hisoblashda, ularning real sxemasini unga ekvivalent bo'lgan sxemaga keltirish mumkin.

To'rtqutbliklarni eng oddiy «T» va «P» shaklli ekvivalent sxemalari mavjud. Rasm-18.2,a)da berilgan sxema uchun Kirxgof qonunlaridan foydalanib qo'yidagi tenglamalar tuzish mumkin:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 + I_2 Z_2 + I_1 Z_1 \\ I_1 &= I_2 + (U_2 + I_2 Z_2) Y_0 \end{aligned}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechib, qo'yidagi tenglamalarni hosil qilish mumkin:

$$U_1 = AU_2 + BI_2$$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

Bu yerda : **A = 1 + Z₁Y₀** ; **B = Z₁ + Z₂ + Z₁Z₂Y₀** ; **C = Y₀** ; **D = 1 + Z₂Y₀**

Bu ifodalar yordamida to'rtqutblikning parametrini « T » shaklli ekvivalent sxema bo'yicha passiv to'rtqutblik tarzida berilgan zanjir ichki elementlari qarshilik va o'tkazuvchanliklarining qiymatini aniqlash mumkin.

Ammo ko'pincha, teskari masala qo'yiladi, ya'ni passiv to'rtqutblik tarzida berilgan murakkab zanjirning ekvivalent sxemasini tuzish kerak bo'ladi. Bunda «T» shaklli ekvivalent sxema tuzish uchun qo'yidagi kattaliklar aniqlanadi:

$$Z_1 = A - 1/C; \quad Z_2 = D - 1/C; \quad Y_0 = C$$

Agar $Z_1 = Z_2$ bo'lsa sxema simmetrik bo'ladi, chunki bu xolda $A = D$ bo'ladi.

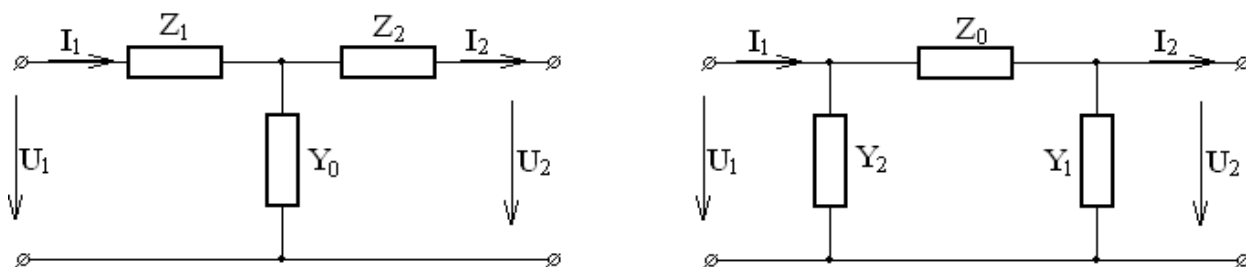


Рис-22.2

Rasm-18.2,v) da keltirilgan «P» shaklli ekvivalent sxemasi uchun qo'yidagi tenglamalar sistemasini tuzish mumkin:

$$U_1 = U_2 + Z_0 (I_2 + Y_2 U_2)$$

$$I_1 = I_2 + Y_2 U_2 + Y_1 U_2$$

yoki $U_1 = AU_2 + BI_2$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

Bu yerda: $A = 1 + Y_0 Z_0$; $D = 1 + Y_1 Z_0$; $B = Z_0$; $C = Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z_0$

Agar passiv murakkab to'rtqutblikning parametrlari bo'yicha, uning «P» shaklli ekvivalent sxemasi parametrlari (Z_0 ; Y_1 ; Y_2) qo'yidagicha topiladi:

$$Y_1 = D - 1/B; \quad Y_2 = A - 1/B; \quad \text{va} \quad Z_0 = B$$

Bu sxemaning simmetriklik sharti $Y_1 = Y_2$ bo'ladi, chunki bunda $A = D$ bo'ladi.

To'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyasi

To'rtqutblikning kirish (U_1 ; I_1) va chiqish (U_2 ; I_2) kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi asosiy tenglamani shunday o'zgartirish mumkinki, bunda to'rtqutblikning berilgan A,B,C va D parametrlarida va iste'molchining Z_{is} qarshiligida uning bitta kirish va bitta chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni bevosita ifoda etsin.

$U_2 = I_2 Z_{is}$ ifodani xisobga olib, quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$U_1 = (A) \frac{B}{Z_{is}} \cdot U_2 = f_1(U_2) \quad \text{yoki} \quad U_2 = F_1(j\omega) \cdot U_1$$

$$U_1 = (A \cdot Z_{is}) I_2 = f_2(I_2) \quad \text{yoki} \quad I_2 = F_2(j\omega) \cdot U_1$$

$$I_1 = (C) \frac{D}{Z_{is}} U_2 = f_3(U_2) \quad \text{yoki} \quad U_2 = F_3(j\omega) \cdot I_1$$

$$I_1 = (C \cdot Z_{is}) I_2 = f_4(I_2) \quad \text{yoki} \quad I_2 = F_4(j\omega) \cdot I_1$$

Bunda: $F_1(j\omega) = \frac{Z_{is}}{A \cdot Z_{is} + B}$; $F_2(j\omega) = \frac{1}{A \cdot Z_{is} + B}$; $F_3(j\omega) = \frac{Z_{is}}{C \cdot Z_{is} + D}$ va

$F_4(j\omega) = \frac{1}{C \cdot Z_{is} + D}$ -funktsiyalar to'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyalari bo'lib,

ular yordamida berilgan kirish kattaligidan noma'lum chiqish kattaligi aniqlanadi.

To'rtqutblikning kirish kattaliklari bilan chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi funktsiyalar to'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyalari deb ataladi.

Murakkab zanjirlarni xisoblashda zanjirning qandaydir tarmog'iga berilgan ma'lum tok yoki kuchlanish ta'sirida boshqa tarmoqlarda xosil bo'lgan tokni yoki kuchlanishni aniqlashga to'g'ri keladi.

Kirish kattaliklari, tok kuchi va kuchlanishlarni umumiy funktsiya $X_1(t)$ orqali, chiqish kattaliklarini esa $X_2(t)$ orqali ifodalab, o'tkazuvchanlik funktsiyasini quyidagicha yozish mumkin: $F(t) = \frac{X_2(t)}{X_1(t)}$

Agar $X_1(t) = i(t)$ va $X_2(t) = u(t)$ bo'lsa, u xolda $F(t)$ funktsiya qarshilik o'lchamiga ega bo'lib, to'rtqutblikning kirish va chiqish qutblari orasidagi umumlashgan o'zaro qarshilikni ifodalaydi.

Agar $X_1(t) = u(t)$ va $X_2(t) = i(t)$ bo'lsa, u xolda $F(t)$ funktsiya o'tkazuvchanliklik o'lchamiga ega bo'lib, to'rtqutblikning kirish va chiqish qutblari orasidagi umumlashgan o'zaro o'tkazuvchanlikni ifodalaydi.

Zanjiriy sxemalar va ularning asosiy tenglamalari

Murakkab zanjirlarni taxlil qilishda ularning ayrim zvenolarini zanjiriy (kaskadli) ulash zaruriyati tug'iladi. Ko'pincha bunday to'rtqutblik passiv bo'lib, har bir zanjirning chiqish qismi keyingi zanjirning kirish qismi hisoblanadi. Bunday zanjirlar zanjiriy sxemalar deyiladi.

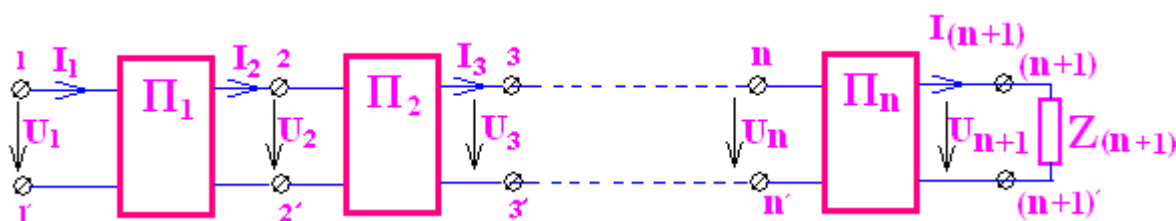
Har qancha zvenoli barcha zanjiriy sxemalarni kirish qismlariga U_1 kuchlanish va I_1 tok, chiqish qismlariga esa U_{p+1} kuchlanish va I_{p+1} tok ta'sir etayotgan yagona to'rtqutblik deb qarash mumkin.

To'rtqutblikning zvenosi alohida ko'rib chiqilganda shu zvenoning ichki strukturasi bog'liq bo'lgan A, B, C va D parametrlarga ega. SHunday qilib, n -chi passiv to'rtqutblik P_p qo'yidagi bog'lanish tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$U_p = A_p U_{p+1} + B_p I_{p+1}$$

$$I_p = C_p U_{p+1} + D_p I_{p+1}$$

n -chi zvenoning kirish tomonidagi to'la qarshiligi qo'yidagicha bo'ladi:



Pacm-23.1

$$Z_{p \text{ Kir}} = \frac{U_n}{I_N} = \frac{A_n Z_{n+1} + B_n}{C_n Z_{n+1} + D_n}$$

Bu yerda: $Z_{p+1} = \frac{U_{n+1}}{I_{n+1}}$ - to'rtqutblik P_p ning chiqish tomonidagi qarshiligi;

A_p ; B_p ; C_p va D_p - shu to'rtqutblikning doimiy parametrlari.

SHunday qilib, doimiy har bir keyingi zvenodan oldingisiga o'tish yo'li bilan barcha zanjiriy sxemening 1-1' qismlariga nisbatan kirish qarshiligini aniqlash mumkin, ya'ni:

$$Z_{1 \text{ Kir}} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{A_n Z_{n+1} + B_n}{C_n Z_{n+1} + D_n}$$

Bu yerda A_1 ; B_1 ; C_1 va D_1 - to'rtqutblik P_1 ning birinchi zv enosi parametrlari

$$Z_{1 \text{ Kir}} = \frac{U_1}{I_1} \text{ -zanjiriy sxemaning 2-2' qismlariga nisbatan kirish qarshiligi yoki}$$

birinchi to'rtqutblikning chiqish tomonidagi qarshiligi.

To'rtqutblikning uzatish o'lchovi (γ) deb ataluvchi parametr umumiy xolda kompleks miqdor bo'lib, u qo'yidagicha ifodalanadi: $\gamma = \alpha + j\beta$

Bunda α - to'rtqutblikning so'nish ko'effitsenti;

β - fazalar ko'effitsenti.

So'nish ko'effitsenti $\alpha = \ln \frac{U_1}{U_2}$ -kirish kuchlanishi U_1 (yoki I_1 toki) biror zanjiriy

sxemadagi P_1 to'rtqutblikdan o'tganda uning moduli qancha o'zgarishini ko'rsatadi.

Fazalar ko'effitsenti $\beta = \Psi_{u1} - \Psi_{u2}$ -to'rtqutblikning kirish va chiqish qismlaridagi u_1 va u_2 oniy kuchlanishning oniy qiymatining boshlang'ich fazalari ayrimasiga teng kattalik bo'lib, to'rtqutblikka berilgan kuchlanish fazalarining o'zgarish darajasini xarakterlaydi.

$$\gamma = \alpha + j\beta = \ln \frac{U_1}{U_2} + j(\Psi_{u1} - \Psi_{u2})$$

So'nish ko'effitsenti α -neper (nep) yoki detsibel (db) hisobida, fazalar ko'effitsenti

β - radian (rad) hisobida o'lchanadi:

$$1 \text{ nep} = 8,0886 \text{ yoki } 1 \text{ db} = 0,115 \text{ nep}$$

S i n o v s a v o l l a r i

1. Passiv to'rtqutublik deb nimaga aytiladi?
2. Qanday to'rtqutublik simmetrik deyiladi?
3. To'rtqutublikni «T» shaklli ekvivalent sxemasini tushuntiring.
4. To'rtqutublikni uzatuvchanlik funktsiyasi nima?
5. Qanday to'rtqutublik aktiv to'rtqutublik deyiladi?
6. Qanday zanjirlar zanjiriy sxemalar deyiladi?

16-ma'ruza

Mavzu: Chastota ajratuvchi elektrik filtrlar. (2 soat)

1. Kuyi chastota filtrlari.
2. Yukori chastota filtrlari.
3. Polosaviy filtrlar.
4. To'suvchi filtrlar.

CHastota ajratuvchi elektr filtrlar

To'rtqutblikning kirish tomonidagi $X_1(t)$ signal bilan uning chiqish tomonidagi $X_2(t)$ signali orasidagi miqdoriy va sifatiy nisbatlar uzatuvchanlik funktsiyasi $F(j\omega)$ bilan aniqlanadi.

Uzatuvchanlik funktsiyasi $F(j\omega)$ ning chastotasi o'z navbatida to'rtqutblikning ichki parametrlari r , L va C ga bog'liq bo'ladi.

Parametrlarni shunday nisbatini tanlash mumkinki, bunda uzatuvchanlik funktsiyasi $F(j\omega)$ signal $X_1(t)$ bilan kirayotgan ayrim chastotalar va chastotalar polasasi uchun tanlash xususiyatiga ega bo'ladi.

CHastota tanlash xususiyatiga ega bo'lib, ayrim to'rtqutbliklar yoki zanjiriy sxemalar tarzida tuzilgan qurilmalar chastota ajratuvchi elektr filtrlar deb ataladi.

Ba'zi chastotalar o'z diapazoni bilan aniqlanib, o'tkazish polosasi (yoki tiniqlik zonasi) deb ataladigan polosada elektr filtr signal $X_1(t)$ ning boshlang'ich amplitudasini deyarli kamaytirmay (bunda so'nish koeffitsienti $\alpha=0$) o'tkazadi.

Elektr filtrlar aloqa texnikasida, radiotexnikada, avtomatika va telemexanikada keng ko'lamda ishlatiladi. Filtrlarning tanlagan siliq polosa chastotalariga ta'siri shaxar radio tarmoqlari orqali uch kanalli radio uzatishga ham asos qilib olingan.

O'z vazifasi va sxemasining tuzilishi jihatidan elektr filtrlar qo'yidagilarga bo'linadi:

1. Qo'yi chastota filtrlari
2. Yuqori chastota filtrlari
3. Oraliq (polosaviy) filtrlar
4. To'suvchi filtrlar

CHastota ajratuvchi filtrlarning ishlash printsiplari induktiv g'altak va kondensatorlarning signal chastotasi ω -qiymatiga bog'liq xolda o'zgarishiga asoslangan.

Quyi chastota filtrlari

0 dan ω gacha bo'lgan chastotalardagi signallarning eng yaxshi o'tishini ta'minlab, chastotasi birmuncha yuqori bo'lgan signallarning o'tishiga to'sqinlik qiluvchi filtrlar qo'yi chastota filtrlari deb ataladi.

Bu shartlarni, ya'ni yuqori chastota toklarning maksimal so'nishini ta'minlovchi ketma-ket induktiv va paralel sig'im elementlaridan tuzilgan to'rtqutblik filtrlari qanoatlantiradi.

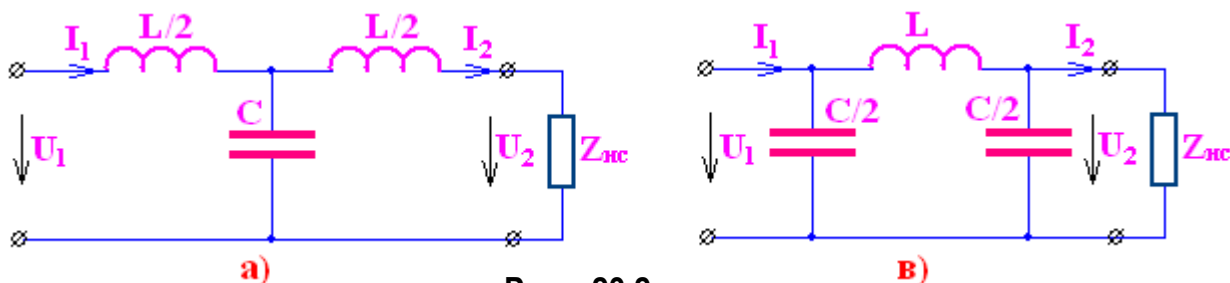


Рис-23.2

Bu filʼtrlarni filʼtrlash xususiyatlarini aniqlash uchun ularning soʻnish va fazalar koeffitsentini, hamda xarakteristika qarshiliklarining filʼtrning kirish tomonidagi signalning chastotalariga bogʻliqligini bilish lozim boʻladi.

«T» shaklli toʻrtqutblik uchun:

$$A = \operatorname{ch} \gamma = \operatorname{ch}(\alpha + j\beta) = \operatorname{ch} \alpha \cos \beta + j \operatorname{sh} \alpha \sin \beta$$

A - toʻrtqutblikning doimiysi

γ - toʻrtqutblikning uzatish oʻlchovi

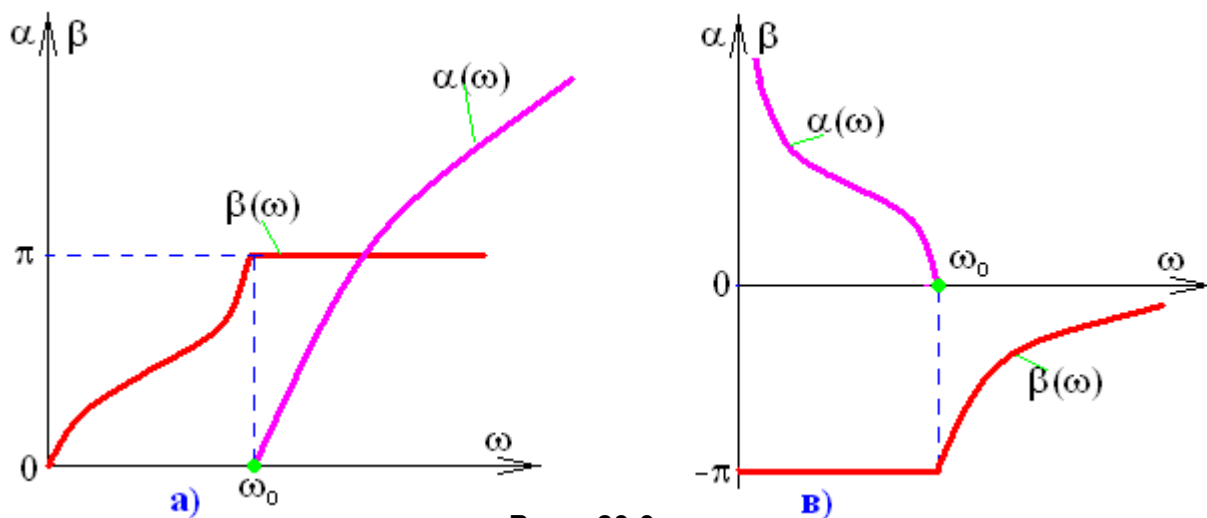


Рис. 23.3

α - toʻrtqutblikning soʻnish koeffitsenti

β - toʻrtqutblikning fazalar koeffitsenti

ch - giperbolik kosinus

sh - giperbolik sinus

$$A = 1 + Z_1 Y_0 = 1 + j\omega + \frac{L}{2} j\omega C = 1 - \frac{\omega^2 LC}{2}$$

Yuqoridagi ifodadan koʻrinib turibdiki bu ifodaning mavhum qismi nolga teng, demak:

$$A = 1 - \frac{\omega^2 LC}{2} = \operatorname{ch} \alpha \cos \beta$$

Tiniqlik zonasida filʼtrning soʻnish koeffitsenti $\alpha=0$, demak $\operatorname{ch} \alpha=1$ bundan qoʻyidagi ifoda kelib chiqadi: $A = 1 - \frac{\omega^2 LC}{2} = \cos \beta$

Bundan koʻrinib turibdiki A- kattalik -1 dan +1 gacha oʻzgaradi, yaʼni :

$$-1 \leq \left(\frac{\omega^2 LC}{2} \right) \leq 1$$

Filʼtr $\omega=0$ dan to $\omega = \frac{2}{\sqrt{LC}}$ gacha boʻlgan diapazondagi chastotalarni soʻndirmay oʻtkazadi. Bunda faza koeffitsenti $\omega=0$ boʻlganda, $\beta=0$ va $\omega = \frac{2}{\sqrt{LC}}$ boʻlsa $\beta=\pi$ boʻladi. (Rasm-16.3 a).

«P» -shaklli filʼtrlar uchun:

$$A = 1 + \gamma_2 Z_0 = 1 + j \frac{\omega C}{2} j\omega L = 1 - \frac{\omega^2 LC}{2} = \cos \beta$$

$\gamma_2 = j \frac{\omega C}{2}$ -parallel ulangan sig'imli tarmoqlarning o'tkazuvchanligi;

$Z_0 = j \omega L$ -ketma-ket ulangan induktiv elementning qarshiligi;

Xarakteristik qarshiliklar qo'yidagicha bo'ladi:

$$\langle T \rangle - Z_{xt} * \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} - \left(\frac{\omega L}{2}\right)^2 \quad \langle P \rangle - Z_{xp} * \sqrt{\frac{B}{C}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L}} - \left(\frac{\omega C}{2}\right)^2}$$

Z_x – xarakteristik qarshilik

Yuqori chastota filtrlari

Tiniqlik zonasi $\omega = \omega_0$ to $\omega = \infty$ gacha bo'lgan chastotalar diapazonida yotgan filtrlar yuqori chastota filtrlari deyiladi.

Ushbu chastota diapazonida so'nish koeffitsienti $\alpha = 0$ bo'lganidan bu xil filtrlarga asos qilib olingan to'rtqutblikning doimiysi chastotaga bog'liq xolda -1 dan +1 gacha o'zgaradi va qo'yidagicha ifodalanadi: $A = \text{ch } \gamma = \text{ch } (j\beta) = \cos \beta$

«T» shaklli to'rtqutblikning (Rasm-16.4) doimiysi A - qo'yidagicha aniqlanadi:

$$A = 1 + Z_1 Y_0 = 1 + \frac{1}{j\omega C} \frac{1}{j\omega L} = 1 - \frac{1}{2\omega^2 LC} = \cos \beta$$

Fazalar koeffitsienti β , 0 dan π gacha o'zgaradi, ya'ni $-1 \leq 1 - \frac{1}{2\omega^2 LC} \leq 1$

Bu ifodalardan ko'rinib turibdiki filtr $\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$ ($\cos \beta = -1$ dan $\omega = \infty$ ($\cos \beta = -1$)) gacha bo'lgan diapazondagi chastotalarni so'ndirmay o'tkazadi.

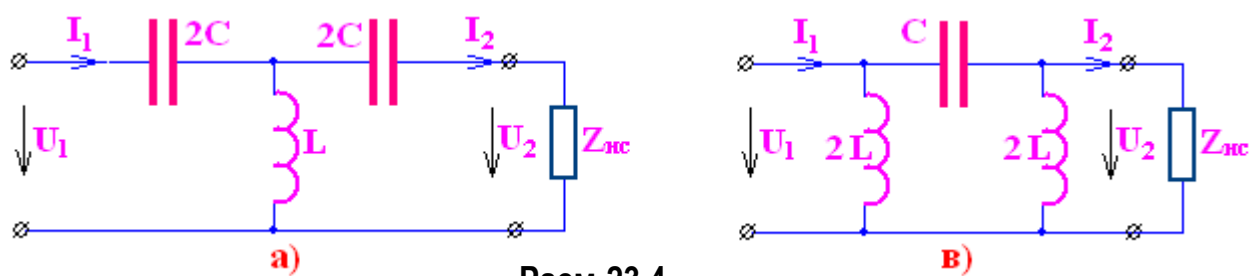
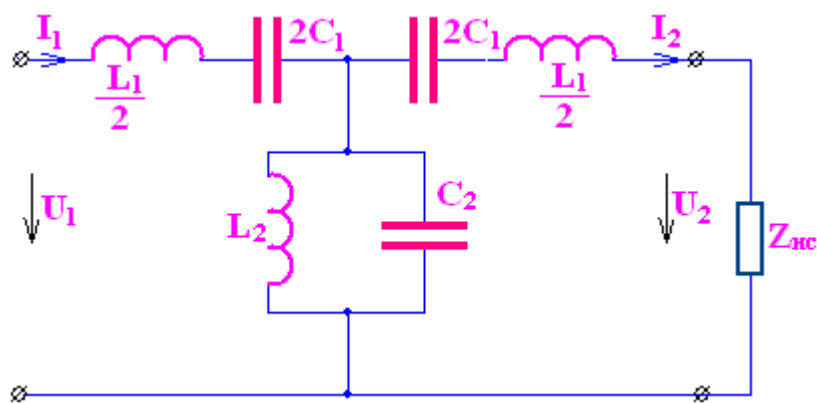
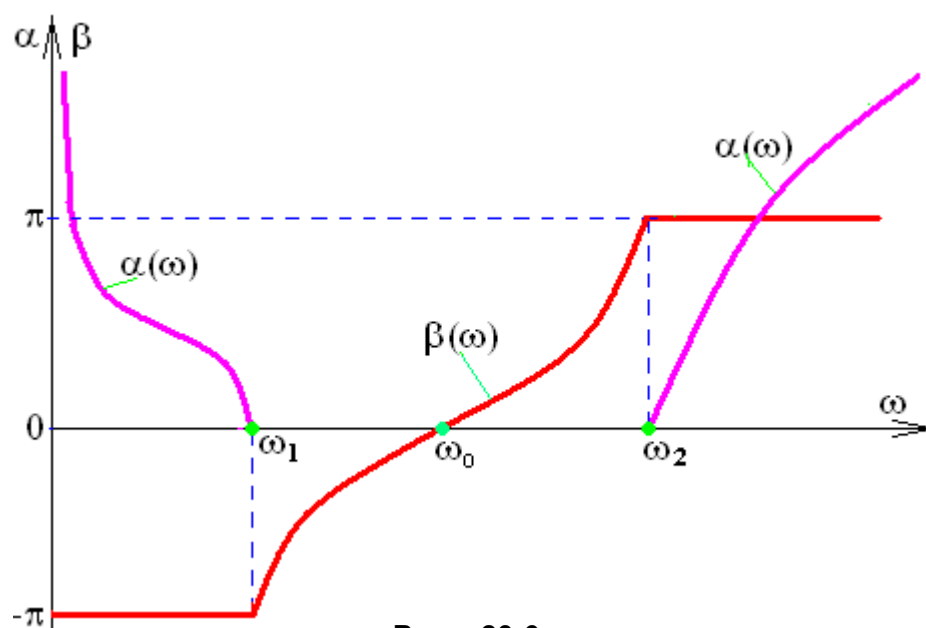


Рис-23.4

«T»-shaklli zanjir uchun $\alpha(\omega)$ va $\beta(\omega)$ bog'lanishlarning egri chiziqlaridan (Rasm-16.3.v) ko'rinib turibdiki, qo'yi chastota signallarning eng ko'p so'nish xarakteristikalarining boshlanishida bo'lib, chastota ω_0 ning yaqinida ularning iste'molchining zanjiriga kirishi sezilarli bo'ladi.



Расм-23.5



Расм-23.6

Bu zanjir uchun xarakteristik qarshilik Z_{xt} ning chastotaga bog'liqligi qo'yidagicha aniqlanadi:
$$Z_{xt} = \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{\frac{Z_1 + Z_2 + Z_2 Y_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{L}{C}} - \frac{1}{4\omega^2 L^2}$$

Polosoviy filtrlar

Chastotasi ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan diapazondagi signallarni so'ndirmay ($\alpha = 0$) o'tkazuvchi filtrlar polosoviy filtrlar deb ataladi.

Bu filtrlar chastotalarning umumiy spektridan foydali signallarning eltuvchi juda siyiq chastotalar polosasini ajratishga, hamda 0 dan ω_1 gacha va ω_2 dan ∞ gacha bo'lgan barcha chastotalarni to'sishga imkon beradi.

Bu to'rtqutblilikning (Rasm-16.5) doimiy parametrlaridan A , bir tomonlama bo'ylama qarshiligi $Z_1=Z_2$ va ko'ndalang o'tkazuvchanligi Y_0 qo'yidagicha aniqlanadi:

$$Z_1 = Z_2 = j\left(\frac{\omega L_1}{2} - \frac{1}{2\omega C_1}\right); \quad Y_0 = -j\left(\frac{1}{\omega L_2} - \omega C_2\right);$$

$$A = 1 + Z_2 Y_0 = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{L_1}{L_2} - \omega^2 L_1 C_2 - \frac{1}{\omega^2 L_2 C_1} + \frac{C_2}{C_1} \right)$$

Faza koeffitsienti β yoki to'rtqutblik doimiy parametrlaridan A ning o'zgarishi qo'yidagicha: $-1 \leq \cos \beta \leq 1$ yoki $-1 \leq A \leq 1$

Yuqoridagi formulani avval bitta $A = -1$ chegaraviy qiymat uchun, so'ngra $A = 1$ chegaraviy qiymati uchun yechib, qo'yidagilarni aniqlash mumkin:

$$\omega_1^4 - \frac{L_1 C_1 + 4L_2 C_1 + L_2 C_2}{L_1 C_1 L_2 C_2} \omega_1^2 + \frac{1}{L_1 C_1 L_2 C_2} = 0$$

$$\omega_2^4 - \frac{L_1 C_1 + L_2 C_2}{L_1 C_1 L_2 C_2} \omega_2^2 + \frac{1}{L_1 C_1 L_2 C_2} = 0$$

yoki $\omega_1 = \omega_0 (\sqrt{m^2 + 1} - m)$

$$\omega_2 = \omega_0 (\sqrt{m^2 + 1} + m)$$

Bu yerda $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}; \quad m^2 = \frac{L_2}{L_1} = \frac{C_1}{C_2};$

CHastotalar diapazoni ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan signallarni to'sish uchun mo'ljallangan filtrlar to'suvchi filtrlar deyiladi.

To'suvchi filtrlar ham qo'yi va yuqori chastota filtrlarni o'zida mujassamlashtirgan. Ishlash jihatidan bu filtrlarning polosoviy filtrlardan farqi shuki, ular 0 dan ω_1 gacha va ω_2 dan ∞ gacha bo'lgan chastotalar uchun so'nish koeffitsienti $\alpha = 0$ ga teng bo'lib, ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan chastotalar uchun $\alpha > 0$ noldan farqli bo'ladi.

Sinov savollari

2. To'rtqutblikning uzatish o'lchovi nima?
3. Qanday qurilmalar chastota ajratuvchi elektr filtrlar deb ataladi?
4. Quyi chastota filtrlarini tushuntiring.
5. YuCHF ni chastotaga bog'liklik grafiklarini tushuntiring?

17-ma'ruza

Mavzu: Elektr zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar. (2 soat)

1. Umumiy tushunchalar.
2. Kommutasiya qonunlari.
3. O'tkinchi, turgunlashgan va erkin rejimlar.

Umumiy tushunchalar

Elektr zanjirlarning bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishini xarakterlovchi jarayonlar o'tkinchi jarayonlar deb ataladi.

Elektr zanjirning ish rejimini o'zgarishiga olib keluvchi barcha sabablar oddiy

ravishda kommutatsiya yoki kommutatsion jarayonlar natijasida vujudga keladi.

Agar zanjir faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa, zanjirdagi xisobiy rejim kommutatsiya sodir bo'lgan ondan keyin boshlanadi.

Agar zanjirda bitta bo'lsa xam energiya to'plovchi element (sig'im yoki induktivlik) bo'lsa, bu zanjirni bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishi, bu elementlarning magnit va elektr maydonlarida to'plangan elektromagnit energiyasining miqdor jixatidan o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

Energiyani son jixatidan chekli miqdorga o'zgarishi bir zumda sodir bo'la olmasligi tufayli, zanjirning bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishi ma'lum vaqtni talab etadi.

Kommutatsiya qonunlari

Kommutatsiyaning birinchi qonuni: Xar qanday induktivlikka ega tarmoqdagi tok va magnit oqimi kommutatsiya paytida o'zini kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi iva bundan so'ng anna shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

$$i_{L-}(0) = i_L(0) \quad \text{yoki} \quad \Phi_{-}(0) = \Phi(0)$$

Buni induktiv g'altakni o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulash misolida ko'rish mumkin. Agar kommutatsiyaga qadar g'altakdan tok o'tmagan bo'lsa, kommutatsiya paytida g'altakdan o'tayotgan tok va xosil bo'lgan magnit oqimi nolga teng, ya'ni:

$$\begin{cases} i_{L-}(0) = 0 \\ \Phi_{-}(0) = 0 \end{cases} \quad \text{bo'lsa} \quad \begin{cases} i_L(0) = 0 \\ \Phi(0) = 0 \end{cases} \quad \text{bo'ladi.}$$

Bu miqdorlarning 0 dan to barqaror miqdorlarigacha birdaniga oshib ketishi nazariy jixatdan mumkin emas, chunki buning uchun tok va magnit oqimining o'zgarish tezligi cheksiz katta bo'lishi kerak, ya'ni: $U_L(0) = \infty$ bo'lishi kerak.

Kommutatsiyaning ikkinchi qonuni: Xar qanday tarmoqda sig'imdagi kuchlanish va zaryad miqdori kommutatsiya paytida o'zining kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

$$U_{C-}(0) = U_C(0) \quad \text{yoki} \quad q_{-}(0) = q(0)$$

Kondensatordagi kuchlanish va zaryadning $t=0$ paytda birdaniga o'zgarishi mumkin emas, chunki bu xolda zanjirdan o'tayotgan tok cheksiz katta bo'lishi kerak, lekin bu xol Kirxgof qonunlariga zid bo'ladi.

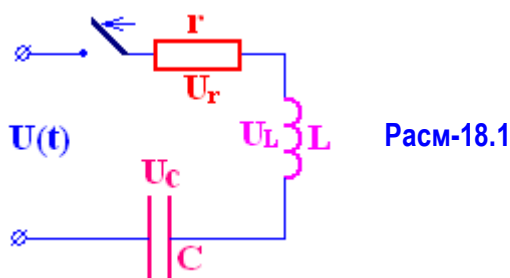
Kommutatsiya paytida elektromagnit energiyaning oniy miqdorlari kommutatsiyaga qadar bo'lgan va undan keyingi turg'unlashgan rejimlarda o'zaro teng emas, demak zanjirda ana shu energiya farqini kompensatsiyalovchi kuch mavjud bo'lishi kerak.

Masalan, r va L elementlari ketma-ket ulangan zanjirni o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulashda $t=0$ paytda bir-biriga teng bo'lmagan ikkita turg'unlashgan tok o'zaro tutashuvi kerak, ya'ni:

$$i_{turg-}(0) = 0 \quad \text{va} \quad i_{turg}(0) = \frac{U_0}{r} \quad \text{bo'lsa,} \quad i_{erk}(0) = -\frac{U_0}{r} \quad \text{bo'ladi, yoki}$$

$$i_{-}(0) = i(0) = i_{turg}(0) + i_{erk}(0) = 0$$

Rasm-18.1 da berilgan zanjirning elektr muvozanat tenglamasi Kirxgofning 2-qonuniga asosan quyidagicha bo'ladi:



$$ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = u(t)$$

Bu yerda: i - tokning $t=0$ paytdan to $t=\infty$ gacha bo'lgan vaqtdagi o'zgarish.

Zanjirda o'tkinchi jarayon tugashi bilan manba kuchlanishining o'zgarish qonuniga bo'ysunadigan turg'unlashgan majburiy rejim boshlanadi. Demak zanjirning muvozanat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$ri_{turg} + L \frac{di_{turg}}{dt} + \frac{1}{C} \int i_{turg} dt = u(t)$$

O'tkinchi tok majburiy, turg'unlashgan va erkin tokdan iborat, ya'ni: $i = i_{turg} + i_{erk}$

bo'lsa, $U_{r erk} + U_{L erk} + U_{C erk} = U(t)$ bo'ladi.

Zanjir elementlaridagi o'tkinchi kuchlanishni xuddi tok kabi, turg'unlashgan va erkin tashkil etuvchilardan iborat, ya'ni:

$$U_r = U_{r turg} + U_{r erk}$$

$$U_L = U_{L turg} + U_{L erk}$$

$$U_C = U_{C turg} + U_{C erk}$$

O'tkinchi, turg'unlashgan va erkin rejimlar

R va L elementlari ketma-ket ulangan zanjirlarni (Rasm-19.1) o'zgarish kuchlanish manbaiga ulanganda zanjirning differentsial tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$ri + L \frac{di}{dt} = U_0 \text{ yoki } ri_{erk} + L \frac{di_{erk}}{dt} = 0$$

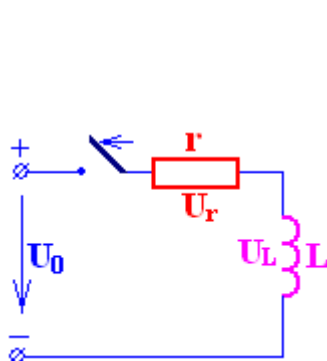


Рис-19.1

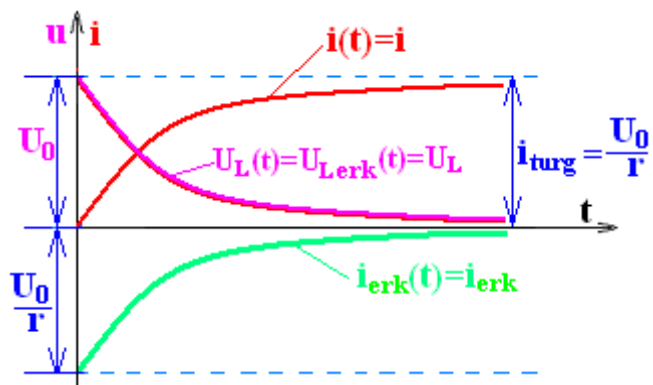


Рис-19.2

Erkin tokning xarakteristik tenglamasi quyidagicha bo'ladi: $L\alpha + r = 0$

bu yerda: $\alpha = -\frac{r}{L}$ -so'nish koeffitsenti, $\tau = \frac{L}{r}$ -o'tkinchi jarayonni intensivligini ko'rsatuvchi vaqt doimiysi.

Erkin tok quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi: $i_{erk} = Ae^{\alpha t} = Ae^{-\frac{r}{L}t} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$

Kommutatsiyaga qadar zanjirdan tok o'tmagan, demak zanjirni ulash paytida xam tok nolga teng bo'lgan. Zanjirda o'tkinchi jarayon tugagandan so'ng, faqat aktiv qarshilikning qiymati bilan aniqlanadigan va miqdori jixatidan barqaror bo'lgan tok, ya'ni turg'unlashgan tok mavjud bo'ladi, u xolda quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

$$i(0) = i_{turg}(0) + i_{erk}(0) = \frac{U_0}{r} + A = 0 \quad A = -\frac{U_0}{r}$$

Bunda o'tkinchi tok quyidagicha bo'ladi: $i = i_{turg} + i_{erk} = \frac{U_0}{r} - \frac{U_0}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_0}{r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

Zanjirning ayrim elementlaridagi o'tkinchi kuchlanishlarni quyidagicha aniqlash mumkin: $u_r = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ va $u_L = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

Rasm-19.2 da keltirilgan tok va kuchlanishning o'zgarish grafiklari noldan boshlanuvchi va qandaydir o'zgarmas miqdorga yoki teskarisiga bir xilda yaqinlashuvchi eksponentialarni ifodalaydi. Bu zanjirdagi o'tkinchi jarayonning davom etish vaqti faqat nazariy xisoblashlarda cheksizga teng, lekin amalda juda qisqa vaqt oralig'ida sodir bo'ladi.

Masala: R va L elementlari ketma-ket ulangan zanjir (Rasm-19.1) parametrlari quyidagicha berilgan bo'lsa, 0,01 sek vaqtdan keyin turg'unlashgan tokning miqdorini aniqlang:

$r=50 \text{ Om}$, $L=0.1 \text{ Gn}$, $U_0=200 \text{ V}$ va $t=0,01 \text{ sek}$

Echish:

1. Turg'unlashgan tokni quyidagicha aniqlaymiz: $i_{turg} = I_0 = \frac{U_0}{r} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}$

2. Vaqt doimiysini aniqlaymiz:

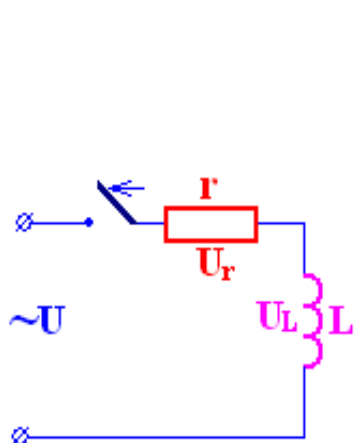
$$\tau = \frac{L}{r} = \frac{0.1}{50} = 0.002 \text{ sek}$$

3. $t=0,01 \text{ sek}$ dan keyin turg'unlashgan tokning miqdorini aniqlaymiz:

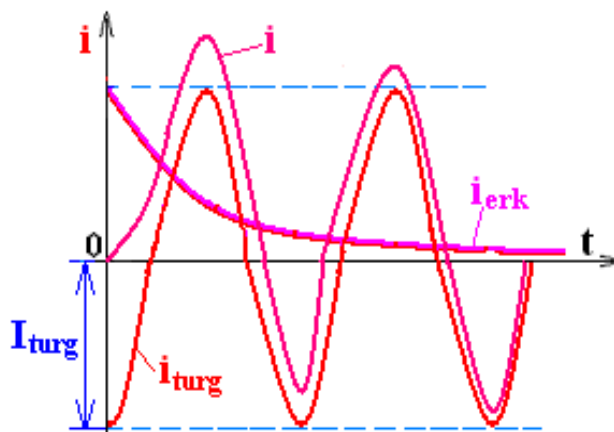
$$i = \frac{U_0}{r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 4(1 - e^{-5}) = 4 \cdot 0.0993 = 3.97 \text{ A}$$

Aktiv qarshiliq va induktiv g'altak ketma-ket ulangan zanjirni (Rasm-19.3) sinusoidal kuchlanish manbaiga ulangandagi o'tkinchi jarayonlarni o'rganish uchun shu zanjirni muvozanat tenglamasini tuzamiz va uning xususiy yechimini aniqlaymiz:

$$ri + L \frac{di}{dt} = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$



Pacm-19.3



Pacm-19.4

Bunda turg'unlashgan tok quyidagicha bo'ladi:

$$i_{turg} = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \psi_u - \varphi)$$

Bu yerda $Z = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$ -zanjirning to'la qarshiligi, $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{r}$ -kuchlanish va tok kuchi orasidagi faza siljish burchagi.

Zanjirdagi o'tkinchi tok quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi:

$$i = i_{turg} + i_{erk} = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + A e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Kommutatsiyaning birinchi qonuniga asosan quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$i_-(0) = (0) = \frac{U_m}{Z} \sin(\psi_u - \varphi) + A = 0 \quad \text{bundan integrallash doimiysini aniqlaymiz:}$$

$$A = -\frac{U_m}{Z} \sin(\psi_u - \varphi)$$

Demak zanjirdagi o'tkinchi tok quyidagi qonuniyat bilan o'zgaradi:

$$i = i_{turg} + i_{erk} = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) - \frac{U_m}{Z} \sin(\psi_u - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Agar zanjirni ulash ($\psi = \varphi + \pi/2$) paytda sodir bo'lsa, erkin tok o'zmmng mumkin bo'lgan maksimum qiymatiga erishadi, ya'ni: $i_{apk}(0) = \mp \frac{U_m}{Z}$

Bunda zanjirga berilgan kuchlanish davrining yarmiga teng bo'lgan vaqtdan so'ng, o'tkinchi tok xam o'zining eng katta qiymatiga erishadi. Ammo nazariy jixatdan tokning maksimumi xatto vaqt doimiysining eng katta qiymatlarida xam turg'unlashgan tok amplitudada qiymatining ikkilanganligidan ortmaydi.

R va L elementlari ketma-ket ulangan zanjirda qisqa tutashuv

Boshlang'ich toki $i(0.) \neq 0$ noldan farq qiladigan r , L elementlari ketma-ket ulangan zanjirda qisqa tutashuv bo'lganda o'tkinchi jarayon vujudga keladi.

Bu zanjir kommutatsiyaga qadar qo'shimcha rezistor (r_0) orqali o'zgarmas kuchlanishga ulangan bo'lib, $t=0$ paytda qisqa tutashadi. Agar kommutatsiyaga qadar turg'unlashgan tok quyidagiga teng bo'lsa: $I_0 = U_0/(r_0 + r)$, u holda kommutatsiyadan so'ng u nolga teng, chunki kontur manbadan ajragan bo'lib, ilgari g'altakka tok olib kirgan magnit maydon energiyasi (W_M) rezistor (r) da issiqlik energiyasiga aylanib asta-sekin nolgacha kamayadi.

O'tkinchi rejimdagi zanjirning differentsial tenglamasi va o'tkinchi tok quyidagicha bo'ladi: $L \frac{di_{apk}}{dt} + r i_{apk} = 0$; $i = i_{erk} = A \cdot e^{-t/\tau}$

$$i(0.) = i(0) \text{ dan quyidagini aniqlash mumkin: } A = \frac{U_0}{r_0 + r}$$

$$\text{O'tkinchi tokni quyidagicha ifodalash mumkin: } i = \frac{U_0}{r_0 + r} e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Induktiv g'altakdagi o'tkinchi kuchlanish miqdori jixatidan rezistordagi kuchlanish tushuviga teng, lekin ishorasi qarama-qarshi bo'ladi (Rasm-21.5.v), ya'ni:

$$u_L = L \frac{di}{dt} = -\frac{U_0 \cdot r}{r_0 + r} e^{-\frac{t}{\tau}} = -r \cdot I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}; \quad u_r = r \cdot i = r \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

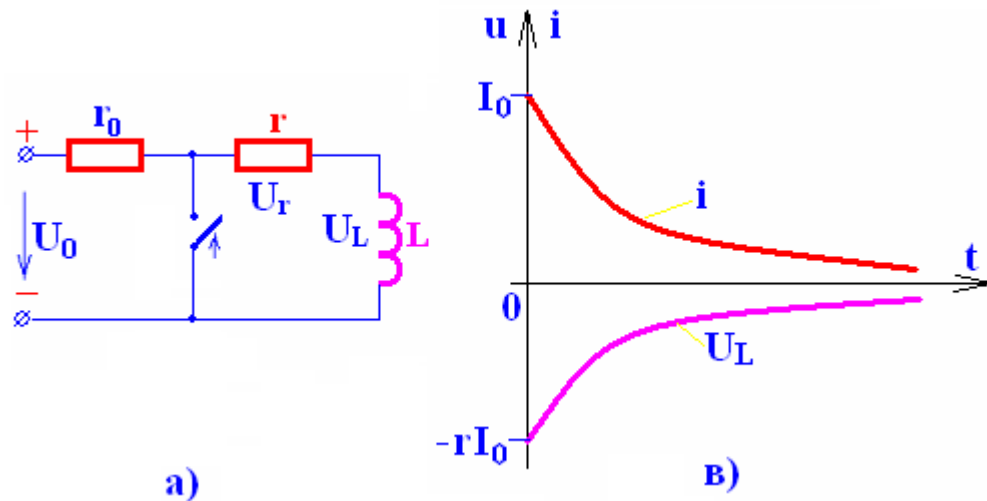


Рис-19.5

G'altakni manbadan ajratib, qarshilikka qayta ulashda o'zgaras kuchlanish U_0 o'rniga, vaqt bo'yicha o'zgaruvchi kuchlanish $u(t)$ olinsa, o'tkinchi jarayon sifat jixatidan o'zgarmaydi. Farqi shundvn iborat bo'ladiki, boshlang'ich tok $i(0)$ kommutatsiya paytida zanjirga berilgan kuchlanish $u(t)$ ning oniy qiymatini hisobga olgan holda hisoblangan bo'lishi kerak.

Agar $i(0) = 0$ bo'lsa yoki juda kichik bo'lsa, o'zgaras tokdagi qayta ulashlarda ko'rilgan o'ta kuchlanishlar umuman paydo bo'lmasligi mumkin.

Sinov savollari

1. Kommutatsiyaning 1-qonunini tushuntiring.
2. Kommutatsiyaning 2-qonunini tushuntiring.
3. Xarakteristik tenglamaning necha xil ildizlari bo'lishi mumkin.
4. Elektr zanjirlarda qanday o'tish jarayonlari sodir bo'lishi mumkin.
5. Aperiodik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi.
6. So'nuvchi tebranish deb qanday jarayonga aytiladi.
7. Vaqt doimiysi qanday aniqlanadi?
8. Kommutatsiyaning 2-qonunini tushuntiring.
9. So'nish koeffitsienti nima?
10. Elektr zanjirlarda qanday o'tish jarayonlari sodir bo'lishi mumkin?
11. O'tkinchi tok deb nimaga aytiladi?
12. So'nuvchi tebranish deb qanday jarayonga aytiladi.

18-ma'ruza

Mavzu: Elektr zanjirlarda ferrerezonans hodisalari. (2 soat)

1. Kuchlanishlar ferrerezonansi.
2. Ferrerezonansli zanjirlarda kuchlanish va tokni stabillash.
3. Toklar ferrerezonansi.

Kuchlanishlar ferrerezonansi

Har qanday rezonans hodisasi kabi o'zgaruvchan tokning nochizig'iy zanjiridagi rezonansida ham manba kuchlanishi (yoki toki) tebranishlarning nisbatan kichik amplitudalari ta'siri ostida induktivlik va sig'imi elementlarda kuchlanishlar (yoki

toklar) tebranishlarining amplitudalari ortadi.

CHizig'iy va nochizig'iy zanjirlardagi rezonanslarning asosiy farqi shundaki, nochizig'iy tebranish konturli zanjirlar uchun «xususiy tebranishlar chastotasini» aniq ko'rsatib bo'lmaydi, chunki nochizig'iy parametrlar $L(i)$ yoki $C(u_C)$ ning kattaliklari manba kuchlanishi va tokining amplitudasiga bog'liq. SHuning uchun nochizig'iy zanjirlardagi rezonanslarning qo'yidagi o'ziga xos xususiyatlari bor:

1. Zanjirdagi intensiv (rezonansli) tebranishlar aniq ifodalangan maksimumga ega emas, ya'ni rezonans alohida nuqta bilan xarakterlanmasdan, aksincha nochizig'iy konturning shartli «xususiy tebranishlar chastotasi» manba chastotasiga yaqin bo'lgan nochizig'iy element volt-ampere xarakteristikasining katta uchastkasi bilan xarakterlanadi.

2. Rezonans rejimiga berilgan kuchlanishning o'zgarmas qiymatlarida faqat nochizig'iy kontur parametrlarining o'ziningina rostdash bilan erishilmasdan, shuningdek kontur parametrlariga qo'shimcha ta'siri, manbadan olinayotgan

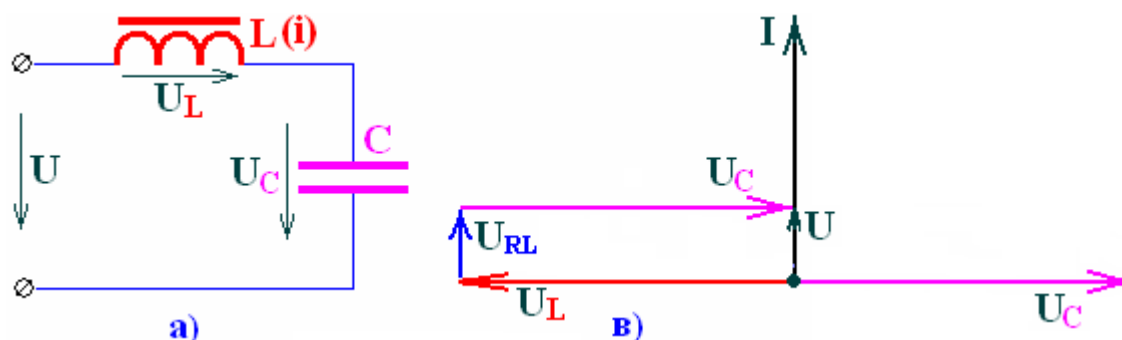


Рис-29.1

majburlovchi kuchning amplitudasini rostdash bilan ham erishiladi.

Bunday xususiyatli ferrozonansiy zanjirlarni $L(i)$ ferromagnitaviy elementli va S chizig'iy simg'indan tuzilgan tebranish konturli zanjirlarni analiz qilish misollarida qisqacha ko'rib chiqamiz.

Elementlarining ulanish usullariga ko'ra $L(i)$ -S ketma-ket ulangan zanjirdagi ferrozonans (yoki kuchlanishlar ferrozonansi) va $L(i)$ -S parallel ulangan zanjirlardagi ferrozonans (yoki toklar ferrozonansi) bo'ladi.

Rasm-29.1 da nochizig'iy induktivlik $L(i)$ va chizig'iy sig'im S dan tuzilgan ketma-ket ferrozonansiy zanjirning sxemasi (a) va kuchlanishlarning vektoriy diagrammasi (v) ko'rsatilgan. Nochizig'iy induktivlik $L(i)$ dagi aktiv isroflarni nolga teng tok va kuchlanishlarning (u_L va u_C) haqiqiy nosinusoidal egri chiziqlari asosiy

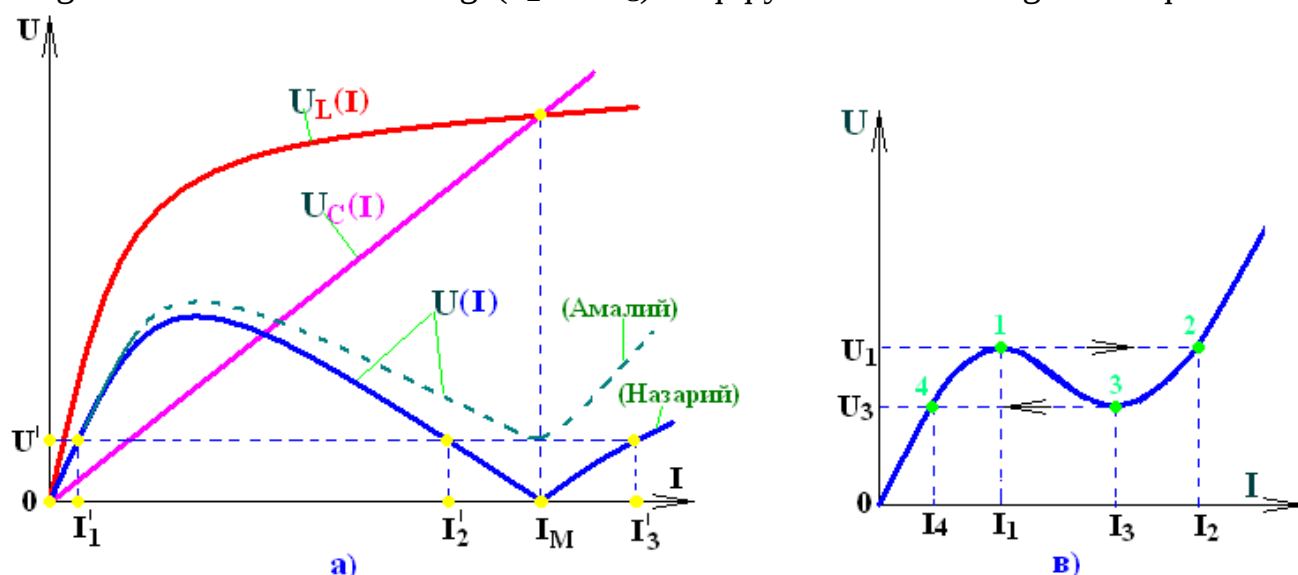


Рис-29.2

garmonikaning ularga mos ekvivalent sinusoidalari bilan almashtirilgan deb faraz qilamiz. Bunday holda rasm-29.1.v) dagi vektoriy diagramma to'g'ri bo'lib, unga binoan zanjirga berilgan kuchlanish vektorining moduli $U=U_L+U_C$ xuddi $U=I U_L-U_C$ I kabi aniqlanishi mumkin. /altakning nochizig'iy xarakteristikasi $U_L(I)$ va kondensatorning to'g'ri bog'lanishli $U_C = I \frac{1}{\omega C}$ dan kelib chiqadigan chiziqli xarakteristikasi $U_C(I)$ berilgan deb hisoblab, qo'yilgan masalaning yechimi bo'lmish butun zanjirning natijaviy vol't-ampere xarakteristikasi $U(I)$ ni quramiz, (Rasm-29.2.a)

Nazariy egri chiziq $U(I)$ to'g'ri chiziq $U_C(I)$ ning ordinatasini egri chiziq $U_L(I)$ ning ordinatasidan ayirish natijasida hosil qilinganini ko'rish oson. Nazariy jihatdan $U(I)$ egri chizig'i M nuqtadan so'ng pastga ketishi kerak (punktir chiziq), ammo kuchlanishning effektiv qiymati manfiy miqdor bo'la olmaganligidan xarakteristikaning bu sohasida U kuchlanish (U_L-U_C) ayirma tarzida hisoblanadi. Zanjirning nochizig'iy vol't-ampere xarakteristikasi uchun xarakterli bo'lgan nuqta M hisoblanadi. Bu nuqtada o'zora teng $U_L=U_C$ kuchlanishlarga va tok $I_M=0$ ga manbaning $U=0$ kuchlanishi mos keladi (rezonansning shartli nuqtasi).

Bu hol g'altakning aktiv qarshiligi hamda elementlardagi tok va kuchlanishning egri chiziqlarida yuqori garmonikalarning hisobga olinmaganligining natijasidir. Bu real faktorlar hisobga olinsa, haqiqiy $U(I)$ egri chizig'i M nuqtadan yuqoriroq (punktir egri chiziq) o'tadi. Zanjir vol't-ampere xarakteristikasi egri chizig'ining boshqa xususiyati uning ko'p qiymatligidir. Masalan, zanjirning kirish tomonidagi kuchlanish $U=U'$ ga tokning uch xil I_1, I_2 va I_3 qiymatlari mos keladi. Manba kuchlanishi Uning kattaligi rostlanganda, ketma-ket ulangan zanjirdagi ferrozonansning bu va boshqa xususiyatlarini tekshiramiz.

Buning uchun kuchlanish ferrozonansining N nusxali egri chizig'i deb ataladigan, zanjirning real vol't-ampere xarakteristikasini ko'rib chiqish lozim bo'ladi. (Rasm-29.2,v). Manba kuchlanishi U 0 dan to $U=U_1$ gacha ortganda tasvirlovchi nuqta 0-4-1 egri chizig'i bo'yicha harakatlanadi, so'ngra kuchlanish $U=U_1$ da 1nuqtadan 2nuqtaga sakrash Bilan o'tib, tokning $I=I_1$ dan to $I=I_2$ gacha sakrashsimon ortishi kuzatiladi. Kuchlanish U va tok I ning bundan keyingi o'sishida tok I ning $I>I_2$ tomonga (2 nuqtadan o'ng tomonga) ohista o'sishi kuzatiladi.

Kuchlanish U ning $U=U_1$ tomonga kamayishi (teskari yurish) tok I ni kuchlanishning $U=U_3$ qiymatigacha asta-sekin kamaytirganda sodir bo'ladi. Bunda tok yana tadan 2nuqtaga sakrash Bilan o'tib, tokning $I=I_3$ dan to $I=I_4$ gacha sakrash bilan kamayadi. Kuchlanish U va tok I ning bundan keyingi kamayishi 4-0 uchastkada sodir bo'ladi. SHunday qilib, ko'chlanish Uning na to'g'ri va na teskari yo'nalishdagi o'zgarishida tasvirlovchi nuqta vol't-ampere xarakteristikaning 1-3 uchaskasiga tushmaydi.

Bunga ana shu (pasayuvchi) uchastkada zanjir dinamikaviy qarshiligining manfiyligi ($Z_{din} < 0$) sababdir. Haqiqatan ham, ixtiyoriy I' nuqtadan o'tkazilgan urinma KS 1-3 uchastkada β burchak hosil qiladi. Bu burchak IV kvadrantda ($0 < \alpha < -\frac{\pi}{2}$) joylashganidan zanjirning dinamikaviy qarshiligi $Z_{din} = \operatorname{tg} \beta < 0$, ya'ni manfiydir.

SHuning uchun zanjir vol't-ampere xarakteristikasining 1-3 sohasi **beqaror rejimlar** zonasi deb ataladi. Masalan, kuchlanish $U=U_{muv}=\text{const}$ da zanjirning muvozanat holatiga erishdik, deylik (unda $U_1 > U_{muv} > U_3$, $I_3 > I_{muv} > I_1$).

Endi tokning $I=I_{\text{muv}}$ qiymatdan salgina o'zgarishi tasvirlovchi nuqtaning 1-3 sohadan chiqib ketishi uchun kifoyadir. Aslida esa tokning juda ozgina (tasodifan) ortishi zanjirdagi kuchlanish tushuvining kamayishiga va, demak tokning bundan keyingi ortishiga olib keladi. Aksincha, tokning tasodifan kamayishi zanjirda kuchlanish tushuvining ortishiga va, demak tokning bundan keyingi kamayishiga sabab bo'ladi. Birinchi holda tasvirlovchi nuqta 3-2 barqaror uchastkaga, ikkinchi holda esa 4-1 barqaror uchastkaga o'tadi. Nuqtaning yangi vaziyati esa to'g'ri chiziqli $U=U_{\text{muv}}=\text{const}$ ning zanjir volt-amper xarakteristikasining birorta ko'tariluvchi qismlaridagi kesishish nuqtasi bilan aniqlanadi.

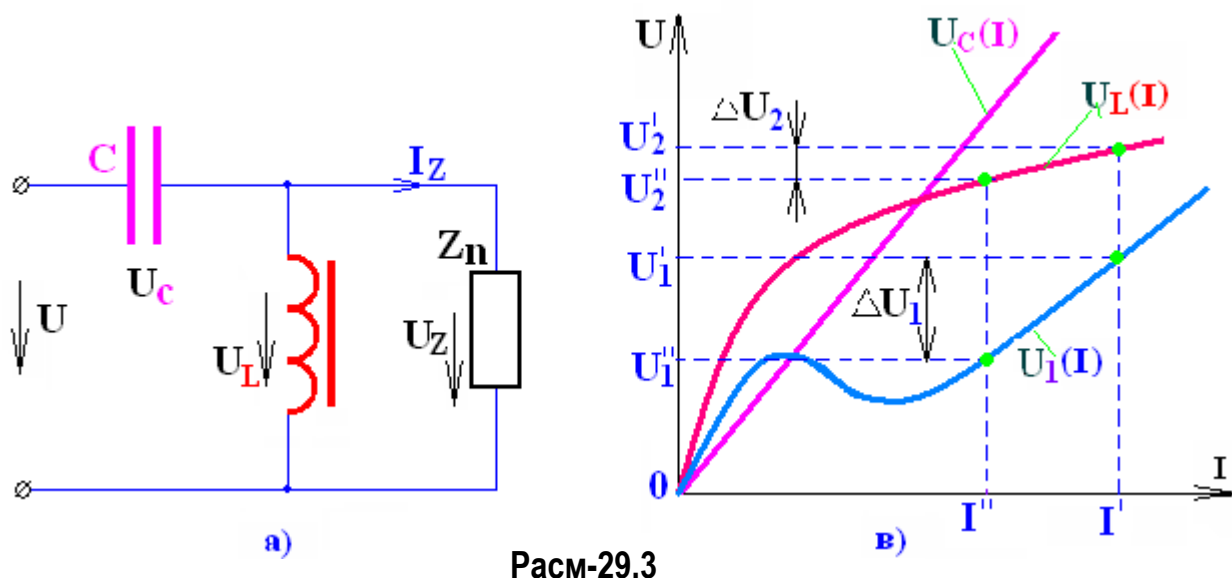
1-3 uchastka turg'un bo'lishi uchun kuchlanish manbaini rostlanuvchan tok manbaiga almashtirish lozim. O'shanday effektga ferreazonansiy konturni manba kuchlanishiga yetarlicha katta chiziqli qarshilik orqali ulash yo'li bilan erishish mumkin.

Nihoyat, 0-4-1-3 uchastkada zanjirning xarakteri induktiv, 3-2 uchastkada esa sig'imi ekanligini ta'kidlab o'tamiz.

SHuning uchun 1 dan 2 ga va 3 dan 4 ga sakrashsimon o'tishlarda tok I bilan berilgan kuchlanish U orasidagi fazaviy siljishning xarakter va miqdori o'shanday sakrashsimon o'zgarishlar, ya'ni **faza to'ntarilishi** sodir bo'ladi. 3 nuqtani shartli ravishda ferreazonansiy nuqta deb ajratish mumkin, chunki kuchlanish $U=U_3$ va tok $I=I_3$ da zanjirning xarakteri aktiv va tok I , kuchlanish u asosiy garmonikalarining ekvivalent sinusoidalari orasidagi fazaviy siljish burchagi nolga teng bo'ladi.

Ferreazonansli zanjirlarda kuchlanish va tokni stabilizatsiya

Ketma-ket ulangan ferreazonansiy zanjirlardan avtomatika sistemalarida va kontrol-o'lchash asboblari keng foydalaniladigan kontaktsiz rele, kuchlanish va tok



stabilizatorlarini yasashda foydalaniladi. Rasm-29.3,a) da ketma-ket ulangan $L(i)$ -S ferreazonansiy konturidan tuzilgan eng oddiy kuchlanish ferreazonans stabilizatorining sxemasi ko'rsatilgan. Bu sxemaning chiqish tomonidagi stabilanuvchi, ya'ni $L(i)$ ferromagnitaviy elementdagi $U_L=U_2$ kuchlanish, bir vaqtda nagruzka z_n dagi

kuchlanish U_2 hisoblanadi. z_n ning yetarli kata modulida $I_H = \frac{U_2}{Z_N}$ ni hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki $I \gg I_n$ va butun zanjirning natijaviy volt-ampere xarakteristikasi rasm-29.3,b) dagi ketma-ket ulangan nochizig'iy induktivlik $L(i)$ va chizig'iy sig'im S ning volt-ampere xarakteristikasi $U_1(I)$ dan farq qilmaydi.

U_1 va U_2 kuchlanishlarni $U_1(I)$ va $U_2(I)$ egri chiziqlar bo'yicha tok I ning o'sha bita diapozonida mumkin bo'lgan o'zgarishlarini solishtirib, bu kattaliklarning nisbatan o'zgarishlari taqqoslab bo'lmaydigan darajada turlicha ekanligini payqash mumkin. Masalan, zanjirning kirish tomonidagi. U_1 kuchlanish $U_1 = U'_1$ qiymatdan to $U_1 = U''_1$ qiymatgacha, ya'ni ΔU_1 ga kamaygan bo'lsin. $U_1(I)$ egri chizig'idan tok I ning $I = I'$ qiymatidan to $I = I''$ qiymatigacha kamayganligini topamiz. Ammo bu tok g'altak $L(i)$ dan oqib o'tayotganligi tufayli $U_2(i)$ egri chizig'idan $U_2 = U_L$ kuchlanishning $U_2 = U'_2$ qiymatdan to $U_2 = U''_2$ qiymatgacha, ya'ni ΔU_2 ga kamayganligini topamiz. $U_2(I)$ volt-ampere xarakteristikastikaning nochizig'iyligi tufayli kuchlanish U_2 ning uni boshlang'ich qiymatiga qaraganda o'zgarishi U_1 ning o'zgarishiga nisbatan juda kichik, ya'ni $\Delta U_1 \gg \Delta U_2$ ekanligini payqash oson. Nisbat $k = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$ kuchlanish bo'yicha

stabilizatsiya koeffitsienti deb ataladi.

Ko'rilgan sxema mukammal bo'lmasa ham, ferreazonans kuchlanish stabilizatorlarining ishlash printsiptini tushunarli darajada o'rganishga imkon beradi.

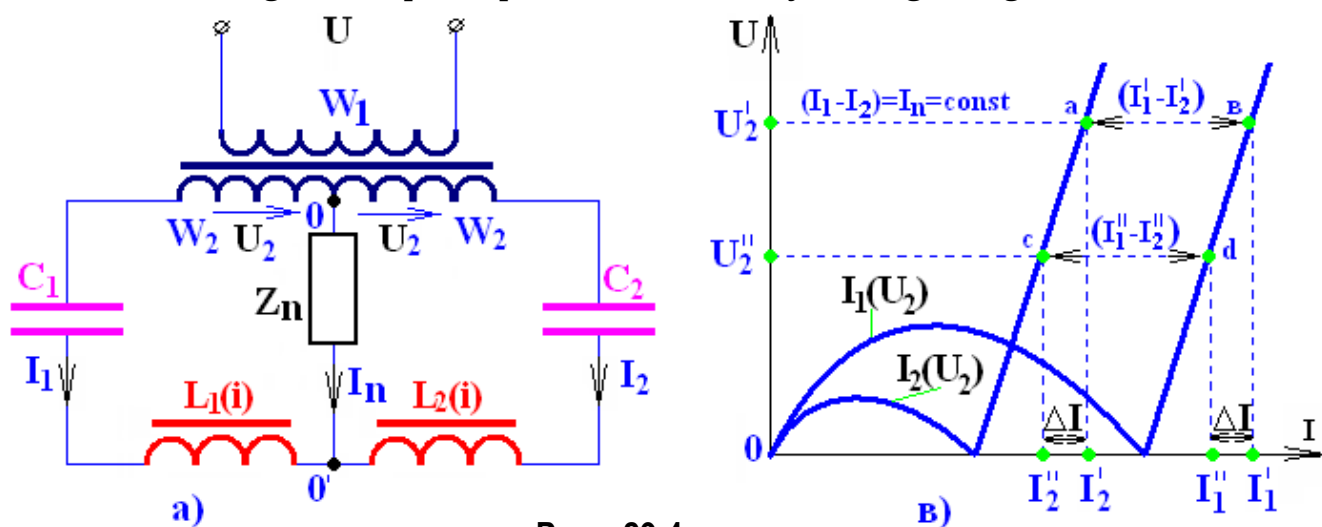


Рис-29.4

Real ferreazonans kuchlanish stabilizatorlarining (FKS) sxemalari yuqorida bayon etilganlardan birmuncha murakkab bo'lib, ko'pgina chizig'iy va nochizig'iy elementlardan iborat. FKS ning stabilizatsiya koeffitsienti bir necha o'ndan yuzlargaacha bo'lishi mumkin.

Tokni stabilizatsiya zanjirlarida kuchlanish ferreazonansidan foydalanishga differentsial sxema (Rasm-29.4,a) bo'yicha yig'ilgan tokning ferreazonans stabilizatori (TFS) misol bo'la oladi. TFS ning ish qismi chizig'iy transformator (Tr) ikkilamchi ω_2 chulg'aminin simmetrik yarim sektsiyalariga umumiy nagruzka qarshiligi Z_n orqali ketma-ket ulangan ikkita $L_1(i)$ -C va $L_2(i)$ -C ferreazonansiy konturlardan iborat.

Transformatorning birlamchi ω_1 chulg'ami sinusoidal kuchlanish u_1 ga ulangan. Ana shunday ulash tufayli ikkala nochizig'iy kontur transformator ikkilamchi chulg'amning har qaysi $\omega_2 = 2\omega_1$ yarim sektsiyalarida transformatsiyalangan, kattaligi va

fazasi bir xil bo'lgan kuchlanish U_2 ta'sirida bo'ladi.

Agar ferreazonansiy konturlar bir xil bo'lganda edi hosil bo'lgan ko'priknining OO' diagonalidagi tok kuchlanish U_2 ning har qanday qiymatida nolga teng bo'lardi.

Ammo $L_1(i)$ -C va $L_2(i)$ -C₂ konturlarning parametrlari shunday tanlanganki, ularning $I_1(U_2)$ va $I_2(U_2)$ volt-amper xarakteristikalarining egri chiziqlari ikkinchi ko'tarilish qismlarida (Rasm-29.4,v) o'zaro parallel bo'ladi. Ana shu tufayli U_2 kuchlanish effektiv qiymatining kata o'zgarish diapazonida eslatib o'tilgan qismlar orasidagi masofa o'zgarishsiz qoladi. Ammo av va sd kesmalar abstsissa o'qiga parallel bo'lgani uchun $U_2=0$ bo'lganda ham bir xil bo'lib, toklarning ayirmasi (I_1-I_2) o'zgarishsiz qoladi.

TFSning sxemasi bo'yicha ayirma tok $I_1-I_2=I_n$ ko'priknining OO' diagonaliga ulangan Z_n nagruzkadan oqib o'tadi.

Demak, ana shu tok stabillangan tok bo'lib, amalda zanjirning chiqish tomonidagi U_2 va kirish tomonidagi U_1 kuchlanishlarning kattaliklariga bog'liq emas.

$I_1(U_2)$ va $I_2(U_2)$ volt-amper xarakteristikalarining kuchli deformatsiyalanmasligi uchun qarshilik Z_n ning kattaligi nisbatan kata bo'lmasligi kerakligini eslatib o'tamiz.

Toklar ferreazonansi

Quyida (Rasm-29.5) elementlari parallel ulangan ferreazonansli zanjirning sxemasi, tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Zanjirni grafikaviy metod bilan hisoblaymiz. Bunda nochiq'iy induktivlik $L(i)$ ning o'zagidagi aktiv isroflarni nolga teng, tok i_L ning haqiqiy (nosinusoidal) egri chizig'i asosiy garmonikaning unga ekvivalent sinusoidal bilan almashtirilgan deb faraz qilamiz.

U holda, vektoriy diagrammada ko'rsatilgandek, g'altakdagi tok I_L va sig'imdagi

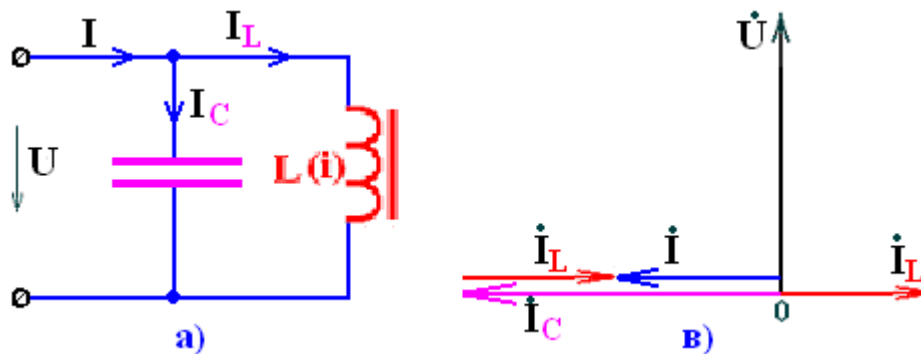


Рис-29.5

tok I_C qarama-qarshi fazada bo'lib, butun zanjirdagi tok I o'zining assolyut qiymati bo'yicha $I=(I_L-I_C)$ ayirmaga teng.

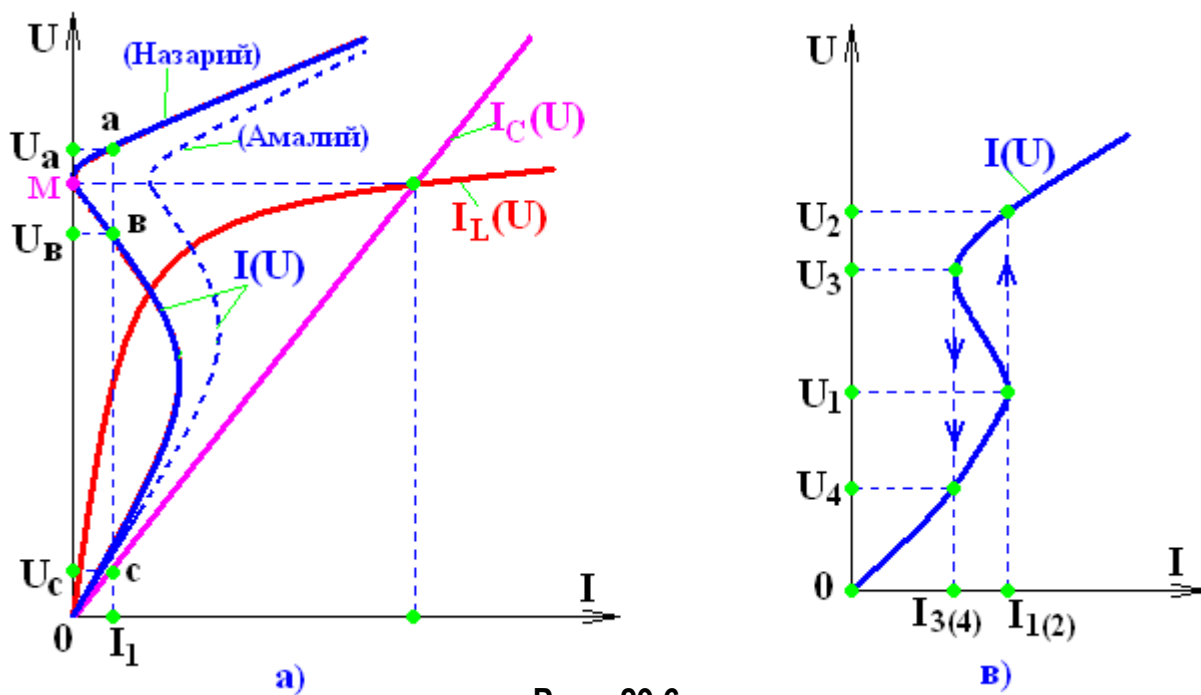
Rasm-29.6,a) da ko'rsatilgan zanjirning grafikaviy qurilgan natijaviy volt-amper xarakteristikasi $I(U)$ chizig'iy kondensator C ning volt-amper xarakteristikasini tasvirovchi to'g'ri chiziq $I_S(U)=\omega CU$ dan induktiv g'altak $L(i)$ ning egri chizig'i (abstsissa o'qi bo'yicha) ayirish yo'li bilan hosil qilingan. Bu xarakteristika maksimum va minimumlari aniq ifodalangan S nusxali egri chiziqdir.

Nazariy egri chiziq $I(U)$ alohida M nuqtaga ega. Bu nuqtada $U \neq 0$ bo'lganda ham tok I nolga teng bo'ladi. Bu esa aktiv isrof va yuqori garmonikalarning yo'qligi to'g'risida qabul qilingan farazlar tufayli mumkin bo'ldi. Real sharoitda ferromagnitaviy elementning o'zagida va g'altak chulg'aming aktiv qarshiligidagi

isroflar, shuningdek, g'altak toki i_L ning egrichizig'i yuqori garmonikalarning bo'lishi tufayli, butun zanjirdagi tok $U=U_M$ da nolga teng bo'lmaydi (tajribada hosil qilingan $I(U)$ punktirli xarakteristikaga qarang).

Kuchlanish ferreazonansi holidagiga o'xshash nochiziqli xarakteristika $I(U)$ ning qiymatlari turlichadir. Masalan, tok $I=I_1$ ning qiymatiga berilgan kuchlanishning turli uchta U_a , U_v , va U_s qiymati to'g'ri keladi.

Bu xarakteristikadan (Rasm-29.6,v) zanjirga berilgan kuchlanish U ni asta-sekin yuqoriga (qandaydir maksimumgacha) va pastga (nolgacha) o'zgartirganda tokning $I(U)$



Расм-29.6

egri chiziqning barcha nuqtalaridan to'g'ri va teskari yo'nalishda ketma-ket o'tishi ko'rinib turibdi, ya'ni kuchlanish U ni rostlaganda volt-ampere xarakteristikaning pasayuvchi 1-3 uchastkasi turg'un hisoblanadi. Agar tok I rostlanadigan bo'lsa, u holda tok $I=I_1$ qiymatga erishganda ferreazonansiy konturning U kuchlanishi $U=U_1$ qiymatidan to $U=U_2$ qiymatigacha sakrashsimon ortadi. Tok I ning bundan keyingi ortishida tasvirlovchi nuqta 2 dan o'ng tomonga harakatlanadi.

Tok I ni $I=I_1$ qiymatgacha kamaytirilganda (teskari yurish) kuchlanishning $U=U_3$ qiymatdan to $U=U_4$ gacha qayta sakrashsimon (endi pastga) o'zgarishi sodir bo'ladi. Keyinchalik U va I asta-sekin nolgacha kamayadi.

SHunday qilib, zanjirdagi tokni rostlaganda zanjir xarakteristikasining 1-3 zonasi turg'un bo'ladi. Kuchlanishning sakrashlari fazalar to'ntarilishi bilan sodir bo'ladi, chunki $I(U)$ volt-ampere xarakteristikasining 0-4-1-3 uchastkasida zanjirning xarakteristi sig'imi bo'lsa, 3-2 uchastkada induktivdir. 3 nuqtani shartli ravishda toklarning **ferreazonans nuqtasi** deb atash mumkin, chunki kuchlanish $U=U_3$ va tok $I=I_3$ da zanjirning xakteri aktiv va kuchlanish U bilan tok I ning fazalari orasidagi siljish burchagi nolga teng bo'ladi.

Parallel ulangan ferreazonansiy zanjirlar kuchlanish va toklarni stabillash, o'zgaruvchan tok chastotasi va fazalari sonini o'zgartgich va boshqa qurilmalarda keng ishlatilmoqda.

1.2. Amaliy mashg'ulotlar

O'zgarmas tok zanjirlarini xisoblash bo'yicha nazariy ma'lumotlar

Elektr zanjiri deb manbalar va ularga ulangan iste'molchilarning yigindisiga aytiladi, bu zanjirdan ma'lum tok oqib utadi. Elektr zanjirlaridagi elektromagnitaviy jarayonlar tok, kuchlanish, elektr yurituvchi kuch (EYuK) qarshilik (o'tkazuvchanlik), induktivlik, sigim kabi tushunchalar orqali ifodalanadi. Zanjirlardagi tok ikki xil o'zgaruvchan yoki o'zgarmas bo'lishi mumkin. Shuningdek nosinusoidal tok deb ataluvchi elektr toklari ham mavjud bo'lib bunday zanjirlarni keyinroq ko'ramiz.

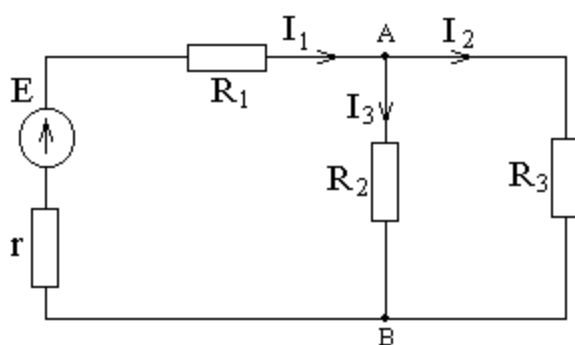
Vaqt davomida son qiymati va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok- o'zgarmas tok deb ataladi. Ya'ni bunda zaryad tashuvchilar (elektronlar) bir tomonga xarakatlanadi. O'zgarmas elektr tokida tok kuchi, kuchlanish, EYuK va qarshilik kabi parametrlar o'zaro bog'langan bo'ladi, shu bog'lanishni urganish elektr zanjirlarida muxim rol o'ynaydi. Xalqaro birliklar sistemasida (SI) tok kuchi- Amper (A), kuchlanish- Volt (V), qarshilik- Om va o'tkazuvchanlik- simens (Sm) deb qabul qilingan. Bu birliklar orasida tok kuchi va kuchlanishni bog'lanishi muxim xususiyatga ega va buni voltamper xarakteristika deb ataladi. Agar elektr zanjiri, yoki elementning voltamper xarakteristikasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa bu zanjir yoki element chiziqli deb ataladi.

Masalan aktiv qarshilik $R = \rho \frac{\ell}{S}$, bu yerda (ρ -solishtirma qarshilik, L -uzunlik, S -simning kesim yuzasi).

Om qonunga ko'ra bu qarshilikdan o'tayotgan tok kuchi $I = \frac{U}{R}$, yoki $J = g \cdot U$ (g - o'tkazuvchanlik) bo'lgani uchun aktiv qarshilik chiziqli element bo'lib, aktiv qarshiliklardan tuzilgan zanjir ham chiziqli elektr zanjiri bo'ladi. Agar elementning voltamper xarakteristikasi egri chiziqdan iborat bo'lsa (masalan diod, termorezistor va xakoza) bunday element nochiziqli element, bunday elementli elektr zanjiri nochiziqli zanjir deb ataladi.

Elektr zanjirlarini hisoblashda tugun va kontur tushunchalari ko'p ishlatiladi. Kontur halqa so'ziga mos bo'lib elektr zanjirida tokning yopiq halqa hosil qilgan yulini bildiradi. Tugun esa elektr zanjirlarida tarmoqlanish nuqtalarini bildiradi, boshqacha aytganda uch va undan ortiq simlarning o'zaro tutashgan joyi tugun deb ataladi. Konturda ikki tugunning oraligi tarmoq deb yuritiladi va tarmoqda elementlar ketma-ket joylashgan bo'ladi.

Rasm-1.1 da keltirilgan tarmoqlangan zanjirda A va B nuqtalar tugunlar deyiladi. Zanjirda 3 ta kontur mavjud $E R_1 R_2 r$ -chap kontur, $R_2 A R_3 B$ undagi va $E R_1 A R_3 B$ r tashqi kontur, tarmoqlar esa uchta bo'lib A, B tugunlarga nisbatan olinadi. 1-tarmoqda



Расм-1.1

E, r, R, elementlar mavjud 2-tarmoqda R_2 , 3-tarmoqda R_3 qarshiliklar mavjud.

Zanjirni biror qismidagi kuchlanishni topish uchun shu qism uchlaridagi potensiallar ayirmasi hisoblanadi, masalan 2.2-rasmda R_2 qarshilikdagi U_2 kuchlanish A va B tugunlar orasidagi potensiallar ayirmasiga teng, $U_{AB} = \phi_A - \phi_B$ yoki Om qonuniga ko'ra R_2

qarshilikdagi kuchlanish $U_2 = \varphi_A - \varphi_B = I_2 \cdot R_2$

Tarmoqda iste'molchidan tashqari EYuK manbasi ham bo'lishi mumkin, bunda potentsiallar farqini hisoblashda EYuK ni yo'nalishi va tarmoqdagi tok yo'nalishini bilish kerak. Potensial doimo tok yo'nalishi bo'yicha kamayib boradi, agar EYuK tok yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa EYuK manfiy ishora bilan, aksincha bo'lsa musbat ishora bilan olinadi. Masalan: 1.1-rasmda A va B tugunlar orasidagi potentsiallar farqini $E R_1$ tarmoq bo'yicha hisoblash mumkin, ya'ni:

$$U_{AV} = \varphi_A - \varphi_V = Ir + IR_1 - E.$$

Bunda tok yo'nalishi konturda soat strelkasi yo'nalishida deb hisobladik.

Elektr zanjirida asosiy elektr kattaliklar tok kuchi, kuchlanish, qarshilik (o'tkazuvchanlik) kabi parametrlar Om va Kirxgof qonunlari orqali o'zaro bog'langan. Zanjirdagi (Rasm-1.1) dagi R_1 dan o'tayotgan tok kuchi A va V tugunlar orasidagi kuchlanishga to'g'ri proporsional va R_2 ga teskari proporsional, ya'ni: $I = \frac{U_{AB}}{R_2}$

Bu munosabat zanjirni bir qismi uchun Om qonunini ifodalaydi, chunki u zanjirning biror bir qismidagi tokni aniqlaydi va bunda shu qismlar qarshiligi katnashadi. O'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash koidalariga ko'ra R_2 va R_3 qarshiliklar o'zaro parallel ulangan bo'lib, ularning birgalikdagi qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ yoki } R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Zanjirda R_1 qarshilik R_{23} qarshilikka ketma-ket ulangan, shuning uchun u quyidagiga teng bo'ladi: $R_{123} = R_1 + R_{23} = R_{ekv}$

Bunda R_{ekv} -qarshilik zanjirning ekvivalent qarshiligi deb yuritiladi. Agar $R_1 R_2 R_3$ qarshiliklarni bitta R_{ekv} -qarshilik deb qaraydigan bo'lsak bu qarshilik har doim EYuK manbasining ichki qarshiligiga ketma-ket ulangan bo'ladi, shuning uchun Om qonunini quyidagicha yozish mumkin: $I = \frac{E}{R_{ekv} + r}$ - bu ifoda berk zanjir uchun Om qonuni deb

ataladi.

Manba kiskichlaridagi kuchlanish $U_m = E - IR_t$ ga teng bo'lsa, u EYuK dan kichik bo'lib, tashqi zanjirdagi kuchlanish tushuvi IR_t ni kompensasiyalaydi. Manbadan chikuvchi energiya $R_m = E \cdot I$ yoki $R_{istem} = I_2 r + I_2 R_t$

EYuK manbaining ichki qarshiligi qancha kichik bo'lsa, uning ishlab chiqarayotgan energiyasining quvvati shunchalik katta bo'ladi. Manbaning ichki qarshiligi nolga teng bo'lsa bunday manbalar cheksiz quvvatli generatorlar deb ataladi, lekin amalda doimo manbaning ichki qarshiligi noldan katta bo'ladi.

Barcha turdagi elektr zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari ham o'rinlidir. Kirxgofning birinchi qonunini ifodalash uchun yana 1.1-rasmga qaytamiz. A tugunga kirayotgan I_1 tok shu tugundan chikayotgan I_2 va I_3 toklarning algebraik yigindisiga teng. Boshkacha qilib aytganda tugunda toklar yuqolmaydi, buni xuddi arikdagi suvga o'xshatish mumkin.

Kirxgofning birinchi qonuni: «Tugundagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng», ya'ni: $\sum_{i=1}^n I_i = 0$

Kirxgofning ikkinchi qonuni: «Konturdagi EYUK larning algebraik yigindisi shu

kontur elementlaridagi kuchlanish tushuvlarining algebraik yigindisiga teng», ya'ni:

$$\sum R \cdot I = \sum E$$

Ushbu r , E , R_1 va R_2 elementlardan iborat kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonunini quyidagicha yozish mumkin: $E = I_1(R_1 + R_2 + r) - I_2 R_2$

Potensiallar ayirmasi U_{AB} va zaryadlar soni $\Sigma q_0 = q$ qancha katta bo'lsa, bajarilayotgan ish ham shuncha katta bo'ladi, ya'ni: $A = q \cdot U$ $q = I \cdot t$ $A = I \cdot U \cdot t$

Vaqt bo'yicha o'zgarmas kuchlanish va tokning bajargan ishi kuchlanishni tokka va vaqtga ko'paytmasiga teng.

Bajarilgan ishni vaqtga nisbatini ifodalovchi quvvat tushunchasi ham mavjud, ya'ni: $P = A/t = U \cdot I$ (Vt), (kVt), (MVt)

Xalqaro birliklar tizimi (SI) da energiya (ish) birligi qilib Joule qabul qilingan, lekin bu elektroenergetika qurilmalarini ishini real yoritish uchun bu juda kichik miqdordir. Shuning uchun amalda (kVt·soat) lardan foydalaniladi: $1 \text{ kVt} \cdot \text{soat} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
Elektr tokining issiqlik ta'siri Joule qonuniga binoan quyidagiga teng bo'ladi: $A = I \cdot U \cdot t = I^2 \cdot r \cdot t = Q$

Masala:

Qarshiliklari $r_1 = 2 \text{ Om}$, $r_2 = 5 \text{ Om}$, $r_3 = 3 \text{ Om}$ bo'lgan elektr zanjiri elektr yurituvchi kuchlari $E_1 = 50 \text{ V}$, $E_2 = 70 \text{ V}$ bo'lgan manbaga ulangan. (Rasm-1.2) Zanjirdagi tokning qiymati va qarshiliklardagi kuchlanishlarning pasayishini aniqlang.

Yechish:

Berk zanjir (Rasm-2.3) uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz:

$E_1 + E_2 = I(R_1 + R_2 + R_3)$. Bu tenglamadagi parametrlarni o'rniga qiymatlarni qo'yib yechamiz:

$$120 = 10 \cdot I \quad I = 12 \text{ A}$$

Har bir qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvini hisoblaymiz: $U_1 = R_1 I = 2 \cdot 12 = 24 \text{ B}$, $U_2 = R_2 I = 5 \cdot 12 = 60 \text{ B}$, $U_3 = R_3 I = 3 \cdot 12 = 36 \text{ B}$

Ketma-ket ulangan qarshiliklarda tok kuchi bir xil bo'ladi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan quyidagi tenglamani tuzish mumkin:

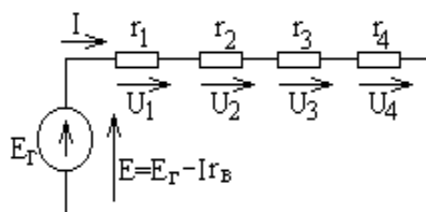
$$E = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = I(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) = I \cdot r$$

Zanjirning umumiy qarshiligi rezistorlar qarshiliklarini yig'indisiga teng: $r = \sum_{k=1}^n r_k$

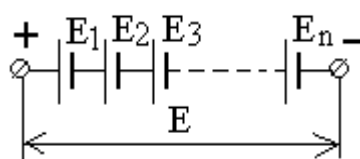
Om qonuniga binoan kuchlanishlar: $U_1 = I \cdot r_1$; $U_2 = I \cdot r_2$; $U_3 = I \cdot r_3$; $U_4 = I \cdot r_4$;

Zanjirning quvvati qismlar quvvatlarining yig'indisiga teng:

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = I^2 r_1 = I^2 r_2 = I^2 r_3 = I^2 r_4;$$



Rasm-1.3



Rasm-1.4

Elektr energiya manbalari ketma-ket ulanganda (Rasm-1.4), manba kuchlanishi ortib ketadi, ya'ni: $Y_e = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = nE_0$

Bunda umumiy manbaning ichki qarshiligi ham shunchaga ortadi, ya'ni: $R_{ich} = n \cdot R_0$

Rezistorlar paralel ulanganda hamma paralel tarmoqlarning qisqich-laridagi kuchlanish bir xil bo'ladi: $U = I_1 r_1 = I_2 r_2 = I_3 r_3 = I_4 r_4$;

Zanjirdagi tok kuchi Kirxgofning birinchi qonuniga asosan paralel tarmoqlar dagi tok kuchlarining yig'indisiga teng:

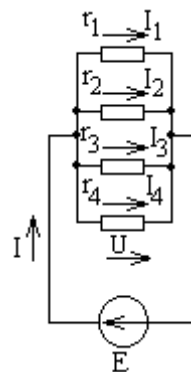
$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = U/r_1 + U/r_2 + U/r_3 + U/r_4 = U(g_1 + g_2 + g_3 + g_4)$$

Umumiy o'tkazuvchanlik paralel tarmoqlarning o'tkazuvchanliklarini yig'indisiga teng:

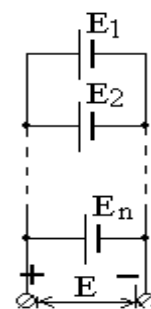
$$g = \sum_{k=1}^n g_k \text{ yoki } r = \frac{1}{g} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n g_k}$$

Paralel tarmoqlarning tok kuchlari Om qonuniga binoan: $I_1 = Ug_1$; $I_2 = Ug_2$; $I_3 = Ug_3$; $I_4 = Ug_4$

Zanjirning quvvati tarmoqlar quvvatlarini yig'indisiga teng.



Rasm-1.5



Rasm-1.6

Elektr energiya manbalari paralel ulanganda, manba kuchlanishi o'zgarmaydi, ya'ni: $E = E_0$

Bunda umumiy manbaning ichki qarshiligi shunchaga kamayib ketadi, ya'ni: $R_{ich} = R_0/m$

Elektr energiya manbalari paralel ulanganda, umumiy quvvat ortib ketadi, ya'ni: $R = m \cdot R_0$

Elektr energiya manbalarini va iste'molchilarini aralash ham ulash mumkin. Agar bir nechta manbalarni ketma-ket ulab, kerakli kuchlanishni xosil qilib, xuddi shunday ketma-ket ulangan zanjirlarni bir nechtasini paralel ulansa aralash ulangan zanjir xosil bo'ladi (Rasm-1.7). Bunda manbaning kuchlanishi quyidagicha bo'ladi: $E = E_{kk} = n \cdot E_0$

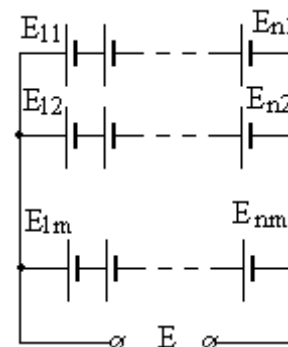
Manbaning ichki qarshiligi esa quyidagicha bo'ladi: $R_{ich} = \frac{n}{m} \cdot R_0$ bu yerda: R_0 -bitta manbaning ichki qarshiligi; n -ketma-ket ulangan manbalar soni; m -paralel ulangan manbalar soni. Manbaning quvvati esa quyidagigiga teng bo'ladi: $P = m \cdot P_0$ bu yerda P_0 -bitta manbaning quvvati.

Masala: Ichki qarshiligi $R_{ich} = 6 \text{ Om}$ ga va kuchlanishi $E_0 = 1,5 \text{ V}$ ga teng bo'lgan EYuK manbalari aralash ulangan (rasm-1.7), bu yerda $n=6$ va $m=3$ ga teng bo'lsa, umumiy kuchlanishni va ichki qarshilikni aniqlang.

Yechilishi: Manbaning kuchlanishi aniqlaymiz: $E_m = n \cdot E_0 = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ V}$.

Manbaning ichki qarshiligini aniqlaymiz:

$$= \frac{n}{m} \cdot R_0 = \frac{6}{3} \cdot 6 = 12$$



Rasm-1.7

Agar elektr energiya iste'molchilarining bir nechtasi paralel va bir nechtasi ketma-ket ulansa, bunday zanjirlar aralash ulangan zanjirlar yoki murakkab zanjirlar deyiladi. Bunday zanjirlarni o'rganishda turli usullardan foydalanib, tok kuchi, kuchlanishlar tushuvi va boshqa

parametrlar aniqlanadi.

Masala: Rasm-1.1 da berilgan zanjirda $R_1=2\text{ Om}$, $R_2=3\text{ Om}$, $R_3=4\text{ Om}$, $E=50\text{ V}$ va $r=1\text{ Om}$ bo'lsa, har bir tarmoqdagi toklarni hisoblang.

Yechilishi: Zanjirni ekvivalent qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{\text{ekv}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + R_1 + r = \frac{3 \cdot 4}{3 + 4} + 2 + 1 = 4,7\text{ Om}$$

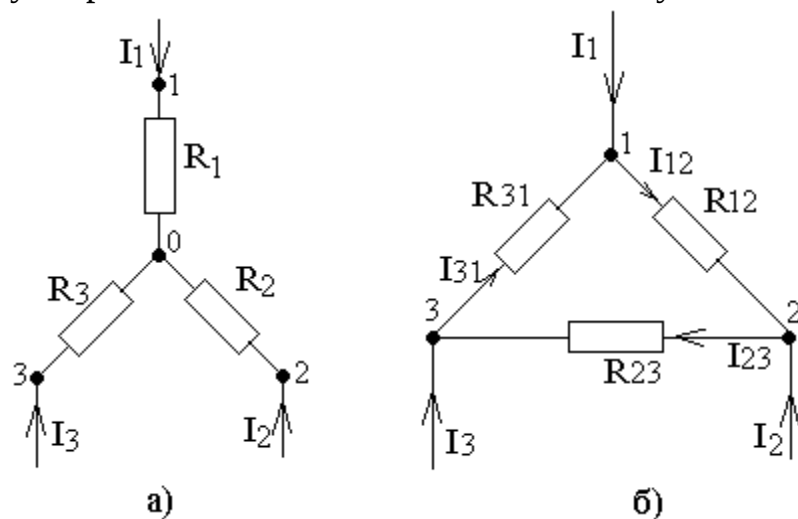
Har bir tarmoqdagi toklarni hisoblaymiz:

$$I_1 = \frac{E}{R_{\text{ekv}}} = \frac{50}{4,7} = 10,6\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E - I_1 R_1}{R_2} = \frac{50 - 10,6 \cdot 2}{3} = 9,6\text{ A}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 10,6 - 9,6 = 1\text{ A}.$$

Murakkab elektr zanjirlarni turli usullar bilan hisoblashda bazan zanjirning yoki uning bir qisminiekvivalent qarshiligini ixtiyoriy olingan ikkita tugunga nisbatan aniqlash zarur bo'ladi, ammo barcha hollarda ham murakkab ulashni oddiy ketma-ket yoki parallel ulash bilan almashtirib bo'lmaydi.



Rasm-1.8

Agar zanjirning bir qismi yulduz usulida ulangan R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklar va ularga tashqi zanjirdan ixtiyoriy I_1 , I_2 va I_3 toklar kelayotgan bo'lsa, shu zanjirga ekvivalent bo'lgan uchburchak usulida ulangan zanjir, qarshiliklari R_{12} , R_{23} , R_{31} bo'lgan 1, 2 va 3 tugunlar ichiga joylashgan bo'lib, butunlay yangi rejimda ishlaydi, lekin butun zanjirning ish rejimini o'zgartirmaydi. (Rasm-1.8)

Qarshiliklari yulduz tarzida ulangan zanjirni

qarshiliklari uchburchak tarzida ulangan ekvivalent zanjirga almashtirish mumkin, bunda yulduz tarzida ulangan zanjir qarshiliklari R_1 , R_2 va R_3 bo'yicha unga ekvivalent bo'lgan uchburchak tarzida ulangan zanjir qarshiliklari R_{12} , R_{23} va R_{31} aniqlash mumkin, ya'ni:

$$\begin{cases} R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \\ R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \\ R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2} \end{cases}$$

Huddi shu yo'l bilan uchburchak usulida ulangan zanjir qarshiliklarini, o'sha zanjir qarshiliklari R_{12} , R_{23} va R_{31} ga ekvivalent bo'lgan R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklari yulduz usulida ulangan zanjirga almashtirish mumkin, bunda qarshiliklar

qiymatiquyidagiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Masala:

Rasm-3.6.a. da berilgan zanjir uchun ekvivalent induktivlikni aniqlang. Zanjir parametrlari quyidagicha: $L_1=L_4=2$ Gn; $L_2=L_3=4$ Gn

Yechish:

1. Zanjirdagi yulduz usulida ulangan L_1 , L_2 va L_3 induktivliklarni. uchburchak usulida ulangan ekvivalent sxemaga almashtiramiz (Rasm-1.9, b):

$$L_{12}=L_1+L_2+L_1L_2/L_3=2+4+2\cdot4/4=8 \text{ Gn}$$

$$L_{23}=L_2+L_3+L_2\cdot L_3/L_1=4+4+4\cdot4/2=16 \text{ Gn}$$

$$L_{31}=L_3+L_1+L_3L_1/L_2=4+2+4\cdot2/4=8 \text{ Gn}$$

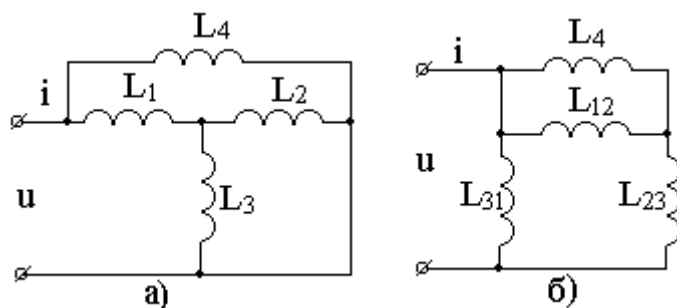
2. L_4 va L_{12} induktivliklar parallel ulangani uchun ularga ekvivalent bo'lgan induktivlikni topamiz:

$$L_{124} = \frac{L_4 \cdot L_{12}}{L_4 + L_{12}} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \text{ Gn.}$$

3. Butun zanjirlarni ekvivalent induktivligini topamiz:

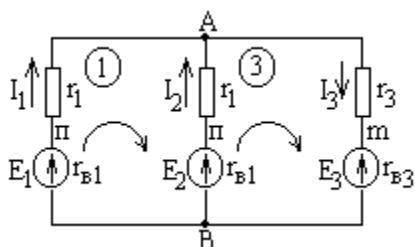
$$L'_{23}=L_{124}+L_{23}=1,6+16=17,6 \text{ Gn}$$

$$L_{\text{ekv}} = \frac{L_{31} \cdot L'_{23}}{L_{31} + L'_{23}} = \frac{8 \cdot 17,6}{8 + 17,6} = 5,5 \text{ Gn}$$



Rasm-1.9

Ikki va undan ortiq manbaga ega elektr zanjiri murakkab hisoblanadi. Bunday murakkab zanjirlarni bir necha usulda o'rganish mumkin, masalan, *Kirxgof qonunlarini bevosita qo'llash* usulida I va II qonunlar asosida elektr zanjirini tugunlari va konturlari uchun tenglamalar tuziladi va bu tenglamalar yechilib noma'lum toklar topiladi.



Rasm-1.10

Tenglamalarni umumiy soni noma'lum toklar soniga teng bo'lishi kerak. Kirxgofning I qonuni asosida tuzilgan tenglamalar soni zanjir tugunlari sonidan bitta kam bo'lishi kerak. Qolgan tenglamalar Kirxgofning II qonuni asosida tuziladi.

Masalan, Rasm-1.10 da keltirilgan zanjir uchun tenglamalar tuzamiz:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 (r_1+r_{u1})-I_2 (r_2+r_{u2}) = E_1 - E_2$$

$$I_2 (r_2+r_{u2}) + I_3 (r_3+r_{u3}) = E_2 - E_3$$

Konturlarni aylanish yo'nalishini (rasmda ko'r-satilgan) soat ko'rsatkichini aylanishi yo'nalishida oldik. Tuzilgan uch tenglamani yechib, noma'lum tok kuchlarini topami, masalan:

$$I_1 = \frac{(E_1 - E_2)(R_2 + R_{U2} + R_3 + R_{U2}) + (E_2 - E_3)(R_2 + R_{U2})}{(R_1 + R_{U1})(R_2 + R_{U2}) + (R_2 + R_{U2})(R_3 + R_{U3}) + (R_3 + R_{U3})(R_1 + R_{U1})}$$

$$I_2 = \frac{I_1(R_1 + R_{U1}) - E_1 + E_2}{R_2 + R_{U2}}; \quad I_3 = I_1 + I_2$$

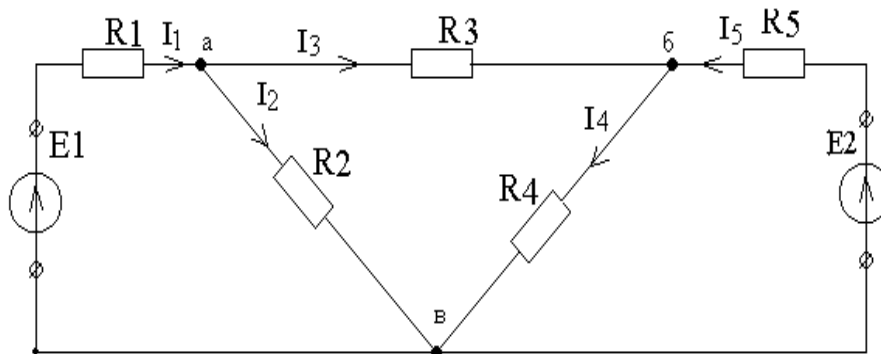
Toklarni topib, boshqa kerak bo'lgan kattaliklarni ham topish mumkin.

Kontur toklar usulida

Bu usulda tenglamalar faqat Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tuziladi, buning uchun konturlarning kerakli soni tanlanadi. Har bir konturda kontur toki mavjudligi ko'zda tutiladi, tokning musbat yo'nalishi ixtiyariy ko'rsatib qo'yiladi. Ustama prinsipidan kelib chiqib, hisoblanadiki, xar bir konturda kontur toklari oqadi va ulardan tarmoq toklari hosil bo'ladi. Tenglamalar har bir kontur uchun tuziladi, konturni o'zini kontur toki yo'nalishida aylaniladi va har bir kontur tokdan hosil bo'lgan kuchlanish tushuvi hisobga olinadi. Bunda mazkur tok konturni aylanish yo'nalishi bilan to'g'ri kelsa, qo'shiladigan qiymatlarni musbat hisoblanadi va yo'nalishlar teskari bo'lsa, manfiy hisoblanadi.

Mazkur konturning qarshiliklarini yig'indisini konturning o'zini qarshiligi deyiladi. Ikkita kontur tarkibiga kiradigan qarshiliklarni yig'indisi o'zaro qarshilik deyiladi. qaysidir konturda harakatlanayotgan hamma EYuK-larni algebraik yig'indisi kontur EYuK-si deyiladi. Tuzilgan tenglamalarni har qaysi kontur toki I_K -ga nisbatan yechib, uning qiymati topiladi. Har bir rezistordagi tok kuchi kontur toklarning algebraik yig'indisiga teng.

Rasm-1.11 da berilgan zanjir uchun I, II va III konturlardan faqat kontur toklar II,



Rasm1.11

III va IIII o'tayotgin va bu toklar qarshiliklarda kuchlanishlar tushuvini xosil qilayotgan bo'lsa, uxolda tarmoqdagi xaqiqiy toklar bilan kontur toklar quyidagicha bog'langin bo'ladi: $I_1 = I_I$ $I_2 = I_I - I_{II}$ $I_3 = I_{II}$ $I_4 = I_{II} + I_{III}$ $I_5 = I_{III}$

Berilgan zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tenglamalar tuzish mumkin, ya'ni:

$$\begin{cases} I_I R_{12} - I_{II} R_2 = E_1 \\ -I_I R_2 + I_{II} R_{234} + I_{III} R_4 = 0 \\ I_{II} R_4 + I_{III} R_{45} = E_2 \end{cases}$$

Bu tenglamalar kontur toklar tenglamalari deb ataladi.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_I R_{11} + I_{II}R_{12} + I_{III}R_{13} \dots\dots + I_n R_{1n} = E_{11} \\ I_I R_{21} + I_{II}R_{22} + I_{III}R_{23} \dots\dots + I_n R_{2n} = E_{22} \\ I_I R_{31} + I_{II}R_{32} + I_{III}R_{33} \dots\dots + I_n R_{3n} = E_{33} \\ \dots\dots\dots \\ I_I R_{n1} + I_{II}R_{n2} + I_{III}R_{n3} \dots\dots + I_n R_{nn} = E_{nn} \end{array} \right.$$

Yuqoridagi tenlamalar sistemasiga aniqlovchilar va minorlarni tadbiq qilib, kontur toklarni topish mumkin.

Yechilishi:

$$I_1=I_I \quad I_2=I_I-I_{II} \quad I_3=I_{II} \quad I_4=I_{II}+I_{III} \quad I_5=I_{III}$$
$$\begin{cases} E_1 = I_I R_{11} - I_{II} R_{12} \\ 0 = -I_I R_{21} + I_{II} R_{22} + I_{III} R_{23} \\ E_2 = I_{II} R_{32} + I_{III} R_{33} \end{cases}$$

Berilgan zanjir uchun yuqorida tuzilgan tenglamalar uchun aniqlovchilar va minorlarni aniqlaymiz:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & R_{13} \\ -R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & -2 & 0 \\ -2 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 20$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} R_{22} & R_{23} \\ R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 7$$

$$\Delta_{12} = \Delta_{21} = (-1)^{1+2} \cdot \begin{vmatrix} -R_{21} & R_{23} \\ R_{31} & R_{33} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} -2 & 1 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} = 4 \qquad \Delta_{13} = \Delta_{31} = \begin{vmatrix} -R_{21} & R_{22} \\ R_{31} & R_{32} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -2 & 4 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = -2$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{13} \\ R_{31} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} = 8$$

$$\Delta_{23} = \Delta_{32} = (-1)^{2+3} \cdot \begin{vmatrix} R_{22} & R_{23} \\ R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 4 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 4$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} \\ -R_{21} & R_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 12$$

$$E_{11} = E_1 = 40 \text{ B} \quad E_{22} = 0 \quad E_{33} = E_2 = 10 \text{ B}$$

Yuqoridagilardan foydalanib kontur toklarni quyidagicha topish mumkin:

$$I_1 = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{13}}{\Delta} \cdot E_2 = 13 \text{ A} \quad I_{11} = \frac{\Delta_{21}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{23}}{\Delta} \cdot E_2 = 6 \text{ A} \quad I_{111} = \frac{\Delta_{31}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \cdot E_2 = 2 \text{ A}$$

Topilgan kontur toklarga asosan xar bir tarmoqdagi toklarni topish mumkin:

$$I_1 = I_I = 13 \text{ A} \quad I_2 = I_I - I_{II} = 7 \text{ A} \quad I_3 = I_{II} = 6 \text{ A}$$

$$I_4 = I_{II} + I_{III} = 8 \text{ A} \quad I_5 = I_{III} = 2 \text{ A}$$

Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tekshirib aniqlash mumkin, ya'ni:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 6 = 13 \text{ A}$$

$$I_4 = I_3 + I_5 = 6 + 2 = 8 \text{ A}$$

Tugun potentsiallar usuli

Ma'lumki, agar zanjirdagi berilgan EYuK manbalari va qarshiliklari bo'yicha zanjirning tarmoqlaridagi toklari va barcha tugunlari orasidagi kuchlanishlar tushuvi topilishi mumkin bo'lsa, bunday zanjirni taxlil qilish mumkin deb hisoblanadi.

Agar ixtiyoriy murakkab elektr zanjirdagi tugunlardan bittasini ajratib olib, uning potentsiali nolga tenglashtirilsa, u holda qolgan barcha tugunlarning potentsiali ana shu tugunga nisbatan aniqlanadi:

Masala:

Rasm-1.11 dagi elektr zanjir uchun tenglamalar soni ikkita bo'ladi, ya'ni a, b va v tugunlarning potentsiallarini tegishli $\varphi_a = \varphi_1$; $\varphi_b = \varphi_2$ va $\varphi_3 = 0$ orqali belgilab, butun zanjirning toklari uchun quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

$$I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1); \quad I_2 = g_2 \cdot \varphi_1; \quad I_3 = g_3(\varphi_1 - \varphi_2); \quad I_4 = g_4 \cdot \varphi_2; \quad I_5 = g_5(E_2 - \varphi_2)$$

$g_1; g_2; \dots; g_5$ – zanjirning tegishli tarmoqlarining o'tkazuvchanligi.

Bu toklarning qiymatlarini Kirxgofning birinchi qonuniga binoan quyidagicha yozish mumkin:

$$g_1(E_1 - \varphi_1) + g_2 \cdot \varphi_1 - g_3(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

$$g_3(\varphi_1 - \varphi_2) - g_4 \cdot \varphi_2 + g_5(E_2 - \varphi_2) = 0$$

Butenglamalarni yechish uchun quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$g_{11} = g_1 + g_2 + g_3 - 1 \text{ - tugunning xususiy o'tkazuvchanligi,}$$

$$g_{22} = g_3 + g_4 + g_5 - 2 \text{ - tugunning xususiy o'tkazuvchanligi,}$$

$$g_{12} = g_{21} = g_3 - 1 \text{ va } 2 \text{ - tugunlarning o'zaro o'tkazuvchanligi.}$$

Yuqoridagi formulalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$g_{11}\varphi_1 - g_{12}\varphi_2 = I_1$$

$$-g_{21}\varphi_1 + g_{22}\varphi_2 = I_2$$

Bu tenglamalar sistemasini ham minorlar va aniqlovchilar yordamida yechish mumkin.

Masala:

Rasm-1.11 da berilgan zanjir uchun xar bir tarmoqdagi toklarni tugun potentsiallar usuli bilan hisoblang. Bunda: $R_1 = R_2 = 2 \text{ Om}$, $R_3 = R_4 = R_5 = 1 \text{ Om}$,

$E_1=40\text{ V}$, $E_2=10\text{ V}$ ga teng.

Yechilishi:

Berilgan zanjir uchun tenglama tuzib, bu tenglamalarga o'tkazuvchanlik va EYuK larni qiymatini qo'yib quyidagi tenglamani xosil qilamiz:

$$I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1) = 20 - 0,5\varphi_1$$

$$I_2 = g_2 \cdot \varphi_1 = 0,5\varphi_1$$

$$I_3 = g_3(\varphi_1 - \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$I_4 = g_4 \cdot \varphi_2 = \varphi_2$$

$$I_5 = g_5(E_2 - \varphi_2) = 10 - \varphi_2$$

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz:

$$I_1 - I_2 - I_3 = (20 - 0,5\varphi_1) - (0,5\varphi_1) - (\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

$$I_3 - I_4 + I_5 = (\varphi_1 - \varphi_2) - (\varphi_2) + (10 - \varphi_2) = 0$$

yoki

$$\begin{cases} 20 - 2\varphi_1 + \varphi_2 = 0 \\ 10 + \varphi_1 - 3\varphi_2 = 0 \end{cases}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechib, birinchi va ikkinchi tugunlarni potentsiallarini topamiz: $\varphi_1=14\text{ V}$ va $\varphi_2=8\text{ V}$

Topilgan potentsiallarning qiymatiga asoslanib tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_1 = 20 - 0,5\varphi_1 = 13\text{ A}, \quad I_2 = 0,5\varphi_1 = 7\text{ A}, \quad I_3 = \varphi_1 - \varphi_2 = 6\text{ A}, \quad I_4 = \varphi_2 = 8\text{ A}, \quad I_5 = 10 - \varphi_2 = 2\text{ A}$$

Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning 1-qonuniga asosan tekshiramiz:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 13 - 7 - 6 = 0, \quad I_3 - I_4 + I_5 = 6 - 8 + 2 = 0$$

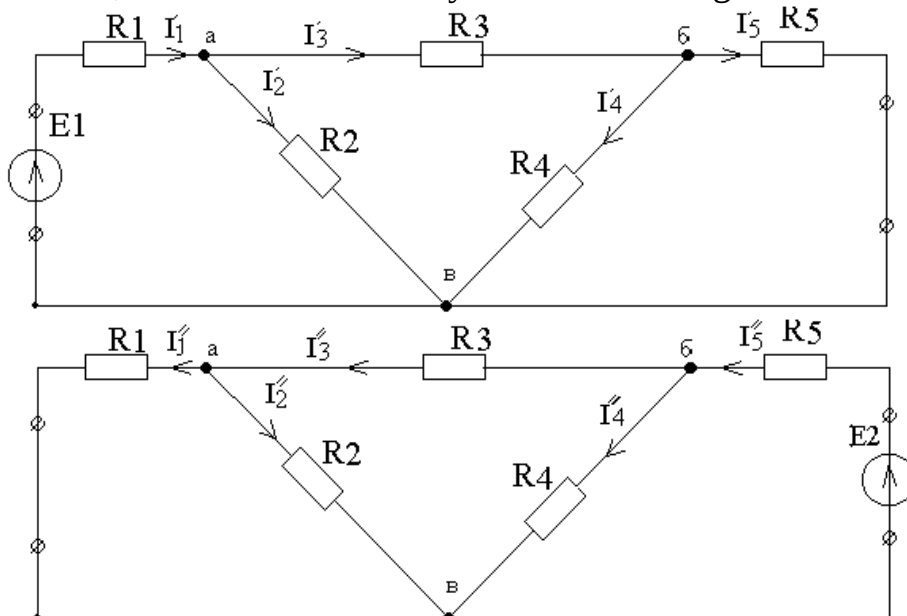
Ustma-ust usuli

Bu usul bilan murakkab zanjirlarni hisoblanganda, zanjirda nechta E.YU.K manbai bo'lsa, shuncha zanjir tuzib olinadi, bunda qarshiliqlar o'z o'rnida qoladi, bunda toklarni yo'nalishini o'zgartirish mumkin.

Masalan: Rasm-1.11 dagi zanjirda ikkita EYuK manbai bor, demak zanjirni ikkita alohida-alohida EYuK-lardan ta'minlangan zanjir deb qarash mumkin.

Bu ikkala zanjirlarni alohida-alohida deb hisoblash mumkin, ya'ni ekvivalent qarshiliklarni hisoblab topib, Om qonuniga asosan har bir tarmoqdagi toklarni topish mumkin.

Berilgan zanjirdagi toklar, bu ikkala zanjirdagi toklarning algebraik yig'indisi deb qarash mumkin, lekin bunda toklarni yo'nalishini hisobga olish kerak bo'ladi. Agar I' va



Rasm-1.12. a, 6.

I" toklarning yo'nalishlari bir xil bo'lsa ular qo'shiladi, aksincha qarama-qarshi bo'lsa ular ayriladi.

Masala:

Rasm-4.2. da berilgan zanjir uchun xar bir tarmoqdagi toklarni ustma-ust usuli bilan hisoblang. Bunda: $R_1=R_2=2\text{ Om}$, $R_3=R_4=R_5=1\text{ Om}$, $E_1=40\text{ V}$, $E_2=10\text{ V}$ ga teng.

Yechilishi:

Berilgan zanjirni ikkita aloxida-aloxida zanjirga bo'lib olamiz (Rasm-4.4.a,b.). Bunda berilgan zanjir uchun tarmoq toklarini, birinchi va ikkinchi zanjir tarmoq toklari orqali ifodalab olamiz:

$$I_1=I_1^I-I_1^{II}; \quad I_2=I_2^I+I_2^{II}; \quad I_3=I_3^I-I_3^{II}; \quad I_4=I_4^I+I_4^{II}; \quad I_5=I_5^I+I_5^{II}$$

Birinchi zanjirni ekvivalent qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{1 \cdot 1}{1+1} = 0,5$$

$$R_{34} = R_3 + R_{45} = 1 + 0,5 = 1,5$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{2 \cdot 1,5}{2+1,5} = 0,86$$

$$R_{\text{экв}}^I = R_1 + R_{23} = 2 + 0,86 = 2,86\text{ Ом}$$

Om qonuniga asosan birinchi zanjir uchun tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_1^I = \frac{E_1}{R_{\text{экв}}^I} = \frac{40}{2,86} = 14\text{ A}$$

$$U_1^I = R_1 \cdot I_1^I = 28\text{ B}$$

$$U_2^I = E_1 - U_1^I = 12\text{ B}$$

$$I_2^I = \frac{U_2^I}{R_2} = 6\text{ A}$$

$$I_3^I = I_1^I - I_2^I = 8\text{ A}$$

$$U_3^I = R_3 \cdot I_3^I = 8\text{ B}$$

$$U_4^I = U_2^I - U_3^I = 4\text{ B}$$

$$I_4^I = \frac{U_4^I}{R_4} = 4\text{ A}$$

$$I_5^I = I_3^I - I_4^I = 4\text{ A}$$

Ikkinchi zanjirni ekvivalent qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 2}{2+2} = 1$$

$$R_{23} = R_3 + R_{12} = 1 + 1 = 2$$

$$R_{34} = \frac{R_4 \cdot R_{23}}{R_4 + R_{23}} = \frac{1 \cdot 2}{1+2} = 0,67$$

$$R_{\text{экв}}^{II} = R_5 + R_{34} = 1 + 0,67 = 1,67\text{ Ом}$$

Om qonuniga asosan ikkinchi zanjir uchun tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_5^{II} = \frac{E_2}{R_{\text{экв}}^{II}} = \frac{10}{1,67} = 6\text{ A}$$

$$U_5'' = R_5 \cdot I_5 = 6 \text{ B}$$

$$U_4'' = E_2 - U_5 = 4 \text{ B}$$

$$I_4'' = \frac{U_4}{R_4} = 4 \text{ A}$$

$$I_3'' = I_5 - I_4 = 2 \text{ A}$$

$$U_3'' = R_3 \cdot I_3 = 2 \text{ B}$$

$$U_2'' = U_4 - U_3 = 2 \text{ B}$$

$$I_2'' = \frac{U_2}{R_2} = 1 \text{ A}$$

$$I_1'' = I_3 - I_2 = 1 \text{ A}$$

Birinchi va ikkinchi zanjirlarni ustma-ust qo'yib, berilgan zanjirdagi tarmoq toklarini aniqlaymiz:

$$I_1 = I_1^I - I_1^{II} = 14 - 1 = 13 \text{ A} \quad I_2 = I_2^I + I_2^{II} = 6 + 1 = 7 \text{ A} \quad I_3 = I_3^I - I_3^{II} = 8 - 2 = 6 \text{ A}$$

$$I_4 = I_4^I + I_4^{II} = 4 + 4 = 8 \text{ A} \quad I_5 = -I_5^I + I_5^{II} = -4 + 6 = 2 \text{ A}$$

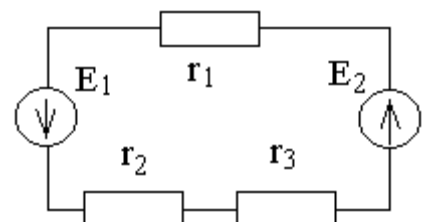
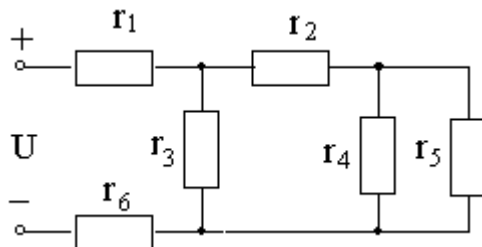
Masalani yechimini to'g'riligini Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tekshirib aniqlash mumkin, ya'ni:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 6 = 13 \text{ A}, \quad I_4 = I_3 + I_5 = 6 + 2 = 8 \text{ A}$$

O'zgarmas tok zanjirlariga doir masalalar

1.1-Masala

Qarshiliklari $r_1=12 \text{ Om}$, $r_1=3 \text{ Om}$, $r_3=15 \text{ Om}$, $r_4=r_5=24 \text{ Om}$, $r_6=4,5 \text{ Om}$ dan iborat bo'lgan elektr zanjiri kuchlanishi $U=120 \text{ V}$ bo'lgan manbaga ulangan. (Rasm-1.1) Har bir qarshilikdan o'tayotgan tok va undagi kuchlanishlarning tushuvini Kirxgof va Om qonunlari orqali ifodalang?



1.2-Masala Rasm -1.1

Qarshiliklari $r_1=2 \text{ Om}$, $r_2=5 \text{ Om}$, $r_3=3 \text{ Om}$ bo'lgan elektr zanjiri elektr yurituvchi kuchlari $E_1=50 \text{ V}$, $E_2=70 \text{ V}$ bo'lgan manbaga ulangan. (Rasm-1.2) Zanjirdagi tokning qiymati va qarshiliklardagi kuchlanishlarning pasayishi aniqlansin.

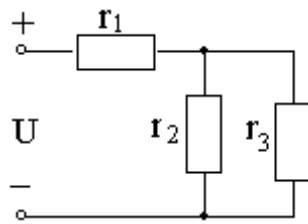
1.3-Masala

A-35 markali alyuminiy simdan o'tkazilgan 10 km uzunlikdagi ikki simli elektr uzatish liniyasining qayeridadir qisqa tutashuv sodir bo'ldi. Avtomatik ajratgich (AR) ning borligi tufayli liniya manbadan ajratildi. Qisqa tutashuv joyini aniqlash uchun liniyaning boshida, uning qismlariga yuk mashinasini akkumulyatori ulandi. Zanjirga ulangan voltmetr va ampermetr tegishli 24 V va 1,5 A ni ko'rsatdi. Liniya boshdan qanday uzoqlikda qisqa tutashuv sodir bo'lgan? Agar qisqa tutashuv liniyaning oxirida sodir bo'lgan bo'lsa, ampermetr ko'rsatishi aniqlansin.

1.4-Masala

Elektr zanjir kuchlanishi $U_0=100$ V bo'lgan manbaga ulangan. (Rasm-1.4). Agar qarshiliklar $r_1=4$ Ohm, $r_2=60$ Ohm bo'lib, qarshilik r_1 ning quvvat iste'moli $R_1=100$ Vt bo'lsa qarshilik r_3 ning kattaligi aniqlansin.

1.5-Masala



Rasm-1.4

Kundalang kesimi $S=150$ mm² bo'lgan alyuminiy simdan tortilgan o'zgarmas elektr toki uzatish liniyasining uzunligi $L=120$ km. Agar uzatilayotgan tokning kuchi $I=160$ A bo'lsa, liniyadagi kuchlanish tushuvi ΔU nimaga teng bo'ladi? Sim materialining solishtirma qarshiligi.

1.6-Masala

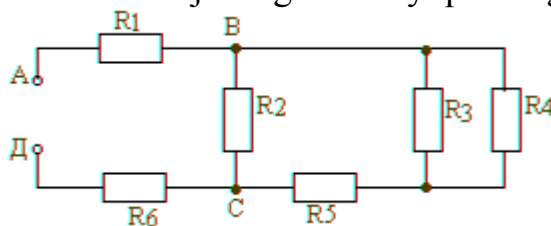
Elektr energiyasi manbaining ichki qarshiligi $r_0=0,4$ Ohm, tashqi qarshiligi $r_t=20$ Ohm bo'lib, manbaning ichki quvvat isrofi 40 Vt ni tashkil etsa, manba qismlaridagi kuchlanish. uning EYUK va tashki zanjirga bera oladigan quvvati aniqlansin.

1.7-Masala

Elektr sig'imi $S=200$ mkF bo'lgan kondensator $t=0,5$ s vaqt ichida $U=600$ V kuchlanishgacha zaryadlangan bo'lsa, zaryadlanish toki kuchining o'rtacha qiymatini toping.

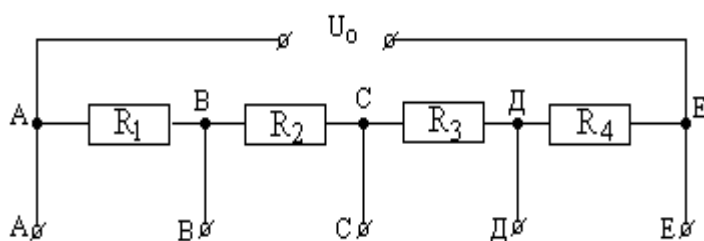
1.8-Masala

Rasm-1.8 dagi sxemada $R_1=20$ Ohm, $R_2=30$ Ohm, $R_3=40$ Ohm, $R_4=32$ Ohm, $R_5=12$ Ohm, $R_6=55$ Ohm bo'lsa zanjirning umumiy qarshiligi R_{um} topilsin.

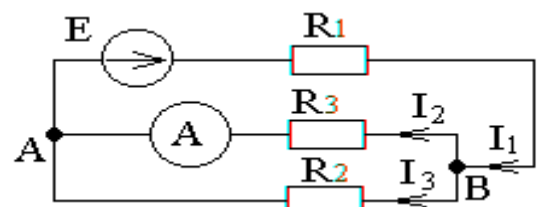


1.9-Masala

Agar Rasm-1.9 da tasvirlangan kuchlanish bo'lgichida $U_0=220$ B, $R_1=2$ Ohm, $R_2=4$ Ohm, $R_3=6$ Ohm, $R_4=8$ Ohm bo'lsa, iste'molchi AB, BC, CD, DE, BE, CE va AE qismlarga ulanganda olinadigan kuchlanishlarni toping?



Rasm-1.9



Rasm -1.10

1.10-Masala

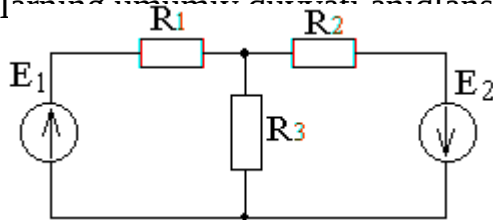
EYUK $E=2,8$ V bo'lgan batareya Rasm-1.10 da berilgan sxema bo'yicha zanjirga ulangan. Bunda $R_1=1,8$ Ohm, $R_2=2$ Ohm, $R_3=3$ Ohm va ampermetr $I=0,48$ A ni ko'rsatayotgan bo'lsa, batareyaning ichki qarshiligi topilsin? Ampermetrning ichki qarshiligini xisobga olinmasin.

1.11-Masala

Tok manbai $R_1=1,8$ Ohm tashqi qarshilikka ulanganda $I_1=0,7$ A tok beradi. Agar tashqi qarshilik $R_2=2,3$ Ohm bo'lganda, tok kuchi kamayib, $I_2=0,56$ A bo'lib kolgan bo'lsa, manbaning EYUK i va ichki qarshiligi topilsin?

1.12-Masala

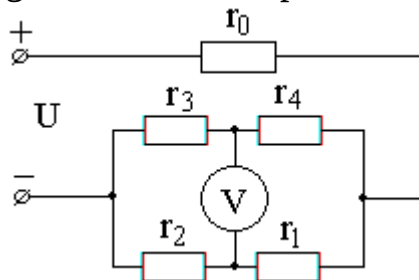
Xar birining qarshiligi 20 Ohm dan bo'lgan uchta elektr energiya iste'molchisi Rasm-1.12 dagi sxemada ko'rsatilgandek ulangan. Agar zanjirdagi manbalarning elektr yurituvchi kuchlari $E_1=120$ V va $E_2=30$ V bo'lsa, zanjirning barcha qismlaridagi tok va iste'molchilarning umumiy quvvati aniqlansin.



Rasm -1.12

1.13-Masala

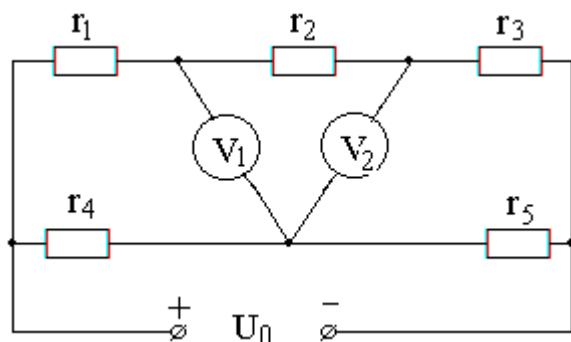
Parametrlari $r_1=20$ Ohm, $r_2=60$ Ohm, $r_3=50$ Ohm, va $r_4=30$ Ohm bo'lgan kuprik sxema $r_0=5$ Ohm qarshilik orqali kuchlanishi $U_0=90$ V bo'lgan o'zgarmas tok manbaiga ulangan. Manbaning kuchlanishi U topilsin.



Rasm -1.13

1.14-Masala

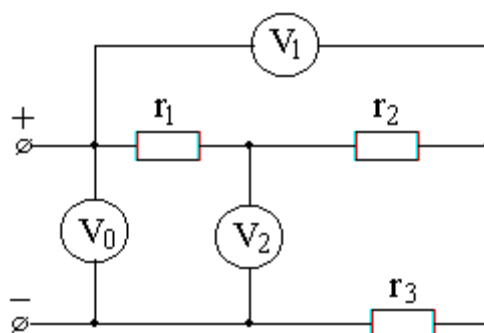
Qarshiliklari $r_1:r_2:r_3=2:5:3$ va $r_4:r_5=3:2$ nisbatlarda tanlangan zanjir kuchlanishi $U_0=200$ V bo'lgan o'zgarmas tok manbaiga ulangan. Voltmetrlar V_1 va V_2 ning ko'rsatishlari aniqlansin.



Rasm-1.14

1.15-Masala

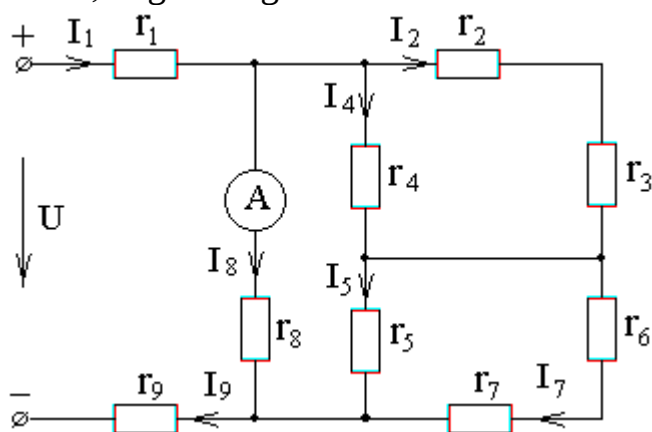
Zanjirdagi qarshiliklarning nisbati $r_1: r_2: r_3=5:2:3$ bo'lib, voltmترلarning ko'rsatishlari $U_1=140$ B va $U_2=100$ V ni tashkil etadi. Zanjirga berilayotgan kuchlanish U_0 va zanjirning elementlari bo'yicha kuchlanishlarning taqsimlanishi aniqlansin.



Rasm -1.15

1.16-Masala

Agar zanjirdagi ampermetrning ko'rsatishi 5 A bo'lib, qarshiliklar $r_1=r_9=2,5$ Om $r_2=r_3=r_6=r_7=5$ Om va $r_4=r_5=r_8=10$ Om dan bo'lsa, zanjirning barcha tarmoklaridagi toklar, unga berilgan kuchlanish xamda zanjirning quvvat iste'moli aniqlansin.



Rasm-1.16

1.17-Masala

EYUK $E=2$ V bo'lgan akkumulyatorga $R=4,8$ Om li tashki qarshilik ulanganda $I=0,4$ A tok xosil bo'lgan. Akkumulyatorning ichki qarshiligi va qisqichlardagi kuchlanishi topilsin.

1.18-Masala

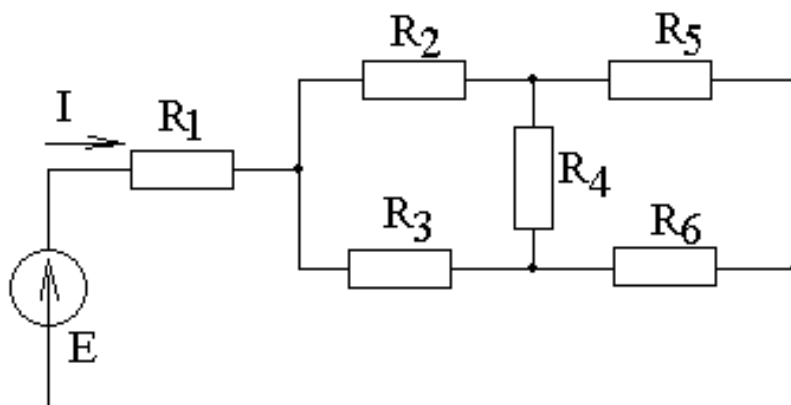
Galvanik element $R=4\text{ Om}$ li tashqi qarshilikka ulanganda $I_1=0,2\text{ A}$ tokni $R_2=7\text{ Om}$ li tashqi qarshilikka ulanganda esa $I_2=0,14\text{ A}$ tokni bersa elementning qisqa tutashish tokini toping?

1.19-Masala

Manba $R_1=1,5\text{ Om}$ li tashqi qarshilikka ulanganda $I_1=0,8\text{ A}$ tokni, $R_2=3,25\text{ Om}$ li tashqi qarshilikka ulanganda esa $I_2=0,4\text{ A}$ tokni bersa manbaning EYUK si va ichki qarshiligini toping?

1.20-Masala

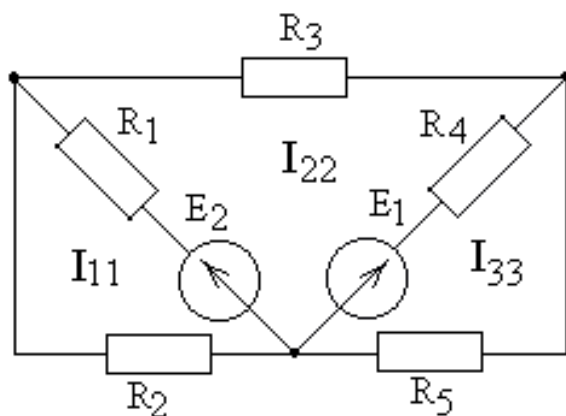
Rasm-1.20 da berilgan sxemadagi EYUK $E=10\text{ V}$, qarshiliklari $R_1=2\text{ Om}$; $R_2=3\text{ Om}$; $R_3=4\text{ Om}$; $R_4=1\text{ Om}$; $R_5=3\text{ Om}$ va $R_6=2\text{ Om}$ bo'lgan elektr zanjirning ekvivalent qarshiligi, tok kuchi va quvvat aniqlansin.



1.21-Masala

Рачм-

Rasm-1.21 da berilgan elektr zanjirining tarmoklardagi tolar va kuchlanishlar pasayishi kontur toklar usuli bilan aniqlansin. Barcha mustakil konturlarning yechimi Kirxgof qonunlari asosida tekshirilsin. E.yu.k. va qarshiliklar qiymatlari quyidagicha : $E_1=20\text{ V}$, $E_2=24\text{ V}$, $R_{e1}=2\text{ Om}$, $R_{e2}=3\text{ Om}$, $R_1=5\text{ Om}$, $R_2=8\text{ Om}$, $R_3=5\text{ Om}$, $R_4=7\text{ Om}$, $R_5=10\text{ Om}$.



Рачм-

Yechilishi:

Berilgan: $E_1=20\text{ V}$, $E_2=24\text{ V}$, $R_{e1}=2\text{ Om}$, $R_{e2}=3\text{ Om}$, $R_1=5\text{ Om}$, $R_2=8\text{ Om}$, $R_3=5\text{ Om}$, $R_4=7\text{ Om}$, $R_5=10\text{ Om}$.

Topish kerak: $I_1=?$ $I_2=?$ $I_3=?$ $I_4=?$ $I_5=?$

1.Sxemani mustakil mustakil konturlarga ajratib, kontur toklarning yunalishini ixtiyoriy tanlab olamiz. Xar bir konturga tuzilgan tenglamalarning umumiy kurinishi quyidagicha bo'ladi:

$$E_{11}=R_{11} \cdot I_{11}+R_{12} \cdot I_{22}+R_{13} \cdot I_{33}$$

$$E_{22}=R_{21} \cdot I_{11}+R_{22} \cdot I_{22}+R_{23} \cdot I_{33}$$

$$E_{33}=R_{31} \cdot I_{11}+R_{32} \cdot I_{22}+R_{33} \cdot I_{33}$$

2.Konturlardagi EYUK lar, konturlarning qarshiliklari va yondosh tarmoklarning qarshiliklarini xisoblaymiz:

$$E_{11}=E_1=20 \text{ B. } E_{22}=E_2-E_1=24-20=4 \text{ B. } E_{33}=E_2=24 \text{ B.}$$

$$R_{11}=R_1+R_{01}+R_2=5+2+8=15 \text{ Om.}$$

$$R_{22}=R_{01}+R_2+R_3+R_4+R_{02}=2+8+5+7+3=25 \text{ Om.}$$

$$R_{33}=R_{02}+R_4+R_5=3+7+10=20 \text{ Om.}$$

$$R_{12}=R_{21}=-(R_{01}+R_2)=-(2+8)= -10 \text{ Om.}$$

$$R_{23}=R_{32}=R_{02}+R_4=3+7=10 \text{ Om.}$$

I_{11} va I_{22} kontur toklari karama-qarshi tamonlarga yunalganligi uchun $R_{12}=R_{21}$ qarshiliklarning qiymatlari manfiy bo'ladi. R_{13} va R_{31} qarshiliklar esa nolga teng.

3.Tenglamani yechish uchun aniklovchilar usulini kullaymiz:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 15 & -10 & 0 \\ -10 & 25 & 10 \\ 0 & 10 & 20 \end{vmatrix} = 7500 - 1500 - 2000 = 4000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{11} & R_{12} & R_{13} \\ E_{22} & R_{22} & R_{23} \\ E_{33} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & -10 & 0 \\ 4 & 25 & 10 \\ 24 & 10 & 20 \end{vmatrix} = 10000 - 2400 - 2000 + 800 = 6400$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{11} & E_{11} & R_{13} \\ R_{21} & E_{22} & R_{23} \\ R_{31} & E_{33} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 15 & 20 & 0 \\ -10 & 4 & 10 \\ 0 & 24 & 20 \end{vmatrix} = 1200 - 3600 + 4000 = 1600$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & E_{11} \\ R_{21} & R_{22} & E_{22} \\ R_{31} & R_{32} & E_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 15 & -10 & 20 \\ 10 & 25 & 4 \\ 0 & 10 & 24 \end{vmatrix} = 9000 - 2000 - 600 - 2400 = 4000$$

4.Kontur toklarini aniqlaymiz:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{6400}{4000} = 1,6 \text{ A} \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1600}{4000} = 0,4 \text{ A} \quad I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{4000}{4000} = 1 \text{ A}$$

5.Tarmoklardagi toklarni aniqlaymiz:

$$I_1=I_{11}=1,6 \text{ A; } I_2=I_{11}-I_{22}=1,6-0,4=1,2 \text{ A; } I_3=I_{22}=0,4 \text{ A;}$$

$$I_4=I_{33}+I_{22}=1+0,4=1,4 \text{ A; } I_5=I_{33}=1 \text{ A}$$

6.Tarmoklardagi kuchlanishlar pasayishini aniqlaymiz:

$$U_1=I_1 R_1=1,6 \cdot 5 = 8 \text{ B;}$$

$$U_2=I_2(R_2+R_{01})=1,2(8+2)=12 \text{ B;}$$

$$U_3=I_3 R_3=0,4 \cdot 5 = 2 \text{ B;}$$

$$U_4=I_4(R_4+R_{02})=1,4(7+3)=14 \text{ B;}$$

$$U_5=I_5 R_5=1 \cdot 10 = 10 \text{ B.}$$

7.Yechimlarni Kirxgofning ikkinchi qonuniga muvofik tekshiramiz:

$$\begin{aligned}E_1 &= U_1 + U_2 = 8 + 12 = 20 \text{ B;} \\E_2 &= U_4 + U_5 = 14 + 10 = 24 \text{ B;} \\E_2 - E_1 &= U_4 + U_3 - U_2 = 14 + 2 - 12 = 4 \text{ B.}\end{aligned}$$

O'zgaruvchan tok zanjirlarini xisoblash bo'yicha nazariy ma'lumotlar

Elektrotexnikaning asosiy qonunlari bo'lgan Om va Kirxgof qonunlari o'zgaruvchan tok zanjirlarida ham o'z kuchini saqlab qoladi.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha yozish mumkin, ya'ni:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Bu yerda Z va U-to'la qarshilik va to'la o'tkazuvchanlik yoki $I = Y \cdot U = \sqrt{g^2 + (e_L - e_C)^2} \cdot U$

«Zanjirdagi tok kuchining effektiv qiymati zanjirdagi kuchlanishning effektiv qiymatiga to'g'ri proporsional, zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsional».

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning birinchi qonuni quyidagicha ifodalash mumkin: $\sum_{k=1}^n \vec{I}_k = 0$ yoki $\sum_{k=1}^n i_k = 0$

«Tugundagi toklarning oniy qiymatlarini algebraik yig'indisi nolga teng» yoki «Tugundagi toklarning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi nolga teng».

Kirxgofning ikkinchi qonunini o'zgaruvchan tok zanjiri uchun quyidagicha ifodalash mumkin: $\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^n i_k R_k$ yoki $\sum_{k=1}^n \vec{E}_k = \sum_{k=1}^n \vec{I}_k \cdot R_k$

«Konturdagi EYuK-larning oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvlarining oniy qiymatlarini algebraik yig'indisiga teng» yoki

«Konturdagi EYuK-larning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvining effektiv qiymatlarini geometrik yig'indisiga teng».

Zanjirga har qanday sinusoidal o'zgaruvchan tok I berilganda U kuchlanish ta'sirida t vaqtda $A = \int_0^t u i dt$ ish bajariladi, bu ish miqdor jixatdan kuchlanish, tok va vaqtning ko'paytmasiga teng. Bu ishning intensivligi pqu·i ko'paytmaga bog'liq. Bu p- kattalik manbadan zanjirga kelayotgan quvvatning oniy qiymati deb ataladi.

Agar $u = U_m \sin \omega t$ va $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ bo'lsa, $P = U \cdot I \cos \varphi - U \cdot I \cos(2\omega t - \varphi)$ bo'ladi, ya'ni oniy quvvat ikkita tashqil etuvchidan iborat bo'lib, ulardan birinchisi vaqt ga bog'liq bulmay, ikkinchisi vaqt ichida miqdori va yo'nalishi bo'yicha ikkilangan chastota (2ω) bilan o'zgaradi.

Manbadan kelayotgan energiya quvvati T davr ichida uzining o'rtacha qiymati atrofida bo'ladi, bu qiymat son jixatidan quyidagiga teng, ya'ni: $P = UI \cos \varphi$ bu ifoda sinusoidal tok zanjirining aktiv (foydali) quvvati deb ataladi. XBT (SI) da aktiv quvvat birligi kilib [vt] kabul kilingan, bundan tashqari $1 \text{ mVt} = 10^6 \text{ Vt}$; $1 \text{ kVt} = 10^3 \text{ Vt}$. lar ham

ishlatiladi.

$\cos \varphi$ -quvvat koeffitsienti deyiladi va bu kattalik amalda $\cos \varphi < 1$ bo'ladi, chunki zanjirda doimo L va C elementlari bo'ladi.

Sinusoidal tok zanjirlarining quvvati ko'p xollarda to'la quvvat deb ataladigan miqdordan kichik bo'ladi.

To'la quvvat energetik qurilmalarning ishlatilish vaqtida kuchlanish va tok bo'yicha bera oladigan nominal qiymatlarini ifodalaydi: $S=U \cdot I$ (BA), (kBA), (MBA).

Zanjirdagi foydali ishni tokning fakat bir qismigina bajaradi, ya'ni $I_g = I \cos \varphi$ ga teng bo'lgan tokning aktiv tashqil etuvchisi. Tokning reaktiv tashqil etuvchisi $I_b = I \sin \varphi$ elektr va magnit maydonini xosil qilish uchun sarf bo'lib, ularning energiyasi L va C elementlarida davriy ravishda yigilib, yana manbaga kaytariladi. Shu sababli reaktiv quvvat tushunchasi kiritilib, u son jixatdan $Q = U I \sin \varphi$ ga teng. O'lchov birligi XBT (SI) da: (VAr), (kVAr), (MVar).

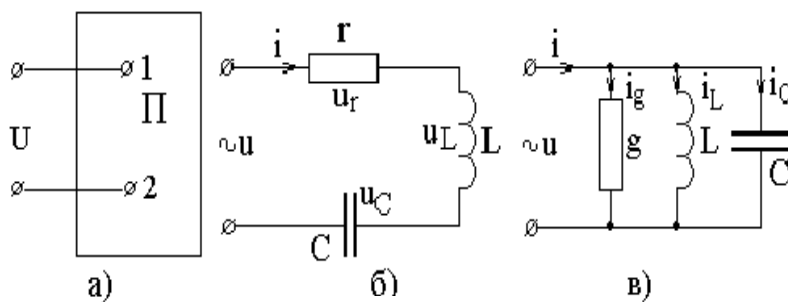
R,L,C elementlar ketma ket ulangan zanjirlar uchun quyidagilarni yozish mumkin: $P = UI \cos \varphi = U_r I = I^2 R$ $Q = U I \sin \varphi = U_x I = I^2 X$ $S = UI = I^2 Z$;

Parallel ulangan zanjirlar uchun: $P = U I \cos \varphi = U I_g = g U^2$ $Q = U I \sin \varphi = U I_b = b U^2$ $S = UI = I U^2$;

P va S lar doimo musbat Q reaktiv quvvat esa $\varphi > 0$ bo'lsa, musbat (induktiv zanjir) va $\varphi < 0$ bo'lganda esa manfiy (sig'imey zanjir) bo'ladi.

Bir fazali manbadan ta'minlanlanayotgan o'zgaruvchan tok murakkab zanjirlarida zanjirga berilayotgan kuchlanish U, tok I va faza siljish burchagi φ ning miqdori va yo'nalishi asosiy parametrlar xisoblanadi.

Agar bu zanjirni qandaydir passiv ikki kutblik P tarzida tasavvur kilsak (Rasm-2.1.a), u ketma ket va parallel ulangan zanjirlarning bir xil extimollik va aniklikdagi



Rasm-2.1

ifodasi bo'ladi. Agar bu zanjir uchun U, I va φ qiymatlar ma'lum bo'lsa, u xolda ikki kutblikning parametrlari zanjir qismlarining qarshiliklari yoki o'tkazuvchanliklari bo'yicha aniqlanadi.

Birinchi xol uchun: $Z = \frac{U}{I}$

$$R = Z \cos \varphi \quad X = Z \sin \varphi = X_L - X_C$$

Bunda $\varphi > 0$ bo'lsa $X_L > X_C$ va $\varphi < 0$ bo'lsa $X_L < X_C$ bo'ladi.

$$\text{Ikkinchi xol uchun: } Y = \frac{I}{U} \quad g = Y \cos \varphi \quad b = b_L - b_C = Y \sin \varphi$$

Bunda $\varphi > 0$ bo'lsa $b_L > b_C$ va $\varphi < 0$ bo'lsa $b_L < b_C$ bo'ladi.

Ular asosida ketma ket va parallel ulangan ikkita zanjirni bir-biriga ekvivalent deb xisoblanadi. buning uchun quyidagi ekvivalentlik shartlari bajarilishi kerak: $Z_E = \frac{U}{I}$

$$\text{va } Y_E = \frac{I}{U} \quad \text{chunki: } Z_E = 1 / Y_E \quad \sin \varphi = \frac{X_{\varphi}}{Z_{\varphi}} = \frac{b_{\varphi}}{Y_{\varphi}} \quad \cos \varphi = \frac{R_{\varphi}}{Z_{\varphi}} = \frac{g_{\varphi}}{Y_{\varphi}}$$

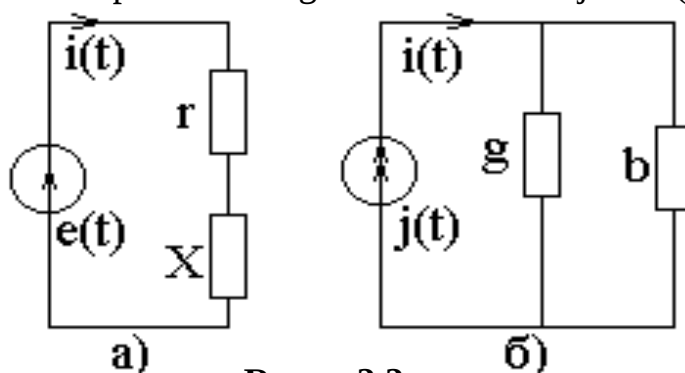
Ekvivalent aktiv, reaktiv qarshilik va o'tkazuvchanliklar uchun quyidagi munosabatlarni yozish mumkin: $R_E = Z_E \cos \varphi = \frac{P}{I^2}$ $G_E = Y_E \cos \varphi = \frac{P}{U^2}$

Aralash ulangan murakkab zanjirlarni xisoblashda, ba'zan, zanjirning barcha elementlarini ketma-ket yoki parallel ulashga keltirish zarur bo'ladi.

Agar I_e , g_e va b_e elementli parallel zanjir berilgan bo'lsa, unga ekvivalent bo'lgan ketma-ket zanjirning qarshiligi:

$$Z_E = 1/Y_e \quad R_E = \frac{g_e}{Y_e^2} \quad X_E = \frac{b_e}{Y_e^2}$$

Sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlarini xisoblashda, har qanday zanjirni unga ekvivalent bo'lgan, R, L va S elementlari parallel yoki ketma-ket ulangan zanjirga almashtirib olishga tugri keladi. Bunda ketma-ket zanjirda aktiv va reaktiv qarshiliklarni ketma-ket ulangan ekvivalent zanjir past parallel zanjirda esa, aktiv va reaktiv utkazuvchanliklarni parallel ulangan ekvivalent zanjirdan (rasm-6.5 a, b) foydalaniladi.



Rasm -2.2

Agar ketma-ket ulangan zanjirga (rasm-2.2.a) EYuK manbai $e(t)$ ulangan bo'lsa, zanjirdagi tok quyidagicha bo'ladi:

$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$e(t) = \frac{E_m}{Z} \sin(\omega t + \psi_a - \varphi)$$

bu yerda: $\varphi = \arctg(X/Z)$ -faza siljish burchagi, $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ -tula qarshilik.

Agar parallel ulangan zanjirga $j(t)$ tok manbai ulangan bo'lsa, zanjir elementlaridagi kuchlanishni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$i(t) = I_n \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$u(t) = \frac{I_m}{y} \sin(\omega t + \psi_i + \varphi)$$

bu yerda: $\varphi = \arctg(\frac{g}{y})$ -faza siljish burchagi, $Y = \sqrt{g^2 + b^2}$ -tula utkazuvchanlik.

Ketma-ket ulangan ekvivalent zanjirni parallel ulangan ekvivalent zanjirga almashtirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi: $g = \frac{r}{Z^2}$; $y = \frac{X}{Z^2}$.

Parallel ulangan ekvivalent zanjirni ketma-ket ulangan ekvivalent zanjirga almashtirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi: $r = \frac{g}{y^2}$; $x = \frac{b}{y^2}$.

Bu shartlar bajarilsa ikkala zanjir ham (Rasm-2.2.a,b) bir-biriga ekvivalent xisoblanadi.

Masala:

Agar tok manbai va zanjir parametrlari quyidagicha bo'lsa, rasm-2.3 da berilgan zanjirning kirishidagi kuchlanish $u(t)$ ni aniqlang:

$$i(t) = 0,1 \sin 500 t \text{ (A)}$$

$$b_C = 0,1 \text{ (Sm)}, \quad X_L = Z = 10 \text{ (Om)}$$

Echish:

1. X_L va r ketma-ket ulangan zanjirni parallel ekvivalent zanjirga almashtiramiz:

$$g = \frac{r}{Z^2} = \frac{r}{r^2 + X_L^2} = \frac{10}{200} = 0,5 \text{ (Cm)}$$

$$b_L = \frac{X_L}{Z^2} = \frac{X_L}{r^2 + X_L^2} = \frac{10}{200} = 0,5 \text{ (Cm)}$$

2. Bu umum zanjir uchun ekvivalent tula va reaktiv utkazuvchanlikni xisoblaymiz:

$$b = b_L - b_C = 0,05 - 0,2 = -0,15 \text{ (Sm)}$$

$$u = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,5^2 + (-0,15)^2} = 0,16 \text{ (Cm)}$$

3. Zanjirni kirish qismidagi kuchlanishni amplituda qiymatini xisoblaymiz:

$$U_m = \frac{I_m}{y} = \frac{0,1}{0,16} = 0,625 \text{ (v)}$$

4. Faza siljish burchagini xisoblaymiz:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{b}{g}\right) = \arctg\left(\frac{-0,15}{0,5}\right) = \arctg(-0,3) = -12^\circ$$

5. Zanjir kirishidagi kuchlanishning oniy qiymati quyidagicha bo'ladi.

$$u(t) = U_m \sin(500t + \varphi) \text{ yoki}$$

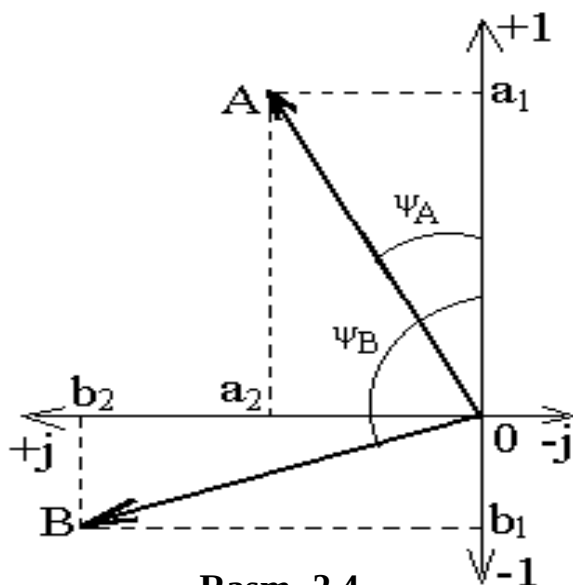
$$u(t) = 0,625 \sin(500t - 12^\circ)$$

Yuqoridagi ifodalardan bu zanjir sig'imiyl harakterga ega ekanligi kelib chikadi, chunki $V_L < V_S$.

Murakkab sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlarini oddiy matematik usul bilan xisoblash noqulay va ko'p mexnat talab qiladi va undan amaliy xisoblashlarda foydalanish qiyin. Shuning uchun murakkab zanjirlarni xisoblashda kompleks usuldan foydalaniladi.

Kompleks usul, ya'ni aylanuvchi vektorlarni kompleks sonlar yordamida ifodalash geometrik yasashlarni talab kilmay, kompleks sonlar ustida amallar bajariladi. Rasm-8.1 da xaqiqiy (± 1) va mavxum ($\pm j$) o'qlarda kompleks tekislik ko'rsatilgan bo'lib, unda A va B kompleks sonlar tasvirlangan. Bu sonlarni tasviri koordinata boshidan chikib A va B modullarga ega bo'lgan vektorlarni ifodalaydi.

Bu vektorlar ikki xil ko'rinishda berilishi



Rasm -2.4

mumkin:

1. Daraja ko'rsatkichli shaklda: $\dot{A} = Ae^{j\psi_A}$ va $\dot{B} = Be^{j\psi_B}$

2. Algebraik yoki trigonometrik shaklda: $\dot{A} = a_1 + ja_2$ va $\dot{B} = b_1 + jb_2$

Kompleks sonlar uchun Eyler formulasiga asosan Yuqoridagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$e^{jZ} = \cos Z + j\sin Z \quad e^{-jZ} = \cos Z - j\sin Z$$

$\dot{A} = A(\cos \psi_A + j \sin \psi_A)$ $\dot{B} = B(\cos \psi_B + j \sin \psi_B)$ Yuqoridagi $\dot{A} = Ae^{j\psi_A} = a_1 + ja_2$ kompleks son uchun quyidagi nisbatlarni keltirish mumkin:

$$A = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} \quad \psi_A = \arctg \frac{a_2}{a_1}$$

a_1 - kompleks sonning haqiqiy qismi, a_2 - kompleks sonning mavxum qismi.

Demak sinusoidal o'zgaruvchan $I = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ tokka kompleks tekislikda I_m amplituda va ψ_i - argument bilan aniqlanadigan quyidagi vektor mos keladi:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$$

Xaqiqiy hisoblashlarda toklar, e.yu.k. va kuchlanishlarning effektiv qiymatlari beriladi, u xolda tegishli komplekslar quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i} \quad \dot{U}_m = U_m e^{j\psi_u} \quad \dot{E}_m = E_m e^{j\psi_e}$$

Shunday kilib, kompleks usul sinusoidal funktsiyalardan kompleks sonlarga utish imkonini beradi.

Berilgan biror passiv zanjir $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ kuchlanish manbaiga ulangan bo'lsa, zanjir elementlarining ulanish usulidan kat'iy nazar, butun zanjirning toki $I = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ bo'lsa, kuchlanish va tokning effektiv qiymatlarining komplekslari quyidagicha bo'ladi:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i} \quad \dot{U}_m = U_m e^{j\psi_u}$$

Om qonuniga binoan, bu zanjirning tula qarshiligi kompleks shaklda quyidagicha

$$\text{yoziladi: } \dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Ze^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi$$

$Z = r + jX$ - zanjirning kompleks qarshiligi, r , x va z - lar mos ravishda aktiv, reaktiv va tula qarshiliklarning modullari.

Zanjirning kompleks utkazuvchanligi ham shunday aniqlanadi:

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = Ye^{-j\varphi} = y \cos \varphi - jy \sin \varphi$$

$y = g - jb$ - zanjirning kompleks utkazuvchanligi. g , b va y - mos ravishda zanjirning aktiv, reaktiv va tula utkazuvchanliklarining modullari.

Shunday kilib, Om qonunini umumiy ko'rinishda quyidagi shakllarda yozish

$$\text{mumkin: } \dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad \dot{U} = \dot{I} Z \quad \dot{I} = \dot{U} Y \quad \dot{U} = \frac{\dot{I}}{Y}$$

Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari quyidagi kompleks ko'rinishda

$$\text{bo'ladi: } \sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0 \quad \text{va} \quad \sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{U} = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K Z_K$$

Sinusoidal tok zanjiridagi aktiv, reaktiv va tula kuvvatlarni U va I ning berilgan effektiv qiymatlari, shuningdek, bu mikdorlarning vektorlari orasidagi faza siljish burchagi $\varphi = \psi_u - \psi_i$ orqali xisoblash mumkin, ya'ni: $P=UI\cos\varphi$; $Q=UI\sin\varphi$; $S=UI$,

Agar $S=UI$ ko'paytmaning komplekslari ($\dot{U}$ yoki $\dot{I}$) dan birortasining argumenti teskari ishorali kilib olinsa, ko'paytma vektorining argumenti $\pm\varphi$ ga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\dot{S} = Ue^{-j\psi_u} \cdot Ie^{j\psi_i} = UIe^{-j\varphi} = UI\cos\varphi - jUI\sin\varphi = P - jQ$$

$$\dot{S} = Ue^{j\psi_u} \cdot Ie^{j\psi_i} = UIe^{j\varphi} = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ$$

Shunday qilib, kuchlanish va tokning teskari ishorada olingan argumentli komplekslari, ya'ni argumentning ishorasini sun'iy ravishda teskarisiga almashtirish kompleks $\dot{S}$ ning moduliga teng tula kuvvat S ni va uning aktiv, reaktiv tashqil etuvchilarini bir vaqtda xisoblashga imkon beradi.

Agar tok kompleksi $\dot{I} = Ie^{j\psi_i}$ urniga $\dot{I} = Ie^{-j\psi_i}$ ni olsak, aksincha $-jQ$ qism zanjirning sig'im harakteriga, $+jQ$ esa induktiv harakteriga ega ekanligiga mos keladi.

Masala: Iste'molchidagi tok va kuchlanishlarning kompleks qiymatlari $\dot{I}=j100$ va $\dot{U}=16+j12$ ga teng bo'lsa, aktiv va reaktiv qarshiliklarni hamda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni xisoblang.

Echilishi:

1. Tula qarshilikni quyidagicha xisoblab topamiz:

$$\dot{Z} = \dot{U} / \dot{I} = j100 / (16 + j12) = 5e^{j53^\circ} = (3 + j4) \text{ Om}$$

Kompleks tula qarshilikni xaqiqiy qismi aktiv qarshilikka, mavxum qismi esa reaktiv qarshilikka teng bo'lganligi uchun: $r=3 \text{ Om}$, $X=4 \text{ Om}$ va $Z=5 \text{ Om}$ ga teng bo'ladi.

2. Kompleks kuvvatni topish uchun tok kuchini mavxum qismidagi ishorasini qarama-qarshisiga o'zgartirib kompleks kuchlanishga ko'paytiramiz:

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = j100(16 - j12) = 2000e^{j53^\circ} = (1200 + j1600) \text{ VA.}$$

Bunda aktiv, reaktiv va tula kuvvatlarni qiymatlari:

$P=1200 \text{ W}$, $Q=1600 \text{ var}$, $S=2000 \text{ VA}$ ga teng bo'ladi.

Masala

Rasm-2.5 da berilgan sxemadagi toklarni oniy qiymatlarini aniqlang. Zanjir parametrlari quyidagicha:

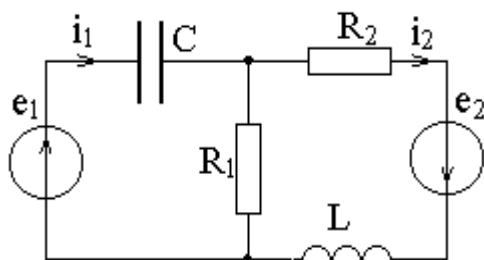
$$e_1(t) = 10 \sin 100t \text{ B.}$$

$$e_2(t) = 14,1 \sin (100t + 45^\circ) \text{ B.}$$

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ Om}$$

$$L = 10 \text{ mH} = 10^{-2} \text{ H}$$

$$C = 10^{-2} \text{ F}$$



Rasm-2.5

Echish:

1. Manba kuchlanishlarini kompleks ko'rinishda yozamiz:

$$\dot{E}_{m1}=10B; \dot{E}_{m2}=14,1 e^{j45} B.$$

2. Tarmoqlardagi kompleks qarshiliklarni hisoblaymiz;

$$Z_L=j\omega L=j100 \cdot 10^{-2}=j1 \text{ Om}$$

$$Z_C=-\frac{j1}{\omega C}=-\frac{j1}{100 \cdot 10^{-2}}=-j1 \text{ Om}.$$

$$Z_1=R_L=1 \text{ Om}$$

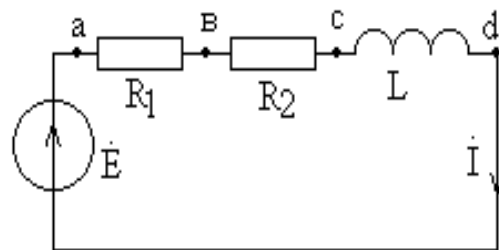
3. Kontur toklar usuliga asosanib tenglamalar tuzib, bu tenglamalarni yechamiz:

$$\dot{I}_{m11}(Z_C+R_1)=\dot{E}_{m1}$$

$$\dot{I}_{m22}(R_1+R_2+Z_L)=\dot{E}_{m2}$$

$$\dot{I}_{m11}=\frac{\dot{E}_{m11}}{Z_C+h_1}=\frac{10}{-j1+1}=16e^{j60^\circ}$$

$$\dot{I}_{m22}=\frac{\dot{E}_{m2}}{R_{1c}+R_2+Z_L}=\frac{14,1e^{j45}}{2+j1}=13,4e^{j27^\circ}$$



Rasm-2.6

4. Tarmoqdagi toklarni kontur toklar bilan ifodalaymiz va ularni kompleks qiymatini aniqlaymiz:

$$\dot{I}_{m1}=\dot{I}_{m11}=16e^{j60^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_{m2}=\dot{I}_{m22}=13,4e^{j27^\circ} \text{ A}$$

5. Toklarni oniy qiymatlarini yozamiz:

$$i_1(t)=16\sin(100t+60^\circ) \text{ A}$$

$$i_2(t)=13,4\sin(100t+27^\circ) \text{ A}.$$

Masala:

Rasm-2.6 da keltirilgan sxemada EYuK $E=141\sin\omega t$ V ga, aktiv qarshiliklar R_1 va R_2 , induktivlik L ga teng bo'lsa, zanjir elementlaridagi tok va kuchlanishlarni aniqlang.

Echilishi: $R_1=3 \text{ Om}$, $R_2=2 \text{ Om}$, $L=9,55 \text{ mGn}$

1. Berilgan zanjir uchun tenglama tuzamiz:

$$i(R_1+R_2)+L\frac{di}{dt}=e \text{ yoki } \dot{I}(R_1+R_2)+j\omega L \dot{I}=\dot{E} \text{ yoki } \dot{I}Z=\dot{E}$$

2. Tula kompleks qarshilikni xisoblaymiz:

$$Z=R_1+R_2+j\omega L=3+2+j314 \cdot 9,55 \cdot 10^{-3}=5+j3=5,82 e^{j31}$$

$$3. \text{EYuK ning kompleks ta'sir etuvchi qiymatini topamiz: } \dot{E}=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=\frac{141}{\sqrt{2}}=100 \text{ V}$$

4. Zanjirdagi tok kuchini topamiz.

$$\dot{I}=\frac{\dot{E}}{Z}=\frac{100}{5+j3}=\frac{100(5-j3)}{25+9}=14,7-j8,8=17,2 e^{-j31}$$

5. R_1 -qarshilikdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_{R1}=\dot{U}_{av}=\dot{I}R_1=(14,7-j8,8) \cdot 3=44,1-j26,4=51,6 e^{-j31} \text{ B}$$

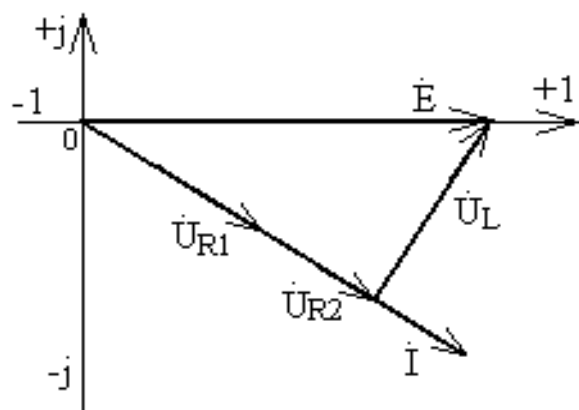
6. R_2 -qarshilikdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_{R2}=\dot{U}_{vs}=\dot{I}R_2=(14,7-j8,8) \cdot 2=29,4-j17,6=34,4 e^{-j31} \text{ B}$$

7. Induktiv g'altakdagi kuchlanishni topamiz:

$$\dot{U}_L=\dot{U}_{cd}=j\omega L \dot{I}=j314 \cdot 9,55 \cdot 10^{-3} \cdot (14,7-j8,8)=26,4+j44,1=51,6 e^{j59} \text{ B}$$

8. Ma'lum masshtabda vektor diagrammani ko'ramiz (Rasm-2.7).



Rasm-2.7

Masala:

Rasm-2.8 da berilgan zanjir sinusoidal $u=U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga ulangan. Tarmoklardagi tok kuchi $I_1=I_3=I_4=10$ A bo'lsa, zanjirdagi umumiy tokni effektiv qiymatini aniqlang.

Echish:

1. Tarmoklardagi toklarni kompleks qiymatlarini aniqlaymiz:

$$\dot{I}_1 = j 10 \text{ A}$$

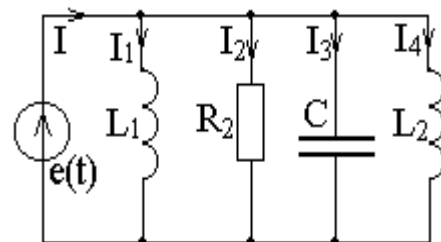
$$\dot{I}_2 = 10 \text{ A}; \quad \dot{I}_3 = -j 10 \text{ A}; \quad \dot{I}_4 = j 10 \text{ A}.$$

2. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan umumiy tokni topamiz:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4 = j10 + 10 - j10 + j10 = 10 + j10$$

$$I = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200} = 14,14 \text{ A}$$

Zanjirdagi umumiy tokning effektiv qiymati $I=14,14$ A ga teng.



Rasm-2.8

O'zgaruvchan tok zanjirlariga doir masalalar

2.1-Masala

Chastotasi $f=100$ Gs bo'lgan sinusoidal o'zgaruvchan tokning davri va burchak chastotasi aniqlansin.

2.2-Masala

Fabrika bir oy ishlashi davomida uning aktiv energiya schetchigi 245000 kVt. soatni, reaktiv energiya schetchigi esa 140000 kVAr. soat ni ko'rsatdi. Fabrikaning o'rtacha oylik quvvat koeffitsiyenti aniqlansin.

2.3-Masala

Kuchlanishi $U=220$ V, chastotasi $f=60$ Gs bo'lgan manbaga induktiv g'altak va kondensator galma-galdan ulanganda zanjirdan oqib utgan tok bir xil, ya'ni $I=10$ A. G'altakning induktivligi va kondensatorning sig'imi aniqlansin.

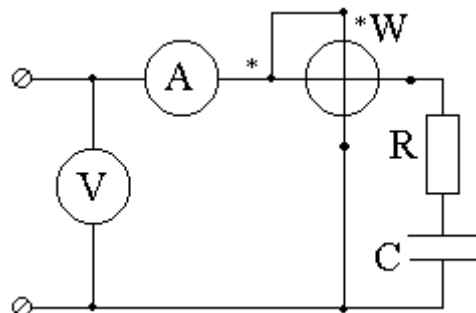
2.4-Masala

Zanjirga berilgan kuchlanishning va undagi tokning oniy qiymatlari $u=280\sin\omega t$

va $i = 12,7 \sin((t - 45^\circ))$ ma'lum bo'lsa, zanjirning aktiv, reaktiv va to'la quvvatlari va qarshiliklari topilsin.

2.5-Masala

Elektr zanjiriga ulangan ampermetr va voltmetrning ko'rsatishlari $I = 10$ A, $U = 380$ B. (Rasm-2.5). Tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi burchagi $\varphi = 30^\circ$. Vattmetrning ko'rsatishi, zanjirning aktiv va sig'im qarshiliklari xamda reaktiv va to'la quvvatlari aniqlansin.



Rasm-2.5

2.6-Masala

Aktiv qarshiligi xisobga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'lgan g'altak $f = 50$ Gs chastotali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan. Agar g'altak uchlariga ulangan voltmetr $U = 220$ V kuchlanishni, ampermetr esa $I = 5$ A tokni ko'rsatsa g'altakni induktivligi L topilsin.

2.7-Masala

Chastotasi $f = 50$ Gs, kuchlanishi $U = 220$ V bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'iga sig'imi $S = 5$ mkf li kondensator ulangan. zanjirdagi tok va kondensatorning zlekr maydonida yigilgan energiyaning maksimal qiymati aniqlansin.

2.8-Masala

$S = 200$ mkF sig'imli kondensator aktiv qarshiligi $R = 12$ Om, induktivligi $L = 40$ mkG bo'lgan g'altak $U = 220$ V kuchlanishli va $f = 50$ Gs chastotali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ketma-ket ulangan. Zanjirdagi tok kuchi, aktiv quvvati, kondensatorning sig'im qarshiligi va g'altakning induktiv qarshiligi xamda kuchlanishlar tushishi aniqlansin?

2.9-Masala

Standart chastotali va $U = 120$ V kuchlanishli o'zgaruvchan tok tarmog'iga ketma-ket q'ilib $R = 3$ Om li qarshilik, induktivligi $L = 12,7$ m Gs bo'lgan g'altak va $S = 394$ mkF sig'imli kondensator ulangan bo'lsa, g'altakning induktiv qarshiligi kondensatorning sig'im qarshiligi, to'la qarshilik xamda zanjirdagi tokning aktiv va to'la quvvatlari topilsin?

2.10-Masala

Agar zanjirga ulangan ampermetr 2 A ni, voltmetr esa 220 V ni ko'rsatayotgan bo'lsa, zanjirdagi tok kuchining va kuchlanishning amplituda qiymatlarini toping?

2.11-Masala

Induktivligi $L=0,4$ Gs bo'lgan g'altakni chastotasi $f_1=50$ Gs va $f_2=400$ Gs bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmoklariga ulangan xollar uchun induktiv qarshiliklarni toping?

2.12-Masala

$S=12$ mkF sig'imli kondensatorni chastotasi $f_1=50$ Gs, $f_2=5$ kGs va $f_3=25$ mGs, bo'lgan tok tarmoklariga ulangan xollar uchun sig'im qarshiliklarini toping?

2.13-Masala

Ikki simli liniya oxiriga quvvati $R_1=22$ kVt li bo'lgan elektr dvigateli bilan umumiy quvvati $R_2=2,2$ kVt bo'lgan bir grupp lampalardan iborat iste'molchilar parallel ulangan. Bitti liniya simining qarshiligi $r_1=0,02$ Om bo'lib, iste'molchilarning qismlaridagi kuchlanish $U_2=220$ V bo'lsa, liniya boshidagi kuchlanish U_1 aniqlansin.

2.14-Masala

Aktiv qarshiligi juda kichik bo'lgan g'altak standart chastotali o'zgaruvchan tok tarmogiga ulangan. G'altak uchlarida ulangan voltmeter $U=120$ V kuchlanishni ampermetr esa $I=2,4$ A ni ko'rsatsa, g'altakning induktivligini toping?

2.15-Masala

Effektiv kuchlanishi $U=120$ V va chastotasi $f=1$ kGs bo'lgan o'zgaruvchan tokka ulanganda g'altakning induktiv qarshiligi $X_L=250$ Om bo'lsa undan utayotgan tok kuchining amplituda qiymatini, uning induktivligini toping?

2.16-Masala

Standart chastotali o'zgaruvchan tok zanjiridagi aktiv qarshiligi $R=10$ Om va induktivligi $L=0,2$ Gs bo'lgan g'altakning to'la qarshiligi topilsin.

2.17-Masala

Standart chastotali va 220 V kuchlanishli o'zgaruvchan tok tarmogiga ketma-ket q'ilib $R=20$ Om li qarshilik $L=60$ MGs induktivlik g'altak va $S=80$ mkF sig'imli kondensator ulangan. Zanjirdagi tok kuchi g'altak va kondensatorlardagi kuchlanishlarni toping?

2.18-Masala

Chastotasi 400 Gs bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmogiga $S=2$ mkF sig'imli kondensator ulangan zanjirda kuchlanish rezonansi xosil bulishi uchun zanjirga ulanishi kerak bo'lgan g'altakning induktivligini toping?

2.19-Masala

Chastotasi $f=500$ Gs bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmogiga $L=20$ mGs induktivlikli g'altak ulangan zanjirda kuchlanish rezonansi xosil bulishi uchun zanjirga ulanishi kerak bo'lgan kondensatorning sig'imi S ni toping?

2.20-Masala

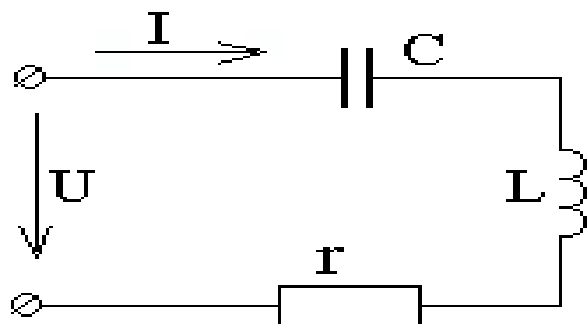
O'zgaruvchan tok zanjirida ampermetr $I=6$ A tokni, voltmetr $U=220$ V kuchlanishni vattmetr esa $R=600$ Vt quvvatni ko'rsatadi. Quvvat ko'effitsiyentini, tok kuchi va kuchlanish orasidagi fazaning siljishini toping?

2.21-Masala

Zanjirdagi kuchlanish va toklarning oniy qiymatlari ifodasi: $U=310\sin(314t+200)$ $I=8,46\sin(314t-150)$ nagruzka xarakteri va uning parametrlari aniqlansin.

2.22-Masala

Aktiv qarshiligi $r_L=7$ Om ga va induktivligi $L=24$ MGn ga teng bo'lgan g'altak xamda sig'imi $S=1450$ mkF ga teng bo'lgan kondensator ketma-ket ulangan (Rasm-



Pacm-2.22

2.22). Agar bu sxema chastotasi $f=50$ gs ga teng bo'lgan $U=380$ V kuchlanish mabaiga ulansa, quyidagi kattaliklar aniqlansin: I - umumiy tok, U_C -kondensatordagi kuchlanish, U_L - g'altakdagi kuchlanish, $\cos\varphi_L$ - g'altakdagi quvvat ko'effisenti, $\cos\varphi$ - butun zanjirning quvvat ko'effisenti, P - zanjirning aktiv quvvati, Q_L -g'altakning reaktiv quvvati, Q_C -kondensatorning reaktiv quvvati, Q -zanjirning reaktiv quvvati, S_L -

g'altakning to'la quvvati, S -zanjirning to'la quvvati aniqlansin va kuchlanishlar vektor diagrammasi chizilsin.

2.23-Masala

Kuchlanishi $U=127$ V va chastotasi $f=50$ gs bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmogiga ikkita g'altak ketma-ket ulangan, (Rasm-2.23), g'altaklarning parametrlari $r_1=5$ Om, $r_2=10$ Om, $L_1=L_2=1$ Gn ga teng. Zanjirning quvvat ko'effitsiyenti va tokining kattaligi aniqlansin. Tok va kuchlanishlarni vektor diagrammasi kurilsin.

2.24-Masala

Induksiyasi $V=0,8$ Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda sirt -20sm^2 bo'lsa tugri burchakli xalka $p=1800$ ayl/km tezlik bilan aylanayapti. Xalkadagi EYUK ni amplituda qiymatini aniqlang, xamda EYUKni o'zgarish qonuniyatini aniqlang.

2.25-Masala

Cigimi 600 mkF bo'lgan kondensator qismlaridagi kuchlanish $u=141\sin(100t+60^\circ)$ qonuniyat bilan o'zgaradi. Kondensatorda jamlangan elektr maydon energiyasini effektiv qiymati, xamda kondensator toki aniqlansin.

2.26-Masala

Agar transformator ikkilamchi chulgamidan utayotgan tok uch barobar oshsa, uzakda o'tayotgan magnit oqimi o'zgaradimi? Nima uchun?

2.27-Masala

Ikkita bir xil transformator berilgan. Ulardan birini magnit uzagi kalinligi 0,35 mm ikkilamchisini 0,5 mm li elektrotexnik po'lat tunukalardan qilingan. Qaysi transformatorni F.I.K. yuqori? Nima uchun?

2.28-Masala

Agar ketma-ket qo'zgatish chulgamli dvigatelni qo'zgatish chulgamiga parallel $R_q=R$ qarshilik ulansa dvigatelni aylanish tezligi qanday o'zgaradi? Nima uchun?

2.29-Masala

Asinxron dvigatel stator faza chulgamlar soni $W_1=123$, rotorniki $W_2=18$ chulgam ko'effisiyenti mos ravishda $K_{01}=0,96$ va $K_{02}=0,975$. Agar magnit oqimi $F_m=2,5 \cdot 10^{-2}$ bo'lsa kuzgalmas rotor uchun xamda $S=0,04$ bo'lganda stator va rotor chulgamlarida induksiyalanadigan EYUKni xisoblab toping. Dvigatel $f=50$ Gs bo'lgan manbaga ulangan.

2.30-Masala

Kuchlanishi $U=200$ B va chastotasi bo'lgan manbaga sig'imi $S=2$ mkF bo'lgan kondensator va qarshiligi $R=6$ Om bo'lgan rezistor ketma-ket ulangan. To'la qarshilik, tok kuchi, aktiv va reaktiv quvvat, xamda quvvat ko'effisienti aniqlansin.

Berilgan: $U=200$ B $S=2$ mkF $R=6$ Om

Aniqlash kerak: $Z, I, P, Q, \cos\varphi=?$

Yechilishi:

$$\text{Zanjirning to'la qarshiligi: } Z=R+\frac{1}{j\omega C}=6+\frac{10^6}{j2 \cdot 3,14 \cdot 10^4 \cdot 2}=(6-j7,96)O_M=10O_M$$

$$\text{Zanjirdagi tok kuchi: } \dot{I}=\frac{\dot{U}}{Z}=\frac{200}{6-j7,96}=(12+j16)A=20A$$

$$\text{Aktiv quvvat: } P=\dot{I}^2 \cdot R=20^2 \cdot 6=2400 \text{ Vt}=2,4 \text{ Vt}$$

To'la quvvat:

$$S=\dot{I} \cdot U=20 \cdot 200=4000 \text{ Vt}=4 \text{ kVt} \quad \text{yoki}$$

$$\dot{S}=\dot{U} \cdot \dot{I}=200 \cdot (12+j16)=(2400+j3200)BA$$

$$\text{Reaktiv quvvat: } Q=\sqrt{S^2-P^2}=\sqrt{4^2-2,4^2}=3,2 \text{ kVar}$$

$$\text{Quvvat ko'effisienti: } \cos\varphi=\frac{R}{Z}=\frac{P}{S}=\frac{2,4}{4}=0,6$$

Elektr ulchashlarga doir masalalar

3.1-Masala

Nominal toki $I=10$ A ga teng bo'lgan elektrodinamik sistemadagi ampermetrni tekshirish uchun, elektrodinamik sistemadagi namuna asbob bilan ketma-ket ulangan. Tekshirilayotgan ampermetr $I_t=8$ A ni, namunaviy asbob $I_n=8,2$ A ni ko'rsatsa, ampermetrning mutlak, nisbiy va keltirilgan xatoliklarini aniqlang.

Yechilishi:

1. Ampermetrning mutloq xatoligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta = I_n - I_u = 8,2 - 8 = 0,2 \text{ A}$$

2. Ampermetrning nisbiy xatoligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = (\Delta/I_n) \cdot 100\% = -2,4\%$$

3. Ampermetrning keltirilgan xatoligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = (\Delta/I) \cdot 100\% = (0,2/10) \cdot 100\% = 2\%$$

3.2-Masala

Ampermetr, voltmeter va vattmetrlar transformasiya koeffitsientlari $K_I = 60$ va $K_U = 10$ ga teng bo'lgan tok va kuchlanish transformatorlari orqali bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan. O'lchash asboblarning, zanjirdagi tok kuchi, kuchlanish va quvvatni ko'rsatishlari $I_A = 3 \text{ A}$, $U_V = 90 \text{ V}$ va $P_W = 150 \text{ Vt}$ ga teng bo'lsa aniqlang.

Yechilishi:

Zanjirdagi tok kuchini aniqlaymiz:

$$I = K_T \cdot I_A = 60 \cdot 3 = 180 \text{ A.}$$

Zanjirdagi kuchlanishni aniqlaymiz:

$$U = K_H \cdot U_V = 10 \cdot 90 = 900 \text{ B.}$$

3. Zanjirdagi aktiv quvvatni quyidagicha aniqlaymiz:

$$P = K_T \cdot K_H \cdot P_W = 60 \cdot 10 \cdot 150 = 90000 \text{ Vt} = 90 \text{ kVt.}$$

3.3-Masala

Elektromagnit tizimdagi voltmeterning ichki qarshiligi $R_V = 20 \text{ kOm}$, nominal kuchlanishi $U_n = 380 \text{ V}$ bo'lsa, voltmeterning ulchash chegarasini $U = 600 \text{ V}$ ga oshirish uchun kerak bo'ladigan kushimcha qarshilikni qiymati R_K ni aniqlang va ulanish sxemasini chizing.

Yechilishi:

Kushimcha qarshilikdagi kuchlanishlar pasayishini xisoblaymiz.

$$U_k = U - U_{nom} = 600 - 380 = 220 \text{ V}$$

Voltmetrdan oqib utadigan tokni xisoblab topamiz: $I_v = U_n / r_v = 19 \text{ mA}$.

Kushimcha qarshilikni mikdorini aniqlaymiz:

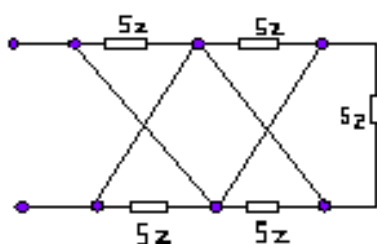
$$R_k = U_k / I_v = 11,6 \text{ kOm}$$

3.4-Masala

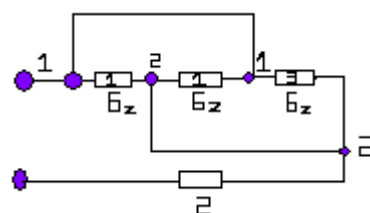
Ichki qarshiliklari $r_{01} = 20 \text{ kOm}$ va $r_{02} = 24 \text{ kOm}$ bo'lgan ikkita voltmetr ketma-ket ulangan. Agar ular umumiy kuchlanishi $U = 600 \text{ V}$ ga ulansa. Agar voltmترلari shkalalari mos ravishda $U_{1tok} = 300 \text{ V}$ xamda $U_{2njr} = 400 \text{ V}$ bo'lsa. ularni ko'rsatishlari qanday miqdorda bo'ladi

3.5-Masala

Ekvivalentning qarshiligi aniklansin

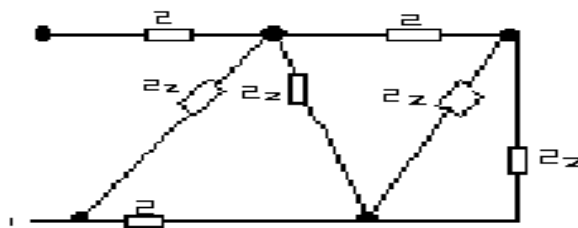


a)



b)

3.6-Masala



c)

120 V kuchlanishga mo'ljallangan qarshiligi 240 Om bo'lgan elektr lampani 220 V kuchlanishli tarmoqqa ulash lozim. Buning uchun kesimi $0,55 \text{ mm}^2$ bo'lgan nixrom o'tkazgichdan necha metr olib lampochkaga ketma-ket qilib ulash kerak?

3.7-Masala

3 V kuchlanishga va 0.3 A tok kuchiga mo'ljallangan to'rtta lampochkani parallel ulab, 5,4 V kuchlanishli tarmoqdan ta'minlash uchun lampochkalarga qanday qo'shimcha qarshilikni ketma-ket ulash lozim? Agar lampochkalardan birortasi uchirib quyilsa, boshqa lampochkalarning ravshanligi qanday o'zgaradi?

3.8-Masala

EYUK $E=9 \text{ V}$ va ichki qarshiligi $r=1 \text{ Om}$ bo'lgan tok manbai reostat orqali parallel ulangan $n=3$ ta lampochkani ta'minlaydi. Bu lampochkalar $U_{\text{nom}}=6,3 \text{ V}$ kuchlanish va $I_{\text{nom}}=0,3 \text{ A}$ tok kuchiga mo'ljallangan. Reostat shunday xolatga qo'yilganki, lampochkalar nominal rejimda ishlaydi. Lampochkalardan biri kuyib qolsa, qolgan ikkita lampochkaning qarshiliklari o'zgarmay qolgan bo'lsa, har birining quvvati nominalga qaraganda necha marta o'zgaradi?

3.9-Masala

Ichki qarshiligi r va EYUKsi E ga teng bo'lgan manbaga har birining qarshiligi $3r$ dan bo'lgan uchta rezistor ketma-ket ulangan. Agar rezistorlar parallel ulansa, zanjirdagi tok kuchi, manba kiskichlaridagi kuchlanish va foydali kuvvat necha marta o'zgaradi?

3.10-Masala

G'altakning aktiv qarshiligi $r_L=5 \text{ Om}$, to'la qarshiligi esa $Z_L=20 \text{ Om}$, faza siljish burchagi aniqlansin?

3.11-Masala

Qurilmaning to'la quvvati $S=800 \text{ VA}$, Vattmetrdagi aktiv quvvat ko'rsatkichi 720 Vt ga teng. Quvvat koeffitsiyentini toping

1.3. Tajriba mashg'ulotlar

1-Tajriba ishi

O'zgarmas tok murakkab zanjirlarini tekshirish

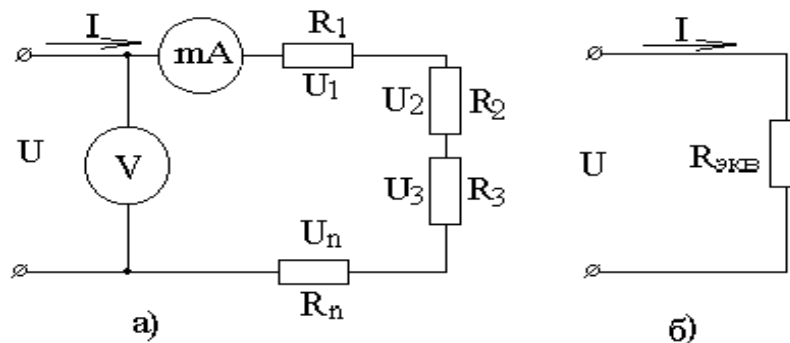
1. Ishning maqsadi

- alohida shaxobchalardagi kuchlanish tushuvini aniqlash (Om qonuni asosida).
- aralash ulangan o'zgarmas tok elektr zanjirlarini yig'ishini va ularni hisoblashni o'rganish.

2. Nazariy ma'lumotlar

Elektr zanjiri deb elektr tokini elektr energiya manbaidan elektr toki iste'molchilarigacha shu energiyani yetkazadigan yopiq yo'lni tashkil qiluvchi qurilma va elementlarga aytiladi. Zanjirning asosiy elementlariga (generator) ulovchi simlar va iste'molchilar kiradi. Iste'molchilarni manbaga ulashda ketma-ket, parallel va aralash ulash qo'llaniladi.

Birinchi holatda rezistorlar R_1, R_2, R_n kuchlanish manbai bilan U yakka kontur hisoblanadi. (Rasm-4.1) va bu zanjirda bir xil tok (I) oqadi. Bu xolatda har bir qarshilikda Om qonuniga asosan kuchlanishlar tushuvi hosil bo'ladi:



Расм-3.1

$U_k = I \cdot R_k$ $U_1 = I \cdot R_1$ $U_2 = I \cdot R_2$ $U_3 = I \cdot R_3$ $U_n = I \cdot R_n$ tushuvi hosil bo'ladi. (k- qarshiliklar tartib nomeri).

Boshqa tomondan Kirxgofning 2 chi qonuniga asosan barcha kuchlanishlar yig'indisi kirish kuchlanishiga teng bo'ladi, ya'ni

$$U_k = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n = I \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) = I \cdot R_{ekv}$$

Bu yerda $R_{ekv} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

Ekvivalent yoki yig'indi qarshilik shunday bir qarshilikki, kuchlanish manbai U ga ulanganda, xuddi ketma-ket ulangan qarshiliklardagi tokka teng bo'lgan tok hosil bo'ladi. Elektr zanjiridagi tok qo'yidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$I = U_1 / R = U_2 / R_2 = U_3 / R_3 ; \quad [A]$$

Har bir elektr energiya iste'molchisidagi aktiv quvvat qo'yidagiga teng bo'ladi:

$$R_1 = U_1 \cdot I ; \quad R_2 = U_2 \cdot I ; \quad \dots ; \quad R_n = U_n \cdot I ; \quad [Vt]$$

Elektr zanjirning aktiv quvvati qo'yidagiga teng:

$$R = U \cdot I = U_1 \cdot I + U_2 \cdot I + U_3 \cdot I + \dots + U_n \cdot I \quad [Vt]$$

O'zgarmas tok elektr zanjirlari umumiy holatda elektr energiya manbalari, elektr energiya iste'molchilari, o'lchash asboblari, kommutatsion apparatlar, ulagich sim va o'tkazgichlardan iborat bo'ladi. Zanjirning asosiy elementlari (generator) ulagich simlar va iste'molchilar hisoblanadi. Elektr energiya manbalarida boshqa tur energiyasi (gidro, yonilg'i, atom va hokazo) elektr energiyasiga aylantiriladi. Elektr energiya

iste'molchilarida manbalarning elektr energiyasi, boshqa bir holatga, misol uchun mexanik energiya, issiqlik energiyasiga va kimyoviy energiyalarga o'zgartiriladi.

Iste'molchilarni elektr energiya manbaiga ulashni usuliga ko'ra ketma-ket, parallel va aralash ulashlarga bo'linadi. Parallel ulash vaqtida R_1 , R_2 , va R_n qarshiliklar bir xil kuchlanish manbai U da bo'ladi, ya'ni:

$$U = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = \dots = I_n \cdot R_n$$

Bunday holatda, har bir qarshilik o'zining avtonom tokiga ega bo'ladi. $I_k \cdot U | R_k$; natijada Kirxgofning 1-chi qonuniga asosan zanjirdagi umumiy tok, aloxida iste'molchilardagi toklarni yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U/R_e = U_1/R_1 + U_2/R_2 + \dots + U_n/R_n$$

Bu yerda $1/R_{ekv} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

Oddiy o'zgarmas tok elektr zanjirlaridagi tok va kuchlanishlarni aniqlash Kirxgof qonunlari asosida amalga oshiriladi.

3. Ishning bajarish tartibi

1. Rasm-3.2 da keltirilgan sxemani yig'ing.

2. Kerakli asboblari:

- E_1 - 50 V li kuchlanish manbai;

- R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - R_5 - PEV-7,5-200 Om li rezistorlar;

- V - 0-50 V gacha bo'lgan o'zgarmas tok vol'tmetri.

3. Sxemani «a» va «b» uchlarini 50 V li kuchlanish manbaiga ulang.

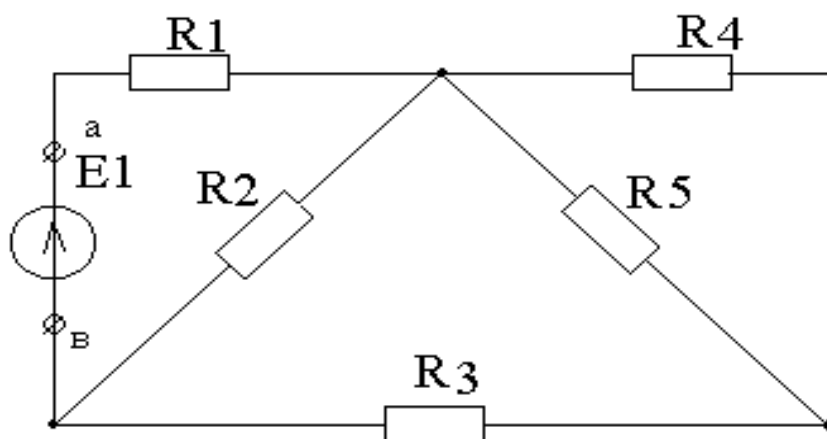


Рис. 3.2

4. Zanjirdagi har bir elementdagi kuchlanishlar tushuvini vol'tmetr yordamida o'lchang va 3.1-jadvalga yozing.

5. O'lchash natijalariga asoslanib, har bir tarmoqdagi toklarni hisoblang va 3.1-jadvalga yozing.

6. $E_1 = 50V$, $R_1 = 220 \text{ Om}$ va $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 200 \text{ Om}$ ga teng bo'lsa, o'zgarmas tok

murakkab zanjirlarini hisoblash usullaridan foydalanib, har bir tarmoqdagi toklarni hisoblab toping.

7. 5 chi va 6 chi bandlarda aniqlangan toklarni taqqoslang va o'z xulosalaringizni daftarga yozing.

3.1-jadval

№	O'lchash natijalari						Hisoblash natijalari				
	E V	U 1 V	U 2 V	U 3 V	U 4 V	U 5 V	I ₁ A	I ₂ A	I ₃ A	I ₄ A	I ₅ A
1											
2											

1. Om qonunini ifodalang va uni qo'llashga misollar keltiring?
2. Zanjirni ekvivalent qarshiligi nima?
3. Zanjirni bir qismi va butun zanjir uchun Om qonunini yozing, ichki va tashqi zanjirlar uchun?
4. Bir nechta e.yu.k. li yopiq kontur uchun Kirxgofning 2-chi qonunini ifodalang? Bu holatda konturlardagi har bir e.yu.k. ning ishorasi qanday aniqlanadi?
5. Qanday zanjir murakkab zanjir deb ataladi? Ularni hisoblashda qaysi qonunlardan foydalaniladi?

2-Tajriba ishi

Sig'im elementli o'zgaruvchan tok zanjirlarini tekshirish

1.Ishning maqsadi

- ♦ aktiv qarshilik va sig'im elementlardan tashkil topgan o'zgaruvchan tok zanjirini uchun Om va Kirxgof qonunlarini qo'llashni o'rganish.
- ♦ vektor diogrammalar qurishni o'rganish.

2.Nazariy ma'lumotlar

Agar kondensatordagi kuchlanish vaqt bo'yicha o'zgarmasa, kondensatorning bir qoplamasida $q=Cu$ zaryad, ikkinchi qoplamasida esa $-q=-Cu$ zaryad bo'ladi va kondensatordan tok oqib o'tmaydi.

Agar bu kuchlanish vaqt bo'yicha sinusoidal qonuniyat bilan o'zgarsa, kondensatordagi zaryad miqdori ham sinusoidal $u=U_m \sin \omega t$ qonun bilan o'zgaradi: $q = SU = CU_m \sin \omega t$

Bunda kondensator razryadlanadi va zaryadlanadi, bu vaqtda zaryadlanish va razryadlanish toki oqib o'tadi, bu tok ham sinusoidal $i=I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ qonun bilan o'zgaradi. Demak kondensatordagi tok kuchlanishdan 90° ga oldinga o'tib ketadi. (Rasm-4.1.b)

Om qonuniga asosan kondensatordagi tok qo'yidagiga teng bo'ladi: $I_m = \frac{U_m}{X_c}$; $X_c = \frac{1}{\omega C}$

-sig'im qarshilik,

bunda zanjarning (Rasm-4.4.a) to'la qarshiligi uning sig'im qarshiligiga teng bo'ladi, ya'ni: $Z=X_c$ $R=0$

Faza siljish burchagi nolga teng, chunki:

$$\varphi = \arccos(R_c/Z) = \arccos(0/X_c) \quad \varphi = 0$$

Agar kondensator bilan aktiv qarshilik ketma-ket ulansa (Rasm-4.2.a), u holda zanjarning to'la qarshiligi qo'yidagiga teng bo'ladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad \varphi = \arccos(R/Z)$$

Zanjirdagi umumiy kuchlanish kondensatordagi va aktiv qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvining yig'indisiga teng, ya'ni:

$$U = U_C + U_R$$

Bunday zanjirda tok manba kuchlanishidan φ -burchakka oldinga o'tib ketadi va bunday zanjir sig'im xarakterga ega bo'lgan zanjir deyiladi, bunda faza siljish burchagi noldan kichik bo'ladi, ya'ni: $\varphi < 0$

3.Ishni bajarish tartibi

1.Rasm-4.3 dagi sxemani yig'ing.

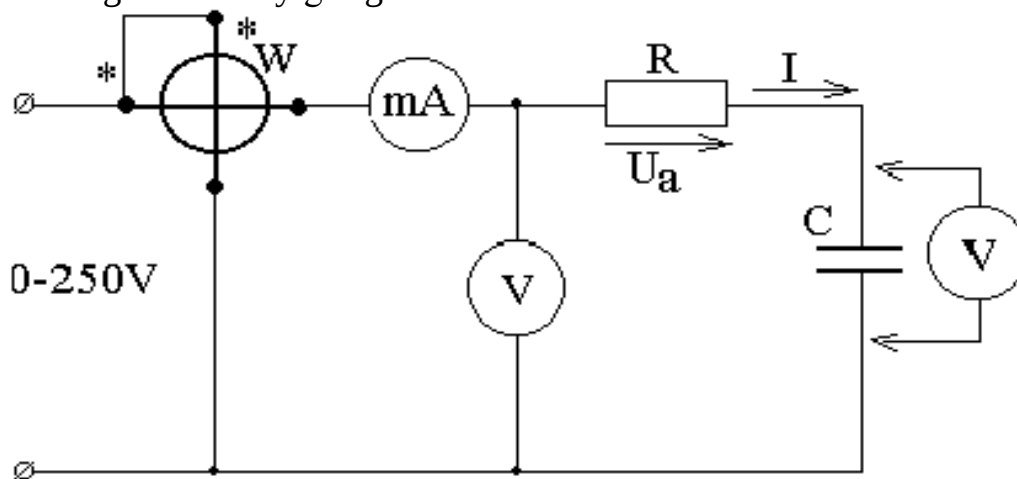


Рис-4.3

2.Kerakli asboblari:

- W- 0,6 kW li vattmetr;
- mA-300 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri;
- V -250V li o'zgaruvchan tok voltmeteri;
- R- PEV-7,5-750Ω li qarshilik;
- S1, S2, S3-4mkF –400V li kondensatorlar.

3. LATR kalitini «~0-250V» holatga keltiring.

4. Zanjir uchlarini tok ta'minoti «~0-250V» bog'ichlariga ulang va avtotransformator dastasini burash orqali kuchlanishni 220V ga keltiring.

5. Kondensatorlarni har xil ulash yo'li bilan, sig'imni o'zgartirib, zanjirdagi tok kuchi, aktiv qarshilik va sig'im qarshilikdagi kuchlanish pasayishlarini o'lchang va 4.1-jadvalga yozing.

4.1-jadval

N _o	U (B)	I (mA)	P (Bt)	U _R (B)	U _C (B)
1					
2					
3					

6. O'lchash natijalariga asoslanib, qo'yidagi kattaliklarni hisoblab toping:

Zanjirning aktiv qarshiligi	$R = U_R / I$, [Om]
Zanjirning to'la qarshiligi	$Z_n = U_n / I$, [Om]
Sig'im qarshilik	$X_s = U_c / I$, [Om]
Kondensator sig'imi	$S = 1 / (\omega X_s)$ [F]
Zanjirning to'la quvvati	$S = U_n \cdot I$, [V.A]

Zanjirning reaktiv quvvati $Q=S \cdot \sin \varphi$ [VAr]
 quvvat koeffitsienti $\cos \varphi=R/S$

Sinov savollari

1. O'zgaruvchan tok deb nimaga aytiladi?
2. O'zgaruvchan tokning o'rtacha qiymati nimaga teng?
3. O'zgaruvchan tokning effektiv qiymati bilan amplituda qiymati o'rtasida qanday farq bor?
4. Sig'im harakterga ega zanjir uchun vektor diagramma qanday bo'ladi?
5. Kondensatorda tok qanday o'zgaradi?
6. Reaktiv qarshilik qachon nolga teng bo'ladi?

3-Tajriba ishi

Induktiv elementli o'zgaruvchan tok zanjirlarini tekshirish

1.Ishning maqsadi

- ♦ aktiv qarshilik R induktivlik L va sig'im S dan iborat bo'lgan bir fazali o'zgaruvchan tok zanjirida Om va Kirxgof qonunlarini tekshirish.
- ♦ zanjirning aktiv, reaktiv va to'la qarshiliklarini topish, hamda kuchlanish va tok orasidagi faza burchak siljishini o'lchash natijalari asosida vektor diagrammalar qo'rishni o'rganish.

Nazariy ma'lumotlar

Har qanday uchta passiv elementlardan tashkil topgan o'zgaruvchan tok elektr qurilmalari elektr zanjiri hisoblanadi; -aktiv qarshilik r elektr energiyasini sochilishini xarakterlaydi. (Elektr energiyasini ish energiyasiga va issiqlik energiyasiga aylanishi).

-induktivlik L zanjirning magnit maydonini xarakterlaydi.

-sig'im S zanjirning elektr maydonini xarakterlaydi.

Bu elementlar amaliy jixatdan aktiv qarshilik, induktivlik g'altagi va sig'im ko'rinishida ifodalanadi. Bu elementlar bir-biridan farqlanadi va ketma-ket ulanadi. Umumiy xolda o'zgaruvchan tok elektr zanjiridagi to'la qarshilik qo'yidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Z=\sqrt{r^2+(X_L-X_C)^2}, [\text{Om}]$$

Bu yerda $X_L=\omega \cdot L$ -g'altakning induktiv qarshiligi (Om)

ω - burchak chastotasi

$X_S=1/\omega S$ - kondensatorning sig'im qarshiligi (Om).

Tok Om qonuni asosida aniqlanadi.

$$I=U/Z, [\text{A}]$$

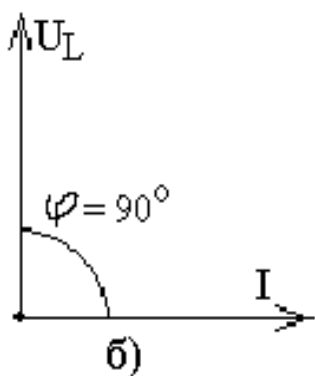
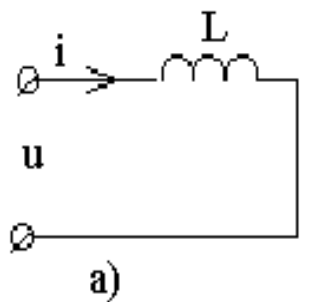


Рис-5.1

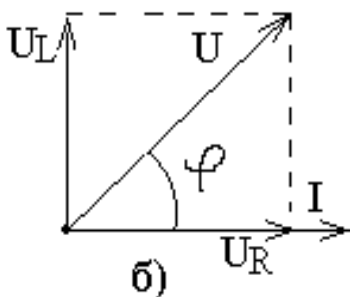
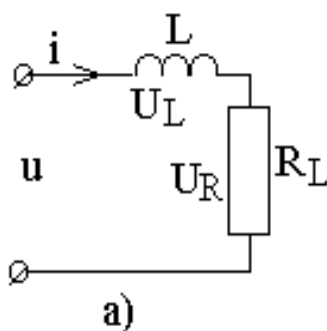


Рис-5.2

Tok va kuchlanish orasidagi faza burchak siljish qo'yidagiga teng:

$$\varphi = \arctg X_L / R$$

Zanjirning kirishdagi umumiy kuchlanish vektori zanjirning alohida qismlaridagi kuchlanishlar tushuvini geometrik vektorlar yig'indisi kabi aniqlanadi.

SHunday qilib, umumiy holat uchun o'zgaruvchan tokning tarmoqlanmagan zanjiri uchun Kirxgofning 2-chi qonunini qo'llash fakat vektor ko'rinishida bo'ladi:

$$U = IZ_1 + IZ_2 + \dots + IZ_n = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

(O'zgarmas tok zanjirida bo'lgani kabi, o'zgaruvchan tok zanjirida ham manba kuchlanishi kuchlanishlar tushuvi algebratik yig'indisiga teng bo'lmaydi).

Bu xol o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning 2-chi qonunini qo'llash afzal hisoblanadi. Umumiy holatda o'zgaruvchan tok zanjirlaridagi umumiy kuchlanish va tok faza bo'yicha φ burchakka siljigan bo'ladi, ya'ni $U = U_m \sin \omega t$,

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

To'liq bir davrdagi quvvatning o'rtacha qiymati aktiv quvvat deyiladi va qo'yidagiga teng, ya'ni $R = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

SHunday qilib, o'zgarmas tok zanjiridagi quvvatdan farqli bo'lib, o'zgaruvchan tok zanjiridagi aktiv quvvat faqat kuchlanish bilan tokning ko'paytmasiga ($U \cdot I$) bog'liq bulmay, yana quvvat koeffitsienti $\cos \varphi$ ga ham bog'liq bo'ladi. Aktiv quvvat (Vt), kilovvat (KVt) va megovatlarda (MVt) o'lchanadi.

$U \cdot I = S$ - umumiy quvvat hisoblanadi va vol'tamper yoki kilovol'tamper (VA), (kv.A) larda o'lchanadi.

SHunday qilib, $R = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$

Bu yerda, $\cos \varphi$ - quvvat koeffitsienti bo'lib, bu kattalik to'liq iste'mol qilinayotgan quvvatning qancha qismi ishchi aktiv quvvat ekanligini qo'rsatadi.

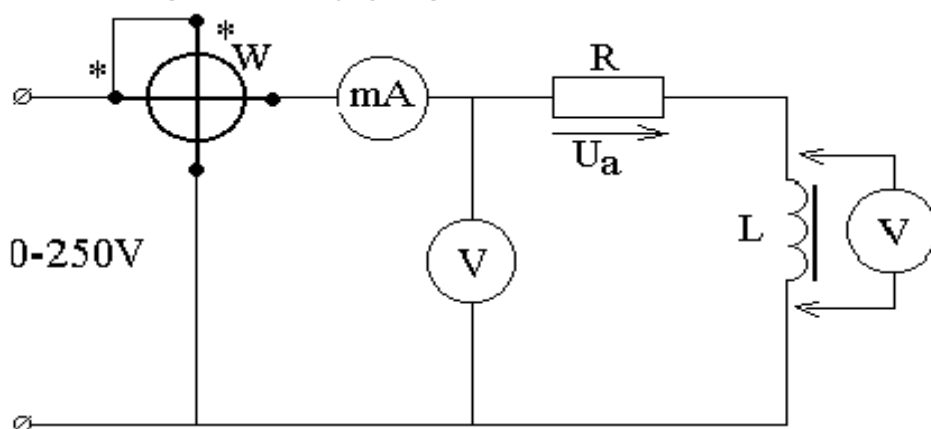
Bu quvvat $\pm Q = U \cdot I \sin \varphi$ - reaktiv quvvat deb ataladi, (VAR, kVAR, MVAR) o'lchanadi, «+» ishorasi reaktiv induktiv quvvat,

«-» ishorasi esa reaktiv sig'im quvvat ekanligini bildiradi.

3. Ishni bajarish tartibi

1. Tajriba stendi bilan tanishing, uning asosiy elementlari qarshilik, induktivlik va ularni sozlashni o'rganing.

2. Rasm-5.3.dagi sxemani yig'ing.



Расм-5.3

3. Kerakli asboblari:

-W- 0,6 kW li vattmetr;

- mA-300 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri;
- V -250V li o'zgaruvchan tok voltmeteri;
- R- PEV-7,5-750Ω li qarshilik;
- L- o'zakli induktivlik galtagi.

4.LATR kalitini «~0-250V» xolatga keltiring.

5.Zanjir uchlarini tok ta'minoti «~0-250V» bog'ichlariga ulang va avtotransformator dastasini burash orqali kuchlanishni 220V ga keltiring.

6.O'zak yordamida g'altakning induktivligini o'zgartirib, zanjirdagi I tokni, aktiv va induktiv qarshiliklardagi U_R , U_L kuchlanishlarni hamda aktiv quvvat R ni vattmetr yordamida o'lchang va 5.1-jadvalga yozing.

5.1-jadval

№	U (B)	I (mA)	P (Bt)	U_R (B)	U_L (B)
1					
2					
3					

7. O'lchash natijalariga asoslanib, qo'yidagi kattaliklarni hisoblab toping:

Zanjirning aktiv qarshiligi $R=U_R/I$, [Om]

G'altakning to'la qarshiligi $Z_L=U_L/I$, [Om]

G'altakning induktiv qarshiligi $X_L=\sqrt{Z_L^2 - r_L^2}$, [Om]

G'altakning aktiv qarshiligi $r_L=r_N-R$, [Om]

G'altakning induktivligi $L=X_L/\omega$, [Gn]

Quvvat koeffitsienti $\cos\varphi=R/S$

Zanjirning to'la qarshiligi $Z_n=U_n/I$, [Om]

Zanjirning to'la quvvati $S=U_n \cdot I$, [V.A]

Zanjirning reaktiv quvvati $Q=S \cdot \sin\varphi$ [VAr]

Eslatma: Vattmetr qo'rsatkichini 0,1 ga ko'paytirish kerak.

Sinov savollari

1. O'zgaruvchan tok deb nimaga aytiladi?
2. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonunini yozing. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlari uchun Om qonuni qanday farq qiladi?
3. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlari uchun Kirxgof qonunlarini qo'llashning afzalliklari nimalardan iborat?
4. Aktiv qarshilik nima va u qanday aniqlanadi?
5. To'la va induktiv qarshiliklar qanday aniqlanadi?

4-Tajriba ishi

Kuchlanishlar rezonansini o'rganish

1.Ishning maqsadi

1. aktiv induktiv va sig'im qarshilik ketma-ket ulangan elektrlar zanjirida rezonans hodisasini hosil qilish usullarini o'rganish.
2. zanjir parametrini aniqlash hamda ketma-ket ulangan tebranish konturidan rezonans vaqtida va undan keyingi ish rejimini o'rganish.

2. Nazariy ma'lumotlar

Agar $u = U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga aktiv r , induktiv $x_L = \omega L$ va sig'ım $x_C = 1/\omega C$ qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'lsa, (rasm-7.1a) zanjirning muvozanat holati tenglamasi qo'yidagicha bo'ladi:

$$u_r + u_L + u_C = u \quad \text{yoki} \quad r\dot{I} + j\omega L\dot{I} + \frac{1}{j\omega C}\dot{I} = \dot{U}$$

Zanjirning kompleks qarshiligi qo'yidagiga teng bo'ladi: $Z = r + j(\omega L + \frac{1}{\omega C}) = r + jX = ze^{j\varphi}$

Zanjirda rezonans hodisasi sodir bo'lganda unga berilayotgan kuchlanish aktiv qarshilikdagi U_r kuchlanish tushuvini kompensatsiyalab turishi kerak, ya'ni: $U_r = r\dot{I} = \dot{U}$ yoki $\dot{U}_L + \dot{U}_C = 0$.

Demak zanjirda rezonans bo'lishi uchun $\omega L = 1/\omega C$, ya'ni reaktiv elementlarning qarshiliklari o'zaro teng ($X_L = X_C$), bo'lishi kerak.

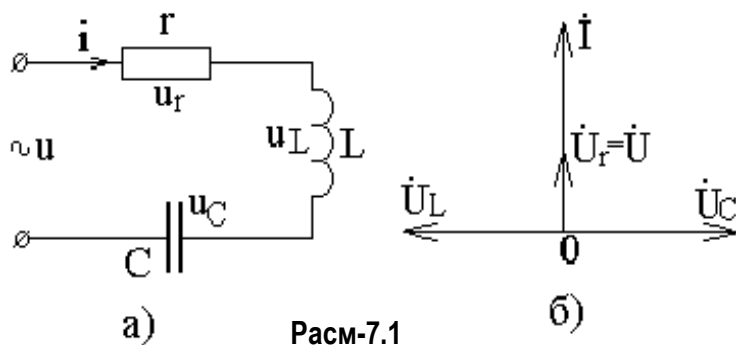


Рис-7.1

Rezonans vaqtida $z = r$ va $\varphi = 0$ bo'lib, zanjirdagi tok i bilan manba kuchlanishi $\dot{U}$ bir xil fazada bo'ladi. (rasm-7.1,b).

Elementlari ketma-ket ulangan zanjirlarda rezonansga erishishni ikki xil usuli mavjud, ya'ni:

1. Tebranish konturining parametrlari o'zgarmas bo'lganda ($L = \text{const}$, $C = \text{const}$), manba chastotasi (ω) ni o'zgartirib xususiy tebranishlar chastotasi ω_0 bilan tenglashtirish usuli $\omega = \omega_0$.

2. Manba chastotasi o'zgarmas ($\omega = \text{const}$) bo'lganda tebranish konturi parametrlaridan birortasini o'zgartirib, qo'yidagi tenglik hosil qilish usuli:

$$L_0 = \frac{1}{\omega^2 C} \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$$

Bunda $\omega_0 = \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ chastota- rezonans chastotasi deyiladi.

Rezonans vaqtida zanjirning to'la qarshiligi minimal qiymatga erishadi, bu vaqtda manbadan maksimum tok iste'mol qilinadi: $I_{\max} = I_{\text{rez}} = \frac{U}{r}$;

Bu tok o'z navbatida katta mikdordagi reaktiv kuchlanishlar $U_L = IX_L$ va $U_C = IX_C$ ni hosil qiladi, bu kuchlanishlar manba kuchlanishi U dan bir necha marta katta bo'ladi, shuning uchun ham kuchlanishlar rezonansi deb ataladi.

3. Ishning bajarish tartibi

1. Rasm -7.2 dagi sxemani yig'ing.

2. Kerakli asboblari:

- V- 250 V li o'zgaruvchan tok vol'tmetri;
- V2-150 V li o'zgaruvchan tok vol'tmetri;
- W-0,6 kVt li vattmetri;
- mA-300 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri;
- S2-S3-4 mkf-400 V li kondensatorlar;

-L-induktiv g'altak.

3. LATR holatini "0-250V" holatiga keltiring.
4. Zanjir uchlarini uch fazali manbaning V va S fazalariga hamda "0-250V" manba bog'ichlariga ulang.
5. LATR yordamida $U_{kir}=0,2 U_{VS}$ kuchlanishni o'rnatish.
6. Zanjirdagi tokni chiziqli kuchlanish U_{VS} ni konturdagi kuchlanishni, kondensatordagi kuchlanishni, g'altakdagi kuchlanishni, aktiv quvvatni kondensator 4 mkf hamda g'altak o'zaksiz xolati uchun o'lchang.
7. Yuqoridagi ishlarni kondensator 6 va 8 mkf bo'lgan xolat uchun qaytaring.
8. Yuqoridagi ishlarni g'altakni o'zakli holati uchun ham qaytaring.
9. Kondensator 6 mkf bo'lganda, g'altakning o'zagini holatini o'zgartirish yuli bilan rezonans holatiga erishing va o'lchovlarni 7.1-jadvalga yozing
10. Rezonans xolatiga erishilgandagi asboblarni qo'rsatishlarini daftaringizga yozib oling.
11. O'lchash natijalari asosida 7.1-jadvalni to'ldiring.

Eslatma: Vattmetr ko'rsatishini 0,02 ga ko'paytirish kerak?

7.1-jadval

№	U (B)	I (mA)	P (Bt)	U_L (B)	U_C (B)
1					
2					
3					

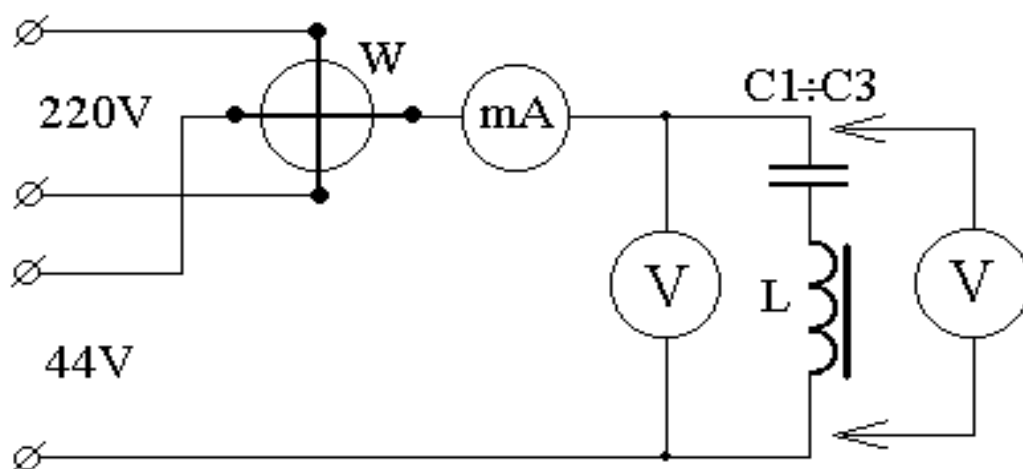


Рис-7.2

12. O'lchash natijalariga asoslanib, qo'yidagi kattaliklarni hisoblab toping:

Zanjirning aktiv qarshiligi	$R=R/I^2$, [Om]
G'altakning to'la qarshiligi	$Z_L=U_L/I$, [Om]
G'altakning induktiv qarshiligi	$X_L=\sqrt{Z_L^2 - R^2}$, [Om]
G'altakning induktivligi	$L=X_L/\omega$, [Gn]
Sig'im qarshilik	$X_s=U_c / I$, [Om]
Kondensatorning sig'imi	$S=1/(\omega X_s)$, [F]
Rezonans chastotasi	$\omega=\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ [1/Sek]

Zanjirning to'la qarshiligi	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, [\text{Om}]$
Quvvat ko'effitsienti	$\cos\varphi = R/S$
Zanjirning to'la quvvati	$S = U \cdot I, [\text{V} \cdot \text{A}]$
Zanjirning reaktiv quvvati	$Q = S \cdot \sin\varphi, [\text{VAr}]$

S i n o v s a v o l l a r i

1. O'zgaruvchan tok va kuchlanishning oniy amplituda va xaqiqiy qiymatlari nima?.
2. Faza siljish burchagi deb nimaga aytiladi?
3. Rezonans xodisasi nima?
4. Kuchlanishlar rezonansiga erishishning qanday usullari mavjud?
5. Reaktiv va to'la qarshiliklar qanday aniklanadi? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?

5-Tajriba ishi

Toklar rezonansini o'rganish

1.Ishning maqsadi

- ♦ induktiv va sig'im o'tkazuvchanliklar parallel ulangan zanjirlardagi rezonans hodisasini tajriba yuli bilan tekshirish.
- ♦ rezonans holatida zanjir parametrlarini aniqlash va tebranish konturida rezonans vaqtida va undan keyingi ish rejimini o'rganish.

2.Nazariy ma'lumotlar

O'tkazuvchanliklari g , $b_L = \frac{1}{\omega L}$ va $b_C = \omega C$ bo'lgan qarshiliklar parallel ulangan zanjir $u = U_m \sin \omega t$ kuchlanish manbaiga ulangan bo'lsa, bu zanjirning muvozanat holati tenglamasi qo'yidagicha bo'ladi: $i = i_g + i_L + i_C$ yoki $g\dot{U} + \frac{\dot{U}}{j\omega L} + j\omega C\dot{U} = \dot{I}$

Zanjirning kompleks to'la o'tkazuvchanligi qo'yidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = g - jb = Ye^{-j\varphi}$$

Rezonans sharti bo'yicha butun zanjirning toki $\dot{I}$, aktiv tarmokdagi tok I_g ga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$\dot{I}_g = g \cdot \dot{U} = \dot{I}$$

Buning uchun g 'altak va sig'imning reaktiv o'tkazuvchanliklari o'zaro teng ($b_C = b_L$) bo'lishi shart, ya'ni: $b = (\frac{1}{j\omega L} - j\omega C) = 0$ $\frac{1}{j\omega L} = j\omega C$

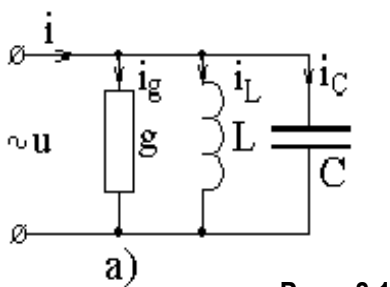
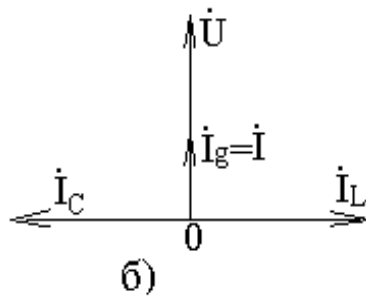


Рис. 8.1



Elementlari parallel ulangan zanjirlarda rezonansga ikki xil usul bilan erishish mumkin, ya'ni:

1. Zanjir parametrlari o'zgarmas (L va C) bo'lganda, manba chastotasini o'zgartirib, uni tebranishlarning xususiy chastotasiga tenglash usuli.

2. Manba chastotasi o'zgarmas

bo'lganda zanjir parametrlaridan birini (L yoki C) o'zgartirib, $\omega_0 = \omega$ ga erishish usuli:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} \text{ yoki } C = \frac{1}{\omega^2 L}$$

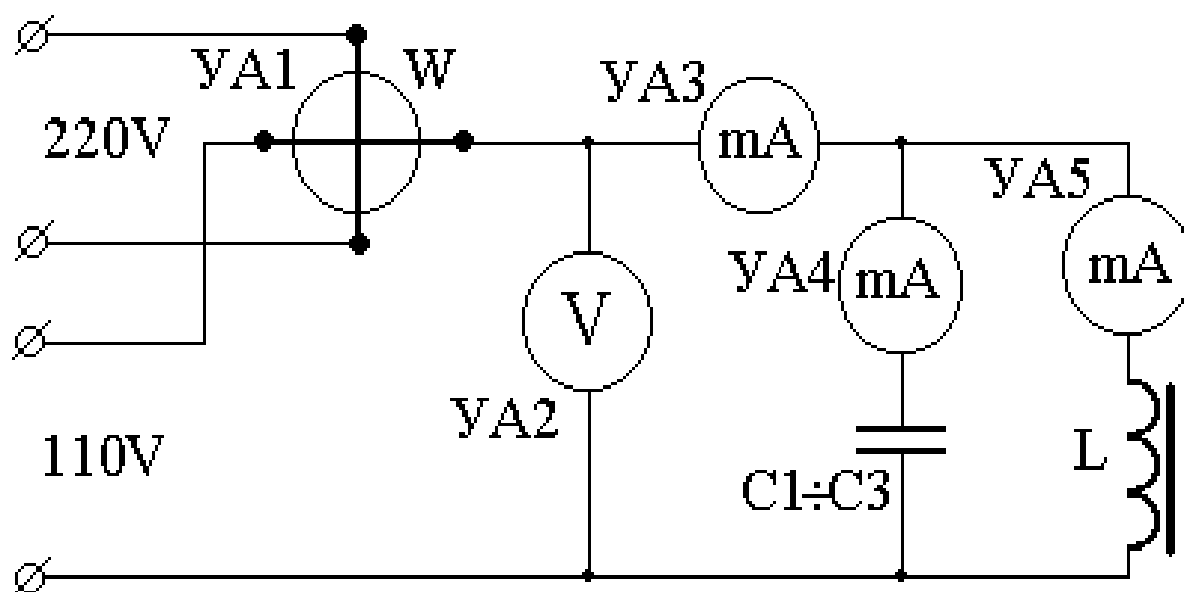
Rezonans paytida $b_L = b_C$ bo'lgani uchun zanjirning to'la o'tkazuvchanligi minimal qiymatga erishadi, bunda zanjirning manbadan iste'mol qilayotgan toki ham minimal bo'ladi:

$$I_{\min} = I_{\text{rez}} = gU$$

Ammo reaktiv tok I_L va I_C lar miqdor jixatidan manbadan kelayotgan umumiy tokdan bir necha barobar ortib ketishi mumkin, shuning uchun bu hodisa toklar rezonansi deb ataladi.

3.Ishning bajarilish tartibi

- 1.Rasm-8.2 dagi sxemani yig'ing.
- 2.Kerakli asboblari.
 - ◆ UA1-0,6kVt li vattmetr;
 - ◆ UA2 - 250V li o'zgaruvchan tok vol'tmetri;
 - ◆ -UA3- UA4 –UA5-300mA o'zgaruvchan tok milliampermetri;
 - ◆ L-o'zgaruvchan induktiv g'altak;
 - ◆ S1-S3-4mf, 400V li kondensatorlar.
3. Latr kalitini «0-250V» holatga keltiring.
4. Zanjir uchlarini uch fazali manbaning V va S fazalariga, hamda «0-250V» li manbaning bog'ichlariga ulang.



Rasm-8.2

- 5.Avtotransformator dastasini burab, $V_{kir}=0,5V_{vs}$ kuchlanishni o'rnatish.
- 6.Kuchlanishlar V_{vs} , V_k ni konturning umumiy toki I_k ni, induktiv g'altakdagi tokni va aktiv quvvat R ni vattmetr bo'yicha sig'im 4,6,8 mf ga teng bo'lganda g'altak o'zaksiz va o'zakli holatida o'lchang.
- 7.Induktiv g'altakdagi o'zakning holatini o'zgartirib,6mf sig'im uchun rezonansga erishish (zanjirdagi umumiy tok minimumga erishadi) va toklar I , I_L , I_c ni va aktiv quvvatni o'lchang.

8.1-jadval

№	U (B)	I (mA)	P (Bt)	I_L (A)	I_C (A)
1					
2					
3					

8. O'lchash natijalariga asosanib, qo'yidagi kattaliklarni hisoblab toping:

Zanjirning aktiv o'tkazuvchanligi $g=I^2/P$, [Sm]

G'altakning to'la o'tkazuvchanligi $Y_L=I_L/U$, [Sm]

G'altakning induktiv o'tkazuvchanligi	$b_L = \sqrt{Y_L^2 - g^2}$, [Sm]
G'altakning induktivligi	$L = 1/\omega b_L$, [Gn]
Sig'im o'tkazuvchanligi	$b_s = I_c/U$, [Sm]
Kondensatorning sig'imi	$S = b_c/\omega$, [F]
Rezonans chastotasi	$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ [1/Sek]
Zanjirning to'la o'tkazuvchanligi	$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_c)^2}$, [Sm]
+uvvat koefitsienti	$\cos\varphi = R/S$
Zanjirning to'la quvvati	$S = U \cdot I$, [V.A]
Zanjirning reaktiv quvvati	$Q = S \cdot \sin\varphi$, [VAr]

Eslatma: Vattmetr qo'rsatkichini 0,05 ga ko'paytirish kerak.

S i n o v s a v o l l a r i

1. Elektr zanjirida rezonans deb nimaga aytiladi?
2. Induktiv sig'im va to'la qarshiliklar qanday aniqlanadi? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?
3. Induktiv qarshilik nima va u qanday birliklarda aniqlanadi?
4. Toklar rezonansi shartini yozing?
5. Aktiv yoki rezonansli zanjirda to'la o'tkazuvchanlik nimaga teng?
6. Qarshiliklar uchburchagi nima?

6-Tajriba ishi

Uch fazali tok iste'molchilarini «Yulduz» usulida ulash

1. Ishning maqsadi

- ◆ istemolchilari yulduz usulida ulangan uch fazali sistemada tok va kuchlanishlarni o'lchash, hamda to'rt simli uch fazali sistemada nol simning ahamiyatini o'rganish;

2. Nazariy ma'lumotlar

O'zgaruvchan tok zanjirida quvvatni ampermetr va voltmeter bilan o'lchab bo'lmaydi, chunki o'zgaruvchan tok zanjirining quvvati tok va kuchlanishdan tashqari quvvat koefitsienti $\cos\varphi$ ga ham bog'liqdir.

SHuning uchun o'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvatni faqat elektrodinamik va ferrodinamik vattmetrlar bilan o'lchanadi.

Agar iste'molchi yulduz shaklida ulangan bo'lib, simmetrik bo'lsa:

$$i_A + i_V + i_S = 0 \quad \text{bundan} \quad i_S = -i_A - i_V$$

Demak, ikkita vattmetr ko'rsatgan quvvatlarning algebraik yig'indisi uch fazali zanjirning aktiv quvvatiga teng bo'ladi:

$$P = P_{W1} + P_{W2}$$

Ikki vattmetr usuli to'rt simli zanjirlardagi uch fazali quvvatni o'lchash uchun yaroksizdir. Notekis nagruzkali to'rt simli zanjirlardagi uch fazali quvvatni o'lchash

uchun uchta vattmetrdan foydalaniladi. Bunda har bir vattmetr ayrim fazaning aktiv quvvatini o'lchaydi, ya'ni:

$$P_{AW}=U_A \cdot I_A \cdot \cos\varphi_A ; \quad P_{BW}=U_B \cdot I_B \cdot \cos\varphi_B ; \quad P_{CW}=U_C \cdot I_C \cdot \cos\varphi_C$$

Uch fazali zanjirning aktiv quvvati uchchala vattmetr ko'rsatgan quvvatlarning algebraik yig'indisiga teng:

$$P=P_{AW}+P_{BW}+P_{CW}$$

Amalda bir vaqtning o'zida ikkita va uchta vattmetrlarning ko'rsatishini kuzatish juda qiyin, shuning uchun sanoatimizda uch simli zanjirlar uchun ikki elementli, hamda to'rt simli zanjirlar uchun uch elementli uch fazali vattmetrlar ishlab chiqariladi.

Bir fazali tok zanjirida kurilgan aktiv, reaktiv va to'la quvvat tushunchalari uch fazali tok zanjirida ham o'z ma'nosini to'la saqlaydi.

Yuk simmetrik va nosimmetrik bo'lganda yulduz usulida ulangan iste'molchilarning aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarini hisoblash (aniqlash) formulalari qo'yidagicha:

1. Yuk nosimmetrik bo'lganda har bir fazaning quvvati alohida hisoblab topiladi.

Aktiv quvvatlar: $P_A=U_A \cdot I_A \cdot \cos\varphi_A ; \quad P_B=U_B \cdot I_B \cdot \cos\varphi_B ; \quad P_C=U_C \cdot I_C \cdot \cos\varphi_C$

Uch fazali zanjirning aktiv quvvati, alohida fazalar aktiv quvvatlar yig'indisiga teng, ya'ni

$$P=P_A+P_B+P_C$$

Reaktiv quvvatlar: $Q_A=U_A \cdot I_A \cdot \sin\varphi_A ; \quad Q_V=U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi_V ; \quad Q_S=U_S \cdot I_S \cdot \sin\varphi_S$

Uch fazali zanjirning reaktiv quvvati alohida fazalar reaktiv quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni: $Q=Q_A+Q_V+Q_S ;$

Uch fazali zanjirning to'la quvvati: $S=\sqrt{P^2+Q^2}$

2. Yuk simmetrik bo'lganda

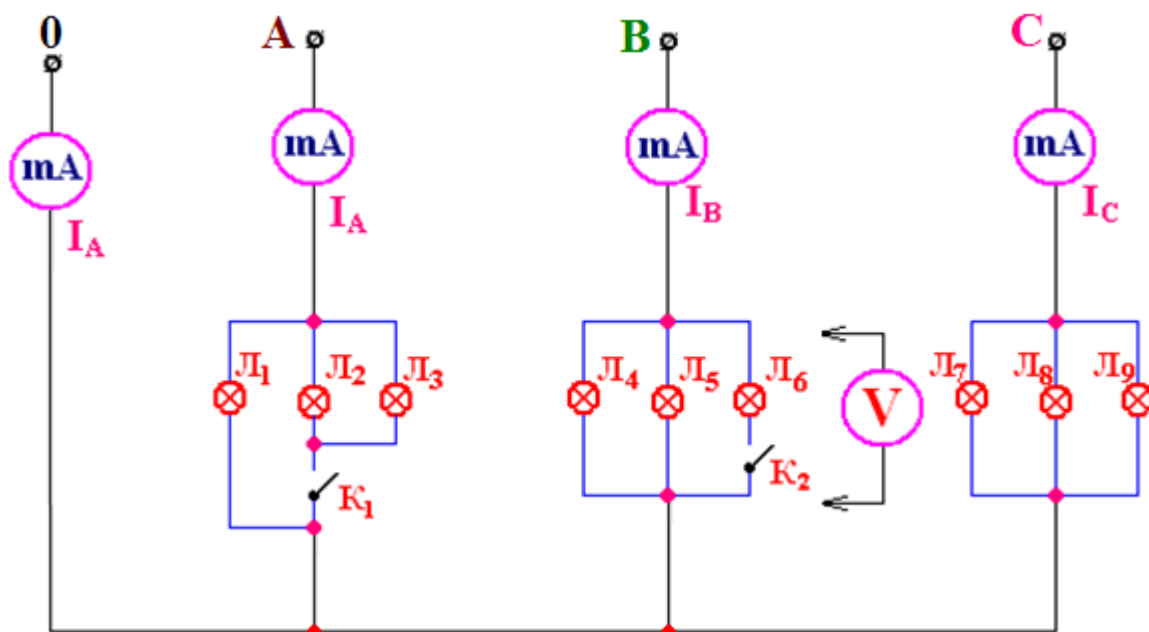
$$\begin{array}{ll} P_A=P_V=P_S=P_F & Q_A=Q_V=Q_S=Q_F \\ S_A=S_V=S_S=S_F & S_\lambda=3 \cdot S_F=3 \cdot U_F \cdot I_F \end{array}$$

ga teng bo'ladi.

Iste'molchi yulduz usulida $I_L = I_F$ va $U_L=\sqrt{3} \cdot U_F$ ekanligini hisobga olib aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni aniqlashning qo'yidagi umumlashgan formulalarini yozish mumkin: $P=\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi_F \quad Q=\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$

3.Ishni bajarish tartibi

1. Rasm-10.1da keltirilgan sxemani yig'ing.



Расм-10.1

2. Kerakli asbob va uskunalar:

- 0.6KW li vattmetr;
- A1, A2, A3-300 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri;
- V-250 V li vol'tmetr;
- L_A-Induktiv g'altak;
- -K1,K2-ulagichlar.

3. Sxemani A,V,S,0 uch fazali manbaning "3-220V" bog'lagichlariga ulang.

4. Simmetrik (K2-ulangan, K1-ulanmagan) yuk uchun, nol'sim ulangan va ulanmagan holatlar uchun o'lchash asboblari ko'rsatishii yozing.

5. Nosimmetrik (K1-ulanmagan, K2-ulangan) yuk uchun yuqoridagi ishlarni bajaring, so'ngra sxemani manbadan uzib qo'ying.

6. Olingan natijalarga asoslanib, bitta faza uchun va butun zanjir uchun aktiv, reaktiv va to'la qarshiliklarni hamda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni hisoblang.

Nosimmetrik holat uchun tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini chizing.

$$S_f = U_f \cdot I_f; \quad \cos \varphi_f = \frac{P_f}{S_f} \quad Q_f = S_f \cdot \sin \varphi_f$$

Simmetrik yuklar uchun: $S = 3 \cdot S_f; \quad P = 3P_f; \quad Q = 3 \cdot Q_f$

Nosimmetrik yuklar uchun: $S = S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} \quad P = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3} \quad Q = Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3}$

Sinov savollari

1. Uch fazali o'zgaruvchan tok zanjiridagi foydali quvvatlarni o'lchashning qanday

usullari bor?

2.Qanday xollarda uch fazali tok zanjirlarining foydali quvvatlari bitta vattmetr usuli bilan o'lchanadi?

3.Qanday hollarda uch fazali tok zanjirlarining foydali quvvatlari ikki vattmetr usulida o'lchanadi?

4.Simmetrik va nosimmetrik yuk nima?

5. Nold(0)simning vazifasi nimalardan iborat?

6.To'la quvvat deganda nimani tushunasiz?

7.Aktiv va reaktiv quvvat nimaga teng?

7-Tajriba ishi

Uch fazali tok iste'molchilarini «uchburchak» usulida ulash

1.Ishning maqsadi

- ◆ uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirida iste'molchilarni "Uchburchak"usulida ulanganda turli xil ish rejimlarini quvvatini va quvvat koefitsientini o'lchashni o'rganish.

2. Nazariy ma'lumotlar.

Uch fazali tok zanjirida aktiv quvvatni o'lchash uchun bitta, ikkita va uchta vattmetr usullaridan foydalaniladi. Simmetrik sistemalarda uch fazali quvvatni o'lchash uchun bitta vattmetrdan foydalansa bo'ladi, chunki bunda iste'molchilarning toki, kuchlanishi, faza siljishi va har bir fazadagi aktiv quvvat bir xil bo'ladi. Uch simli nosimmetrik zanjirida har bir fazadagi tok, faza siljishi va aktiv quvvat turlicha bo'ladi. Hatto faza va liniya kuchlanishlari ham har xil bo'lishi mumkin. Bunday zanjirning quvvatini ikkita vattmetr usulida o'lchash mumkin. Uch fazali tok zanjirining quvvati ikkita vattmetr ko'rsatishi R_{w1} va P_{w2} larning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$R=R_{w1}+P_{w2}$$

Yuk simmetrik va nosimmetrik bo'lganda "Uchburchak" usulida ulangan iste'molchilarning aktiv va to'la quvvatlarini hisoblash usullari bilan tanishib chiqamiz.

1. Yuk nosimmetrik bo'lganda har bir fazaning quvvati alohida hisoblanadi.

Aktiv quvvatlar: $P_{AV}=U_{AV} \cdot I_{AV} \cdot \cos\varphi_{AV}$ $P_{VS}=U_{VS} \cdot I_{VS} \cdot \cos\varphi_{VS}$ $P_{AS}=U_{AS} \cdot I_{AS} \cdot \cos\varphi_{AS}$

Uch fazali zanjirning aktiv quvvati alohida fazalar quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni:

$$R_{\Delta}=R_{AS}+R_{VS}+R_{SA}$$

Reaktiv quvvatlar: $Q_{AV}=U_{AV} \cdot I_{AV} \sin\varphi_{AV}$; $Q_{VS}=U_{VS} \cdot I_{VS} \sin\varphi_{VS}$; $Q_{SA}=U_{SA} \cdot I_{SA} \sin\varphi_{SA}$

Uch fazali zanjirning reaktiv quvvati alohida fazalar reaktiv quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni: $Q_{\Delta}=Q_{AB}+Q_{BC}+Q_{CA}$

Uch fazali zanjirning to'la quvvati:

$$S_{\Delta}=\sqrt{P_{\Delta}^2+Q_{\Delta}^2}$$

2. Simmetrik yuk shartida: $I_{AB}=I_{BC}=I_{AC}=I_F$; $\varphi_{AV}=\varphi_{VS}=\varphi_{SA}=\varphi_F$;

$$R_{AV}=R_{VS}=R_{AS}=R_F; \quad Q_{AB}=Q_{BC}=Q_{AC}=Q_F; \quad S_{AB}=S_{BC}=S_{AC}=S_F;$$

$$R_{\Delta}=3 \cdot R_F=3 \cdot U_F \cdot I_F \cos\varphi_F; \quad Q_{\Delta}=3 \cdot Q_F=3 \cdot U_F \cdot I_F \sin\varphi_F; \quad S_{\Delta}=3 \cdot S_F=3 \cdot U_F \cdot I_F$$

Iste'molchilar "Uchburchak" ulanganda $I_L=\sqrt{3} \cdot I_F$ va $U_L=U_F$ ekanligini hisobga olib, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni aniqlashning qo'yidagi umumlashgan formulalarini yozish mumkin:

$$P=\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi_F; \quad Q=\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi_F; \quad S=\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

3. Ishni bajarish tartibi

1. 11.1-rasmga asosan sxemani yig'ing.
2. Kerakli asboblari:
 - 300 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri A1, A2, A3;
 - 250 V li o'zgaruvchan tok vol'tmetri;
 - L- induktivlik g'altagi;
 - L1-L2-L3 chug'lanma lampalar (25 Vt 220 V);
 - U2 va U3 ulagichlar.

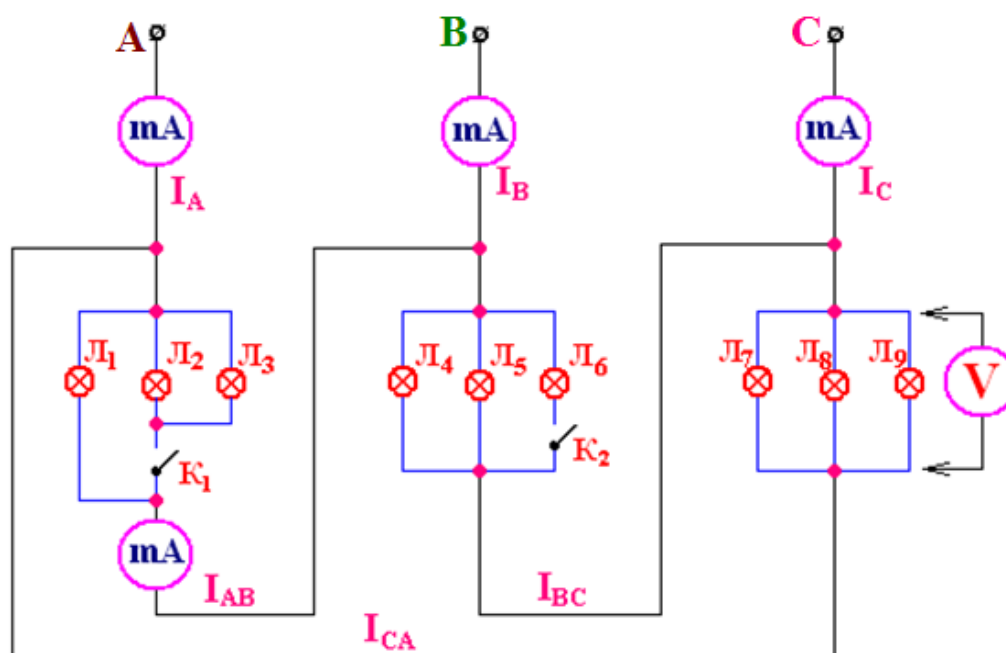


Рис-11.1

3. Sxemaning manbaning A, V, S bog'ichlaridagi "3-220V" bog'ichlarga ulang.
4. Simmetrik (ulagich U2 ulangan, U3 ulanmagan) yukda o'lchov asboblarni ko'rsatkichlarini jadvalga yozing.
5. Ulagichlar (U2 ulanmagan, U3 ulangan) holatlar, ya'ni nosimmetrik yukda o'lchov asboblarni ko'rsatkichlarini 11.1 jadvalga yozing.
6. O'lchash natijalari asosida zanjir fazalaridagi aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni (R_f , Q_f , S_f) hisoblang va 11.2-jadvalga yozing.
7. So'ngra uch fazali zanjirining umumiy aktiv quvvati R ni, reaktiv quvvati Q ni va to'la quvvat S ni hisoblang va 11.2-jadvalga yozing.

11.1-Jadval

Yuklama turi	P_A (Bt)	P_B (Vt)	I_A (A)	I_B (A)	I_C (A)	U_{AB} (V)	U_{AC} (V)	U_{BC} (V)
Simmetrik								
Nosimmetrik								

11.2-Jadval

yuk turi	P_C	Q_A	Q_V	Q_C	S_A	S_V	S_C	P	Q	S
Simrik										
Nosimrik										

Sinov savollari

1. «Uchburchak» usulda ulash deb qanday ulash usuliga aytiladi?
2. Istemolchilari aktiv va simmetrik bo'lgan zanjir uchun vektor diagramma chizing.
3. Simmetrik va nosimmetrik yuk nima?
4. Istemolchilardan biri sig'imdan iborat bo'lsa uch fazali zanjirda qanday o'zgarish bo'lishi mumkin?
6. Uch fazali zanjirlarda to'la quvvat qanday hisoblanadi?

8-Tajriba ishi

Kondensatorlarni zaryadlanishi va razryadlanishidagi o'tkinchi jarayonlarni o'rganish

(Ushbu tajriba ishi virtual laboratoriya ko'rinishida olib boriladi)

1. Ishdan maqsad

- RC zanjirda kondensatorning zaryadlanish va razryadlanish vaqtida sodir bo'ladigan o'tkinchi jarayonlarni o'rganish.

2. Nazariy ma'lumotlar

Elektr zanjirlarning bitta turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishini xarakterlovchi jarayonlar o'tkinchi jarayonlar deb ataladi.

Elektr zanjirning ish rejimini o'zgarishiga olib keluvchi barcha sabablar oddiy ravishda kommutatsiya yoki kommutatsion jarayonlar natijasida vujudga keladi.

Agar zanjir faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa, zanjirdagi hisobiy rejim kommutatsiya sodir bo'lgan ondan keyin boshlanadi.

Agar zanjirda bita bo'lsa ham energiya to'plovchi element (sig'im yoki induktivlik) bo'lsa, bu zanjirni bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishi, bu elementlarning magnit va elektr maydonlarida to'plangan elektromagnit energiyasining miqdor jihatidan o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

Energiyani son jixatidan chekli miqdorga o'zgarishi bir zumda sodir bo'la

olmasligi tufayli, zanjirning bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishi ma'lum vaqtni talab etadi.

KOMMUTATSIYA ning birinchi qonuni: Har qanday induktivlikka ega tarmoqdagi tok va magnit oqimi kommutatsiya paytida o'zini kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

$$i_{L-}(0) = i_L(0) \quad \text{yoki} \quad \Phi_{-}(0) = \Phi(0)$$

Buni induktiv g'altakni o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulash misolida ko'rish mumkin. Agar kommutatsiyaga qadar g'altakdan tok o'tmagan bo'lsa, kommutatsiya paytida g'altakdan o'tayotgan tok va hosil bo'lgan magnit oqimi nolga teng, ya'ni:

$$\begin{cases} i_{L-}(0) = 0 \\ \Phi_{-}(0) = 0 \end{cases} \quad \text{bo'lsa} \quad \begin{cases} i_L(0) = 0 \\ \Phi(0) = 0 \end{cases} \quad \text{bo'ladi.}$$

Bu miqdorlarning 0 dan to barqaror miqdorlarigacha birdaniga oshib ketishi nazariy jixatdan mumkin emas, chunki buning uchun tok va magnit oqimining o'zgarish tezligi cheksiz katta bo'lishi kerak, ya'ni: $U_L(0) = \infty$ bo'lishi kerak.

KOMMUTATSIYaning ikkinchi qonuni: Xar qanday tarmoqda sig'imdagi kuchlanish va zaryad miqdori kommutatsiya paytida o'zining kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

$$U_{C-}(0) = U_C(0) \quad \text{yoki} \quad q_{-}(0) = q(0)$$

Kondensatordagi kuchlanish va zaryadning $t=0$ paytda birdaniga o'zgarishi mumkin emas, chunki bu holda zanjirdan o'tayotgan tok cheksiz katta bo'lishi kerak, lekin bu hol Kirxgof qonunlariga zid bo'ladi.

Kommutatsiya paytida elektromagnit energiyaning oniy miqdorlari kommutatsiyaga qadar bo'lgan va undan keyingi turg'unlashgan rejimlarda o'zaro teng emas, demak zanjirda ana shu energiya farqini kompensatsiyalovchi kuch mavjud bo'lishi kerak.

Masalan r va L elementlari ketma-ket ulangan zanjirni o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulashda $t=0$ paytda bir-biriga teng bo'lmagan ikkita turg'unlashgan tok o'zaro tutashuvi kerak, ya'ni:

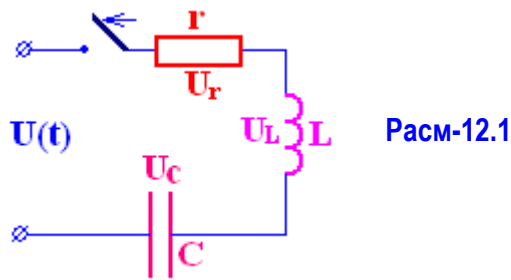
$$i_{turg-}(0) = 0 \quad \text{va} \quad i_{turg}(0) = \frac{U_0}{r} \quad \text{bo'lsa,} \quad i_{erk}(0) = -\frac{U_0}{r} \quad \text{bo'ladi, yoki}$$

$$i_{-}(0) = i(0) = i_{turg}(0) + i_{erk}(0) = 0$$

Rasm-12.1 da berilgan zanjirning elektr muvozanat tenglamasi Kirxgofning 2-qonuniga asosan qo'yidagicha bo'ladi:

$$ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = u(t)$$

Bu yerda: i - tokning $t=0$ paytdan to $t=\infty$ gacha bo'lgan vaqtdagi oniy qiymati.



Zanjirda o'tkinchi jarayon tugashi bilan manba kuchlanishining o'zgarish qonuniga bo'ysunadigan turg'unlashgan majburiy rejim boshlanadi. Demek zanjirning muvozanat tenglamasini qo'yidagicha yozish mumkin:

$$ri_{turg} + L \frac{di_{turg}}{dt} + \frac{1}{C} \int i_{turg} dt = u(t)$$

O'tkinchi tok majburiy, turg'unlashgan va erkin tokdan iborat, ya'ni: $i = i_{turg} + i_{erk}$ bo'lsa, $U_{r erk} + U_{L erk} + U_{C erk} = U(t)$ bo'ladi.

Zanjir elementlaridagi o'tkinchi kuchlanishni xuddi tok kabi, turg'unlashgan va erkin tashkil etuvchilardan iborat, ya'ni:

$$U_r = U_{r turg} + U_{r erk} \quad U_L = U_{L turg} + U_{L erk} \quad U_C = U_{C turg} + U_{C erk}$$

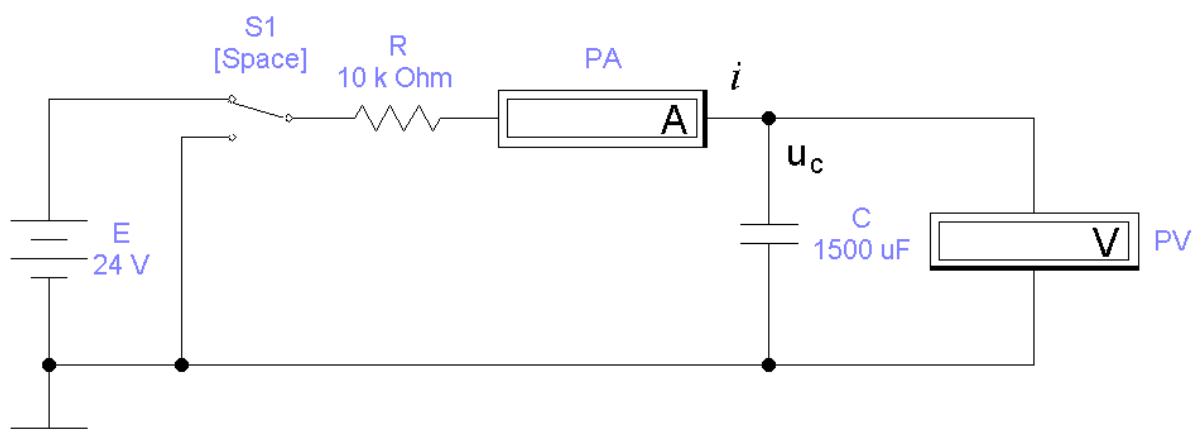
f_0 - rezonans chastotasi, R_C - xarakteristik qarshiligini $R=R_2=2 \text{ kOm}$ va $R=RI=100 \text{ Om}$ bo'lganda zanjir aslligi $L=L_2=2 \text{ mGts}$, $C=CI=1500 \text{ pF}$ bo'lganda kritik qarshiligini,

$R_{np} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, zanjirning xususiy tebranish davrini hisoblang.

3. Ishning bajarish tartibi

1. ELECTRONICS WORKBENCH dasturini ishga tushiring.

2. Tajriba sxemasini yuklash uchun ekranning chap yuqori burchagidagi  tugmani bosib, ochilgan oynada "Zaryad" faylni belgilang va "Open" (Открыть) tugmasini bosib. Ekranda quyidagi sxema hosil bo'ladi (12.2-rasm):



12.2-rasm

3. Ye manbaning kuchlanishi, R qarshilikning va S kondensatorning sig'imini yozib oling. Vaqt doimiysi $\tau=RC$ ni aniqlang. R va C ning 12.2-rasmda ko'rsatilgan qiymatlari uchun $\tau=10000 \cdot 1500 / 1000000=15$ sekund. 12.1-jadvalning birinchi satrini to'ldiring (τ larning pastiga konkret qiymatlarni yozing).

4. RC zanjirga manba ulanganligini tekshirib ko'ring. Agar u ulanmagan bo'lsa

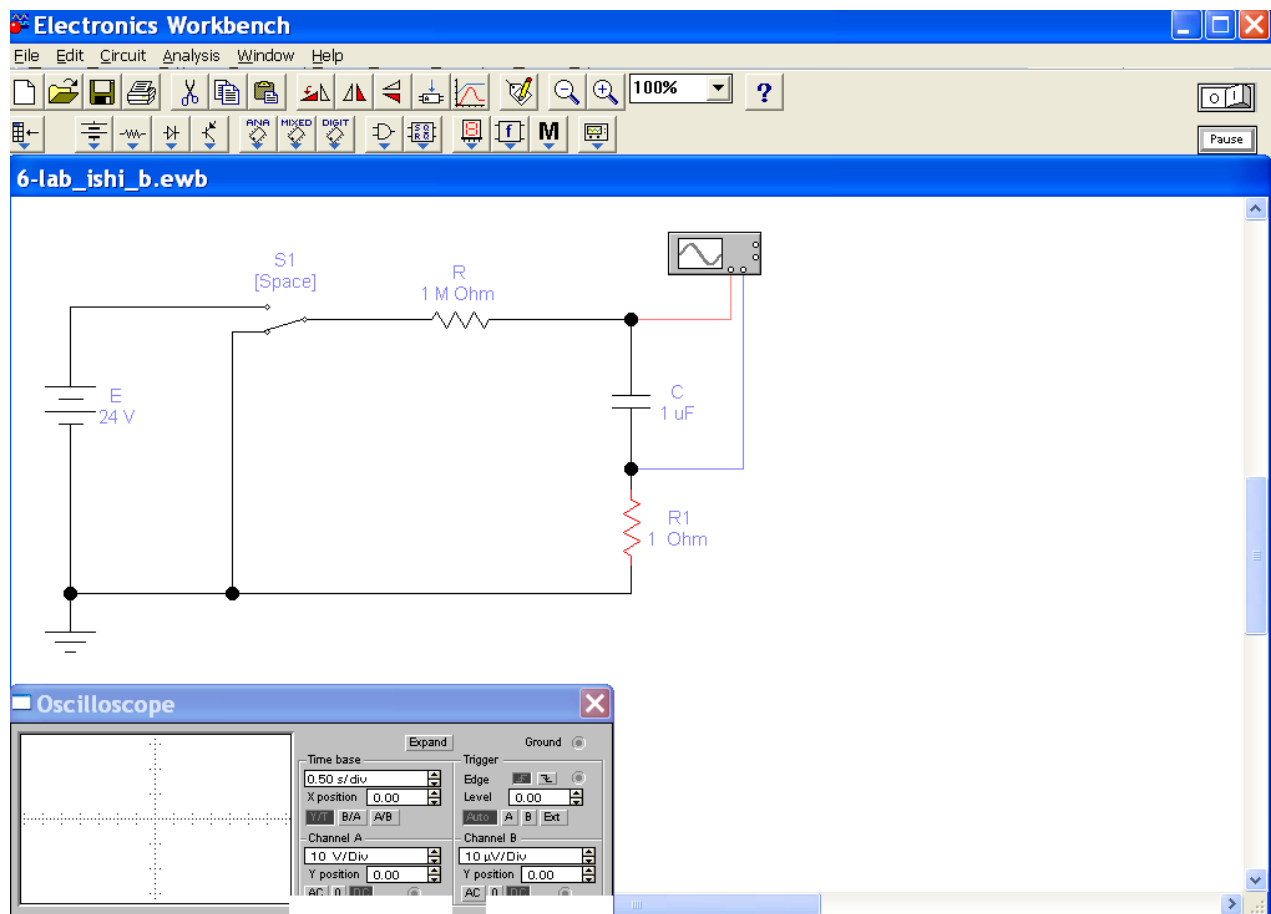
"Probel (Space)" klavishasini bosish yo'li bilan ulang. Sxemani ishga tushirish uchun ekranning o'ng yuqori burchagidagi  tugmani bosing va zanjirdagi tok i hamda kondensatordagi kuchlanish u_c larning qiymatlarini RA ampermetr va PV vol'metrlarning ko'rsatishlari bo'yicha 12.1-jadvalda ko'rsatilgan vaqtlar uchun yozib oling. Vaqtlarni sekundomer bo'yicha oling.

5. Tajribani razryadlanish jarayoni uchun ham qaytaring. Buning uchun "Probel (Space)" klavishasini bosish yo'li bilan manbani uzib qo'ying. S1 kalit pastki holatga o'tgan bo'lishi kerak. Olingan natijalarni 12.1-jadvalga yozing.

12.1-jadval. Vaqt doimiysi $\tau = \dots$ sekund uchun kondensatorning zaryadlanish va razryadlanish jarayonidagi tok va kuchlanishlar

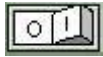
Vaqt sekundlarda		t,	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
			0					
Zaryadlanish	i, mA							
	u_c, V							
Razryadlanish	i, mA							
	u_c, V							

6. Tajribaning ikkinchi sxemasini yuklash uchun ekranning chap yuqori burchagidagi  tugmani bosing, ochilgan oynada "Zaryad-2" faylni belgilang va "Open" (Открыть) tugmasini bosing. Ekranda quyidagi sxema hosil bo'ladi (12.3-rasm):



12.3-rasm

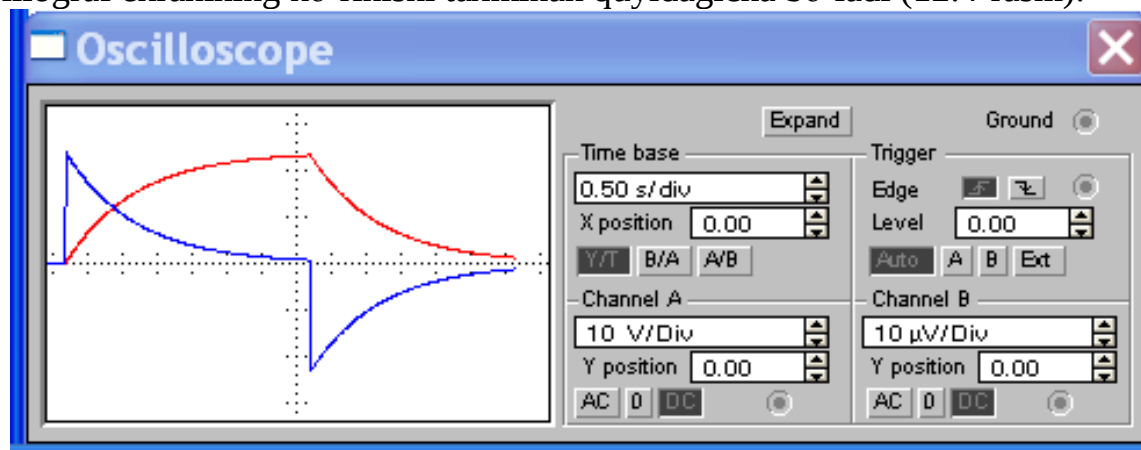
7. Ostsillograf belgisi  ustida sichqonchanning chap tugmasini to'xtovsiz ikki marta bosib ostsillografni ishga tushiring.

8. Sxemani ishga tushirish uchun ekranning o'ng yuqori burchagidagi  tugmani bosing.

9. "Probel (Space)" klavishasini bosish yo'li bilan manbani RC zanjirga ulang va kondensatorning zaryadlanish jarayonini kuzating.

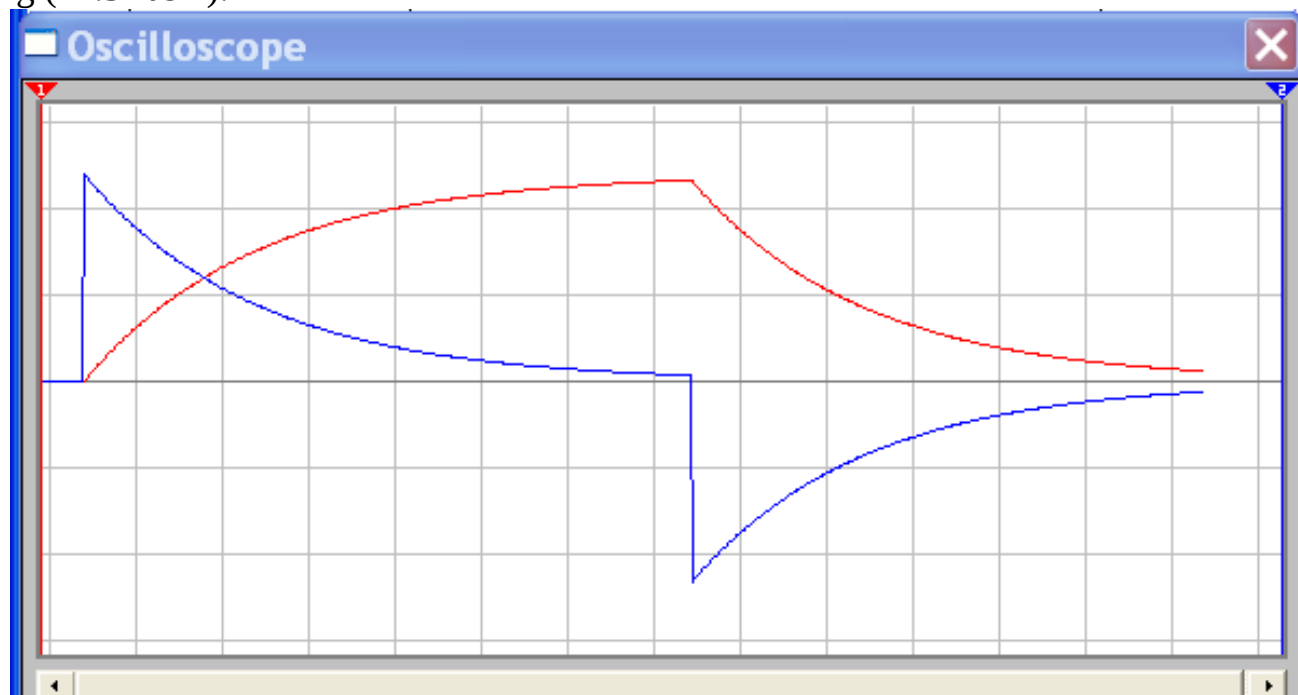
10. "Probel (Space)" klavishasini bosish yo'li bilan manbani RC zanjirdan uzing va kondensatorning razryadlanish jarayonini kuzating.

11. Sxemani ishlashini vaqtincha to'xtatib turish uchun ekranning o'ng yuqori burchagidagi  tugmani yoki umuman to'xtatish uchun  tugmani bosing. Ostsillograf ekranining ko'rinishi taxminan quyidagicha bo'ladi (12.4-rasm):



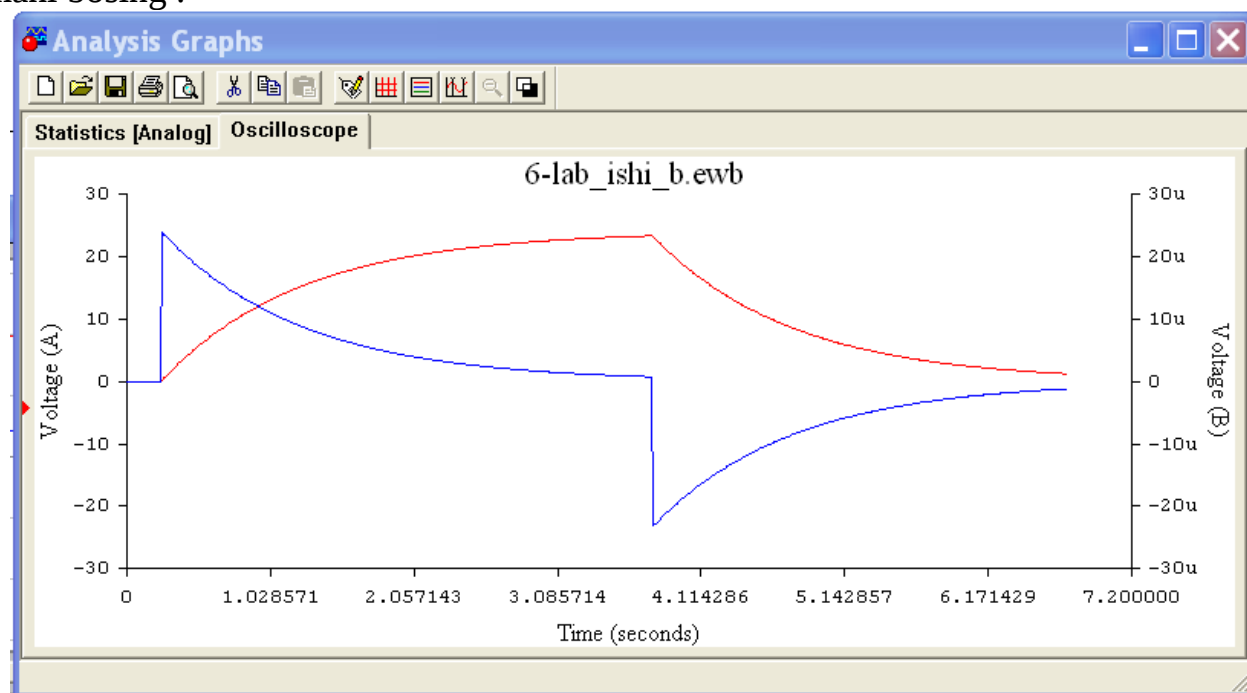
12.4-rasm

12. Ostsillograf ekranini kattaroq masshtabda ko'rish uchun **Expand** tugmasini bosing (12.5-rasm):



12.5-rasm

13. Grafik analizatorni ishga tushirish uchun ekranning yuqori o'rta qismidagi  tugmani bosing .



12.6-rasm

14. Grafik analizatoridagi grafiklarni (12.6-rasm) ko'chirib oling. Grafikning chap tomonida (Voltage(A)) kondensatordagi kuchlanish vol'tlarda (grafikda qizil rangda) va chap tomonida (Voltage(V)) zanjirdagi tok mkA larda (grafikda ko'k rangda) ko'rsatilgan. Vaqt (Time) sekunlarda berilgan.

15. Qarshilik R va kondensatorning sig'imi S larning qiymatlariga asosan

zaryadlanish va razryadlanish jarayonlarida zanjirdagi $i(t)$ tok va kondensatordagi $u_c(t)$ kuchlanishning qiymatlarini $t = \tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau, 5\tau$ vaqtlar uchun hisoblash yo'li bilan aniqlang.

16. Tajriba va hisoblash ma'lumotlari bo'yicha $i=f(t)$ va $u_c=f(t)$ grafiklarni quring.

Sinov savollari

1. Kommutatsiyaning 1-qonunini tushuntiring.
2. Kommutatsiyaning 2-qonunini tushuntiring.
3. Xarakteristik tenglamaning necha xil ildizlari bo'lishi mumkin.
4. Elektr zanjirlarda qanday o'tish jarayonlari sodir bo'lishi mumkin.
5. Aperiodik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi.
6. So'nuvchi tebranish deb qanday jarayonga aytiladi.

9-Tajriba ishi

Passiv to'rtqutublikni o'rganish

1.Ishning maqsadi

- ♦ to'rtqutublikni doimiy parametrlarini va uzatuvchanlik funktsiyasini hisoblashni o'rganish;

2.Nazariy ma'lumotlar

Passiv to'rtqutublik ya'ni murakkab zanjir P ning parametrlari va uning kirish qismlaridagi kuchlanish va tokni bog'lovchi qo'yidagi tenglamalar sistemasini yozish mumkin:

$$U_1 = AU_2 + BI_2$$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

Bu yerda A, V, S va D lar turtqutublikning doimiy parametrlari deyiladi, bu kattaliklar ham kompleks sonlardan iborat bo'ladi. Bu parametrlar orasida qo'yidagi bog'lanish mavjud: $AD - BC = 1$

Parametrlari $A=D$ bo'lgan to'rtqutubliklar simmetrik to'rtqutubliklar deyiladi.

To'rtqutubliklar, ya'ni elektr qurilmalarni hisoblashda, ularning real sxemasini unga ekvivalent bo'lgan sxemaga keltirish mumkin.

To'rtqutubliklarni eng oddiy «T» va «P» shaklli ekvivalent sxemalari mavjud. (Rasm-13.1.a) da berilgan sxema uchun Kirxgof qonunlaridan foydalanib qo'yidagi tenglamalar tuzish mumkin:

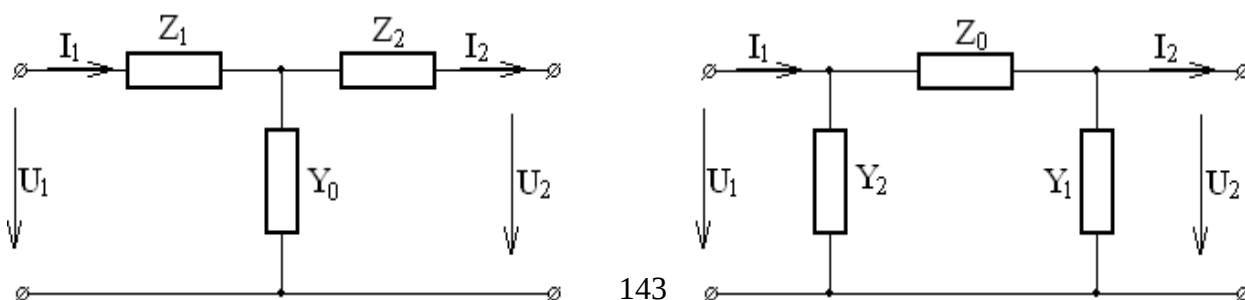
$$U_1 = U_2 + I_2 Z_2 + I_1 Z_1$$

$$I_1 = I_2 + (U_2 + I_2 Z_2) Y_0$$

Bu tenglamalar sistemasini yechib, qo'yidagi tenglamalarni hosil qilish mumkin: $U_1 = AU_2 + BI_2$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

Bu yerda : $A = 1 + Z_1 Y_0$; $B = Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y_0$; $C = Y_0$; $D = 1 + Z_2 Y_0$



Bu ifodalar yordamida to'rtqutblikning parametrini « T » shaklli ekvivalent sxema bo'yicha passiv to'rtqutblik tarzida berilgan zanjir ichki elementlari qarshilik va o'tkazuvchanliklarining qiymatini aniqlash mumkin.

Ammo ko'pincha, teskari masala qo'yiladi, ya'ni passiv to'rtqutblik tarzida berilgan murakkab zanjirning ekvivalent sxemasini tuzish kerak bo'ladi. Bunda «T» shaklli ekvivalent sxema tuzish uchun qo'yidagi kattaliklar aniqlanadi:

$$Z_1 = A - 1/C; \quad Z_2 = D - 1/C; \quad Y_0 = C$$

Agar $Z_1 = Z_2$ bo'lsa sxema simmetrik bo'ladi, chunki bu holda $A = D$ bo'ladi.

(Rasm-13.1.v) da keltirilgan «P» shaklli ekvivalent sxemasi uchun qo'yidagi tenglamalar sistemasini tuzish mumkin:

$$U_1 = U_2 + Z_0 (I_2 + Y_2 U_2)$$

$$I_1 = I_2 + Y_2 U_2 + Y_1 U_2$$

yoki $U_1 = AU_2 + BI_2$

$$I_1 = CU_2 + DI_2$$

Bu yerda: $A = 1 + Y_0 Z_0$; $D = 1 + Y_1 Z_0$; $B = Z_0$; $C = Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z_0$

Agar passiv murakkab to'rtqutblikning parametrlari bo'yicha, uning «P» shaklli ekvivalent sxemasi parametrlari (Z_0 ; Y_1 ; Y_2) qo'yidagicha topiladi:

$$Y_1 = D - 1/B; \quad Y_2 = A - 1/B; \quad \text{va} \quad Z_0 = B$$

Bu sxemaning simmetriklik sharti $Y_1 = Y_2$ bo'ladi, chunki bunda $A = D$ bo'ladi.

To'rtqutblikning kirish (U_1 ; I_1) va chiqish (U_2 ; I_2) kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi asosiy tenglamani shunday o'zgartirish mumkinki, bunda to'rtqutblikning berilgan A, B, C va D parametrlarida va iste'molchining Z_{is} qarshiligida uning bitta kirish va bitta chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni bevosita ifoda etsin.

$U_2 = I_2 Z_{is}$ ifodani hisobga olib, qo'yidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$U_1 = (A) \frac{B}{Z_{is}} \cdot U_2 = f_1(U_2) \quad \text{yoki} \quad U_2 = F_1(j\omega) \cdot U_1$$

$$U_1 = (A \cdot Z_{is}) I_2 = f_2(I_2) \quad \text{yoki} \quad I_2 = F_2(j\omega) \cdot U_1$$

$$I_1 = (C) \frac{D}{Z_{is}} U_2 = f_3(U_2) \quad \text{yoki} \quad U_2 = F_3(j\omega) \cdot I_1$$

$$I_1 = (C \cdot Z_{is}) I_2 = f_4(I_2) \quad \text{yoki} \quad I_2 = F_4(j\omega) \cdot I_1$$

Bunda: $F_1(j\omega) = \frac{Z_{is}}{A \cdot Z_{is} + B}$; $F_2(j\omega) = \frac{1}{A \cdot Z_{is} + B}$; $F_3(j\omega) = \frac{Z_{is}}{C \cdot Z_{is} + D}$ va

$F_4(j\omega) = \frac{1}{C \cdot Z_{is} + D}$ -funktsiyalar to'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyalari bo'lib,

ular yordamida berilgan kirish kattaligidan noma'lum chiqish kattaligi aniqlanadi.

To'rtqutblikning kirish kattaliklari bilan chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi funktsiyalar to'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyalari deb ataladi.

Murakkab zanjirlarni hisoblashda zanjirning qandaydir tarmog'iga berilgan ma'lum tok yoki kuchlanish ta'sirida boshqa tarmoqlarda hosil bo'lgan tokni yoki kuchlanishni aniqlashga to'g'ri keladi.

Kirish kattaliklari, tok kuchi va kuchlanishlarni umumiy funktsiya $X_1(t)$ orqali, chiqish kattaliklarini esa $X_2(t)$ orqali ifodalab, o'tkazuvchanlik funktsiyasini

qo'yidagicha yozish mumkin: $F(t) = \frac{X_2(t)}{X_1(t)}$

Agar $X_1(t)=i(t)$ va $X_2(t)=u(t)$ bo'lsa, u xolda $F(t)$ funktsiya qarshilik o'lchamiga ega bo'lib, to'rtqutublikning kirish va chiqish qutblari orasidagi umumlashgan o'zaro qarshilikni ifodalaydi.

Agar $X_1(t)=u(t)$ va $X_2(t)=i(t)$ bo'lsa, u xolda $F(t)$ funktsiya o'tkazuvchanliklik o'lchamiga ega bo'lib, to'rtqutublikning kirish va chiqish qutblari orasidagi umumlashgan o'zaro o'tkazuvchanlikni ifodalaydi.

3.Ishni bajarish tartibi

1.Rasm-13.2 dagi sxemani yig'ing.

2.Kerakli asboblari:

- ◆ Tr- to'rtqutublik tarzida berilgan transformator;
- ◆ V_1 - 220V li o'zgaruvchan tok voltmometri;
- ◆ V_2 -150V li o'zgaruvchan tok voltmometri;
- ◆ kWp-0.6 kW li vattmetr;
- ◆ mA-50 mA li o'zgaruvchan tok milliampermetri;
- ◆ A- 1 A li o'zgaruvchan tok ampermetri;
- ◆ $L_1; L_2$ -elektr chuglanma lampalar.

3. Sxemani “~0-250V” bog'ichlarga ulang.

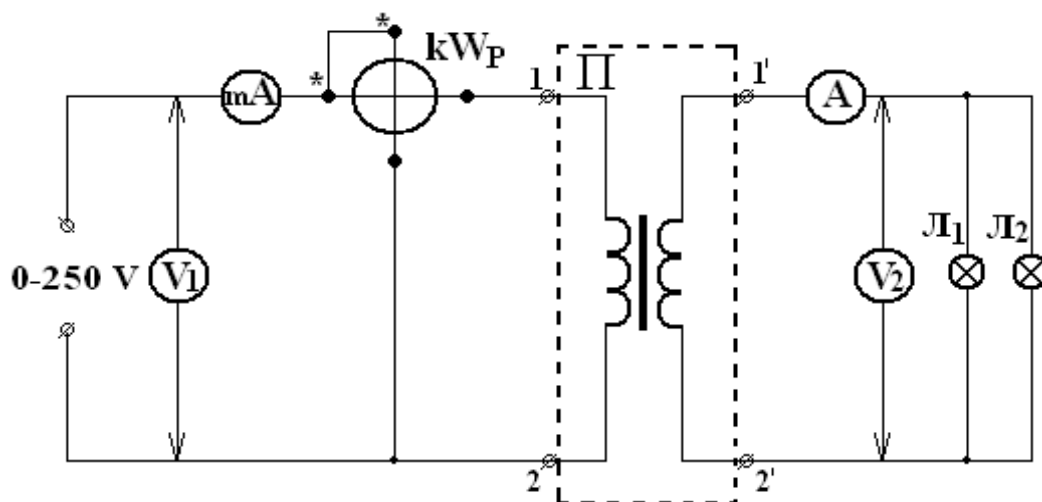


Рис-13.2

4. LATR yordamida manba kuchlanishini “~200V” ga keltiring va o'lchash asboblari ko'rsatishini 13.1-jadvalga yozing.

5.LATR yordamida manba kuchlanishini “~250V” ga keltiring va o'lchash asboblari ko'rsatishini 13.1-jadvalga yozing.

6.O'lchash natijalari asosida to'rtqutublikni doimiy parametrlarini hisoblang va 13.1-jadvalga yozing.

7.To'rtqutublikni doimiy parametrlari yordamida to'rtqutublikni ekvivalent sxemasini va uzatuvchanlik funktsiyasini aniqlang.

13.1-Jadval

U_1	I_1	P_1	I_2	U_2	P_2	A	B	C	D	Z_1	Z_2	Y_0
B	B	Bt	A	V	Vt					Om	Om	1/Om

200												
250												

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{U e^{j\psi_u}}{Z^{j\varphi}} = I e^{j(\psi_u - \varphi)} = I e^{+j\psi_i} \quad \dot{U} = U e^{j\psi_u} \quad \varphi = \arctg\left(\frac{P}{U \cdot I}\right)$$

$$U_1 = AU_2 = BI_2$$

$$I_1 = CU_2 = DI_2$$

$$Z_1 = A - 1/C; \quad Z_2 = D - 1/C; \quad Y_0 = C$$

$$Y_1 = D - 1/B; \quad Y_2 = A - 1/B; \quad \text{va} \quad Z_0 = B$$

$$U_1 = (A) \frac{B}{Z_{HC}} \cdot U_2 = f_1(U_2); \quad U_1 = (A \cdot Z_{IS} | V) \cdot I_2 = f_2(I_2)$$

$$I_1 = (C) \frac{D}{Z_{HC}} U_2 = f_3(U_2); \quad I_1 = (C \cdot Z_{IS} | D) I_2 = f_4(I_2)$$

Sinov savollari

1. Passiv to'rtqutublik deb nimaga aytiladi?
2. Qanday to'rtqutublik simmetrik deyiladi?
3. To'rtqutublikni «T» shaklli ekvivalent sxemasini tushuntiring.
4. To'rtqutublikni uzatuvchanlik funktsiyasi nima?
5. Qanday to'rtqutublik aktiv to'rtqutublik deyiladi?

II. Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari

Talabalar mustaqil ta'lim o'quv jarayonining muhim shakllaridan biri hisoblanib, u ma'ruza, amaliy, laboratoriya mashg'uloti darslarida va darsdan tashqari vaqtlarda amalga oshiriladi. Fanning xususiyatlarini hisobga olgan holda mustaqil ta'lim shakllari va mazmuni quyidagilardan tashkil topadi:

- ma'ruza darslariga va mustaqil ish topshiriqlariga tayyorgarlik ko'rish;
- amaliy mashg'ulot darslarining mustaqil ish topshiriqlarini bajarish;
- laboratoriy ishlarini mustaqil bajarish;
- fanning alohida mavzulari ustida ishlash;
- reyting nazoratini barcha turlariga tayyorgarlik ko'rish.
- talabalar tavsiya etilayotgan mavzulardan birini tanlab, referat, maket, prezentatsiya, konspekt tayyorlash orqali amalga oshiriladi

Tavsiya etilayotgan mustaqil ishlarning mavzulari

№	Mustaqil ta'lim mavzulari
1.	O'zgarmas tok elektr zanjirlari.
2.	Manba va iste'molchilarni ulanish usullari.
3.	O'zgarmas tok murakkab zanjirlarini hisoblash.
4.	Bir fazali sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlari.
5.	R, L va S elementlari kema-ket ulangan zanjirlar.
6.	R, L va S elementlari paralel ulangan zanjirlar.
7.	Vektor va toporafik diorammalar.
8.	O'zgaruvchan elektr tokining quvvati.
9.	Hisoblashning kompleks usuli.
10.	Elektr zanjirlarni kompleks usulda hisoblash.
11.	Elektr zanjirlarda rezonans xodisalari
12.	Induktiv bog'lanishli zanjirlar.
13.	Transformatorlar
14.	Ko'p fazali o'zgaruvchan tok zanjirlari.
15.	Nosimmetrik uch fazali tizimlar.
16.	Nosinusoidal elektr miqdorlar.
17.	Nosinusoidal tok zanjirlarida rezonans xodisilari.
18.	Elektr zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar.
19.	r, L, S elementli zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar.
20.	Murakkab zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar.
21.	O'tkinchi jarayonlarni operator usulida hisoblash.
22.	To'rtkutbliklar.
23.	Zanjiriy sxemalar.
24.	Chastota ajratkich elektrik filtrlar.
25.	Tarkok parametrli elektr zanjirlar.
26.	Bir jinsli liniyaning xarakteristikalar.
27.	Nochiziqli elektr va magnit zanjirlar.
28.	O'zgaruvchan tokni to'g'rilash.
29.	Ferrorezonans xodisalari.
30.	Boshqariladigan ferromagnit elementlar.

III. Glossariy

Qarshiliklar uchburchagi- to'la qarshilikni aktiv va reaktiv qarshiliklar bilan bog'lanish grafigi.

O'tkazuvchanliklar uchburchagi- to'la o'tkazuvchanlikni aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklar bilan bog'lanish grafigi.

Quvvatlar uchburchagi- to'la quvvatni aktiv va reaktiv quvvatlar bilan bog'lanish grafigi.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni- Zanjirdagi tok kuchining effektiv qiymati zanjirdagi kuchlanishning effektiv qiymatiga to'g'ri proporsional, zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsional.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning I- qonuni- Tugundagi toklarning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi nolga teng. (Tugundagi toklarning oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi nolga teng).

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning II – qonuni- Konturdagi EYuK-larning effektiv qiymatlarining geometrik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvining effektiv qiymatlarini geometrik yig'indisiga teng. (Konturdagi EYuK-larning oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi, shu konturdagi kuchlanishlar tushuvlarining oniy qiymatlarini algebraik yig'indisiga teng).

Aktiv quvvat-Iste'mol qilinayotgan elektr energiyasini boshqa tur energiyaga (foydali ishga) aylanish jadalligini ko'rsatuvchi va miqdor jixatidan bir davr ichida oniy quvvatning o'rtacha qiymatiga teng bo'lgan kattalikdir.

Reaktiv quvvat-Manba bilan iste'molchi o'rtasidagi energiya almashinuvi tezligini va reaktiv tok iste'molini xarakterlovchi kattalik.

To'la quvvat-Energetik kurilmalarning ishlatilish vaqtida kuchlanish va tok bo'yicha bera oladigan elektr quvvatidir.

Quvvat ko'effitsenti-To'la quvvatni qancha qismi foydali quvvat ekanligini ko'rsatuvchi kattalik.

Ekvivalent qarshilik-Bir necha qarshilikka teng kuchli bo'lgan qarshilikdir.

Ekvivalent zanjir-Bir elektr zanjirga teng kuchli bo'lgan ikkinchi bir elektr zanjirdir.

Faza siljish burchagi-Kuchlanish va tok kuchining boshlang'ich fazalari orasidagi farqi.

Rezonans xodisasi- Xususiy tebranishlar chastotasining majburiy kuchlar chastotasi bilan mos tushish xodisasidir.

Kuchlanishlar rezonansi- elementlari ketma-ket ulangan zanjirdagi tok kuchi eng katta qiymatga erishganda reaktiv elementlardagi kuchlanishlarni manba kuchlanishiga nisbatan bir necha marotaba ortib ketish xodisasidir.

Toklar rezonansi- elementlari paralel ulangan zanjirdagi tok kuchi eng kichik qiymatga erishganda reaktiv elementlardagi toklarni manbadan iste'mol qilinayotgan tokka nisbatan bir necha marotaba ortib ketish xodisasidir.

Tebranish konturining to'liq qarshiligi(o'tkazuvchanligi)-induktiv g'altak va kondensator reaktiv qarshiligi (o'tkazuvchanligi) miqdorlari nisbatidir.

Konturning asllik koefitsienti- reaktiv kuchlanishlar(toklar)ning manba kuchlanishi(toki)dan necha marta kattaligini bildiruvchi kattalikdir.

Konturning so'nishi- asllik koefitsientiga teskari bo'lgan kattalikdir.

Rezonans egri chiziklari yoki chastotaviy xarakteristikalar-zanjir qismlaridagi kuchlanishning effektiv qiymati o'zgarmas bo'lganda zanjirning aktiv, reaktiv va to'la qarshiligini, faza siljish burchagini, tok va kuchlanishlarni chastotaga bog'likligini ko'rsatuvchi egri chiziqlardir.

Uch fazali elektr zanjir-chastota va amplitudalari bir xil bo'lib, faza jihatidan 120^0 ga farq qilgan uchta EYuK manbalariga ulangan zanjir.

Generator(iste'molchi)ning neytral nuqtasi-generator(iste'molchi) fazalari oxirgi uchlarini birlashtiruvchi nuqtadir.

Nol yoki neytral sim- generator va iste'molchilarning neytral nuqtalarini birlashtiruvchi simdir.

Liniya simlari- manba va iste'molchi bir nomli fazalarining bosh uchlarini birlashtiruvchi simlardir.

Liniya toklari- liniya simlaridan o'tadigan toklar.

Faza toklari- manba va iste'molchining bir nomli fazalaridan o'tadigan toklar.

Faza kuchlanishi- ixtiyoriy liniya simi bilan nolinch sim orasidagi kuchlanish.

Liniya kuchlanishi- Istalgan ikkita liniya simi orasidagi kuchlanish.

Simmetrik yuklama- generatorning fazalariga ulangan yuklama qarshiliklari o'zaro teng va bir xil xarakterda bo'lgan yuklama.

Nosimmetrik yuklama- generatorning fazalariga ulangan yuklama qarshiliklari o'zaro teng bo'lmagan yoki bir xil xarakterda bo'lmagan yuklama.

Pul satsiya-amplitudalari bir-biriga teng bo'lgan, chastotalari o'zaro yaqin, ammo teng bo'lmagan ikkita sinusoidal tebranishlarning bir-birlariga ustma-ust tushishi natijasida olingan davriy tebranishlarning murakkab turidir.

Amplitudaviy modulyatsilash- o'zgarmas chastotali sinusoidal funktsiya amplitudasining avvaldan berilgan qonun bo'yicha boshqarishdir.

O'tkinchi jarayonlar- elektr zanjirlarning bir turg'unlashgan rejimdan boshqasiga o'tishini xarakterlovchi jarayonlardir.

Kommutatsiya- elektr zanjirning ish rejimini o'zgarishiga olib keluvchi barcha sabablardir.

Kommutatsiyaning birinchi qonuni- Xar qanday induktivlikka ega tarmoqdagi tok va magnit oqimi kommutatsiya paytida o'zini kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

Kommutatsiyaning ikkinchi qonuni- Xar qanday tarmoqda sig'imdagi kuchlanish va zaryad miqdori kommutatsiya paytida o'zining kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

To'rtqutblik- ikkita kirish va ikkita chiqish qismlari bo'lgan elektr zanjiridir.

Passiv to'rtqutblik- ichki tarmoqlarida e.yu.k. va tok manbai bo'lmagan to'rtqutblik.

Aktiv to'rtqutblik-ichki tarmoqlarida loqal bitta bo'lsa ham e.yu.k yoki tok manbai bo'lgan to'rtqutblik.

To'rtqutblikning uzatuvchanlik funktsiyalari- to'rtqutblikning kirish kattaliklari bilan chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi funktsiyalar.

So'nish koefitsenti- kirish kuchlanishi (toki) to'rtqutblikdan o'tganda uning moduli qancha o'zgarishini ko'rsatadigan kattalik.

Fazalar koefitsenti -to'rtqutblikning kirish va chiqish qismlaridagi oniy kuchlanishning oniy qiymatining boshlang'ich fazalari ayrimasiga teng kattalik bo'lib, to'rtqutblikka berilgan kuchlanish fazalarining o'zgarish darajasini xarakterlaydi.

Chastota ajratuvchi elektr fil trlar- chastota tanlash xususiyatiga ega bo'lib, ayrim to'rtqutbliklar yoki zanjiriy sxemalar tarzida tuzilgan qurilmala.

Qo'yi chastota fil trlari- 0 dan ω gacha bo'lgan chastotalardagi signallarning eng yaxshi o'tishini ta'minlab, chastotasi birmuncha yuqori bo'lgan signallarning o'tishiga to'sqinlik qiluvchi elektr fil trlar.

Yuqori chastota fil trlari- ω dan yuqori bo'lgan chastotalardagi signallarning eng yaxshi o'tishini ta'minlab, chastotasi ω dan kichik bo'lgan signallarning o'tishiga to'sqinlik qiluvchi elektr fil trlar.

Polosoviy(oraliq) fil trlar- Chastotasi ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan diapazondagi signallarni so'ndirmay o'tkazuvchi fil trlar.

To'suvchi fil trlar- chastotalar diopazoni ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan signallarni to'sish uchun mo'ljallangan fil trlar.

IV. Ilovalar

4.4. Testlar to'plami

Avtotransformatorni ng oddiy bir fazali transformatordan farqi nima?	Avtotransformator- po'lat o'zagi bo'lmagan oddiy transformator	Avtotransformator -ikkilamchi chulg'am kismlarida kuchlanish avtomatik ravishda o'zgarmas xolda saklab turiladigan transformator	Avtotransform atorda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar elektrik va elektromagnita viy boglangan.	Avtotransfor matorda chiqish kismlaridagi kuchlanish kirish kismlariga berilayotgan kuchlanishda n ortik bo'la olmaydi
Berilgan $\omega = 628 \text{ rad/s}$ uchun davr «T» nimaga teng	$T = 0,00157 \text{ s}$	$T = 0,01 \text{ s}$	$T = 100 \text{ s}$	$T = 50 \text{ s}$
$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ beril gan ifodada oniy qiymat nima bilan belgilanadi	i	I_m	$\sin \omega t$	ψ_i
Berilgan sinusoidal $u = 310 \cos(\omega t + 90^\circ)$ (B) funktsiyaning kompleks ta'sir etuvchi (effektiv) ifodasi yozilsin	$\dot{U} = j220 \text{ B}$	$\dot{U} = \frac{310}{\sqrt{2}} e^{j90^\circ}$	$\dot{U} = -220$	$\dot{U} = 310 e^{j90^\circ}$
Bir megagerts necha gertsga teng	$1 \cdot 10^2 \text{ Gt}$	$1 \cdot 10^3 \text{ Gt}$	$1 \cdot 10^8 \text{ Gt}$	$1 \cdot 10^6 \text{ Gt}$
$u = 141 \sin(314t + 80^\circ)$ $i = 14,1 \sin(314t + 20^\circ)$ Zanjirning aktiv quvvati aniqlansin	308 Vt	616 Vt	1000 Vt	500 Vt
Zanjirning kompleks qarshiligini ifodalang	$R = \frac{U}{I}$	$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = r + jX$	$Z = \frac{U}{I}$	$Z = \frac{E}{I}$
$u = 28,2 \sin(618t + 80^\circ)$ $i = 2,82 \sin(618t + 50^\circ)$ Zanjirning reaktiv quvvati (Var) topilsin	40	79,5	3,68	20
Induktiv g'altak elementida xosil bo'luvchi asosiy energiya formasini ko'rsating	Issiqlik energiyasi	Magnit maydoni energiyasi	Elektr maydoni energiyasi	Mexanik energiya
Qaysi jumla faqat kuchlangishlar rezonansiga tegishli	Quvvat koeffitsenti birga teng bo'ladi, zanjirning to'la qarshiligi esa aktiv qarshilikka teng bo'ladi	Zanjirdagi umumiy tok minimumga, ya'ni eng kichik qiymatga erishadi	Zanjirdagi umumiy tok maksimumga, ya'ni eng katta qiymatga erishadi	Zanjirning to'la quvvati reaktiv quvvatga teng bo'ladi
Qaysi jumla faqat toklar rezonansiga	Quvvat koeffitsenti birga teng bo'ladi,	Zanjirdagi umumiy tok	Zanjirdagi umumiy tok	Zanjirning to'la quvvati

tegishli	zanjirning to'la qarshiligi esa aktiv qarshilikka teng bo'ladi	minimumga, ya'ni eng kichik qiymatga erishadi	maksimumga, ya'ni eng katta qiymatga erishadi	reaktiv quvvatga teng bo'ladi
Qaysi jumla xam toklar rezonansiga, xam kuchlanishlar rezonansiga tegishli	Quvvat koeffitsienti birga teng bo'ladi, zanjirning to'la qarshiligi esa aktiv qarshilikka teng bo'ladi	Zanjirdagi umumiy tok minimumga, ya'ni eng kichik qiymatga erishadi	Zanjirdagi umumiy tok maksimumga, ya'ni eng katta qiymatga erishadi	Zanjirning to'la quvvati reaktiv quvvatga teng bo'ladi
Qaysi tushuncha sinusoidal kattaliklarga tegishli emas:	Amplituda (maksimal kattalik)	Oniy qiymat	Burchak chastotasi	Energiya manbaining ichki qarshiligi
Qanday asbobini toklar transformatoriga ulash mumkin emas	Ampermetr	Kirish qarshiligi kichik bo'lgan releni	Vol'tmetr	Vattmetr
Qanday zanjir aktiv to'rtqutublik deyiladi	Faqat aktiv elementlardan tuzilgan xar qanday murakkab zanjir	Faqat reaktiv elementlardan tuzilgan xar qanday murakkab zanjir	Tarkibida loqal bitta bo'lsa xam tok yoki kuchlanish manbai bo'lgan to'rtqutublik	Tarkibida loqal bitta bo'lsa xam tok yoki kuchlanish manbai bo'lmagan to'rtqutublik
Qanday zanjir passiv to'rtqutublik deyiladi	Faqat aktiv elementlardan tuzilgan xar Qanday murakkab zanjir	Faqat reaktiv elementlardan tuzilgan xar qanday murakkab zanjir	Tarkibida loqal bitta bo'lsa xam tok yoki kuchlanish manbai bo'lgan to'rtqutublik	Tarkibida loqal bitta bo'lsa xam tok yoki kuchlanish manbai bo'lmagan to'rtqutublik
Qarshiliklar uchburchagi formulasini ko'rsating	$Z^2 = R^2 + X^2$	$Z = R + X$	$Y^2 = g^2 + b^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Keltirilgan kompleks miqdorlarning qaysi biri trigonometrik tarzda ifodalangan	$\dot{A} = a_1 + ja_2$	$\dot{A} = (\cos\alpha + j\sin\alpha)$	$\dot{A} = Ae^{j\alpha}$	$\dot{A} = \dot{B} + \dot{C}$
Keltirilgan tengliklardan qaysi biri kuchlanishlar rezonansiga to'g'ri kelmaydi	$Q_L = Q_C$	$U_r < U$	$U_L = U_C$	$P = S$
Keltirilgan tengliklardan qaysi biri kuchlanishlar rezonansiga to'g'ri kelmaydi	$X_L = X_C$	$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$U_C = U_L$	$U_r = U_c$

Keltirilgan tengliklardan qaysi biri sinusoidal o'zgaruvchan tok uchun noto'g'ri yozilgan	$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$U_m > U$	$f = \frac{1}{T}$	$\omega = 2\pi f$
Keltirilgan tengliklardan qaysi biri toklar rezonansiga to'g'ri kelmaydi	$U < U_r$	$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$I_L = I_C$	$\cos\varphi = 1$
Keltirilgan elementlarning qaysi birida elektr zaryadlari to'planishi mumkin	Rezsistor (r)	Kondensator (S)	Induktiv g'altak (L) Induktiv-nostb	Xech birida
Keltirilgan elementlarning qaysi birida elektr energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi	Rezistor (r)	Kondensator (S)	Induktiv g'altak (L)	Xech birida
Kirxgofning 1-konunini kompleks kurinishda ifodalang	$\sum_{K=1}^n I_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 1$	$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0$
Kirxgofning 2-konunini kolmpleks kurinishda ifodalang	$\sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot R_K$	$\sum_{K=1}^n \vec{E}_K = \sum_{K=1}^n \vec{I}_K \cdot Z_K$	$\sum_{K=1}^n E_K = \sum_{K=1}^n I_K \cdot Z_K$	$\sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot Z_K$
Kommutatsiya konunlari qanday printsiplarga asoslanadi?	Energiyaning saklanish konuniga	Elektromagnit induktsiya konuniga	Om va Kirxgof konunlariga	Energiya yiguvchi elementlarda magnii-taviy va elektrik may-don energiyalarin ing birdaniga o'zgara olmasligiga
Kondensator sig'iminining o'lchov birligini ko'rsating	Kl	Farada	A/s	V/m
Kondensator elementida xosil bo'luvchi asosiy energiya formasini ko'rsating	Issiqlik energiyasi	Magnit maydoni energiyasi	Elektr maydoni energiyasi	Mexanik energiya
Quvvat koffitsenti	Aktiv quvvatni to'la quvvatga nisbati	Reaktiv quvvatni To'la quvvatga nisbati	Aktiv quvvatni reaktiv quvvatga nisbati	Reaktiv quvvatni Aktiv quvvatga nisbati
Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = 1$ bo'lsa, φ burchagimiz necha	0^0	60^0	90^0	120^0

gradus o'ldi				
Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi = 0$ bo'lsa, φ burchagimiz necha gradus o'ldi	0^0	60^0	90^0	120^0
Quvvatlar uchburchagi formulasini ko'rsating	$Z^2 = R^2 + X^2$	$Z = R + X$	$Y^2 = g^2 + b^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Quyida keltirilgan kompleks mikdorlarning qaysi biri algebraik tarzda ifodalangan?	$\dot{A} = a_1 + ja_2$	$\dot{A} = Ae^{j\psi}$	$\dot{A} = e^{j\psi}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining aktiv quvvatini ifodalaydi	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Y^2 = g^2 + b^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining reaktiv quvvatini ifodalaydi	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining sig'im qarshiligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$	$X_C = \omega L$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining to'la qarshiligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$	$X_C = \omega L$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining to'la quvvatini ifodalaydi	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Quyidagi ifodalardan qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining to'la o'tkazuvchanligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$	$X_C = \omega L$
Quyidagi ifodalarni qaysi biri g'altakning induktiv qarshiligini X_L ni ifodalaydi	ωC	ωL	$L \frac{di}{dt}$	$\frac{\Phi}{i}$
Quyidagi ifodalarni qaysi biri kondensatorning sig'imi qarshiligi X_L	$\frac{1}{\omega C}$	ωL	$L \frac{di}{dt}$	$\frac{\Phi}{i}$

ni ifodalaydi				
Quyidagi keltirilgan formulalardan qaysi biri zanjir uchun Kirxgofning I qonunini ifodalaydi	$P=U \cdot I$	$U=r \cdot I$	$F=L \cdot I$	$\sum I_K = 0$
Quyidagi keltirilgan formulalardan qaysi biri zanjirning bir qismi uchun Om qonunini to'g'ri ifodalaydi	$P=U \cdot I$	$U=r \cdot I$	$F=L \cdot I$	$\sum I_K = 0$
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida qashilik o'lchanadi	Induksion schyotchik.	Vol'tmetr	Ampermetr	Ommetr
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida kuchlanish o'lchanadi	Vattmetr	Ampermetr	Vol'tmetr	Logometr
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida tok chastotasi o'lchanadi	CHastotomer	Vattmetr	Ampermetr	Ommetr
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida elektr tokining quvvati o'lchanadi	CHastotomer	Ampermetr	Fazometr	Vattmetr
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida elektr tokining kuchi o'lchanadi	Fazometr	Ostilloqraf	Ampermetr	Vol'tmetr
Quyidagi o'lchov asboblari qaysi birining yordamida elektr energiyasi o'lchanadi	Induksion schyotchik	Vattmetr	Avometr	Ommetr
Quyidagi formulalardan qaysi biri kommutatsiyaning 1-qonunini ifodalaydi?	$i_L(0_-) = i_L(0_+)$	$X_L = \omega L$	$U_C(0_-) = U_C(0_+)$	$\frac{dq(0_-)}{dt} = \frac{dq(0_+)}{dt}$
Quyidagi formulalardan qaysi biri kommutatsiyaning 2-qonunini ifodalaydi?	$i_L(0_-) = i_L(0_+)$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$U_C(0_-) = U_C(0_+)$	$\frac{dq(0_-)}{dt} = \frac{dq(0_+)}{dt}$
Quyidagi formulalardan qaysi	$i_L(0_-) = i_L(0_+)$	$L \frac{di_L(0_-)}{dt} = L \frac{di_L(0_+)}{dt}$	$u_C(0_-) = u_C(0_+)$	$\frac{dq(0_-)}{dt} = \frac{dq(0_+)}{dt}$

biri kommutatsiyaning birinchi qonunini ifodalaydi				
Quyidagi formulalardan qaysi biri kommutatsiyaning ikkinchi qonunini ifodalaydi	$i_L(0_-) = i_L(0_+)$	$L \frac{di_L(0_-)}{dt} = L \frac{di_L(0_+)}{dt}$	$u_C(0_-) = u_C(0_+)$	$C \frac{du_C(0_-)}{dt} = C \frac{du_C(0_+)}{dt}$
Quyidagi formulalarning qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining reaktiv qarshiligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{r^2 + x^2}$	$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$	$b = \frac{1}{\omega L} - \omega C$	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Quyidagi formulalarning qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining reaktiv o'tkazuvchanligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{r^2 + x^2}$	$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$	$b = \frac{1}{\omega L} - \omega C$	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Quyidagi formulalarning qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining to'la qarshiligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$	$b = \frac{1}{\omega L} - \omega C$	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Quyidagi formulalarning qaysi biri o'zgaruvchan tok zanjirining to'la o'tkazuvchanligini ifodalaydi	$Z = \sqrt{r^2 + x^2}$	$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$	$b = \frac{1}{\omega L} - \omega C$	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Quyidagi xarflardan qaysi biri ilashgan magnitaviy oqimning shartli belgisi hisoblanadi:	V	F	ψ	N
Kuchlanishni aktiv tashkil etuvchisi	Tok fazasi bilan mos tushadi	Tok fazasidan 90° ilgarilaydi	Tok fazasidan 90° orqada qoladi	Tok fazasiga nisbatan har qanday burchakka siljigan bo'ladi
Magnit oqimini o'lchov birligini ko'rsating	Mks	Vb	G	T
Om konunini kompleks ifodasini ko'rsating	$I = \frac{U}{R}$	$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + jX}$	$I = \frac{U}{Z}$	$I = \frac{E}{q}$
Parametrlari $r=40$ Om va sig'imi qarshiligi $X_s=30$ Om	200 V	100 V	250 V	500 V

bo'lgan zanjirda $R=1$ kVt bo'lsa, $U=?$				
Reaktiv quvvat formulasini toping	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Real tok manbaini voltamper $U(I)$ xarakteristikasini ko'rinishi	Abstsissa o'qiga parallel	Ordinatalar o'qiga nisbatan qiya	Ordinata o'qiga parallel	Ordinata o'qiga nisbatan perependikulyar
Real e.yu.k. manbaini voltamper $U(I)$ xarakteristikasini ko'rinishi	Abstsissa o'qiga parallel	Abstsissa o'qiga nisbatan qiya	Ordinata o'qiga parallel	Ordinata o'qiga nisbatan perependikulyar
S sig'im elementida	Kuchlanish va tok fazalari mos tushadi	Kuchlanish fazasi tok fazasiga nisbatan $\frac{\pi}{2}$ ilgarilaydi	Tok fazasi kuchlanish fazasiga nisbatan $\frac{\pi}{2}$ ilgarilaydi	Kuchlanish va tok qarama-qarshi fazada yotadi
Sinusoidal tok va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagining umumiy tartibda kabul qilingan belgisini ko'rsating	ψ_i	φ	ψ_u	α
Sinusoidal tok va kuchlanish orasidagi fazaviy siljish burchagining umumiy tartibda qabul qilingan belgisini ko'rsating	ψ_i	φ	ψ_u	α
Sinusoidal tokni boshlang'ich faza siljish burchagining qabul qilingan belgisini ko'rsating:	ψ_i	φ	ψ_u	α
Sinusoidal o'zgaruvchan tokning oniy qiymatini ifodalang	$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$	$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	$i = I_m \cos(\omega t + \psi_i) = \sqrt{3} \cdot I_m$	
Sinusoidal o'zgaruvchan tokning effektiv qiymatini ifodalang	$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$	$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	$i = I_m \cos(\omega t + \psi_i) = \sqrt{3} \cdot I_m$	
Transformator bilan avtotransformatornin g printsiplalr farqi nimada	Transformatsiya koefitsien-tining kamligida	Transformatsiya koefitsien-tini o'zgartirish mumkinligida	Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarni elektr ulanish	Xech qanday farqi yo'k

			usulida	
Transformatorlar qaeirlarda qo'llaniladi	Elektr uzatish liniyalarida	O'lchash texnikasida	Avtomatikada va o'lchash texnikasida	Yuqorida sanab o'tilgan barcha soxalarda
Transformatorning ishlash printsipt	Amper qonuniga asoslangan	Elektromagnit induktsiyasi qonuniga asoslangan	Lents printsiptga asoslangan	Xech qanday qonunga asoslanmagan
Transformatsiya ko'effitsienti formulasini ko'rsating	$K = \frac{U_2}{U_1}; K = \frac{\omega_2}{\omega_1}$	$K = \frac{U_1}{U_2}; K = \frac{\omega_1}{\omega_2}$	$K = \frac{p_1}{p_2};$	$K = \frac{U_1}{U_2}; K = \frac{I_1}{I_2}$
To'la quvvat formulasini ko'rsating	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Uch fazali sistemada ularni tasvirlovchi sinusoidalar vaqt bo'yicha qanchaga siljigan	$\frac{T}{5}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{3}$
Uch fazali tok zanjirida neytral simning vazifasi nimadan iborat	Yuklamalarni tenglashtirish	Liniya toklarini tenglashtirish	Faza kuchlanishlarini simmetriyalash	Liniya kuchlanishlarini simmetriyasini buzish
Uch fazali tok zanjirida neytral simning vazifasi nimadan iborat	Yuklamalarni tenglashtirish	Liniya toklarini tenglashtirish	Faza kuchlanishlarini simmetriyalash	Liniya kuchlanishlarini simmetriyasini buzish
Uch fazali elektr ta'minoti afzalligi	Ikki xil kuchlanish, aylanma moment, oltita sim urniga 3-ta simdan foydalanish	Ikki xil kuchlanish	Katta quvvat	Ikki xil tok
O'zgar mas tok zanjiri uchun Kirxgofning 1-konunini ifodalang	$\sum_{K=1}^n I_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 1$	$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0$
O'zgar mas tok zanjiri uchun Kirxgofning 2-konunini ifodalang	$\sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot R_K$	$\sum_{K=1}^n \vec{E}_K = \sum_{K=1}^n \vec{I}_K \cdot Z_K$	$\sum_{K=1}^n E_K = \sum_{K=1}^n I_K \cdot R_K$	$\sum_{K=1}^n \dot{P}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot \dot{U}_K$
O'zgar mas tok zanjiri uchun Om konunini ifodalang	$I = \frac{E}{r + R}$	$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + jX}$	$I = \frac{U}{Z}$	$I = \frac{E}{q}$
O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning 1-konunini ifodalang	$\sum_{K=1}^n I_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 0$	$\sum_{K=1}^n \vec{I}_K = 1$	$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0$
O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Kirxgofning 2-	$\sum_{K=1}^n \dot{E}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot R_K$	$\sum_{K=1}^n \vec{E}_K = \sum_{K=1}^n \vec{I}_K \cdot Z_K$	$\sum_{K=1}^n E_K = \sum_{K=1}^n I_K \cdot Z_K$	$\sum_{K=1}^n \dot{P}_K = \sum_{K=1}^n \dot{I}_K \cdot \dot{U}_K$

konunini ifodalang				
O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om konunini ifodalang	$I = \frac{U}{R}$	$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + jX}$	$I = \frac{U}{Z}$	$I = \frac{E}{q}$
O'zgaruvchan tokning davri quyidagi belgilashlarning qaysi biri bilan ko'rsatiladi	f	T	ω	φ
O'lchov birliklaridan qaysi biri induktivlikka tegishli	Mks	Vb	Genri	T
O'tkazgichdagi elektr toki deganda nimani tushunasiz	Zaryadlar xarakati	O'tkazgichdagi zaryadlangan zarrachalar-ning xaotik xarakati.	O'tkazgichning biror nuqtasidagi zaryadlar xolati	O'tkazgich bo'ylab zaryadlangan zarrachalarning tartibli xarakati
O'tkazuvchanliklar uchburchagi formulasini ko'rsating	$Z^2 = R^2 + X^2$	$P = UI \cos \varphi$	$Y^2 = g^2 + b^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
Elektr zanjiriga ampermetr qanday ulanishi kerak	Yuklama qarshiligiga ketma-ket	Yuklama qarshiligiga parallel	Qarama-qarshi	Yuklama qarshiligiga shuntlanadi
Elektr zanjiriga voltmeter qanday ulanishi kerak	Yuklama qarshiligiga ketma-ket	Yuklama qarshiligiga parallel	Qarama-qarshi	Yuklama qarshiligiga shuntlanadi
Elektr zaryadini o'lchov birligini ko'rsating	Kl	G	A/s	V/m
Elektr kuchlanishi deb nimaga aytiladi	Ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqi	Ikki nuqta potentsiallar-ining ta'siri	Biror nuqta potentsiali	Elektr maydon kuchlanganligi
Elektr tarmoqlarini vazifasi nimadan iborat	Elektro-energiyani ishlab chiqrishda	Elektro-energiyani uzatishda	Elektro-energiyani iste'mol qilishda	Yuqorida etilgan xamma xollar
Elektroenergiyani uzatish uchun qanday tarmoqlardan foydalaniladi	Xavo orqali uzatiluvchi tarmoqlar	Kabel liniyalari orqali uzatish	Ob'ektlarni ichki tarmoqlari	Yuqorida etilgan xamma xollardan foydalaniladi
Elementlari qarama-qarshi ulangan sxemada butun zanjir qarshiligi qanday o'zgaradi	O'zgarmaydi	Kamayadi	Oshadi	Noma'lum
Elementlari mos	O'zgarmaydi	Kamayadi	Oshadi	Noma'lum

ulangan sxemada butun zanjir qarshiligi qanday o'zgaradi				
Yashash binolarini energiya bilan taminlash uchun qanday trasformatorlar ishlatiladi	Katta quvvatli	Elektr o'lchovchi	Maxsus	Xech qanday

V. Adabiyotlar ro'yhati

Asosiy adabiyotlar

1. Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku "Fundamentals of Electric Circuits" NEW YORK, 2014.-458 p
2. John Bird. "Electrical and Electronic Principles and Technology" LONDON AND NEW YORK, 2014.-455 p
3. Каримов А.С. Назарий электротехника. Дарслик. -Т.: Укитувчи, 2003. -422 б.
4. Рашидов И.Р., Абидов К-Ф., Колесников И.К. Электротехниканинг назарий асослари I, II, III қисмлар (Маъруза матнлари тўплами), ТДТУ, 2002. -250 б.
5. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G. Elektrotexnikaning nazariy asoslari.I-III qismlar.-Toshkent; 2007,- 426 b.
6. Amirov S.F., Yaqubov M.S., Jabborov N.G', Sattorov X.A., B a lg 'ayev N.E. Elektrotexnikaning nazariy asoslaridan masalalar to'plami.-T.: Adabiyot uchqunlari, 2015. -420 b.
7. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. -СПб. Питер, 2003. -462 с.
8. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. 4.1,2.- М.: Высшая школа, 1991,- 528 с.-231 с.
9. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники.Ч.1. - М.: Энергия, 1990. - 592 с.
10. Abidov Q.G', Jo 'rayev R.,Ernst I.V., Raxmatullayev A.I. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» fanining «Nochiziqli zanjirlar» bo'limi bo'yicha laboratoriya ishlarini bajarish yuzasidan uslubiy ko'rsatma. TDTU, 2014,- 44 b.
11. Abidov Q.G', Begmatov Sh.E. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar. TDTU, 2013,- 72 b.
12. Abidov Q.G', Raxmatullayev A.I., Jo 'rayev R., Ernst I.V., Qadirova. D.R. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» fanining «uch fazali zanjirlar» bo ' limi bo'yicha hisob-grafik ishlarini bajarish yuzasidan uslubiy ko'rsatnia. TDTU, 2013.- 32 b.
13. Abidov Q.G', Qadirova. D.R. «Chiziqli elektr zanjirlarida o'tkinchi jarayonlar » bo'yicha hisob - grafik ishini bajarish yuzasidan uslubiy ko'rsatma. TDTU, 2010.- 36 b.
14. Karimov A.S., Ibadullaev M. Abdullaev B. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. T. Fan va texnologiya, 2017 yil.

Qo'shimcha adabiyotlar

15. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистан давлатини биргаликда барпо этамиз. Ўзбекистан Республикаси Президентининг лавозимида киришиш тантанали маросимида бағишланган Олий Мажлис палатапарининг қўшма мажлисидаги нутқи. -Т .: "Ўзбекистан" НМИУ, 2016.-566.

16. Мирзиёев Ш.М. Қонун устуворлиги ва инсон манфаатларини таъминлаш - юрт тараққиёти ва халқ фаровонлигининг гарови. Ўзбекистан Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 24 йиллигига бағишланган тантанали маросимдаги маъруза 2016 йил 7 декабрь. - Т.:“Ўзбекистан” НМИУ, 2016. - 48 б.
17. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизни мард ва олийжаноб халқимиз билан бирга курашимиз. - Т.: “Ўзбекистан” НМИУ, 2017.- 488 б.
18. Ўзбекистан Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегияси тўғрисида. - Т.:2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
19. Рашидов Й.Р., Абидов К-Е-, Колесников И.К. «Электротехниканинг назарий асослари» фанидан 1-оралик, 2-оралик ва якуний назорат саволлари тўплами. ТДТУ, 2002.-102 б.
20. Ibadullayev M. Nazariy elektrotexnika asoslari. Masala va mashqlar to'plami.I-qism. T.: Uzbekiston, 2015.- 328 b.
21. Коровкин Н.В., Селина Е.Е., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. Сборник задач. -СПб. Питер, 2004. -510 с.
22. Abidov Q.G' ., Isamuxamedov S.D., Isamuxamedov U.S. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» fanining « 0‘zgarmas tok zanjirlari» bo‘ limi bo‘yicha hisob-grafik ishlarini bajarish namunalari ko‘rsatilgan.TDTU, 2010,- 406.
23. Abidov Q.G' ., Isamuxamedov S.D., Isamuxamedov U.S. Elektrotexnikaning nazariy asoslari fanining o ‘zgaruvchan tok zanjirlari bo‘ limi bo‘yicha hisob-grafik ishlarini bajarish yuzasidan uslubiy ko‘ rsatma. TDTU, 2010,- 31 6.
24. Abidov Q.G' ., ErnstI.V. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» fanining «Nochiziqli magnit zanjirlarini hisoblash» bo'limi bo'yicha hisob-grafik ishi bajarish yuzasidan uslubiy ko'rsatma. TDTU, 2010 .-32 6.
25. Abidov Q.G' ., Rashidov Y.R., Isamuxamedrv S.D. Elektrotexnikani nazariy asoslari fanidan laboratoriya ishlari bajarish uchun uslubiy ko‘rsatma 1-qism. TDTU, 2007,- 38 6.
26. Abidov Q.G' ., Rashidov Y.R., Isamuxamedrv S.D. Elektrotexnikani nazariy asoslari fanidan laboratoriya ishlari bajarish uchun uslubiy ko‘rsatma 2-qism. TDTU, 2007,- 46 6.
27. Abdullaev B., Abidov Q.G., Ibadullaev M. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. T. Fan va texnologiya, 2016 yil.
28. Internet ma`lumotlar olinish mumkin belgan saytlar:
www.gov.uz - Ўзбекистан Республикаси ҳукумат портали.
www.lex.uz - Ўзбекистан Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.
[www. zivonet.uz](http://www.zivonet.uz);
www.bilim.uz;
www.ni.com/multisim.
www.aztm.org.obmash.ru.
<http://www.micromake.ru>.
<http://avidreaders.ru/book/spravochnik>.
<http://avidreaders.ru/download/>
<https://www.twirpx.com/files/automation/kipia>.
<https://www.proektant.org/arh/1128.html>