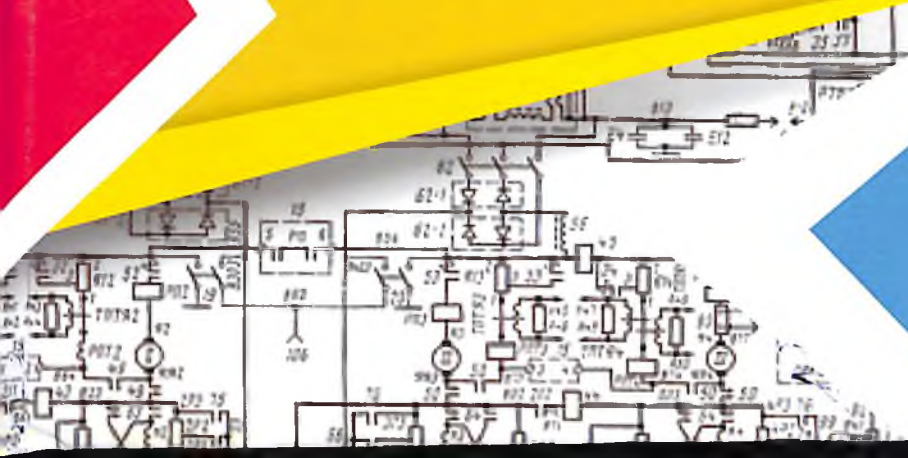


621.37

E 41

A.A.Tulyaganov, S.S.Parsiyev,
V.A.Tulyaganova, U.M.Abdullayev

ELEKTR ZANJIRLAR NAZARIYASI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARINI
RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

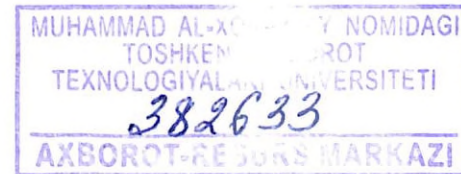
MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

A.A.TULYAGANOV, S.S.PARSIYEV,
V.A.TULYAGANOVA, U.M.ABDULLAYEV

ELEKTR ZANJIRLAR NAZARIYASI

Maxsus fakultet talabalari uchun

(O'quv qo'llanma)



TOSHKENT – 2018

UO*K: 621.3.011.7

KBK: 32.88-01

E 41

E 41. A.A.Tulyaganov, S.S.Parsiyev, V.A.Tulyaganova, U.M.Abdullayev.
Elektr zanjirlar nazariyasi. (O'quv qo'llanma). T.: «Aloqachi», 2018,
144 bet.

ISBN 978-9943-5145-2-2

O'quv qo'llanmada "Elektr zanjirlar nazariyasi" fani haqida umumiy tushunchalar; telekommunikatsiya tarmoqlarining texnik qurilmalarini yaratish, ularni ishlatish uchun texnik vositalar orqali borayotgan jarayonni o'rganish; telekommunikatsiya tarmoqlarining texnik qurilmalarini tashkil etgan elektr zanjirlarini tahlil qilish, elektr toki oqayotgan jarayon qaysi qonunlar asosida amalga oshirilishini bilish; murakkab elektr zanjirlar orqali oqib o'tayotgan tok va kuchlanishning asosiy ko'rsatgichlarini hisoblash va tahlil qilish; texnik qurilmalarni tashkil etuvchilarini tahlil qilish uchun elektr zanjirlar nazariyasini o'rganishning nazariy va amaliy jihatlarini haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Ushbu o'quv qo'llanma TATU Maxsus fakultetining ishchi o'quv dasturi va o'quv rejalariga mos holda ishlab chiqilgan.

UO*K: 621.3.011.7

KBK: 32.88-01

Taqrizchilar:

Abdullayev B.A. – Islom Karimov nomidagi TDTU kafedrasida dotsenti, t.f.n;

Rahimov B.N. – Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU kafedrasida mudiri, t.f.d.

978-9943-5145-2-2

© «Aloqachi» nashriyoti, 2018.

Mundarija

Kirish.....	6
I bob. Zaryadlangan zarrachalar. Zaryadlangan zarrachalarning o'zaro harakatlari. Elektr maydon.....	7
1.1. Elektr zaryad tushunchasi.....	7
1.2. Zaryadlarning o'zaro harakatlari.....	7
1.3. Elektr maydon.....	8
1.4. Elektr toki.....	10
1.5. Solishtirma qarshilik.....	11
1.6. O'tkazgichning resistor qarshiligi.....	11
1.7. Manbaning ichki qarshiligi.....	12
II bob. Kuchlanish. Elektr potentsiali va potentsiallar farqi. Elektr yurituvchi kuch.	14
2.1. Kuchlanish.....	14
2.2. Potensial. Potentsiallar farqi.....	16
2.3. Elektr yurituvchi kuch.....	17
III bob. Elektr zanjiri. Elektr zanjir elementlari. Elementlarni ketma-ket va parallel ulash.....	19
3.1. Elektr zanjiri.....	19
3.2. Elektr zanjir elementlari.....	19
3.3. Elektr yurituvchi kuch (EYuK).....	21
3.4. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan zanjirlar.....	22
3.5. Elektr zanjir elementlarining Volt-Amper xarakteristikalarini... ..	23
3.6. Elektr zanjirlarning topologik xarakteristikalarini.....	24
3.7. Zanjirlarni ketma-ket va parallel ulash.....	25
IV bob. Elektr zanjirlar nazariyasining asosiy qonunlari. Kirxgof qonunlari. Om qonuni.....	28
4.1. Kirxgof qonunlari.....	28
4.2. Elektr zanjirlar uchun Om qonuni.....	31
V bob. Doimiy tok zanjirlarini hisoblash. Elektr sxemalarini ekvivalent usuli bilan almashtirish (ekvivalent almashtirish usuli).....	34
5.1. Ekvivalent almashtirish usuli.....	34
5.2. Kontur toklar usuli.....	36
5.3. Tugunlar potentsiali usuli.....	37
5.4. O'zgaruvchan tok zanjirining potentsial diagrammasi.....	39
VI bob. O'zgaruvchan tok. Sinusoidal tok. Sinusoidal tokni xarakterlovchi miqdorlar.....	42
6.1. O'zgaruvchan tok.....	42
6.2. Sinusoidal tok.....	42
6.3. Qarshilik orqali garmonik tok o'tishi.....	44

6.4.	Induktivlik orqali garmonik tok o'tishi.....	45
6.5.	Garmonik tokning sig'im orqali o'tishi.....	46
VII bob.	Sinusoidal funksiyalarni vektor diagrammasi va kompleks sonlar orqali ifodalash.....	49
7.1.	Sinusoidal funksiyalarni vektor diagrammasi.....	49
7.2.	Vektorlar ustida simvolik usulda amallar bajarish.....	53
VIII bob.	Kompleks ifodalar. Kompleks sonlar ustida amallar bajarish.....	56
8.1.	Kompleks sonlarning haqiqiy va mavhum qismlari.....	57
8.2.	Kompleks sonlar ustida amallar bajarish.....	58
8.3.	Oddiy elektr zanjirlarini kompleks ifodalar orqali hisoblash...	60
IX bob.	Kompleks qarshilik va o'tkazuvchanlik. Kirxgof va Om qonunlarini kompleks miqdorlar orqali ifodalash.....	63
9.1.	Kompleks shakldagi Om va Kirxgof qonunlari.....	65
X bob.	Garmonik tok zanjirlarida quvvat.....	68
10.1.	Aktiv quvvat.....	69
10.2.	Reaktiv quvvat.....	70
10.3.	To'liq quvvat.....	70
10.4.	Kompleks quvvat.....	71
10.5.	Quvvat muvozanati.....	72
XI bob.	Parallel tebranish konturi. Tok rezonansi.....	74
XII bob.	Davriy funksiyalarning garmonik tarkiblarga yoyilishi.....	80
12.1.	Davriy nogarmonik signallarning simmetrik ko'rinishlari.....	84
12.2.	Gorizontal o'qqa nisbatan simmetrik signal shakli.....	85
12.3.	Nogarmonik signallarning koordinata o'qi boshlanishiga nisbatan simmetrik shakli.....	85
XIII bob.	Ikkiqutbli elektr zanjirlari. Ta'riflari va klassifikatsiyalari.....	87
13.1.	Bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri.....	88
13.2.	Ikki elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri.....	89
XIV bob.	Chiziqli elektr zanjirlarida o'tish jarayonlari.....	94
14.1.	Tok va kuchlanishning erkin va majburiy tashkil etuvchilari..	95
14.2.	O'tish jarayonlarini klassik usul orqali tahlil qilish.....	98
XV bob.	O'tish jarayonlarini operator usulida hisoblash.....	102
XVI bob.	Spektral (chastotaviy) usul yordami bilan CHEZlarni tahlil qilish.To'rtqutbliklar (TQ).....	110
16.1.	To'rtqutbliklar (TQ).....	112
XVII bob.	Battervord, ChebIshev va Zolotaryov filtrlari.....	116
17.1.	Zolotaryov filtrlari.....	119
17.2.	Filtrlarda o'tkinchi jarayon.....	120
XVIII bob.	Nochiziqli elektr zanjirlari.....	123
18.1.	Ketma-ket ulangan nochiziqli elementlar ulangan elektr	126

	zanjirni grafik usulda hisoblash.....	127
18.2.	Nochiziqli rezistiv elementi.....	127
18.3.	Nochiziqli sig'im.....	127
18.4.	Nochiziqli induktivlik.....	128
XIX bob.	Magnitli zanjirlar.....	130
19.1.	Magnit zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari.....	132
XX bob.	Teskari bog'langan elektr zanjirlari. Avtogeneratorlar.....	137
20.1.	Avtogeneratorlar.....	139
	Foydalanilgan adabiyotlar.....	143

KIRISH

Respublikamizda TELEKOMMUNIKATSIYA tarmoqlarining shiddat bilan rivojlanib borishi, INTERNET tarmog'ining hayotimizga kirib kelishi ilm-fan rivojiga katta ta'sir qildi.

Barcha axborotlar ushbu tarmoqlar orqali katta tezliklarda uzatiladi, internet tarmog'i orqali barcha axborotlarni qabul qilish, uzatish va axborot almashish imkoniyati yaratildi.

Ushbu telekommunikatsiya tarmoqlari murakkab qurilmalardan, uzatuvchilardan, qabul qiluvchi va axborotlarni qayta ishlash, boshqa turlarga aylantirish uskunalaridan tashkil topgan. Ushbu murakkab turdagi qurilmalar har hil turdagi elektrotexnik va elektron sxemalardan tashkil topgan bo'ladi.

Telekommunikatsiya tarmoqlarining texnik qurilmalarini yaratish, ishlatish uchun ushbu texnik vositalar orqali borayotgan jarayonni o'rganish, ularni tashkil etgan elektr zanjirlarini tahlil qilish, elektr toki oqayotgan jarayon qaysi qonunlar asosida amalga oshirilishini bilish zarur bo'ladi. Ushbu qonunlarning ko'pchiligi "Elektr zanjirlar nazariyasi" (EZN) fani orqali o'rganiladi. EZN fani o'tgan asrning 60-yillarida alohida fan sifatida tashkil topgan. O'sha yilgacha umumiy fan sifatida "Elektrotexnika" fani o'rganilib kelingan. Keyinchalik telekommunikatsiya tarmoqlarida faoliyat olib boruvchi injener texnik hodimlar uchun murakkab elektr zanjirlar orqali oqib o'tayotgan tok va kuchlanishning asosiy parametrlarini hisoblash va tahlil qilish asosiy o'rin egalladi. Shuning uchun ham hozirgi vaqtda ushbu fan orqali texnik qurilmalarda bo'layotgan jarayon o'rganib boriladi. Texnik qurilmalarni tashkil etuvchilarini tahlil qilish uchun elektr zanjirlar nazariyasini o'rganish kerak bo'ladi.

Ushbu o'quv qo'llanmadan TATU Maxsus fakulteti talabalari va universitetning boshqa mutaxassisliklari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar foydalanishlari mumkin.

Mualliflar ushbu o'quv qo'llanma mazmuni va undagi kamchiliklar haqida fikr-mulohazalarini bildirganlarga avvaldan o'z minnatdorchiliklarini bildiradilar.

I bob. ZARYADLANGAN ZARRACHALAR. ZARYADLANGAN ZARRACHALARNING O'ZARO HARAKATLARI. ELEKTR MAYDON

1.1. Elektr zaryad tushunchasi

Fizika fanidan ma'lumki bir bo'lak oyna sinig'ini shoyi matoga ishqalansa, oyna sinig'i mayda qog'oz bo'lakchalarini o'ziga tortadigan bo'lib qoladi. Lekin shoyi matoga ishqalangan ikki oyna sinig'i bir - birini itarish xususiyatiga ega bo'ladi. Ebonit materiali mex materialiga ishqalansa ham xuddi shunday xususiyatga ega bo'ladi, ikki ebonit materiali esa bir-birini itarish xususiyatiga ega bo'ladi.

Jismlarning bir-birini tortishi va itarishi odam ko'ziga ko'rinmaydigan mayda **ZARYADLARNING** paydo bo'lishi bilan tushuntirilishi mumkin. Keyinchalik bu mayda zaryadlar **ELEKTR ZARYADLARI** deb nomlandi.

Zaryadlangan jismlar bir-birlarini tortishlari va itarishlari orqali ularni ajratish xususiyati paydo bo'ldi. Masalan, oyna sinig'ida hosil bo'lgan zaryadlar tortish, ebonitda esa bir-biridan qochish xususiyatiga ega ekanligi aniqlandi. Shu orqali oyna sinig'ida hosil bo'lgan zaryadlar **MUSBAT**, ebonitda hosil bo'lgan zaryadlar **MANFIY** deb nomlanadigan bo'ldi.

Zaryadlangan zarrachalarni o'rganish vaqtida shu narsa aniqlandiki, **bir xil zaryadlar bir-birlaridan qochishadi, har xil zaryadlar esa bir-birini tortishadi.**

Keyinchalik ma'lum bo'ldiki, har bir jism **ATOMLARDAN** tashkil topgan bo'lib, har bir atom musbat zaryadlangan **YADRODAN** va manfiy zaryadlangan **ELEKTRONDAN** tashkil topganligi aniqlandi. Agar musbat zaryadlangan yadrolar, manfiy zaryadlangan elektron!arga teng bo'lsa, atom **NEYTRAL** holatda bo'ladi. Agar zaryadlangan elektronlar ko'paysa, manfiy, agar kamaysa, musbat zaryadlar hosil bo'ladi.

Demak,, elektron zaryadi – tabiatdagi eng kichik elektr zaryadi hisoblanadi. Zaryad birligi bir elektron zaryadi emas, balki **KULON** deb nomlanadi va quyidagi miqdorga teng deb belgilanadi, ya'ni (**Sh.O.KULON** elektrostatikaga asos solgan fransuz injener-fizigi nomiga)

6 290 000 000 000 000 000

$6,29 \cdot 10^{18}$ elektron zaryadlar.

Demak,, $1Kl = 6,29 \cdot 10^{18}$ elektron zaryad.

1.2. Zaryadlarning o'zaro harakatlari

Zaryadlarga o'zaro ta'sir etuvchi kuch zaryadlangan zaryadlar ko'paytmasiga to'g'ri proporsional, ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsional.

$$F = \frac{q_1 q_2}{e_a R^2}. \quad (1.1)$$

Yuqoridagi formula zaryadlangan zarrachalarning o'zaro ta'sir kuchlarini hisoblash formulasi hisoblanadi.

Bu formulada: F – zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi, o'lchov birligi Nyuton (N), ingliz fiziki Isaak Nyuton (1643–1727) nomi bilan nomlangan;

q_1, q_2 – zaryadlar, KI ;

R – zaryadlangan zarrachalar orasidagi masofa, m ;

e_a – dielektrik singdruvchanlik;

$e_a = e_0 \cdot e_r$;

e_0 – vakuumning dielektrik singdiruvchanlik doimiyligi;

e_r – muhitning nisbiy dielektrik singdiruvchanlik doimiyligi (miqdorlari jadval orqali beriladi).

Yuqoridagi ifodalarni inobatga oladigan bo'lsak, KULON qonuni quyidagicha yoziladi:

$$F = \frac{q_1 q_2}{e_0 e_r R^2}. \quad (1.2)$$

Tajriba yo'llari bilan aniqlanganki vakuumning dielektrik singdiruvchanligi quyidagi miqdorga teng: $8,85 \cdot 10^{-12}$, F .

Vakuumning dielektrik singdiruvchanligining o'lchov birligi Ingliz fiziki Maykl Faradey (1791 – 1867) nomi bilan nomlangan va "Farad" (F) deb belgilanadi.

1.3. Elektr maydon

Zaryadlangan jism atrofida bir-birini tortish va itarish kuchlarini namoyon etuvchi maydon bo'ladi. Bu maydon ELEKTRLANGAN MAYDON deb yuritiladi.

Elektrlangan maydon materiyaning bir turi bo'lib, shu maydon orqali zaryadlangan zarrachalarning o'zaro harakatlari amalga oshiriladi.

Zaryadlari o'zgarmaydigan maydon ELEKTROSTATIK maydon deb yuritiladi.

Elektr maydonining har bir nuqtasi elektr maydonining KUCHLANGANLIGI E bilan karakterlanadi.

Kuchlanganlik $E = \frac{F}{q}$ formula orqali ifodalanadi, bu yerda, F maydonda

joylashgan q zaryadga ta'sir etuvchi kuch.

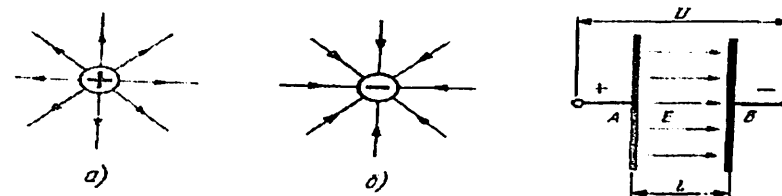
Zaryadlangan zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch F NYUTONDA (N), zaryad q esa KULONDA (KI), elektr maydonining kuchlanganligi E esa (N/KI) da o'lchanadi.

Elektr maydon kuchlanganligi deb, elektr maydonining ko'ri- layotgan nuqtasiga kiritilgan zaryadlangan qo'zg'olmas jismga ta'sir etayotgan kuch miqdorini shu zaryad nolga intilgandagi miqdoriga nisbatining, jismga ta'sir etayotgan musbat kuch yo'nalishi bilan mos bo'lgan vektor miqdoriga aytiladi:

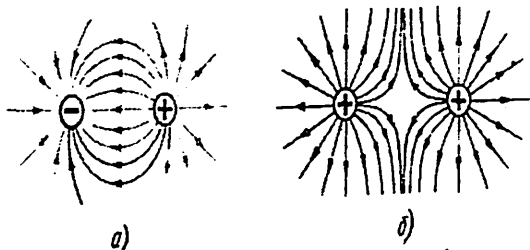
Elektr maydonining kuchlanganligi vektor kattalik hisoblanadi va elektr maydonini va shu maydon orqali zaryadlangan zarrachalarga ta'sir etuvchi kuchni karakterlaydi.

Elektr maydon maydonning kuchlanganlik chiziqlari bilan tasvir- lanadi. Maydon kuchlanganligining vektori maydonning har bir nuqtasida bir hil bo'lgan maydon BIR TURDAGI MAYDON deb ataladi.

Elektr kuchlanganlik chiziqlari yopiq chiziqlar bo'lmasdan, musbat zaryadli jismlardan boshlanadi va manfiy zaryadlangan jismlarda tugaydi. Misol tariqasida 1.1 va 1.2-rasmlardagi shakllarni keltirishimiz mumkin. 1.3-rasmda ikkita parallel joylashgan plastinalarning elektr maydon kuchlanganligi keltirilgan.



1.1- rasm. Musbat va manfiy zaryadlarning ko'rinishi.



1.2- rasm. Zaryadlarning o'zaro tortishishlari va qochishlari.

1.4. Elektr toki

Har qanday metall o'tkazgichlarda erkin harakatlanuvchi **ELEKTRONLAR** mavjud bo'ladi. Agar metall o'tkazgich uchlariga (klemmlariga) hech qanday kuchlanganlik ulanmasa, elektronlar har xil yo'nalishlar bo'yicha tartibsiz harakatlanadi, elektronlarning hech qanday tartibli harakati kuzatilmaydi.

Agar metall o'tkazgich uchlariga har xil qiymatlarga ega bo'lgan kuchlanganlik ulansa, u holda elektronlarni tartibli harakatga keltiruvchi **ELEKTR MAYDON** hosil bo'ladi.

Shu holatda o'tkazgich kesimidan bir vaqtning o'zida bir xil miqdordagi elektr zaryadlari ko'chib o'tishi kuzatiladi. Elektronlarning tartibli harakati orqali zaryadli zarrachalarning o'tkazgichning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chib o'tishi **ELEKTR TOKI** deb ataladi, qisqacha **TOK** deyiladi.

Tokning o'lchov birligi fransuz fiziki **N.M.AMPER** (1775–1836) nomiga atab **AMPER (A)** deb belgilanadi. Tok miqdorini aniqlash uchun ma'lum vaqt oralig'ida zaryad o'zgarishini bilish kerak bo'ladi.

Vaqt o'tishi bilan qiymatini o'zgartirmaydigan tok o'zgarmas tok deb ataladi. Vaqt o'tishi bilan sinusoidal (garmonik) qonun bo'yicha o'zgaradigan tok o'zgaruvchan tok deb ataladi.

Tok xuddi kuchlanish singari i – oniy, amplituda I_m va maksimal I_p qiymatlarga ega bo'ladi. Tok miqdori biror yuza s orqali vaqt birligida o'tayotgan zaryad miqdori q bilan o'lchanadi. Vaqtning ixtiyoriy onida o'tkazuvchanlik toki ko'rilayotgan s yuzadan zaryad tashuvchilar bilan ko'chirilayotgan elektr zaryadining vaqt bo'yicha hosilasiga teng, ya'ni

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (1.3)$$

O'tkazgichning barcha nuqtalarida tartibli harakatlanayotgan zaryadlardan tashqari, tartibsiz harakatlanayotgan elektronlar ham

mavjud bo'ladi, oqibatda ular o'tkazgich orqali o'tayotgan tokning tartibli harakatiga xalaqit beradi.

Bu holat o'tkazgichning yoki materialning **QARSHILIGI** deb ataladi.

O'tkazgich qarshiligi **R** harfi bilan, yoki **r** bilan belgilanadi. qarshilikning o'lchov birligi nemis olimi **Georg OM** (1787–1854) sharafiga **Om** deb belgilanadi.

1.5. Solishtirma qarshilik

O'tkazgichlarning qarshiligi shu o'tkazgich tayyorlangan materialning xususiyatiga bog'liq bo'ladi. Shu materiallarni bir-biri bilan taqqoslash, xususiyatlarini aniqlash maqsadida **SOLISHTIRMA QARSHILIK** tushunchasi kiritiladi va ρ (**RO'** deb o'qiladi) bilan belgilanadi.

Bir m^2 kesimga ega bo'lgan **1 metr** uzunlikdagi o'tkazgich qarshiligi **SOLISHTIRMA QARSHILIK** deb ataladi va quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\text{Bu yerda, } \rho = \frac{RS}{l} \quad [\rho] = Om \cdot \frac{m^2}{m} = Om \cdot m. \quad (1.4)$$

R – o'tkazgich qarshiligi, Om;

S – o'tkazgichning kesim yuzasi, m^2 ;

l – o'tkazgich uzunligi, m.

1.6. O'tkazgichning resistor qarshiligi

Biror o'tkazgich orqali o'tayotgan elektr toki bir qancha qarshiliklarga uchraydi, shu sababli energiya yo'qotiladi. Odatda, energiya yo'qotilmaydi, faqat bir turdan boshqa turga o'tadi, bu holatda elektr energiyasi issiqlik energiyasiga o'tadi. Elektr qarshilikka ega bo'lgan o'tkazgich orqali elektr toki o'tsa shu o'tkazgichda **ISSIQLIK** ajraladi.

Elektr energiyasini issiqlik energiyasiga aylantirish xususiyatiga ega bo'lgan o'tkazgich **REZISTOR QARSHILIGI** deyiladi. Xuddi shunday xususiyatga ega bo'lgan radio element **REZISTOR** deb ataladi.

Elektr sxemalarda rezistorlar quyidagi Rasmda ko'rsatilgandek belgilanadi:



1.3- rasm. Rezistor elementini sxemada belgilanishi.

Qarshilikka teskari bo'lgan fizik kattalik **O'TKAZUVCHANLIK** deb ataladi.

Rezistorli zanjirlarda o'tkazuvchanlik quyidagi formula orqali $G = \frac{1}{R}$ ifodalanadi. O'tkazuvchanlikning o'lchov birligi nemis elektrotexniki **E.V.Simens** (1816–1892) sharafiga **Simens (Sm)**da o'lchanadi. Solishtirma qarshilikka teskari bo'lgan kattalik **SOLISHTIRMA O'TKAZUVCHANLIK** deb ataladi va $\gamma = \frac{1}{\rho}$ formula orqali ifodalanadi. Solishtirma o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi quyidagi qiymat bilan aniqlanadi:

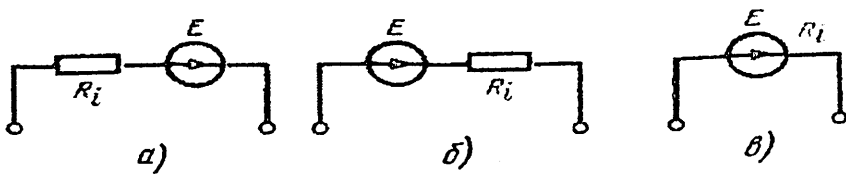
$$\frac{1}{\text{Om}} \cdot m \text{ yoki } \frac{\text{mm}^2}{\text{Om} \cdot m}$$

1.7. Manbaning ichki qarshiligi

Har qanday elektr energiyasi manbalari ichki qarshilikka ega bo'ladilar va elektr sxemalarida quyidagicha belgilanadi:

R_i (yoki r).

Elektr manbalarning ichki qarshiliklari juda muhim ahamiyatga ega bo'lgan kattalik hisoblanadi, chunki ichki qarshilik orqali manbaning ba'zi xususiyatlarini aniqlash mumkin bo'ladi. Odatda, manbaning ichki qarshiligi manbaning ichida bo'ladi, faqat sxemalarda aloxida belgilar bilan ko'rsatiladi, masalan:



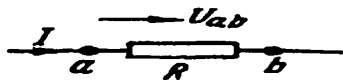
1.4- rasm.

1. Zaryadlangan zarrachalar.
2. Zaryadlangan zarrachalarning o'zaro harakatlari.
3. Elektr maydon.
4. Elektr maydon tushunchasi.
5. Elektr toki tushunchasi.
6. O'tkazgich qarshiligi.
7. Solishtirma qarshilik.
8. O'tkazgichning rezistor qarshiligi.
9. O'tkazuvchanlik tushunchasi.
10. Solishtirma o'tkazuvchanlik.
11. Manbaning ichki qarshiligi.

II bob. KUCHLANISH. ELEKTR POTENSIALI VA POTENSIALLAR FARQI. ELEKTR YURITUVCHI KUCH

2.1. Kuchlanish

Elektr zanjirining biron bir uchastkasidagi **KUCHLANISH** deb shu uchastkaning chekka nuqtalaridagi potensiallar farqiga aytiladi.



2.1-rasm.

Ushbu rasmda elektr zanjirining chekka nuqtalari **a** va **b** harflar bilan belgilangan. Faraz qilaylik, **I** tok **a** nuqtadan **b** nuqtaga, ya'ni potentsiali yuqori bo'lgan nuqtadan, potentsiali kichik bo'lgan nuqtaga qarab oqayapti.

Kuchlanish yo'nalishi potentsiali yuqori bo'lgan nuqtadan potentsiali kichik bo'lgan nuqta tomon yo'nalgan bo'ladi. Demak,, "**a**" nuqtaning potentsiali "**b**" nuqtaning potentsialidan formulada keltirilgan miqdorday katta hisoblanadi.

$$\varphi_a = \varphi_b + IR. \quad (2.1)$$

Demak,, "**a**" va "**b**" nuqtalar o'rtasidagi **KUCHLANISH** quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b. \quad (2.2)$$

Shundan kelib chiqadiki, **KUCHLANISH** elektr zanjirining qarshiligi orqali oqib o'tayotgan tokning shu qarshilik miqdori ko'paytmasiga teng, ya'ni:

$$U_{ab} = IR. \quad (2.3)$$

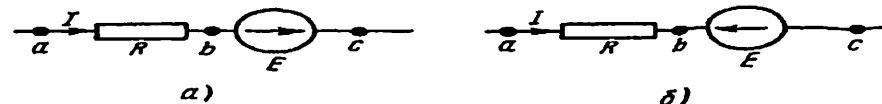
Elektrotexnikada qarshilikning ikki chekka nuqtalaridagi potensiallar farqi kuchlanish **PASAYISHI** deb ataladi.

Zanjirning biron bir uchastkasida potensiallarning pasayish yo'nalishi strelka bilan ko'rsatiladi, odatda, tok yo'nalishi bilan mos keladi.

Endi elektr zanjirining qarshilik ulangan qismi emas, balki **ELEKTR YURITUVCHI KUCH (EYuK)** ulangan qismini ko'rib chiqamiz.

Rasmda ko'rsatilgan zanjirning "**a**" va "**c**" nuqtalari uchun potentsiallar farqini aniqlaymiz:

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c. \quad (2.4)$$



2.2- rasm.

2.2-a rasmda "**c**" nuqtadan "**b**" nuqtaga qarab yurilsa **EYuK** yo'nalishiga teskari bo'ladi va "**b**" nuqtaning potentsiali "**c**" nuqtaning potentsialidan **EYuK** ning quyidagi miqdoricha kam bo'ladi, ya'ni:

$$\varphi_b = \varphi_c - E. \quad (2.5)$$

Agar "**b**" nuqtadan "**c**" nuqtaga qarab yurilsa, **EYuK** yo'nalishiga mos keladi va "**c**" nuqtaning potentsiali "**b**" nuqtaning potentsialidan **EYuK**ning quyidagi miqdoricha katta bo'ladi, ya'ni:

$$\varphi_b = \varphi_c + E. \quad (2.6)$$

Yuqorida ko'rib chiqilgan elektr zanjirining qismlarida, **EYuK** bo'lmagan uchastkalarida, elektr toki potentsial yuqori bo'lgan nuqtadan potentsiali past bo'lgan nuqtaga tomon oqayotganini ko'ramiz. 2.2-rasmning ikkalasida ham "**a**" nuqtaning potentsiali "**b**" nuqtaning potentsialidan qarshilikning quyidagi miqdoricha yuqori bo'ladi, ya'ni:

$$\varphi_a = \varphi_b + IR. \quad (2.7)$$

Shunday qilib 2.2-a rasm uchun quyidagi ifoda to'g'ri keladi:

$$\varphi_a = \varphi_c - E + IR, \quad U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR - E. \quad (2.8)$$

2.2-b rasm uchun esa quyidagi ifoda to'g'ri keladi:

$$\varphi_a = \varphi_c + E + IR, \quad U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR + E. \quad (2.9)$$

U_{ac} kuchlanishning musbat tomonga yo'nalishi "a" nuqtadan "c" nuqta tomon strelka orqali ko'rsatilgan.

Qoidaga ko'ra "a" va "c" nuqtalar kuchlanishi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$U_{ca} = \varphi_c - \varphi_a. \quad (2.10)$$

Shuning uchun ham $U_{ca} = -U_{ac}$, ya'ni kuchlanish ham musbat, ham manfiy qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Kuchlanishning o'lchov birligi Italiya fiziki **Aleksandro Volt** (1745–1827) sharafiga **Volt (V)** deb belgilanadi. Elektrotexnikada kuchlanishning quyidagi o'lchov birliklari ishlatiladi:

Kilovolt (kV) = 1000 V, 1kV = 10^3 V;
 Millivolt (mV) = 0,001 V, 1V = 1000 mV, 1 mV = 10^{-3} V;
 Mikrovolt (mkV) = 0,000001 V = 10^{-6} V, 1V = 10^6 mkV.

2.2. Potensial. Potensiallar farqi

Musbat ishorali zaryad "Q" atrofida Elektr maydon hosil bo'ladi, shu maydon nuqtasiga yana "q" bir musbat zaryad kiritamiz.

Bu ikki (Q va q) zaryad bir hil nomlangan zaryadga ega, ya'ni ikkalasi ham (+) musbat zaryadlanagan. Demak,, bu ikki zaryad bir-birini itarish "F" kuchiga ega bo'ladi. Shu kuch zaryadlarni bir-biridan itarishi oqibatida biron "A" ish bajariladi.

Demak,, biron bir zaryadni elektr maydoniga olib kirish uchun "A" ish bajarilish hisobiga biron energiya sarf qilinadi. Elektr maydonining har bir nuqtasi elektr potentsiali bilan xarakterlanadi, yoki **POTENSIAL** deb yuritiladi.

$$\varphi = \frac{W}{Q}. \quad (2.11)$$

Ushbu formula zaryadlangan zaryadni biron bir nuqtaga ko'chirish uchun, bajarilgan "A" ish hisobiga, biron-bir energiya sarf qilinishini ko'rsatadi. Potensialning o'lchov birligi (**VOLT**, qisqacha (V). **ENERGIYA** ish kabi ingliz fiziki **DJEYMS DJOUL** (1818 – 1889) sharafiga **DJOUL (Dj)** o'lchov birligi bilan o'lchanadi. Bir metr yo'l uzunligida bir NYUTON kuch bajargan ish bir **DJOUL** deyiladi, ya'ni:

$$[Dj] = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m/s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2.$$

1 Kl zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi bir nuqtasiga ko'chirish uchun sarflanadigan **1 Dj** energiyaga **1 V POTENSIAL** deb ataladi. Maydon kuchlanganligini "E" potentsial "φ" orqali ifodalaymiz, ya'ni:

$$E = \frac{F}{Q}, \quad (2.12)$$

$$Q = \frac{W}{\varphi}, \quad W = A = F L, \quad F - \text{kuch}, \quad L - \text{masofa. Unda:}$$

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{F\varphi}{W} = \frac{F\varphi}{A} = \frac{F\varphi}{Fl} = \frac{\varphi}{l}. \quad (2.13)$$

Demak, elektr maydonning har bir nuqtasi **POTENSIAL** bilan xarakterlanadi.

Ikki nuqtaning potentsiallar farqi **KUCHLANGANLIK** deyiladi va **U** bilan belgilanadi.

2.3. Elektr yurituvchi kuch

Oldingi bo'limlarda ikki nuqtaning potentsiallar farqi **KUCHLANISH** deb atalgan edi.

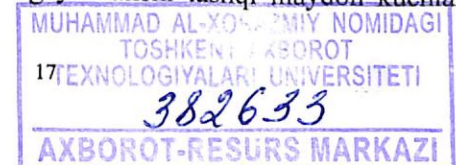
Potentsiallari har xil bo'lgan ikkita maydonni olsak, ular o'rtasida quyidagi miqdordagi kuchlanish hosil bo'ladi:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (2.14)$$

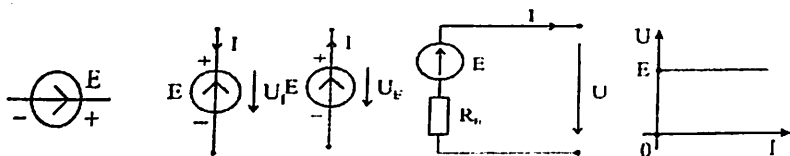
bu yerda, (φ_1 va φ_2) maydonlardagi noelektrik energiya hisobiga hosil bo'lgan potentsiallar miqdori. Masalan, ximiyaviy elementlardan tashkil topgan (ko'mir, sink, aglomerat va b.) elementni olamiz. Ximiyaviy reaksiya hisobiga energiya sarflanadi va maydonlarda ma'lum bir sondagi elektronlar paydo bo'ladi, shuning hisobiga ko'mir va sink elementlarida har hil potentsiallar paydo bo'ladi. Shu ximiyaviy elementlar chiqishlarida **KUCHLANISH** hosil bo'ladi. Ushbu kuchlanish manbaning ochiq klemmlarida **ELEKTR YURITUVCHI KUCH (EYuK)** deb yuritiladi.

Demak, EYuK ham har xil ko'rinishdagi **KUCHLANISH** hisoblanadi. EYuK ham kuchlanish kabi **VOLT (V)** o'lchov birligida o'lchanadi. Demak, manbaning **ELEKTR YURITUVCHI KUCHI** shu manba ichidagi energiyaning sarflanishi hisobiga hosil bo'ladigan potentsiallar farqiga aytiladi.

Ishlab chiqarishda, elektrostansiyalarda EYuK mexanik energiya hisobiga hosil bo'ladi. EYuK ning yo'nalishi tashqi maydon kuchlari



manba ichida musbat zaryadni musbat yo'nalishdagi ko'chirishga aytiladi. Tashqi maydon yo'nalishi ham deyiladi.



2.3-rasm.

Yuqoridagi rasmlarda EYuKning sxemalarda belgilanishi, EYuK ning elektr zanjiriga ulanishi va Volt-Amper xarakteristikasi (VAX) keltirilgan.

VAXdan ko'rinadiki EYuK (ye) zanjirning kuchlanishiga (U) teng bo'ladi va zanjir orqali oqayotgan (I) tokka bog'liq bo'lmaydi.

NAZORAT SAVOLLARI

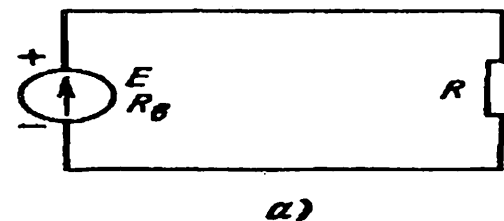
1. Kuchlanish ta'rifi. Kuchlanishni hosil qilish.
2. Kuchlanish o'lchov birligi.
3. Potensial, uning ta'rifi. Potensiallar farqi.
4. Elektr yurituvchi kuch, uning ta'rifi. EYuK o'lchov birligi.
5. EYuKning elektr sxemalarida belgilanishi.
6. DJOUL deb nimaga aytiladi?

III bob. ELEKTR ZANJIRI. ELEKTR ZANJIR ELEMENTLARI. ELEMENTLARNI KETMA-KET VA PARALEL ULASH

3.1. Elektr zanjiri

Elektr toki uchun yo'l (yo'lak) hosil qiladigan elementlar va qurilmalar yig'indisiga **ELEKTR ZANJIRI** deb ataladi.

Elektr zanjirini shartli belgilar bilan tasvirlash **ELEKTR SXEMASI** deyiladi. Ushbu rasmda elektr sxemasining bir ko'rinishi keltirilgan.



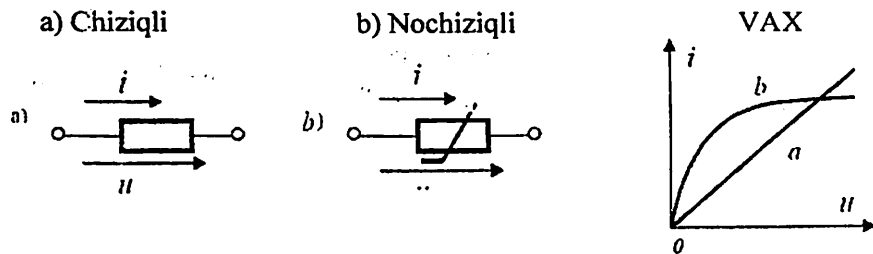
3.1-rasm.

3.2. Elektr zanjir elementlari

Elektr zanjirlar asosan **QARSHILIK, INDUKTIVLIK, KONDENSATOR (SIG'IM)**, EYuK va TOK MANBALARIDAN tashkil topgan bo'ladi. Ularning xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

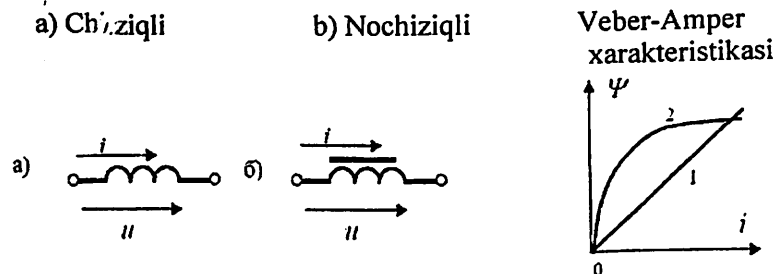
QARSHILIK ELEMENTI elektr energiyasining issiqlik energiyasiga o'tishishini ifodalaydi va modda molekulasini harakatlanayotgan zaryadli zaryadchalar qarshiligiga uchraydi.

Bu holatda elektr energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi, elementda saqlanib qolmaydi (3.2-rasm). Ushbu rasmlarda qarshilik elementining elektr zanjirlarda belgilanishi, chiziqli va nochiziqli elementlar hamda Volt-Amper xarakteristikalari (VAX) keltirilgan.



3.2-rasm. Qarshilik elementining elektr zanjirlarda belgilanishi (chiziqli va nochiziqli) hamda Volt-Amper xarakteristikalari.

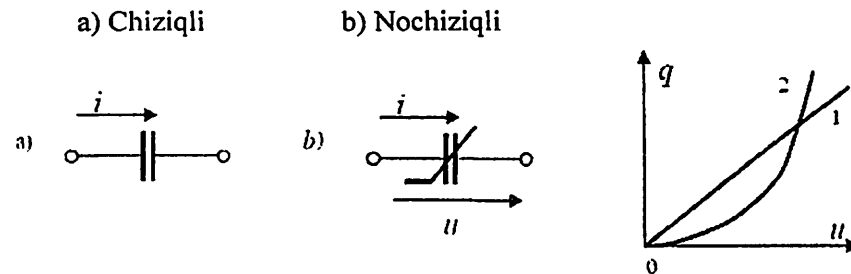
INDUKTIVLIK ELEMENTI qurilmada magnit maydon borligini ifodalaydi va o'zgarmas tok bo'yicha qarshilik ko'rsatadi. Induktiv elementida magnit maydon energiyasi saqlanib qoladi. Ushbu rasmlarda chiziqli va nochiziqli elementlar va Veber-Amper xarakteristikasi (VebAX) keltirilgan.



3.3-rasm. Chiziqli, nochiziqli induktivlik elementlar va ularning Veber-Amper xarakteristikasi.

$$\Phi = LI, \quad L = \frac{\Phi}{I} \rightarrow [L] = \frac{Vb}{A} = v \cdot \frac{c}{A} = c \cdot \text{Om}$$

KONDENSATOR (SIG'IM) ELEMENTI qurilmada elektr maydon borligini ifodalaydi. Bunda zaryadlarning harakat energiyasi elektr maydonning potensial energiyasiga aylanadi. Keyinchalik bu potensial energiya elementda saqlanib qoladi (3.4-rasm). Ushbu rasmlarda chiziqli va nochiziqli elementlar hamda mos holda ularning xarakteristikalari keltirilgan.



3.4-rasm. Chiziqli va nochiziqli kondensator elementlar hamda mos holda ularning xarakteristikalari.

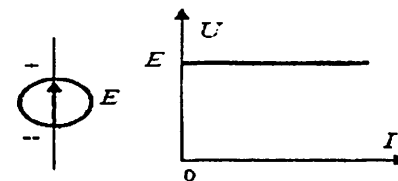
Yuqorida ko'rib chiqilgan elektr zanjirining elementlari (qarshilik, induktivlik va sig'im) PASSIV ELEMENTLAR deb ataladi, chunki zanjirning boshqa qismlaridan olgan energiyalari faqat musbat bo'ladi, yoki nolga teng bo'ladi, ya'ni o'zida qoladi.

3.3. Elektr yurituvchi kuch (EYuK)

EYuK va TOK manbalari elektr zanjirining AKTIV ELEMENTLARI hisoblanadi, chunki ular elektr zanjiriga ulangan elementlarga energiyalarini beradi. Shuning uchun ham ular "ist'emol" qiladigan tashqi energiya manfiy hisoblanadi. Quyida EYuK va TOK manbalarining elektr zanjirlarda belgilanishi, VAX lari keltirilgan (3.5-rasm). VAXdan ko'rinib turibdiki, EYuK zanjirda hosil bo'ladigan kuchlanish miqdoriga teng bo'ladi va tok miqdoriga bog'liq bo'lmaydi.

$$r_{iq} \rightarrow 0; \quad U \rightarrow U_{xx} = E;$$

$$r_{iq} = 0. \quad U = U_{xx} = E = \text{const.}$$

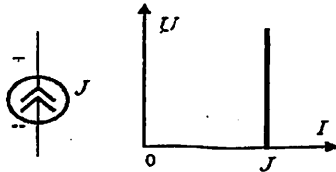


3.5-rasm. EYuK manbasining elektr zanjirlarda belgilanishi, VAX.

Tok manbasining ichki qarshiligi cheksizlikka intiladi, zanjirda qisqa tutashuv yuz beradi va qisqa tutashuv tok miqdori tok manbaiga teng bo'ladi, ushbu holat VAX da yaqqol ko'rinib turibdi.

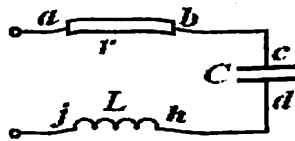
$$r_{iq} \rightarrow \infty; \quad I \rightarrow I_{qt}=J;$$

$$r_{iq} = \infty. \quad I=I_{qt}=J=const.$$



3.6-rasm. Tok manbasining elektr zanjirlarda belgilanishi, VAX.

Misol tariqasida quyidagi elektr zanjirini ko'rib chiqamiz: Faraz qilaylik, elektromagnit energiyasi issiqlik energiyasiga faqat *a-b* sohadagi rezistordagina o'tayapti, ya'ni bu oraliqda zanjirning barcha qarshiligi *r* miqdorida mujassamlangan; elektr siljish toklari faqat *c-d* oraliqda kondensator qoplamalari orasida mavjud, ya'ni bu sohada zanjirning barcha *S* sig'imi mujassamlangan; nihoyat, o'zgaruvchan magnit maydon EYuKni faqat *h-j* oraliqda mujassamlangan g'altakda induktivlaydi, ya'ni ushbu sohada zanjirning barcha *L* induktivligi yig'ilgan.

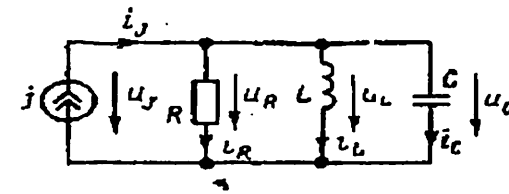


3.7-rasm.

3.4. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan zanjirlar

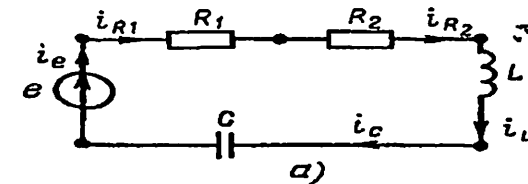
Barcha turdagi elektr zanjirlari **TARMOQLANGAN** va **TARMOQLANMAGAN** zanjirlarga bo'linadi.

Elektr zanjir elementlaridan har xil miqdordagi toklar o'tsa bunday elektr zanjiri **TARMOQLANGAN** elektr zanjiri deb ataladi (3.8-rasm).



3.8-rasm.

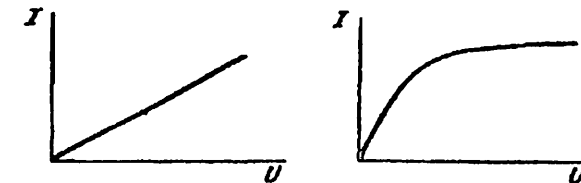
Elektr zanjir elementlaridan bir xil miqdordagi toklar o'tsa bunday elektr zanjiri **TARMOQLANMAGAN** elektr zanjiri deb ataladi (3.9-rasm).



3.9-rasm.

3.5. Elektr zanjir elementlarining Volt-Amper xarakteristikalari

Qarshilik orqali oqayotgan tokning shu qarshilik kuchlanishiga bog'liqlik grafigi **VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALARI (VAX)** deyiladi. Odatda, grafikda absissa o'qiga **KUCHLANISH**, ordinata o'qiga esa **TOK** miqdori qo'yiladi.



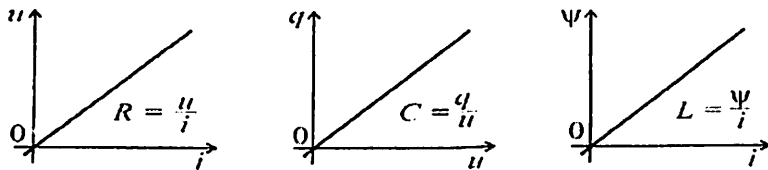
3.10-rasm.

Chiziqli VAX ga ega bo'lgan qarshilik CHIZIQLI QARSHILIK deb ataladi (b Rasm), faqat chiziqli qarshilikka ega bo'lgan elektr zanjirlar CHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLAR deyiladi.

Nochiziqli VAXga ega bo'lgan qarshilik NOCHIZIQLI QARSHILIK deb ataladi (v Rasm), faqat nochiziqli qarshilikka ega bo'lgan elektr zanjirlar NOCHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLAR deyiladi.

TOK va KUCHLANISHGA nisbatan prаметrlari o'zgaradigan ELEMENTLAR NOCHIZIQLI ELEMENTLAR deyiladi.

Quyidagi rasmlarda chiziqli qarshilik, chiziqli kondensator va chiziqli induktivlik xarakteristikalarini keltirilgan.



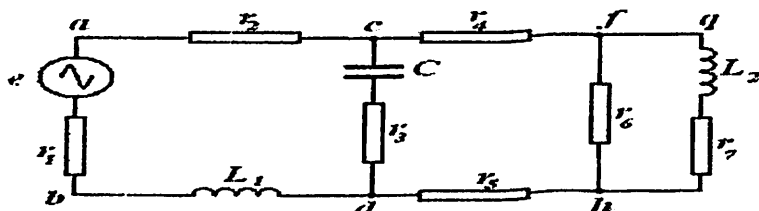
3.11-rasm.

3.6. Elektr zanjirlarning topologik xarakteristikalarini

Elektr zanjirlari umumiy holda SHOXOBCHALAR, TUGUNLAR VA KONTURLARDAN iborat bo'ladi.

Elektr zanjiri sxemasining SHOXOBCHASI deb zanjirning shunday qismiga aytiladiki, uning ixtiyoriy bo'lagida tokning miqdori doimo bir xil bo'ladi.

SHOXOBCHA tarkibida ixtiyoriy miqdordagi ketma-ket ulangan qarshilik, kondensator, induktivlik elementlari, EYuK manbalari bo'lishi mumkin. Bunga quyidagi rasmda keltirilgan elektr zanjirini misol tariqasida keltirishimiz mumkin:



3.12-rasm.

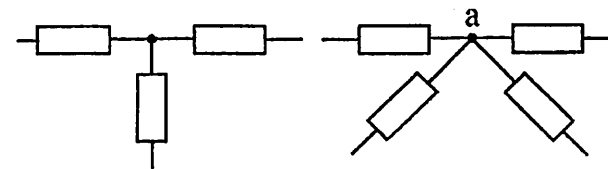
Unda sxemaning $d - L1 - r1 - e$ va $r2$ elementlari bo'ylab yursak, shu elementlarning har biridan bir xil TOK oqishini ko'ramiz.

Demak,, sxemaning $d - L1 - r1 - e - r2 - s$ bo'lagi shoxobcha hisoblanadi. Shu ds oraliqni $s - C - r3 - d$ bo'ylab yursak, ya'ni bir shoxobchani ko'ramiz.

Ushbu sxemada yana $c - r4 - f, f - r6 - h, q - L2 - r7 - h$ va $d - r5 - h$ shoxobchalar ham mavjud. Demak,, har bir shoxobchadagi elementlar o'zaro ketma-ket ulangan ekan.

Elektr zanjirining TUGUNLARI deb shoxobchalarning kamida uchta ulangan nuqtalariga aytiladi. Tugun elektr sxemasida nuqta bilan belgilanadi. Misol sifatida yuqoridagi rasmni ko'rishimiz mumkin. Undagi $c, d, f,$ va h nuqtalar tugun deyiladi.

Misol tariqasida ushbu rasmlarni keltirishimiz mumkin:

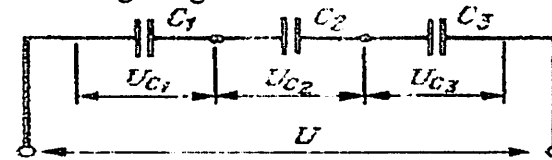


3.13-rasm.

Elektr zanjirining KONTURI deb, bir necha ketma-ket shoxobchalar orqali o'tgan ixtiyoriy berk yo'lga aytiladi. Bunga misol qilib yuqoridagi rasmdagi $abdca, cdhfs$ va $fghf$ konturlarni olishimiz mumkin.

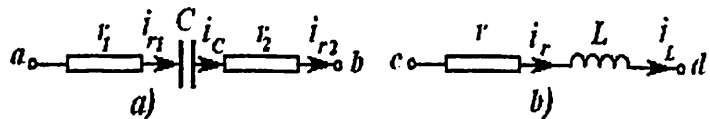
3.7. Zanjirlarni ketma-ket va parallel ulash

Elektr zanjiri qismlarining KETMA-KET ulangani deb shunday ulanishiga aytiladiki, unda zanjir shu bo'lagining har bir qismidan oqayotgan tok bir-biriga teng bo'ladi.



3.14-rasm.

Ketma-ket ulangan elementlarga misol sifatida rasmda keltirilgan sxemalarni ko'rib chiqaylik. Unda $a - b$ oraliqda r_1 , C va r_2 elementlari ketma-ket ulangan (a -rasm); bunda uchchala elementning toklari $i_{r1} = i_C = i_{r2}$ o'zaro teng. Ikkinchi shoxobchada esa c va d nuqtalari orasida r va L elementlari ketma-ket ulangan va $i_r = i_L$ (b -rasm).

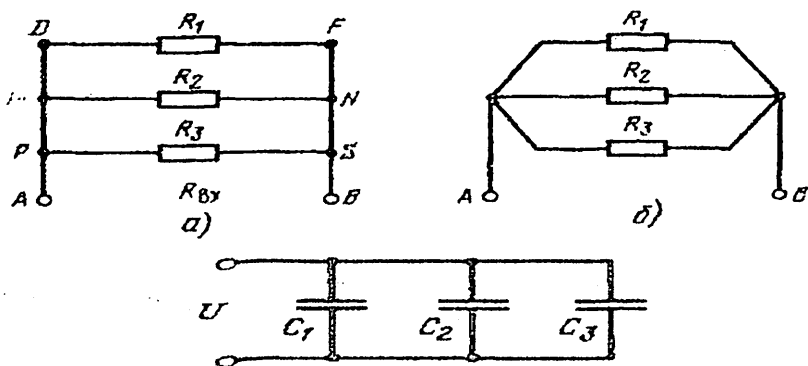


3.15-rasm.

$$i_{R1} = i_{R2} = i_L = i_C = i_e \quad (3.1)$$

Elektr zanjiri elementlarining PARALLEL ulanishi deb shunday ulanishga aytiladiki, unda barcha elementlar (shoxobchalar) zanjirning bir juft tugunlariga ulanadi va barcha elementlardagi (shoxobchalardagi) kuchlanishlar bir xil bo'ladi.

Parallel ulangan shoxobchalarga 3.16-rasmda keltirilgan sxemalar misol bo'la oladi.



3.16-rasm.

$$U_j = U_R = U_L = U_C \quad (3.2)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr zanjiri, ta'rifi.
2. Elektr zanjir elementlari.
3. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan elektr zanjirlari.
4. Elementlarni ketma-ket va parallel ulash.
5. Elektr zanjirining topologik strukturasi (shoxobcha, tugun, kontur) tushunchalari.
6. Aktiv va passiv elementlar, xarakteristikalar.
7. Chiziqli va nochiziqli zanjir elementlari.
8. Elementlarning Volt-Amper xarakteristikalar.

IV bob. ELEKTR ZANJIRLAR NAZARIYASINING ASOSIY QONUNLARI. KIRXGOF VA OM QONUNLARI

Elektr zanjirlar nazariyasida Om qonuni bilan birga shoxobchalardagi TOKLAR va yopiq zanjirlardagi kuchlanishlar balanslarini ifodalaydigan ASOSIY qonunlardan biri KIRXGOF qonunlari hisoblanadi.

Elektr zanjirlarida TOK va KUCHLANISHLARning zanjir bo'yicha taqsimlanishi KIRXGOF qonunlari orqali ifodalanadi.

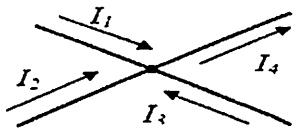
4.1. Kirxgof qonunlari

Elektr zanjirlar elementlarining asosiy parametrlarini hisoblash uchun KIRXGOF VA OM qonunlaridan foydalaniladi.

Nemis fiziki Gustav Robert Kirxgof elektr zanjirlar nazariyasida o'zining birinchi va ikkinchi qonunlarini yaratgan olimlardan hisoblanadi.

Kirxgofning birinchi qonuni

Tugundagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng

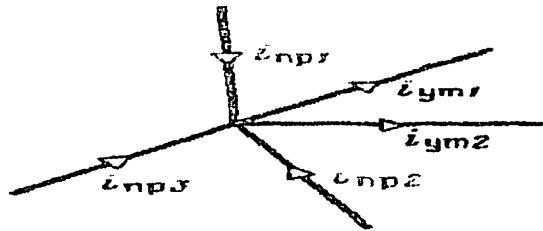


4.1-rasm.

$$\sum \pm I = 0 \quad I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \quad (4.1)$$

Kirxgof qonunining boshqacha talqini: Tugunga kirib kelayotgan toklar yig'indisi tugundan chiqayotgan toklar yig'indisiga teng.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$



4.2-rasm.

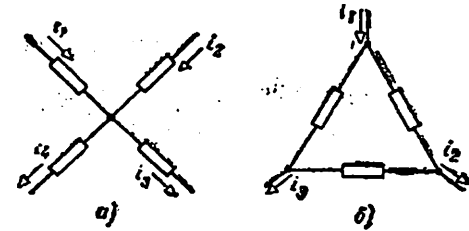
$$I_{pr1} + I_{pr2} + I_{pr3} - I_{ut1} - I_{ut2} = 0. \quad (4.2)$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha tenglamalar soni quyidagi aniqlanadi: $(u-1)$, bu yerda, u – zanjirdagi tugunlar soni.

Tugunlarga kelayotgan va tugunlardan chiqayotgan TOKLAR YIG'INDISI ko'rib chiqilayotgan TUGUNDAGI barcha shoxobchalardagi TOKLARGA tegishli bo'ladi. Tugunlarga kelayotgan va chiqayotgan toklarga BIR XIL ishoralar qo'yiladi, ya'ni musbat va manfiy. Misol tariqasida yuqoridagi rasmlarda ko'rsatilgan.

Kirxgofning birinchi qonunining ma'nosi shundan iboratki, tugunlarda elektr zaryadlari yig'ilmaydi ham, sarf ham qilinmaydi, faqat ma'lum bir vaqt oralig'ida tugunga kelayotgan zaryadlar yig'indisi, tugundan chiqayotgan zaryadlar yig'indisiga teng bo'ladi.

Kirxgofning birinchi qonuni faqat tugun uchun emas, balki biron bir kontur uchun ham qo'llanishi mumkin, misol uchun:



4.3-rasm.

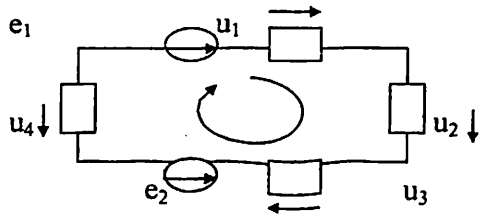
$$-i_1 + i_2 + i_3 = 0. \quad (4.3)$$

Kirxgofning ikkinchi qonuni

Zanjir konturidagi elementlar kuchlanishlarining algebraik yig'indisi shu konturdagi EYuK larning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\sum \pm U = \sum \pm E, \quad \sum (u - e) = 0. \quad (4.4)$$

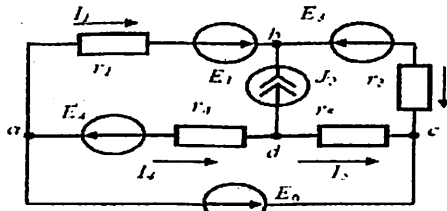
Kontur ichidagi tok yo'nalishi ixtiyoriy yo'nalishda olinadi, misol uchun soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha olinishi mumkin. Bu holatda EYuK va KUCHLANISHLAR uchun quyidagi qoidaga rioya qilinadi, ya'ni konturdagi tok yo'nalishi bilan EYuK va KUCHLANISH yo'nalishlari mos kelsa BIR XIL ishora bilan olinadi.



4.4-rasm.

$$e_1 - e_2 = u_1 + u_2 + u_3 - u_4. \quad (4.5)$$

Kirxgofning IKKINCHI qonunini formula orqali ifodalash uchun quyidagi elektr zanjirdan foydalanamiz:



4.5-rasm.

Misol tariqasida: *a* tugun uchun 1 shoxobcha, *b* tugun uchun 3 shoxobcha, *c* tugun uchun 5 shoxobcha, *d* tugun uchun esa 4 shoxobchalarga quyidagi tenglama mos keladi:

$$I_3 r_3 - I_5 r_5 - I_4 r_4 = E_1 - E_3 + E_4. \quad (4.6)$$

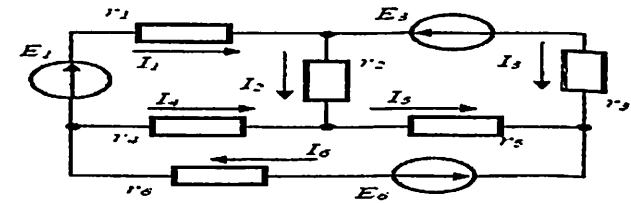
Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuziladigan tenglamalar soni quyidagicha aniqlanadi: $[v - (u-1)]$, bu yerda, v – shoxobchalar soni.

Kirxgof qonunlari asosida zanjirlarni hisoblash tartibi

1. Barcha shoxobchalarda toklar yo'nalishi aniqlanadi.
2. Sxemadagi tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonuni uchun tenglama tuziladi.
3. Mustaqil konturlar aniqlanadi (tanlanadi).
4. Kirxgofning ikkinchi qonuni uchun tenglama tuziladi.
5. Tuzilgan tenglamalar mustaqil toklar uchun yechiladi.
6. Agar quyidagi elementlarning miqdorlari aniq bo'lsa:

$E_1, E_3, E_6, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6.$

U holda, quyida keltirilgan elektr zanjiri uchun KIRXGOF qonunlari bo'yicha tenglamalar tuzamiz.

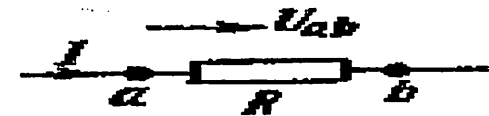


4.6-rasm.

$$\begin{aligned} I_6 - I_4 - I_1 &= 0, & I_1 r_1 + I_2 r_2 - I_4 r_4 &= E_1, \\ I_1 - I_2 - I_3 &= 0, & I_3 r_3 - I_5 r_5 - I_2 r_2 &= E_3, \\ I_3 + I_5 - I_6 &= 0, & I_4 r_4 + I_5 r_5 + I_6 r_6 &= E_6. \end{aligned}$$

4.2. Elektr zanjirlar uchun Om qonuni

Zanjirning EYuK bo'lmagan qismi uchun OM QONUNI zanjirning shu qismi uchun tok va kuchlanish o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi va quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:



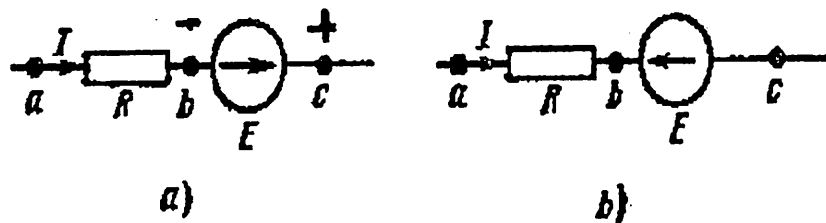
4.7-rasm.

$$U_{ab} = IR, \quad I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}. \quad (4.7.)$$

Zanjirda TOK va KUCHLANISH vaqt bo'yicha o'zgarmasligi mumkin (doimiy tok rejimi) u holda tok va kuchlanishning oniy qiymatlari ham o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi. Shu holat uchun Om qonuni quyidagicha ifodalanadi va ta'riflanadi: zanjirdan o'tayotgan TOK kuchlanishga to'g'ri proporsional, qarshilikka teskari proporsional.

$$I = \frac{U}{R} \text{ yoki } U = RI. \quad (4.8.)$$

Zanjirning EYuK bo'lgan qismi uchun OM qonuni quyidagicha ifodalanadi:



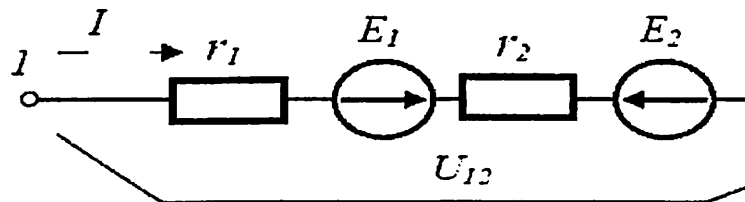
4.7-rasm.

$$I = \varphi_a - \varphi_b + \frac{E}{R} = U_{ac} + \frac{E}{R}, \quad I = \varphi_a - \varphi_b - \frac{E}{R} = U_{ac} - \frac{E}{R}. \quad (4.9)$$

Umumiy holatda esa quyidagicha ifodalanadi:

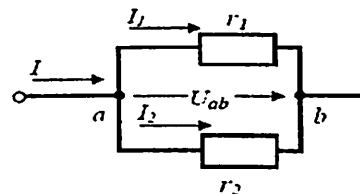
$$I = (\varphi_a - \varphi_c) \pm \frac{E}{R} = U_{ac} \pm \frac{E}{R}. \quad (4.10)$$

Elektr zanjirining EYuK ulangan qismi uchun OM qonuni quyidagicha ifodalanadi.



4.8-rasm.

$$I = \frac{U_{12} \pm \sum E_i}{\sum r_i} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_1 - E_2}{r_1 + r_2}. \quad (4.11)$$



4.9-rasm.

$$I_1 = I \frac{r_2}{r_1 + r_2}; \quad I_2 = I \frac{r_1}{r_1 + r_2}; \quad (4.12)$$

$$U_{ab} = I \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad I_1 = \frac{U_{ab}}{r_1}; \quad I_2 = \frac{U_{ab}}{r_2}. \quad (4.13)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Kirxgofning birinchi qonuni, ta'rifi.
2. Kirxgofning ikkinchi qonuni, ta'rifi.
3. Zanjirning EYuK bo'lmagan qismi uchun OM qonuni.
4. Zanjirning EYuK mavjud bo'lgan qismi uchun OM qonuni.
5. Kirxgof va Om qonunlarini tatbiq etuvchi misollar yechish.

V bob. TOK ZANJIRLARINI HISOBLASH. ELEKTR
SXEMALARINI EKVIVALENT USULI BILAN ALMASHTIRISH
(EKVIVALENT ALMASHTIRISH USULI)

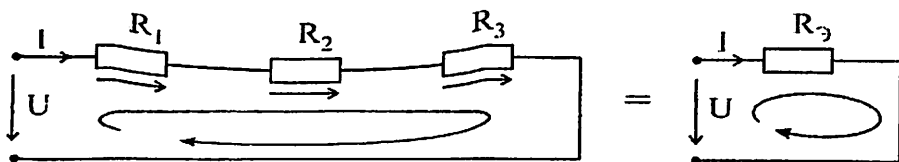
5.1. Ekvivalent almashtirish usuli

Ekvivalent almashtirish usulining ma'nosi: zanjirning bir nechta elementlarini bir element bilan, yoki elektr sxemasini bir boshqa sxema bilan almashtirish, ya'ni soddalashtirish tushuniladi.

Sxemaning kirishidagi tok va kuchlanishlar miqdori o'zgarмай qolsa almashtirish ekvivalent hisoblanadi.

Ekvivalent almashtirishning maqsadi, elektr sxemalarini soddalashtirish va tenglamalar sonini kamaytirish hisoblanadi. Ekvivalent almashtirishlar uchun quyidagi misollarni keltiramiz:

Qarshiliklarni ketma-ket ulash.



5.1-rasm.

Bu sxemada ekvivalent almashtirishning negizi UMUMIY TOK hisoblanadi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quyidagi formula hosil bo'ladi:

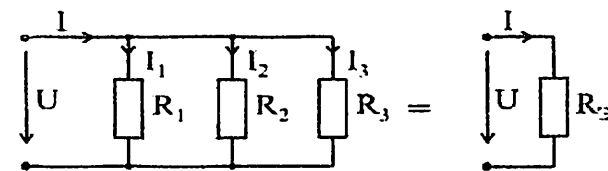
$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_3. \quad (5.1)$$

Yoki umumiy holda quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n IR_k = I \sum_{k=1}^n R_k = IR_3. \quad (5.2)$$

bu yerda, $R_e = \sum_{k=1}^n R_k$ almashtirilgan sxemaning ekvivalent qarshiligi hisoblanadi.

Qarshiliklarning paralel ulangan holda, bu yerda almashtirish negizi hamma elementlarda kuchlanishning bir xil bo'lishi, ya'ni:



5.2-rasm.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = U(g_1 + g_2 + g_3) = Ug,$$

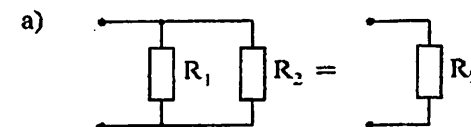
Yoki umumiy holda quyidagicha yoziladi:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n Ug_k = U \sum_{k=1}^n g_k = Ug_3, \quad (5.3)$$

bu yerda, $g_e = \sum_{k=1}^n g_k$ ekvivalent o'tkazuvchanlik deyiladi.

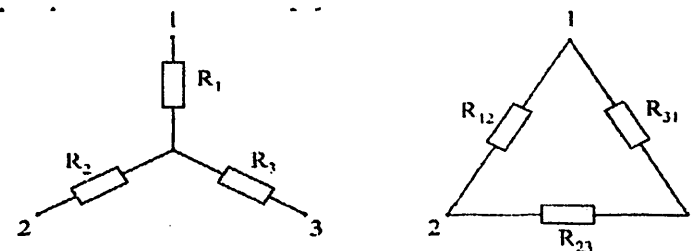
$R_e = \frac{1}{g_3}$ – elektr sxemaning ekvivalent qarshiligi hisoblanadi.

AYRIM HOLATLAR UCHUN:



5.3-rasm.

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; \quad R_1 = R_2 = R; \quad R_3 = \frac{R}{2}. \quad (5.4)$$



5.4-rasm.

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1R_2}{R_3};$$

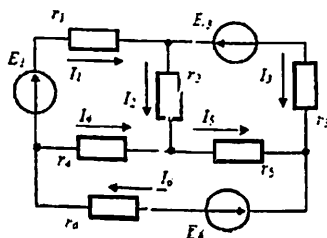
$$R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2R_3}{R_1}; \quad (5.5)$$

$$R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{31} = R_1 + R_3 + \frac{R_1R_3}{R_2}.$$

5.2. Kontur toklar usuli

Kontur toklar usuli Kirxgofning 2 qonuni asosida kontur uchun tuzilgan tenglamalarni yechishga qaratilgan bo'ladi. Bu usul orqali sxemadagi tenglamalar soni Kirxgofning 2 qonuni tenglamalarigacha qisqartirish imkoniyatini beradi.

Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalangan holda quyidagi elektr zanjirini ko'rib chiqamiz:



5.5-rasm.

Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari bo'yicha tenglamalar tuzamiz:

$$\begin{cases} I_1 - I_4 - I_1 = 0 \\ I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_3 + I_5 - I_6 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} I_1r_1 + I_2r_2 - I_4r_4 = E_1 \\ I_3r_3 - I_5r_5 - I_2r_2 = -E_3 \\ I_4r_4 + I_5r_5 + I_6r_6 = -E_6 \end{cases} \quad (5.6)$$

Yuqoridagi formulalardan quyidagi toklar ifodalarini topamiz va (2) tenglamaga qo'yamiz:

$$I_4 = I_6 - I_1, \quad I_2 = I_1 - I_3, \quad I_5 = -I_3 + I_6$$

$$\begin{cases} I_1r_1 + I_2r_2 - I_3r_2 - I_6r_4 + I_1r_4 = E_1 \\ I_3r_3 + I_3r_5 - I_6r_5 - I_1r_2 + I_3r_2 = -E_3 \\ I_6r_4 - I_1r_4 - I_3r_5 + I_6r_5 + I_6r_6 = -E_6 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$\begin{cases} I_1(r_1 + r_2 + r_3) - I_3r_2 - I_6r_4 = E_1 \\ I_3(r_2 + r_3 + r_5) - I_1r_2 - I_6r_5 = -E_3 \\ I_6(r_4 + r_5 + r_6) - I_1r_4 - I_3r_5 = -E_6 \end{cases} \quad (5.8)$$

Tenglama kontur toklar uchun Kirxgofning 2 qonuni hisoblanadi. Tenglamaning chap tomoni sxemadagi elementlar orqali oqib o'tgan kontur tokidan hosil bo'lgan kuchlanishlar va aralash (qo'shni) konturlarning kontur toklarini hisobga oladi. Tenglamaning o'ng tomoni esa konturdagi EYuK larni hisobga oladi.

KTU bo'yicha hisoblash tartibi

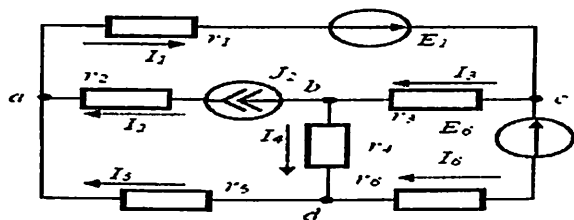
1. Mustaqil konturlar tanlab olinadi.
2. Kontur toklar kiritiladi va ular yo'nalishi belgilanadi.
3. Noma'lum kontur toklar uchun tenglamalar tuziladi (agar konturda tok manbasi bo'lsa, u kontur uchun tenglama tuzilmaydi).
4. Kontur tenglamalar tizimi yechiladi va kontur toklar topiladi.
5. Shoxobchalardagi toklar yo'nalishlari aniqlanadi va ular qiymati hisoblanadi (shoxobchalardagi toklar kontur toklarga teng bo'ladi).

5.3. Tugunlar potentsiali usuli

Ushbu usul tugunlar potentsiallarini Kirxgofning 1 qonuni asosida aniqlashga va shoxobchalardagi toklar qiymati esa Om qonuni asosida aniqlashga bag'ishlanadi. Bu usulda tenglamalar soni Kirxgofning 1 qonuni tenglamalari sonigacha kamaytirish imkonini beradi.

Shoxobchalardagi toklar zanjirdagi potentsiallar ayirmasiga bog'liq bo'ladi, agar zanjirdagi bitta tugunni yerga ulasak, u holda, uning potentsiali NOLGA teng bo'ladi, lekin sxemada toklar o'zgarmaydi.

Rasmdagi sxemani ko'rib chiqamiz va d tugun potentsialini NOLGA teng deb olamiz:



5.6-rasm.

Noma'lum bo'lgan (a. b. c) tugunlar uchun Kirxgofning 1 qonuni bo'yicha tenglamalar tuzamiz:

$$\begin{aligned} \text{Tugun } \ll a \gg \quad I_1 - I_2 - I_3 &= 0 \\ \text{Tugun } \ll b \gg \quad I_4 + I_2 - I_3 &= 0 \\ \text{Tugun } \ll c \gg \quad I_3 + I_6 - I_1 &= 0 \end{aligned} \quad (5.9)$$

Toklar yo'nalishlarini aniqlagan holda Om qonuni asosida shoxobchalardagi toklar uchun tenglamalar tuzamiz.

$$\begin{aligned} I_1 &= ((\varphi_a - \varphi_b) + E_1) \frac{1}{r_1}; \quad I_2 = J; \quad I_3 = (\varphi_c - \varphi_b) \frac{1}{r_3}; \\ I_4 &= (\varphi_b - \varphi_d) \frac{1}{r_4}; \quad I_5 = (\varphi_d - \varphi_a) \frac{1}{r_5}; \quad I_6 = ((\varphi_c - \varphi_d) - E_6) \frac{1}{r_6}. \end{aligned} \quad (5.10)$$

5.10 tenglamani 5.9 tenglamaga qo'yamiz:

$$(\varphi_a - \varphi_b) \frac{1}{r_1} + J - (\varphi_c - \varphi_b) \frac{1}{r_3} = 0 \quad (\varphi_b - \varphi_d) \frac{1}{r_4} + J - (\varphi_c - \varphi_b) \frac{1}{r_3} = 0$$

$$\begin{cases} \varphi_a \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) - \varphi_b \frac{1}{r_2} - \varphi_c \frac{1}{r_3} = -E_1 \frac{1}{r_1} + J \\ \varphi_b \left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) - \varphi_a \frac{1}{r_2} - \varphi_c \frac{1}{r_3} = -J \\ \varphi_c \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_6} \right) - \varphi_a \frac{1}{r_1} - \varphi_b \frac{1}{r_3} = E_1 \frac{1}{r_1} + E_6 \frac{1}{r_6} \end{cases} \quad (5.11)$$

Boshqa shaklda quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{cases} \varphi_a (g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_b g_2 - \varphi_c g_3 = -E_1 g_1 + J \\ \varphi_b (g_2 + g_3 + g_4) - \varphi_a g_2 - \varphi_c g_3 = -J \\ \varphi_c (g_1 + g_3 + g_6) - \varphi_a g_1 - \varphi_b g_3 = E_1 g_1 + E_6 g_6 \end{cases} \quad (5.12)$$

Ushbu tenglama tugunlar tenglamasi deyiladi.

Tugunlar potentsiali usuli bo'yicha hisoblash tartibi

1. Sxemadagi biron bir tugun potentsiali NOLGA teng deb olinadi.
2. Noma'lum bo'lgan tugunlar uchun tugunlar tenglamalari yozib chiqiladi.
3. Tenglamalar tizimi yechiladi va noma'lum tugunlar potentsiali aniqlanadi.
4. Shoxobchalarda toklar yo'nalishi aniqlanadi va Om qonuniga asosan ular qiymatlari aniqlanadi.
5. Agar sxemada qarshiliksiz EYuK manbasi bo'lsa, u holda, shu manba ulangan boshqa shoxobcha tugunini NOLGA teng deb olinadi va boshqa shoxobcha tugunlari hisoblanadi, lekin bu shoxobcha uchun tenglama tuzilmaydi.

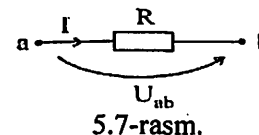
5.4. O'zgarmas tok zanjirining potensial diagrammasi

Har qanday O'ZGARMAS tok zanjiri uchun potensiallar diagrammasini tuzish mumkin.

Yopiq kontur yoki elektr zanjirining biron bir uchastkasi bo'ylab potentsialarning grafik taqsimotiga potentsiallar diagrammasi deyiladi. Grafikning absissa o'qiga zanjirning qarshiligi, ordinata o'qiga esa potentsial joylashtiriladi.

Elektr zanjirining potentsialini aniqlash uchun zanjirning biron bir tugunini (nuqtasini) NOLGA teng deb olamiz.

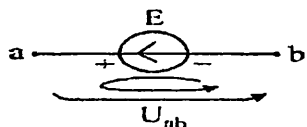
Zanjirning ushbu qismi uchun Om qonuni, ya'ni "a" nuqtaning potentsiali "b" nuqtaning potentsialidan U_{ab} miqdorgacha katta. Demak, tok potentsial katta bo'lgan nuqtadan potentsial kichik bo'lgan nuqta tomonga oqadi. Potensial diagramma tuzish vaqtida aynan shu holat e'tiborga olinadi.



5.7-rasm.

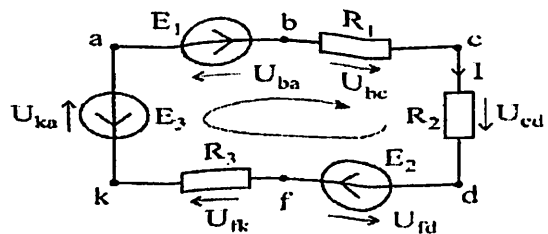
$$I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}; \quad IR = \varphi_a - \varphi_b; \quad \varphi_a = \varphi_b + IR. \quad (5.13)$$

Agar elektr zanjir qismida EYuK bo'lsa, tok yo'nalishi EYuK yo'nalishiga mos kelsa "a" "b" nuqtalar potentsiali EYuK miqdoricha oshadi, agar mos kelmasa shu miqdorcha kamayadi.



5.8-rasm.

5.10 Rasmda ko'rsatilgan bir konturli elektr sxemasi uchun potentsial diagrammasini tuzamiz.

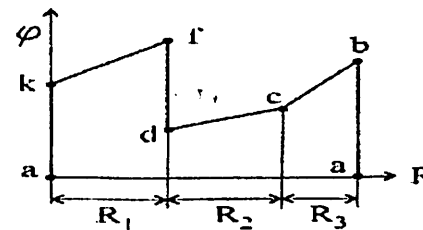


5.9-rasm.

Potentsial diagrammada ordinata o'qi bo'yicha konturning potentsial nuqtalari joylashadi, absissa o'qi bo'yicha nuqtalar o'rtasidagi qarshilik joylashadi. "a" nuqta potentsialini NOLga teng deb olamiz, ya'ni $\varphi_a = 0$. U holda qolgan nuqtalar potentsiali quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \varphi_k &= \varphi_a + E_3 = E_3 & \varphi_f &= \varphi_k + IR_3 \\ \varphi_d &= \varphi_f - E_2 & \varphi_c &= \varphi_d + IR_2 \\ \varphi_b &= \varphi_c + IR_1 & \varphi_b &= \varphi_a + E_1 = E_1 \end{aligned} \quad (5.14) \quad \text{yoki}$$

Yuqorida keltirilgan bir konturli sxema uchun potentsial diagrammasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



5.10-rasm.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr sxemalarini ekvivalent usuli bilan almashtirish.
2. Ekvivalent usulini misollar bilan tuguntirish.
3. Kontur toklar usuli, ma'nosi.
4. Kontur toklar usulini bajarish tartibi.
5. Tugun potentsiali usuli, ma'nosi.
6. Tugun potentsiali usulini bajarish tartibi.
7. Elektr konturi uchun potentsial diagrammasini tuzish.

VI bob. O'ZGARUVCHAN TOK. SINUSOIDAL TOK. SINUSOIDAL TOKNI XARAKTERLOVCHI MIQDORLAR

6.1. O'zgaruvchan tok

Vaqt bo'yicha o'zgaruvchan tok miqdoriga O'zgaruvchan tok deb ataladi.

Har qanday vaqt oralig'idagi tok miqdori ONIY TOK deb ataladi va i harfi bilan belgilanadi. Oniy qiymatlari aniq vaqt birligida va bir xil ketma-ketlikda qaytariladigan toklar DAVRIY deb ataladi.

Elektr zanjirlarining davriy jarayonlarida sinusoidal rejim asosiy o'rin tutadi. Bu rejimda tok va kuchlanishlar bir xil chastotali sinusoidal funksiyalar hisoblanadi.

6.2. Sinusoidal tok

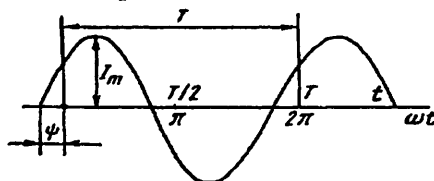
Qiymatlari Sinusoidal qonun asosida o'zgaruvchan tok (kuchlanish) GARMONIK TOK (KUCHLANISH) deb ataladi.

Garmonik signalning asosiy xususiyatlaridan biri garmonik signalning shakli faqat bitta (bir xil) $f=1/T$ chastotadan tashkil topgan bo'ladi.

Garmonik signallardan shakli boshqa bo'lgan signallar har xil chastotalardan tashkil topgan bo'ladi. Garmonik signallar yordamida energiyani uzatish ancha qulay, lekin garmonik signallar yordamida axborotlarni uzatib bo'lmaydi.

SINUSOIDAL TOK quyidagicha ifodalanadi (6.1-rasm):

$$i = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (6.1)$$



6.1-rasm.

Har qanday sinusoidal TOK AMPLITUDA, BURCHAK CHASTOTASI va BOSHLANG'ICH FAZA orqali xarakterlanadi.

Sinusoidal toklar chastotasining ishlatilishi juda keng (G_s dan to milliard G_s gacha).

Masalan, barcha MDH davlatlarida va Yevropaning ba'zi mamlakatlarida sinusoidal tok chastotasi 50 G_s deb olinadi. AQSH esa 60 G_s deb olinadi.

Funksiyaning maksimal qiymatiga AMPLITUDA deb ataladi.

TOK Amplitudasi I_m belgilanadi.

Vaqt oralig'ida bitta to'liq tebranish DAVR deb ataladi va T bilan belgilanadi.

1 sekunda tebranishlar soniga CHASTOTA deb ataladi (chastotaning o'lchov birligi G_s ($Gers$) yoki Elektr tarmog'i kuchlanishining standart chastotasi 50 G_s ga shu kuchlanishning har $T=0,02s$ da bir marta o'zgarishi mos keladi.

$\frac{2\pi}{T}$ miqdor fazaning o'zgarish tezligini ifodalaydi va ω bilan belgilanadi va u burchak chastotasi deyiladi:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (6.2)$$

Burchak chastotasining o'lchov birligi: rad/s yoki s^{-1} .

Sinus argumenti $(\omega t + \varphi)$ FAZA deb yuritiladi. Vaqt t birligida tebranishlar holati FAZA deb ataladi.

Faza vaqt oralig'ida o'sib boradi. Faza 2π miqdorgacha o'zgarganda tokning o'zgarish sikli yana qaytariladi.

Bir davr T mobaynida faza 2π miqdorga oshadi.

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rtacha qiymati deb ularning yarim davr ichidagi o'rtacha qiymatlariga aytiladi.

Elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagi formula orqali ifodalanadi, ya'ni sinusoidal tokning o'rtacha qiymati tok amplitudasining Qiymatiga teng bo'ladi.

$$I_{sr} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m \quad (6.3)$$

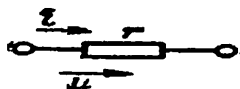
Xuddi shunday EYuK va kuchlanishlarning o'rtacha qiymatlari:

$$E_{sr} = 2E_m / \pi; \quad (6.4)$$

$$U_{sr} = 2U_m / \pi. \quad (6.5)$$

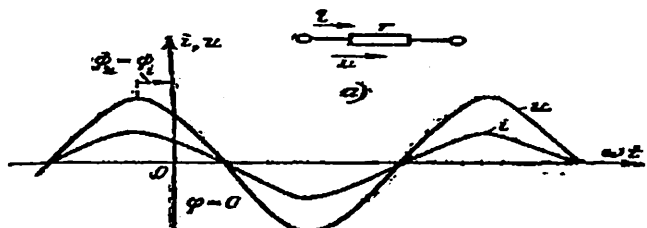
6.3. Qarshilik orqali garmonik tok o'tishi

Agar qarshilikka kuchlanishni ulasak, qarshilik orqali quyidagi miqdordagi garmonik tok o'tadi:

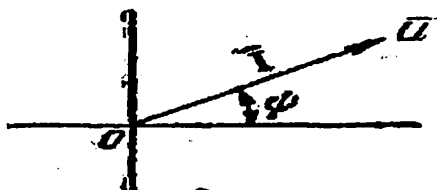


6.2-rasm.

$$I = \frac{U}{r} = U_m / r \cos(\omega t + \psi_u) = I_m \cos(\omega t + \psi_i) \quad (6.6)$$



6.3-rasm.



6.4-rasm.

Keltirilgan grafikdan shunday xulosa qilish mumkinki, qarshilik orqali o'tayotgan tok va kuchlanishlarning fazalari bir-biriga mos keladi va bir paytda maksimum qiymatga erishadi. Fazalar bo'yicha mos kelgan TOK va KUCHLANISH bir xil ishoraga ega bo'ladi (musbat yoki manfiy).

Bu holatda fazalar bo'yicha siljish nolga teng, ya'ni:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0. \quad (6.7)$$

Qarshilik orqali tok va kuchlanish o'tar ekan Om qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$U_m = r I_m; \quad U = R i \quad (6.8)$$

O'tkazuvchanlik $g = 1/r$ orqali ifodalasak quyidagi ifodani olamiz:

$$I_m = g U_m; \quad I = g U \quad (6.9)$$

Quvvatning bir davr ichidagi o'rtacha qiymati **AKTIV QUVVAT** deb ataladi.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_r dt, \quad (6.10)$$

$$P = UI = r I^2 \quad (6.11)$$

O'tkazgichning qarshiligi o'zgaruvchan tokda doimiy tokdagiga qaraganda ko'proq bo'ladi (tashqi ta'sirlar oqibatida). O'zgaruvchan tokdagi o'tkazgichning qarshiligi **AKTIV qarshilik** deb ataladi.

6.4. Induktivlik orqali garmonik tok o'tishi

Induktivlik orqali quyidagi garmonik tok o'tayotgan bo'lsin:

$$i = I_m \cos(\omega t + \psi) \quad (6.12)$$

Elektr yurituvchi kuch quyidagicha ifodalanadi:

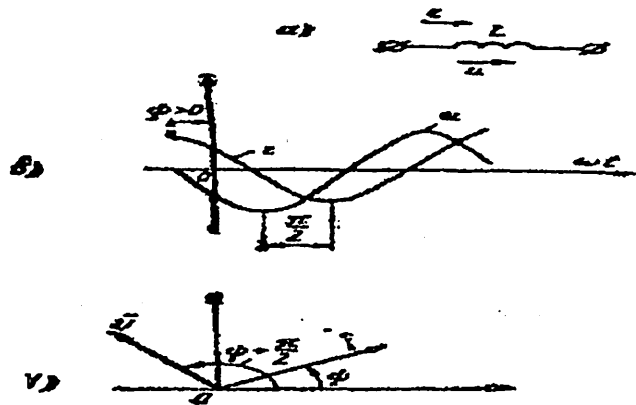
$$e_L = -L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + \psi) = -U_m \cos(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}) \quad (6.13)$$

Induktivlikdagi kuchlanish quyidagicha ifodalanadi:

$$u_L = -e_L = U_m \cos(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}) \quad (6.14)$$

Olingan formuladan shunday xulosa qilish mumkin: induktivlikdagi kuchlanish $\frac{\pi}{2}$ burchak miqdorida tokdan ilgarilab ketmoqda.

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \frac{\pi}{2} \quad (6.15)$$



6.5-rasm.

Ushbu holat uchun Ohm qonuni quyidagicha aniqlanadi:

$$U_m = \omega L I_m = x_L I_m; \quad U = x_L I \quad (6.16)$$

$x_L = \omega L$ ushbu miqdor INDUKTIV QARSHILIK deb ataladi. Unga teskari bo'lgan miqdor esa induktiv o'tkazuvchanlik deyiladi.

$$b_L = \frac{1}{\omega L} \quad (6.17)$$

Induktivlikdagi quvvat miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$p_L = ui = U I \sin 2(\omega t + \psi) \quad (6.18)$$

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, induktivlik orqali garmonik tok o'tganda, energiyaning manba bilan induktivlik o'rtasida tebranishi hosil bo'ladi, natijada, QUVVAT NOLGA TENG BO'LADI.

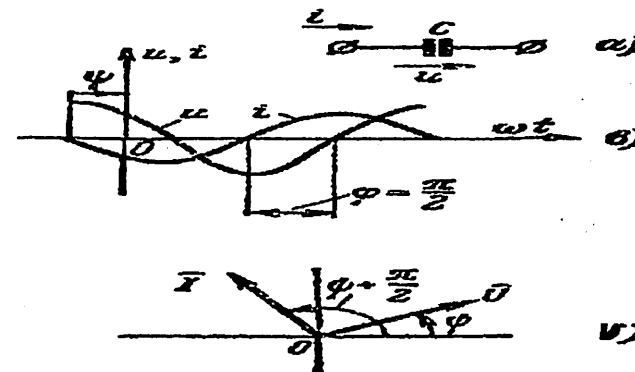
6.5. Garmonik tokning sig'im orqali o'tishi

Sig'im orqali kuchlanish miqdori quyidagicha bo'ladi:

$$u = U_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (6.19)$$

Garmonik tok esa:

$$i = C \frac{du}{dt} = -\omega C U_m (\omega t + \varphi) = I_m \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (6.20)$$



6.6-rasm.

Kondensator plastinkalarida elektr zaryadlarning o'zgarishi kosinusoidal qoidaga asoslanadi. Musbat va manfiy zaryadlarning plastinkalarda yig'ilishi garmonik tok miqdorining o'tishiga sabab bo'ladi.

Garmonik tokning miqdori kondensatordagi zaryadlarning o'zgarish tezligi orqali aniqlanadi, ya'ni: $\frac{dq}{dt}$ 6.20 ifoda shuni ko'rsatadiki,

garmonik tok kuchlanishdan $\frac{\pi}{2}$ burchakka ilgarilab ketgan, demak, tokning NOL qiymatiga kuchlanishning MAKSIMAL qiymati MOS keladi. Fazalar farqi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = -\frac{\pi}{2} \quad (6.21)$$

Ohm qonuniga asosan:



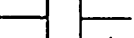
$$U_m = \frac{1}{\omega C}; \quad I_m = x_C I_m; \quad U = x_C I; \quad (6.22)$$

$x_C = \frac{1}{\omega C}$ sig'im qarshiligi.

Bunga teskari bo'lgan $b_C = \omega C$ qiymat sig'im o'tkazuvchanligi deyiladi. Sig'im quvvati:

$$p_c = ui = -UI \sin 2(\omega t + \varphi). \quad (6.23)$$

6.1- jadval

Element	Umumiy ko'rinishi	Garmonik holatda	
		Oniy qiymatlar	Aniq qiymatlar
Qarshilik  r	$u = ri$ $i = gu$	$u = rI_m \cos(\omega t + \varphi)$ $i = gU_m \cos(\omega t + \varphi)$	$U = rI$ $I = gU$
Induktivlik  L	$u = L \frac{di}{dt}$ $i = \frac{1}{L} \int u dt$	$u = \omega L I_m \cos(\omega t + \varphi)$ $i = \frac{1}{\omega L} U_m \cos(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2})$	$U = \omega L I$ $I = \frac{1}{\omega L} U$
Sig'im  C	$u = \frac{1}{C} \int i dt$ $i = C \frac{du}{dt}$	$u = \frac{1}{\omega C} I_m \cos(\omega t + \varphi)$ $i = \omega C U_m \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$	$U = \frac{1}{\omega C} I$ $I = \omega C U$

NAZORAT SAVOLLARI

1. O'zgaruvchan tok, ta'rifi.
2. Sinusoidal tok, ta'rifi.
3. Garmonik (tok), kuchlanish, ta'rifi.
4. Sinusoidal tok amplitudasi, burchak chastotasi.
5. Sinusoidal tok grafigi, boshlang'ich faza.
6. Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklar, o'rtacha qiymatlari.
7. Qarshilik orqali garmonik tok o'tishi.
8. Induktivlik orqali garmonik tok o'tishi.
9. Sig'im orqali garmonik tok o'tishi.

VII bob. SINUSOIDAL FUNKSIYALARNI VEKTOR DIAGRAMMASI VA KOMPLEKS SONLAR ORQALI IFODALASH

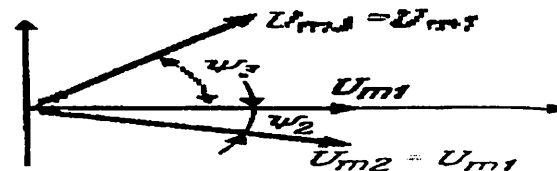
7.1. Sinusoidal funksiyalarni vektor diagrammasi

Har qanday chiziqli elektr zanjirlarida, elementlar qanday bo'lishidan qat'iy nazar ular orqali o'tayotgan garmonik KUCHLANISH garmonik shakldagi TOKNI hosil qiladi. Har qanday holatlarda chiziqli elektr zanjirlariga garmonik signallar ta'sir etsa ular hosil qilgan signallar garmonik shaklida bo'ladi.

Shunday ekan, TOK va KUCHLANISHLARning ONIY qiymatlari ham garmonik shaklda bo'ladi. Agar chiziqli elektr zanjiri bir nechta elementlardan tashkil topgan bo'lsa sinusoidal grafiklar soni ko'payib ketadi va ularni tahlil qilish murakkablashadi.

Shuning uchun murakkablashgan elektr zanjirlaridagi garmonik signallar ta'sirlarini sinusoidal grafiklar orqali emas, balki VEKTOR DIAGRAMMALAR orqali tahlil qilish osonroq bo'ladi.

Vektor diagrammasida vektor uzunliklari, burchak va fazalar miqdorlari proporsional ravishda olinadi. Bizga ma'lumki, rompleks tekislikda har bir nuqta radius, ya'ni vektor orqali aniqlanadi.



7.1-rasm.

Vektorning boshlanishi koordinata o'qining boshlanish nuqtasiga to'g'ri kelsa, uning oxiri esa koordinata uchiga, ya'ni kompleks miqdorga to'g'ri keladi. Demak, bir nechta chizilgan sinusoidal grafiklar o'rniga VEKTORLAR yig'indisi garmonik signallarning elektr zanjirlar elementlariga ta'sirini ifodalaydi.

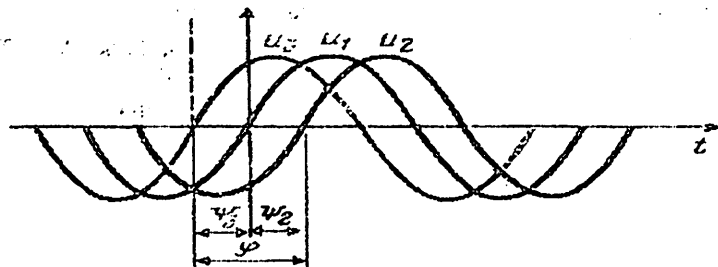
Vektor diagrammasida biron bir burchak boshlang'ich nuqtadan biron bir burchakka orqada qolayotgan bo'lsa, u holda, vektor soat strelkasi yo'nalishiga MOS HOLDA buraladi, agar ilgari ketayotgan bo'lsa soat strelkasiga TESKARI yo'nalishda buraladi.

VEKTOR DIAGRAMMASI DEB – sinusoidal o'zgaruvchan, fazalar bo'yicha bir-biriga nisbatan to'g'ri joylashgan, chastotalari bir xil qiymatga ega bo'lgan kompleks tekislikdagi vektorlar yig'indisiga aytiladi.

Yuqorida keltirilgan rasmda uchta har xil fazadagi, lekin bir xil amplitudaga ega bo'lgan diagramma ko'rsatilgan.

Ushbu grafikda birinchi kuchlanishning vektor qiymati koordinataning gorizontal o'qiga mos keladi, ikkinchi kuchlanishning vektori ψ_2 burchakka soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha buriladi, uchinchi kuchlanishning vektor qiymati esa ψ_3 burchakka soat strelkasi yo'nalishiga teskari tomonga burilgan bo'ladi (7.1-rasm).

Vaqt bo'yicha diagramma garmonik funksiya qiymatlarini har qanday $u = U_m \sin \omega t$ vaqtda quyidagi tenglama orqali ko'rsatadi.



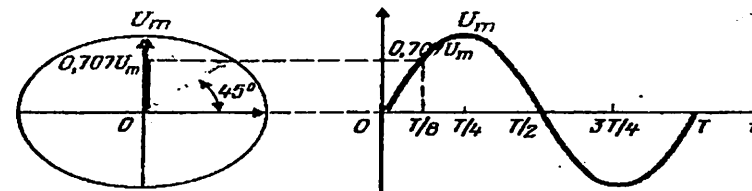
7.2-rasm.

Vektor diagrammasi orqali esa garmonik funksiya qiymatlarini ifodalash uchun garmonik funksiyani soat strelkasiga qarama qarshi yo'nalishda ω burchak chastotasi bilan aylanayotgan vektor orqali ifodalanadi. Bunda aylanayotgan vektor proeksiyasini koordinataning vertikal o'qiga nisbatan olamiz.

Hosil bo'lgan proyeksiya xuddi vaqt diagrammasi kabi sinusoidal funksiya orqali ifodalanadi, ya'ni:

$$u = U_m \sin \omega t . \quad (7.1)$$

Bu holatda vektorning soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha aylanishi MUSBAT, soat strelkasiga qarama qarshi yo'nalishi MANFIY deb yuritiladi. Misol tariqasida vektor diagrammasi orqali kuchlanishning oniy qiymatini aniqlaymiz. Grafikning chap tomonida vektor diagramma, o'ng tomonida vaqt diagrammasi keltirilgan.



7.3-rasm.

Boshlang'ich faza burchagi NOLGA teng bo'lsin.

Bu holatda $t = 0$ bo'lganda kuchlanishning ONIY qiymati ham NOLGA teng bo'ladi, vaqt diagrammasiga mos bo'lgan VEKTOR esa musbat yo'nalishga ega bo'lgan absissa o'qi yo'nalishiga MOS TUSHADI. Shu vektorning proeksiyasi koordinataning VERTIKAL o'qida ham NOLGA TENG bo'ladi, ya'ni vektor proeksiyasining uzunligi sinusoidaning ONIY qiymati bilan MOS TUSHADI.

$t = \frac{T}{8}$ vaqt o'tgandan keyin burchak FAZASI 45 GRADUSGA teng bo'ladi, kuchlanishning ONIY qiymati esa quyidagi qiymatga teng bo'ladi:

$$U_m \sin \omega t = U_m \sin 45^\circ = 0.707U_m . \quad (7.2)$$

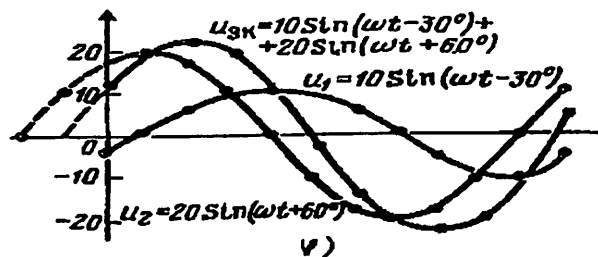
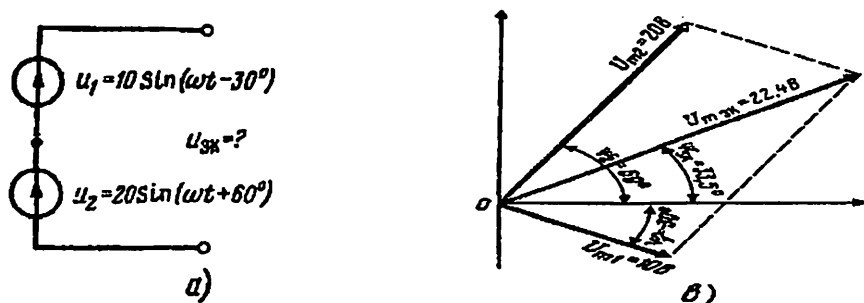
Shu vaqt oralig'ida VEKTOR HAM $0.707U_m$ qiymatga teng bo'ladi. Endi

$t = \frac{T}{4}$ vaqt o'tgandan keyin kuchlanishning ONIY qiymati U_m ga teng bo'ladi, vektor esa 90 gradusga BURILADI.

Vektorning vertikal o'qqa nisbatan PROEKSIYASI vektorning o'ziga teng bo'lib qoladi, uzunligi esa kuchlanishning ONIY qiymatining MAKSIMUM qiymatiga teng bo'ladi. Xuddi shunday asosda har qanday vaqt oralig'ida kuchlanishning ONIY qiymatlarini aniqlash mumkin bo'ladi.

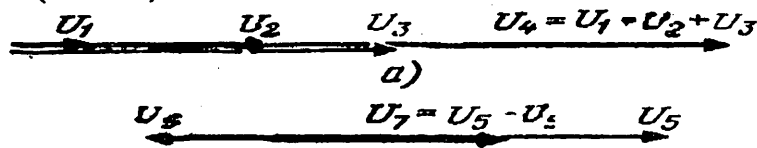
Xulosa qilib shuni ta'kidlash lozimki, Sinusoidal funksiyalar qiymatlarini aniqlash vaqtida ularning grafiklari orqali emas, balki ularning tasvirlari, ya'ni VEKTORLARI orqali ANIQLANADI.

Misol tariqasida quyida keltirilgan elektr zanjiri va unga mos bo'lgan vektor diagrammasi keltirilgan (7.4-rasm).



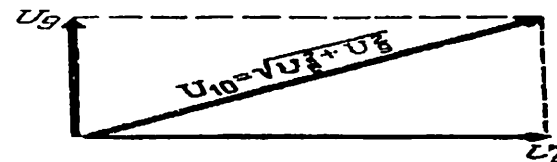
7.4-rasm.

Misol uchun: bir xil yo'nalishga ega bo'lgan vektorlarning natijaviy vektori ularning arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi. Agar bitta koordinata o'qida joylashib teskari yo'nalishga ega bo'lsa, ular yig'indisi musbat va manfiy ishoralar bilan olinadi. Bu holatlar koordinata burchaklari 0 yoki 180 gradus bo'lgan holatlar uchun to'g'ri bo'ladi (7.5-rasm).



7.5-rasm.

Boshqa holatlar uchun quyidagi vektor diagrammasi to'g'ri bo'ladi.



7.6-rasm.

Yuqoridagi jarayonni ko'rib chiqadigan bo'lsak quyidagi XULOSA QILINADI: Garmonik funksiyaning vaqt diagrammasi vektor diagrammasi bilan almashtiriladi va ularning har biri gorizont va vertikal o'qlar bo'yicha joylashtiriladi.

Vektorning gorizont va vertikal o'qlardagi qiymatlari hisoblab chiqiladi va NATIJAVIY vektor va uning boshlang'ich fazasi aniqlanadi. Garmonik funksiyalar qiymatini hisoblashning bunday yo'li grafik usulga qaraganda oson tuyuladi, lekin gorizont va vertikal o'qlardagi vektorlar qiymatini matematik ifodalalarini hisoblash ancha murakkab jarayon hisoblanadi.

7.2. Vektorlar ustida simvolik usulda amallar bajarish

Vektor birliklar ustida simvolik usulda amallar bajarish quyidagicha amalga oshiriladi: har bir vektor ikkita tarkibda: biri absissa o'qi bo'yicha gorizont, ikkinchisi esa, ordinata o'qi bo'yicha vertikal o'qlariga joylashtiriladi. Bu holatda barcha vektorlar qiymatlarini gorizont va vertikal o'qlar bo'yicha algebraik usulda qo'shishi mumkin bo'ladi. Bunday holatda bir-biri bilan 90 gradusli burchak bilan farq qiluvchi ikkita tashkil etuvchi paydo bo'ladi GORIZONTAL va VERTIKAL tashkil etuvchilar.

Demak, tashkil etuvchilar katetlar hisoblanib ularning geometrik yig'indisi gipotenuza hisoblanadi, ya'ni:

$$A = \sqrt{A_F^2 + A_B^2} \quad (7.3)$$

Elektr sxemasi murakkablashganda, ya'ni shoxobchalar va konturlar soni ko'p bo'lganda trigonometrik va vektor diagramma usullari orqali garmonik funksiya parametrlarini hisoblash ancha murakkablashadi.

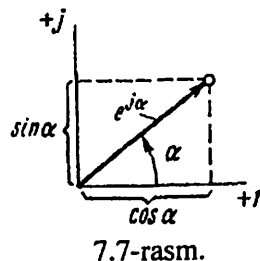
Shuning uchun ham doimiy tok zanjirlarini hisoblash uchun odiiy usul kerak bo'ladi, shunday usulni amerikalik olimlar (1893-1894 yillari A. ye. Kenneli va P. Ch. Shteynmetsomlar) tomonidan KOMPLEKS AMPLITUDA USULI yaratildi.

Ushbu usul garmonik funksiya o'z o'qi atrofida aylanayotgan vektorning proeksiyasiga asoslangan bo'lib, aylanayotgan vektor analitik ifoda bo'lib KOMPLEKS SHAKLDA ifodalanadi. Kompleks sonlarni tasvirlovchi kompleks tekislikda Kompleks sonlar HAQIQIY va MAVHUM qismlarga bo'linadi. Absissa o'qiga HAQIQIY miqdorlar, ordinata o'qiga esa MAVHUM miqdorlar joylashtiriladi.

MAVHUM va HAQIQIY qismlardan tashkil topgan sonlar **KOMPLEKS SONLAR**, ular ustida bajariladigan hisoblash USULLARI SIMVOLIK USULI deb ataladi.

Haqiqiy miqdorlar o'qiga +1, mavhum miqdorlar o'qiga esa $+j(j=\sqrt{-1})$ kattaliklar qo'yiladi.

Kompleks sonlarni ifodalovchi Vektor diagramma quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



Matematika kursidan bizga ma'lumki LEONARDO EYLER (1707 – 1783) formulasi quyidagicha ifodalanadi.

$$e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha . \quad (7.4)$$

Bu formuladagi $e^{j\alpha}$ ifoda kompleks tekislikdagi vektor hisoblanib son jihatdan birga teng bo'ladi va HAQIQIY miqdorlar o'qi bilan α burchak hosil qiladi.

α burchak HAQIQIY miqdorlar o'qidan soat strelkasi yo'nalishiga teskari yo'nalish bo'yicha hisoblanadi.

U holda funksiyaning MODULI quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$|e^{j\alpha}| = \sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = 1 . \quad (7.5)$$

$e^{j\alpha}$ - funksiyaning HAQIQIY miqdorlar o'qidagi proeksiyasi $\cos \alpha$ ga teng bo'lsa, MAVHUM miqdorlar $\sin \alpha$ o'qidagi proeksiyasiga teng bo'ladi.

Agar o'rniga qo'yilsa, u holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$I_m e^{j\alpha} = I_m \cos \alpha + j I_m \sin \alpha \quad (7.6)$$

$$I_m e^{j(\omega t + \psi)} = I_m \cos(\omega t + \psi) + j I_m \sin(\omega t + \psi) \quad (7.7)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Garmonik funksiyalarni vaqt diagrammasi orqali ifodalash (tasvirlash).
2. Garmonik funksiyalarni vektor diagrammasi orqali tasvirlash.
3. Garmonik funksiyalar ustida simvolik usulda amallar bajarish.
4. Kompleks sonlar.

VIII bob. KOMPLEKS IFODALAR. KOMPLEKS SONLAR USTIDA AMALLAR BAJARISH

Agar quyida keltirilgan formulada:

$$\alpha = \omega t + \psi \quad (8.1)$$

teng bo'lsa, u holda:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi)} = I_m \cos(\omega t + \psi) + j I_m \sin(\omega t + \psi) . \quad (8.2)$$

Ushbu formulada birinchi qo'shiluvchi funksiyaning HAQIQIY qismi hisoblanadi va R_e koeffitsiyent bilan belgilanadi.

$$I_m \cos(\omega t + \psi) \quad (8.3)$$

U holda quyidagi formulani olamiz:

$$I_m \cos(\omega t + \psi) = R_e I_m e^{j(\omega t + \psi)} . \quad (8.4)$$

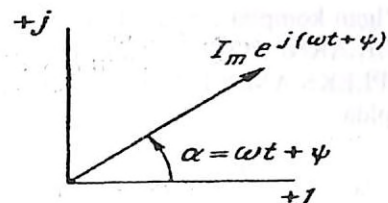
Ikkinchi qo'shiluvchi esa funksiyaning MAVHUM qismi hisoblanadi va I_m ifoda bilan belgilanadi.

$$j I_m \sin(\omega t + \psi) . \quad (8.5)$$

U holda quyidagi ifodani olamiz:

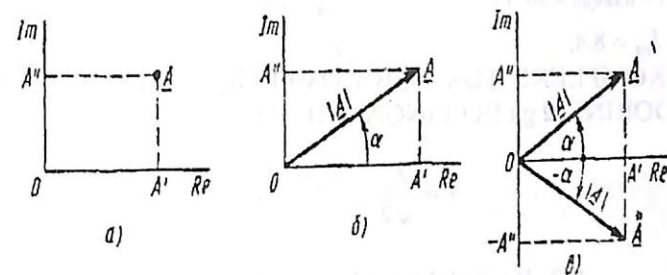
$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) = \text{Im } I_m e^{j(\omega t + \psi)} . \quad (8.6)$$

Demak, sinusoidal qonun asosida o'zgaradigan i tokni $\text{Im } I_m e^{j(\omega t + \psi)}$ ko'rinishda, yoki 3.3-rasmda ko'rsatilgan aylanma vektorning MAVHUM koordinata o'qiga tushgan proeksiyasi ko'rinishida ifodalash mumkin, ya'ni $I_m e^{j(\omega t + \psi)}$



8.1-rasm.

8.1. Kompleks sonlarning haqiqiy va mavhum qismlari



8.2-rasm.

Kompleks tekislikda $\omega t = 0$ holat uchun sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradigan miqdorlar uchun vektor quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi)} = I_m e^{j\psi} = I_m \quad (8.7)$$

Bu formulada, i_m – modul jihatdan I_m ga teng bo'lgan kompleks miqdor; ψ – kompleks tekislikdagi HAQIQIY miqdorlar o'qiga o'tkazilgan I_m vektor burchagi deyiladi. I_m tok miqdori i ning KOMPLEKS AMPLITUDASI deb ataladi. KOMPLEKS AMPLITUDA $\omega t = 0$ holat uchun tokning i miqdorini kompleks tekislikdagi tasviri hisoblanadi.

Kuchlanish va tok miqdorlari ustiga NUQTA qo'yilishi ularning vaqt bo'yicha SINUSOIDAL ravishda o'zgarishlarini bildiradi. Demak,, KOMPLEKS AMPLITUDA – bu, vaqtga bog'liq bo'lmagan, modul va argumenti garmonik funksiyaning amplitudasiga va boshlang'ich

fazasiga teng bo'lgan kompleks miqdor hisoblanadi. MISOL TARIQA-SIDA QUYIDAGILARNI KO'RIB CHIQUAMIZ:

Agar KOMPLEKS AMPLITUDADAN ONIY QIYMATGA o'tish kerak bo'lsa, u holda:

$$I_m = 25e^{-j30^\circ} A$$

$$i = I_m 25e^{-j30^\circ} e^{j\omega t} = I_m 25e^{j(\omega t - 30^\circ)} = 25\sin(\omega t - 30^\circ) \quad (8.8)$$

Agar KOMPLEKS AMPLITUDA holati uchun tok miqdorini topish kerak bo'lsa:

$$i = 8\sin(\omega t + 20^\circ) A \quad I_m = 8e^{j20^\circ} A$$

$$I_m = 8A, \quad \psi = 20^\circ \quad (8.9)$$

KOMPLEKS TOK DEB KOMPLEKS TOKNING AMPLITUDA MIQDORINI $\sqrt{2}$ ga BO'LINGANLIK IFODASIGA AYTLADI, YA'NI:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m e^{j\psi}}{\sqrt{2}} = I e^{j\psi} \quad (8.10a)$$

8.2. Kompleks sonlar ustida amallar bajarish

Kompleks sonlarni qo'shish:

Misol uchun quyidagi ikki kompleks sonlarni qo'shish kerak bo'lsin: A va B.

$$D = A + B = (\dot{A} + j\dot{A}'') + (\dot{B} + j\dot{B}'') = (\dot{A} + \dot{B}) + j(\dot{A}'' + \dot{B}'') = \dot{D} + j\dot{D}''$$

$$\dot{D} = \dot{A} + \dot{B}, \quad \dot{D}'' = \dot{A}'' + \dot{B}'' \quad (8.10b)$$

MAVHUM va HAQIQIY qismlarni e'tiborga olsak:

$$D = A + B = (\text{Re } A + jI_m A) + (\text{Re } B + jI_m B) = (\text{Re } A + \text{Re } B) + j(I_m A + I_m B) = \text{Re } D + jI_m D \quad (8.11)$$

Kompleks sonlarni ayirish

$$A = 5 + j3 \quad B = -9 + j13 \quad D = A - jB$$

$$D = (5 + j3) - (-9 + j13) = 5 + j3 + 9 - j13 = (5 + 9) + j(3 - 13) = 14 - j10$$

Kompleks sonlarni ko'paytirish va bo'lish

Modullar ko'paytiriladi, argumentlar esa qo'shiladi

$$A = Ae^{j\psi_A} \quad B = Be^{j\psi_B}$$

$$D = AB = Ae^{j\psi_A} \cdot Be^{j\psi_B} = ABe^{j(\psi_A + \psi_B)}$$

$$D = AB \psi_D = \psi_A + \psi_B \quad (8.12)$$

$$A = Ae^{j\psi_A} \quad B = Be^{j\psi_B}$$

$$D = AB = Ae^{j\psi_A} \cdot Be^{j\psi_B} = ABe^{j(\psi_A + \psi_B)}$$

$$D = AB \quad \psi_D = \psi_A + \psi_B \quad (8.13)$$

Bo'lishda modullar bo'linadi, argumentlar esa ayiriladi:

$$M = Me^{j\psi_M} \quad N = Ne^{j\psi_N}$$

$$P = \frac{M}{N} = \frac{Me^{j\psi_M}}{Ne^{j\psi_N}} = \frac{M}{N} e^{j(\psi_M - \psi_N)} = Pe^{j\psi_P} \quad P = \frac{M}{N}$$

$$\psi_P = \psi_M - \psi_N \quad (8.14)$$

Misol uchun, ikki kompleks sonlarni ko'paytiramiz:

$$A=1 \quad B=j1$$

$$A = A' + jA'' = A \cos \psi + jA \sin \psi = Ae^{j\psi} = \sqrt{(A')^2 + (A'')^2} \cdot e^{j \arctg(\frac{A''}{A'})}$$

$$A = 1 + j0 = \sqrt{1^2 + 0^2} e^{j \arctg(\frac{0}{1})} = 1e^{j0^\circ} = 1$$

$$B = 0 + j1 = \sqrt{0^2 + 1^2} e^{j \arctg(\frac{1}{0})} = 1e^{j \arctg(\infty)} = 1e^{j90^\circ}$$

$$A \cdot B = (1)(j1) = 1j = 1e^{j90^\circ} \quad (8.15)$$

Agar j va -j miqdorlarni $A = Ae^{j\psi_a}$ Vektorga ko'paytiradigan bo'lsak, u holda quyidagi ifodalarni olamiz:

$$j = 1e^{j90^\circ} = e^{j90^\circ}; \quad -j = 1e^{-j90^\circ} = e^{-j90^\circ}$$

$$a + jb = ce^{j\psi}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{tg } \psi = \frac{b}{a} \quad a = c \cos \psi \quad b = c \sin \psi$$

$$d) -0,2 + 0,4j$$

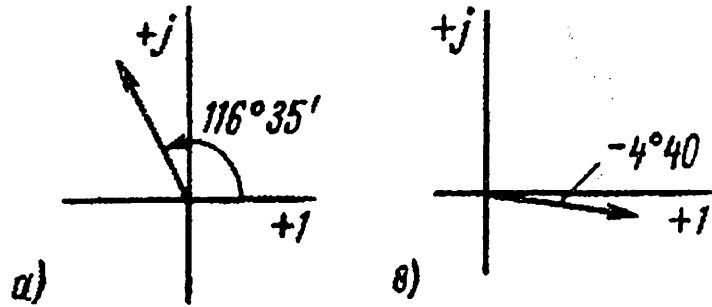
$$e) 10 - j0,8$$

$$d) = 0,448e^{j116^\circ 35'}$$

$$e) 10 - 0,8j = 10e^{-j4^\circ 40'}$$

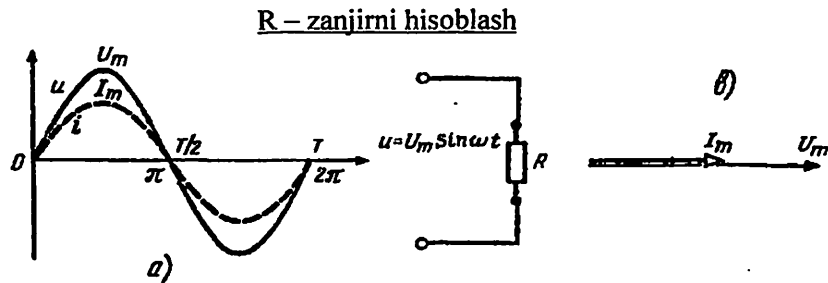
$$(8.16)$$

VEKTOR DIAGRAMMASI



8.3-rasm.

8.3. Oddiy elektr zanjirlarini kompleks ifodalar orqali hisoblash



8.4-rasm.

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (8.17)$$

Kompleks tok qiymati:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (8.18)$$

Tokning ONIY qiymati:

$$i = I_m \sin \omega t = \left(\frac{U_m}{R}\right) \sin \omega t. \quad (8.19)$$

Kompleks tokning maksimal qiymati:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (8.20)$$

Maksimal tok va kuchlanish qiymatlari:

$$I_m = I\sqrt{2}; \quad U_m = U\sqrt{2}; \quad I\sqrt{2} = \frac{U\sqrt{2}}{R}. \quad (8.21)$$

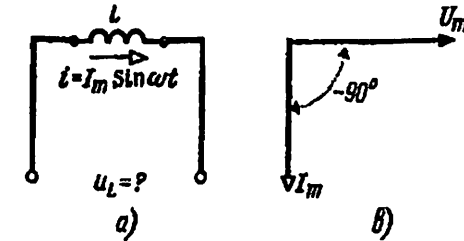
Rezistor orqali o'tayotgan garmonik tokning kompleks ko'rinishdagi ifodasi:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (8.22)$$

I, U – tok va kuchlanishlarning kompleks miqdorlari.

L – zanjiri hisoblash

Zanjir orqali o'tayotgan TOK KUCHLANISHDAN 90 GRADUSGA ORQADA QOLADI.



8.5-rasm.

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (8.23)$$

Induktiv g'altakda tok va kuchlanishning ONIY qiymatlari quyidagicha bog'langan:

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} [I_m \sin \omega t]. \quad (8.24)$$

Tokning kompleks shakldagi ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I_m = I_m e^{j0^\circ} = I_m. \quad (8.25)$$

Kuchlanishning kompleks shakldagi ifodasi esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$U_L = j\omega L I = \omega L I^{j90^\circ}. \quad (8.26)$$

Induktiv elementning kompleks qarshiligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Z_L = j\omega L = \omega L e^{j90^\circ}; \quad Z_L = jX_L = j\omega L = X_L e^{j90^\circ} = \omega L e^{j90^\circ}. \quad (8.27)$$

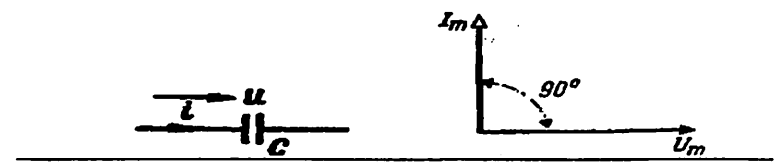
Tok va kuchlanishning kompleks shakldagi ifodalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$U_{mL} = U_{mL}e^{j0^\circ} = U_{mL};$$

$$I_{mL} = I_{mL}e^{-j90^\circ} = \frac{U_m}{X_L}e^{-j90^\circ} = \frac{U_m}{\omega L}e^{-j90^\circ} = j\frac{U_m}{X} = j\frac{U_m}{\omega L}. \quad (8.28)$$

C - zanjirni hisoblash.

ZANJIR ORQALI O'TAYOTGAN TOK KUCHLANISHDAN 90 GRADUSGA ILGARILAB KETADI



8.6-rasm.

$$u = U_m \sin \omega t \quad U_m = U_m e^{j0^\circ}$$

$$i = C \frac{du_C}{dt} \quad I_m = j\omega C U_m$$

$$Z_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} e^{-j90^\circ} = -jX_C = X_C e^{-j90^\circ} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

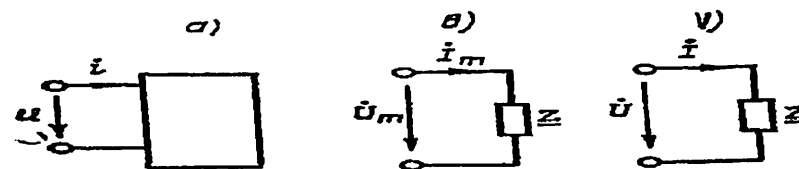
$$I_m = j\omega C U_m \quad i = U_m \omega C \sin(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (8.29)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Kompleks sonlarning haqiqiy va mavhum qismlari.
2. Kompleks amplituda, ta'rifi.
3. Kompleks qiymatdan rnos qiymatga o'tish.
4. Kompleks TOK, ta'rifi.
5. Kompleks sonlarni qo'shish.
6. Kompleks sonlarni ayirish.
7. Kompleks sonlarni bo'lish va darajaga ko'tarish.
8. Oddiy elektr zanjirlarini kompleks sonlar orqali hisoblash.

IX bob. KOMPLEKS QARSHILIK VA O'TKAZUVCHANLIK. KIRXGOF VA OM QONUNLARINI KOMPLEKS MIQDORLAR ORQALI IFODALASH

Garmonik signal ta'sir etayotgan oddiy chiziqli elektr zanjirini ko'rib chiqamiz.



9.1-rasm.

Sxemaning kirish qismidagi garmonik TOK va KUCHLANISH garmonik funksiyalar hisoblanadi

$$i = \sqrt{2}I \cos(\omega t + \psi_i); \quad u = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \psi_u). \quad (9.1)$$

Passiv elektr uchastkasining KOMPLEKS QARSHILIGI (KIRISH QARSHILIGI) deb kompleks amplituda kuchlanishining zanjir uchlaridagi kompleks tok amplitudasi NISBATIGA AYTILADI.

$$Z = \frac{U_m}{I_m}, \quad (9.2)$$

Bu formulada:

$$I_m = \sqrt{2}I; \quad U_m = \sqrt{2}U. \quad (9.3)$$

Kompleks QARSHILIK TOK va KUCHLANISHNING haqiqiy qiymatlarining nisbati orqali ham ifodalanadi:

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (9.4)$$

Kompleks QARSHILIK ko'rsatkichli funksiya orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$Z = ze^{j\varphi} . \quad (9.5)$$

Algebraik shaklda esa quyidagicha ifodalanadi:

$$Z = r + jx \quad (9.6)$$

Ushbu ifoda $z = |Z|$ va φ kompleks qarshilikning, mos holda, MODULI va ARGUMENTI hisoblanadi. Kompleks amplituda va tok va kuchlanishning haqiqiy qiymatlari orqali ifodalanishi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Z = \frac{U_m e^{j\psi_u}}{I_m e^{j\psi_i}} = \frac{U_m}{I_m} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = \frac{U}{I} e^{j(\psi_u - \psi_i)} . \quad (9.7)$$

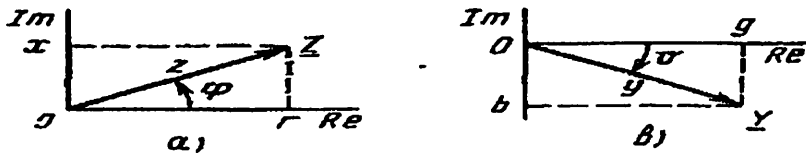
Yuqorida keltirilgan formulalarni e'tiborga oladigan bo'lsak TO'LIQ KIRISH QARSHILIK quyidagicha ifodalanadi:

$$z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} . \quad (9.8)$$

Argument esa tok va kuchlanish fazalarining ayirmasiga teng bo'ladi:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i . \quad (9.9)$$

KOMPLEKS KIRISH QARSHILIGI kompleks tekislikda joylashgan VEKTOR ko'rinishida ham tasvirlanadi:



9.2-rasm.

MAVHUM va HAQIQIY qismlarini e'tiborga olsak:

$$r = \text{Re}[Z] = z \cos \varphi; \quad x = \text{Im}[Z] = z \sin \varphi . \quad (9.10)$$

Kompleks kirish qarshiligiga teskari bo'lgan miqdor KOMPLEKS KIRISH O'TKAZUVCHANLIK deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$Y = \frac{1}{Z} . \quad (9.11)$$

Kompleks kirish o'tkazuvchanligi ko'rsatkichli funksiya orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$Y = \frac{1}{Z} = e^{-j\varphi} = ye^{j\nu} . \quad (9.12)$$

Ushbu ifoda $y = |Y|$ - kompleks kirish o'tkazuvchanligining moduli hisoblanadi va KOMPLEKS TO'LIQ O'TKAZUVCHANLIK deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$y = \frac{1}{z} = \frac{I_m}{U_m} = \frac{I}{U} . \quad (9.13)$$

Kirish o'tkazuvchanligining argumenti

$$\nu = -\varphi . \quad (9.14)$$

Zanjirning kompleks o'tkazuvchanligi algebraik ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:

$$Y = g + jb . \quad (9.15)$$

Bu yerda yuqoridagi rasmga asosan:

$$g = y \cos \nu; \quad b = y \sin \nu . \quad (9.16)$$

9.1. Kompleks shakldagi Om va Kirxgof qonunlari

Zanjir uchastkasining kompleks qarshiligi va o'tkazuvchanligi zanjir uchlaridagi kompleks TOK va KUHLANISHLARning o'zaro bog'langanlik ifodalari orqali aniqlanadi. O'z o'rnida kompleks QARSHILIK va O'TKAZUVCHANLIK amplitudaga, tok va kuchlanishning boshlang'ich fazalariga bog'liq emas va ularning miqdorlari zanjir elementlari orqali aniqlanadi.

Kompleks qarshilikni va kompleks o'tkazuvchanlikni bilgan holda, hamda zanjir uchlariga quyidagi $i = I_m$ va $u = U_m$ Miqdordagi TOK va KUHLANISHlar yuklatilgan bo'lsa, yuqoridagi formulalardan foyda-

langan holda shu zanjir uchastkasining noma'lum bo'lgan TOK va KUHLANISHlarini topish mumkin:

$$U_m = ZI_m; \quad I_m = YU_m. \quad (9.17)$$

Xuddi shunday TOK va KUHLANISHning kompleks miqdorlarini topamiz:

$$U = ZI; \quad I = YU. \quad (9.18)$$

Kompleks shakldagi Kirxgofning birinchi qonuni.

Kompleks shakldagi KIRXGOFning birinchi qonuni ko'rilayotgan zanjir tugunlardagi kompleks shakldagi TOKLAR o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

TA'RIF: ELEKTR ZANJIRDAGI TUGUNLARGA ULANGAN BARCHA SHOXOBCHALARDAGI TOKLARNING KOMPLEKS AMPLITUDALARINING ALGEBRAIK YIG'INDISI NOLGA TENG.

$$\sum_k I_{mk} = 0; \quad \sum_k I_k = 0. \quad (9.19)$$

k – ko'rilayotgan shoxobchadagi tugun raqami.

Kompleks shakldagi Kirxgofning ikkinchi qonuni.

Kompleks shakldagi KIRXGOFning ikkinchi qonuni elektr zanjir konturidagi SHOXOBCHALAR KUHLANISHLARI o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

TA'RIF: ELEKTR KONTURIGA KIRUVCHI BARCHA SHOXOBCHALARDAGI KUHLANISHLAR KOMPLEKS AMPLITUDALARINING ALGEBRAIK YIG'INDISI NOLGA TENG.

$$\sum_v U_{mv} = 0; \quad \sum_v U_v = 0. \quad (9.20)$$

v – ko'rilayotgan konturga kiruvchi shoxobcha raqami.

Kompleks shakldagi Kirxgofning ikkinchi qonunining boshqa shakldagi ta'rifi

TA'RIF: KONTURGA KIRUVCHI SHOXOBCHALARDAGI KOMPLEKS KUHLANISHLARNING ALGEBRAIK YIG'INDISI SHU KONTURDAGI KOMPLEKS EYUKLARNING ALGEBRAIK YIG'INDISIGA TENG BO'LADI:

$$\sum_i U_{mi} = \sum_j E_{mj}; \quad \sum_i U_i = \sum_j E_j, \quad (9.21)$$

U_{mi} U_i – konturga kiruvchi barcha elementlarning kompleks miqdorlari.
 E_{mj} E_j – ko'rilayotgan konturdagi manbaning kompleks EYuK lar miqdorlari.

Yuqorida keltirilgan kompleks shakldagi OM va KIRXGOF qonunlari yordamida har qanday elektr zanjiri parametrlarini kompleks ifodalarini hisoblash mumkin va olingan ifodalar algebraik ifodalar hisoblanadi.

TOK va KUHLANISHNING ONIY qiymatlarini ushbu qonunlar orqali hisoblash, differensial tenglamalarga qaraganda, ancha qulay va oson hisoblanadi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Kompleks qarshilik, ta'rifi, formulasi.
2. To'liq kirish qarshiligi, formulasi.
3. Kompleks kirish qarshiligining vektor ko'rinishi.
4. Kompleks kirish o'tkazuvchpnligi, ta'rifi, formulasi.
5. Kompleks to'liq o'tkazuvchanlik.
6. Kompleks shakldagi Om qonuni, ta'rifi, formulasi.
7. Kompleks shakldagi Kirxgofning BIRINCHI qonuni.
8. Kompleks shakldagi Kirxgofning IKKINCHI qonuni.

X bob. GARMONIK TOK ZANJIRLARIDA QUVVAT

VAQT BIRLIGIDA BAJARILGAN ISHGA QUVVAT DEB ATALADI.

O'zgaras tok zanjirlarida QUVVAT quyidagi ifoda orqali aniqlanar edi:

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G. \quad (10.1)$$

QUVVAT o'lchov birligi sifatida ingliz kashfiyotchisi D. Uatt sharafiga vatt (Vt) deb qabul qilingan.

Quvvat o'lchov birliklari

mVt (millivatt = 10^{-3} Vt)

kVt (kilovatt = 10^3 Vt)

MVt (megavatt = 10^6 Vt)

Har sekunda 1 Dj ish bajariladigan QUVVAT Vatt deb ataladi.

Elektr zanjir qismiga o'zgaruvchan garmonik signal ta'sir etganda quyidagi QUVVAT turlari hosil bo'ladi:

- ONIY QUVVAT
- AKTIV QUVVAT (QUVVAT)
- REAKTIV QUVVAT
- TO'LIQ QUVVAT
- KOMPLEKS QUVVAT
- Endi har bir QUVVAT turlarini alohida ko'rib chiqamiz:
- Oniy QUVVAT o'zgaruvchan miqdor bo'lib quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$p = ui. \quad (10.2)$$

Misol uchun, REZISTOR ulangan zanjir orqali o'tayotgan garmonik TOK va KUCHLANISH quyidagi ifodalarga teng bo'lsa

$$u = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t, \quad (10.3)$$

u holda, ONIY QUVVAT quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$p = U_m I_m \cos \omega t \cos(\omega t - \varphi) = UI [\cos \varphi + \cos(2\omega t - \varphi)]. \quad (10.4)$$

Agar elektr zanjiriga faqat REAKTIV element ulangan bo'lsa (masalan, induktivlik L) va zanjir orqali quyidagi miqdordagi garmonik TOK va KUCHLANISH o'tayotgan bo'lsa, u holda ONIY QUVVAT quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} u &= U_m \sin \omega t, & i &= I_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\ p &= U_m I_m \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + 90^\circ) - \cos(\omega t + \omega t - 90^\circ)] = \\ &= \frac{1}{2} U_m I_m [\cos 90^\circ - \cos(2\omega t - 90^\circ)] = \\ &= \frac{1}{2} U \sqrt{2} I \sqrt{2} [\cos(2\omega t + 90^\circ)] = UI \cos(2\omega t + 90^\circ) \end{aligned} \quad (10.5)$$

Agar elektr zanjiri qarshilik va induktivliklardan tashkil topgan bo'lsa (ya'ni R, L) va zanjir orqali quyidagi miqdordagi garmonik TOK va KUCHLANISH o'tayotgan bo'lsa:

$$\begin{aligned} u &= U_m \sin \omega t, & i &= I_m \sin(\omega t - \varphi) \\ p &= U_m I_m \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - 90^\circ)] = \\ &= U \sqrt{2} I \sqrt{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - 90^\circ)] = UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t + 90^\circ). \end{aligned} \quad (10.6)$$

10.1. Aktiv quvvat

Aktiv quvvat deb bir davr T mobaynidagi oniy P quvvatning o'rtacha qiymatiga aytiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt. \quad (10.7)$$

Agar zanjir qismidan quyidagi miqdordagi tok va kuchlanishlar o'tsa

$$i = I_m \sin \omega t; \quad u = U_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (10.8)$$

u holda, aktiv quvvat:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_m U_m \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) dt = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi. \quad (10.9)$$

Aktiv quvvat deganda bir vaqt birligida qarshilik ulangan elektr zanjirida uzatiladigan issiqliq energiyasini ifodalaydi. Agar quyidagi ko'paytmani e'tiborga olsak:

$$U \cos \varphi = IR. \quad (10.10)$$

U holda,

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R. \quad (10.11)$$

Aktiv quvvatning o'lchov birligi Vt hisoblanadi.

10.2. Reaktiv quvvat

REAKTIV QUVVAT TOK va KUCHLANISHLAR hamda ular o'rtasidagi sinus burchagi ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (10.12)$$

Reaktiv quvvat o'lchov birligi (VAr) hisoblanadi va quyidagi shart bajariladi:

$\sin \varphi > 0$ unda $Q > 0$ agar $\sin \varphi < 0$ unda $Q < 0$.

10.3. To'liq quvvat

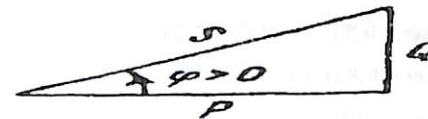
To'liq quvvat TOK va KUCHLANISHLARNING haqiqiy qiymatlari ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$S = UI \quad (10.13)$$

o'lchov birligi ($B \cdot A$) hisoblanadi. AKTIV, TO'LIQ va REKATIV QUVVAT birliklari o'zaro quyidagi ifoda orqali bo'lanadi:

$$P^2 + Q^2 = S^2. \quad (10.14)$$

Grafik orqali boshlanishi esa quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi. Bu rasmda AKTIV va TO'LIQ quvvatlar uchburchakning katetlari hisoblansa, REAKTIV quvvat uchburchakning gipotenuzasiga to'g'ri keladi.



10.1-rasm.

10.4. Kompleks quvvat

Zanjirning kompleks quvvati quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$P_S = P_S e^{j\varphi}. \quad (10.15)$$

Trigonometrik shaklda quyidagicha ifodalanadi:

$$P_S = P_S \cos \varphi + j P_S \sin \varphi. \quad (10.16)$$

Ushbu formuladan ko'rinib turibdiki, uning HAQIQIY qismi AKTIV QUVVAT, MAVHUM qismi esa REAKTIV quvvatdan tashkil topgan.

$$\operatorname{Re}[P_S] = P_S \cos \varphi = P_A, \quad \operatorname{Im}[P_S] = P_S \sin \varphi = P_Q. \quad (10.17)$$

Demak, KOMPLEKS QUVVAT:

$$P_S = P_A + j P_Q. \quad (10.18)$$

Endi yuqoridagi formulalarni hisobga olgan holda AKTIV, REAKTIV, TO'LIQ va KOMPLEKS quvvatlarni misollar orqali hisoblaymiz. Misol uchun quyidagi miqdordagi TOK va KUCHLANISH elektr zanjiridan o'tayotgan bo'lsa:

$$u = \sqrt{2} \cdot 120 \cos(314t + 20^\circ), B \quad (10.19)$$

$$i = \sqrt{2} \cdot 6,8 \cos(314t - 51^\circ), MA \quad (10.20)$$

TOK, KUCHLANISH va FAZALAR miqdorlari berilgan bo'lsa:

$$I = I e^{j\psi_i} = 6,8 \cdot 10^{-3} e^{-j51^\circ}, A; \quad (10.21)$$

$$U = U e^{j\psi_u} = 120 e^{j20^\circ}, B; \quad (10.22)$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 71^\circ. \quad (10.23)$$

NÁZORAT SAVOLLARI

1. Quvvat ta'rifi, o'lchov birligi.
2. Quvvat turlari.
3. Oniy va aktiv quvvat, formulasi.
4. To'liq va reaktiv quvvat, formulasi.
5. Kompleks quvvat, formulasi.
6. Quvvat muvozanati, formulasi, ta'rifi.
7. Kompleks quvvat muvozanati, ta'rifi, formulasi.

$$P_S = UI = 120 \cdot 6,8 \cdot 10^{-3} = 0,816 B \cdot A \quad (10.24)$$

$$P_A = UI \cos \varphi = 0,816 \cos 71^\circ = 0,266 Bm \quad (10.25)$$

$$P_Q = UI \sin \varphi = 0,816 \sin 71^\circ = 0,772 \text{var} \quad (10.26)$$

$$P_S = UI = 120 e^{j20^\circ} 6,8 \cdot 10^{-3} e^{j51^\circ} = 0,816 e^{j71^\circ} B \cdot A \quad (10.27)$$

10.5. Quvvat muvozanati

N ta kuchlanish manbasidan va M ta tok manbasidan, hamda H ta passiv elementlardan tashkil topgan elektr zanjirida QUVVAT muvozanatini ko'rib chiqamiz.

i_k , u_k - k elementli zanjirdagi TOK va KUCHLANISH hisoblanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan vaqt oralig'ida barcha elementlarning oniy quvvatlari yig'indisi NOLGA TENG.

$$\sum_{k=1}^{N+M+H} p_k = \sum_{k=1}^{N+M+H} u_k i_k = 0. \quad (10.28)$$

Bir nechta o'zgartirishlardan keyin quyidagi ifodani olamiz:

$$-\sum_{k=1}^{N+M} p_k \underset{ucm}{=} = \sum_{k=1}^H p_{k_{nopm}}. \quad (10.29)$$

Ushbu formula ONIY QUVVATNING MUVOZANAT TENGLAMASI deb ataladi. Ushbu formulada MINUS ishorasi energiyaning boshqa elementlarga uzatilish tezligini bildiradi. Demak, BARCHA MANBALARDAN uzatilayotgan oniy QUVVATLAR yig'indisi boshqa MANBALAR qabul qilayotgan ONIY QUVVATLAR yig'indisiga TENG. Xuddi shunday KOMPLEKS quvvat muvozanati ifodalanadi:

$$-\sum_{k=1}^{N+M} P_{S_k} \underset{ucm}{=} = \sum_{k=1}^H P_{S_{k_{nopm}}}. \quad (10.30)$$

Ushbu ifoda kompleks quvvatlar muvozanat TENGLAMASI deb ataladi.

AKTIV ELEMENTLAR UZATAYOTGAN KOMPLEKS QUVVATLAR YIG'INDISI, PASSIV ELEMENTLAR KOMPLEKS QUVVATLAR YIG'INDISIGA TENG.

XI bob. PARALLEL TEBRANISH KONTURI. TOK REZONANSI

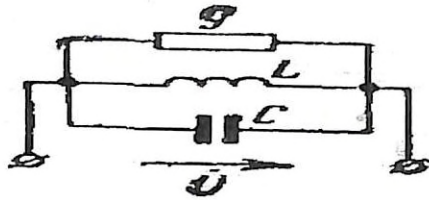
Energiya manbasiga elementlarning ulanish turiga qarab tebranish konturlari KETMA-KET (energiya manbasi induktivlik va sig'imga ketma ket ulangan) va PARALLEL tebranish konturlariga bo'linadi (energiya manbasi reaktiv elementlarga paralel ulangan).

O'z o'rnida TOK REZONANSI induktivlik va sig'imlar paralel ulangan elektr zanjirlarida kuzatiladi.

Radiotexnikada bunday konturlar PARALLEL TEBRANISH KONTURLARI deb ataladi.

TOK rezonansi holati elektr zanjirining bir qismidagi induktiv o'tkazuvchanlik zanjirining boshqa qismidagi paralel ulangan sig'im o'tkazuvchanligi bilan qoplanadi (kompensiruetsya).

Natijada, zanjirning uchlaridagi REAKTIV o'tkazuvchanlik va REAKTIV quvvat NOLGA teng bo'ladi. TOK rezonansi hodisasini Paralel ulangan oddiy tebranish konturi orqali tahlil qilinadi:



11.1-rasm.

Bunday sxemada KOMPLEKS QARSHILIK quyidagicha ifodalanadi:

$$Y = g - jb = g - j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right). \quad (11.1)$$

REZONANS chastota esa quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (11.2)$$

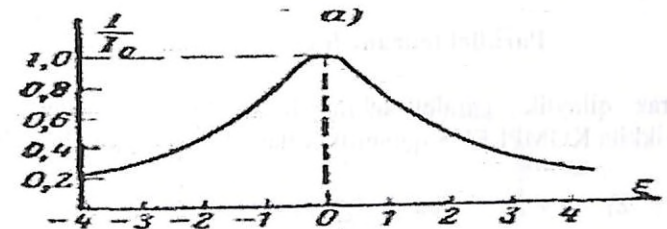
Ko'rilayotgan konturning ASLLILIGI ketma ket tebranish konturining miqdoriga teskari bo'lgan miqdor orqali ifodalanadi:

$$Q = \omega_0 \frac{CU_m^2}{2 \frac{U^2}{r}}. \quad (11.3)$$

REZONANS holatida manbadan kelayotgan TOK quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{YE}{gY} = \frac{Y}{g} = \frac{I}{I_0} e^{-j\varphi}. \quad (11.4)$$

TOK rezonansida paralel tebranish konturida konturning TO'LIQ O'TKAZUVCHANLIGI MINIMUM qiymatga teng bo'ladi, ya'ni KIRISH QARSHILIGI MAKSIMAL qiymatga teng bo'ladi.



11.2-rasm.

Bu holatda manbadan kelayotgan TOK kam miqdorga teng bo'ladi, ya'ni:

$$I_0 = gE. \quad (11.5)$$

Induktiv va sig'im elementlaridagi TOKlar miqdor jihatdan TENG, lekin ishoralari bir-biriga qarama qarshi ifodalanadi.

$$I_{C_0} = -I_{L_0} = j\omega_0 CE = jI_0 Q. \quad (11.6)$$

Olingan oxirgi formuladan ko'rinadiki paralel tebranish konturining ASLLILIGI induktivlik va sig'im elementlaridagi toklarga va umumiy (yig'indi) tok miqdoriga nisbatan KARRALI (butun sonlarga bo'linuvchi) qiymatga teng bo'ladi.

Konturning aslliligi birdan katta bo'lsa, ya'ni $Q > 1$ konturdagi toklar miqdor jihatdan umumiy tok miqdoridan oshib ketadi, shuning uchun ham paralel tebranish konturlaridagi rezonans holati TOK REZONANSI deb yuritiladi.

TOK rezonansi holatida konturda induktiv va sig'im elementlari o'rtasida energiyaning uzluksiz almashinuvi sodir bo'ladi. Agar paralel tebranish konturi bir-biriga paralel ulangan induktiv va sig'im elementlaridan tashkil topgan bo'lsa edi uning kirish qarshiligi juda katta miqdorga ega bo'lar edi va manbadan TOK konturga kelmay qolar edi.

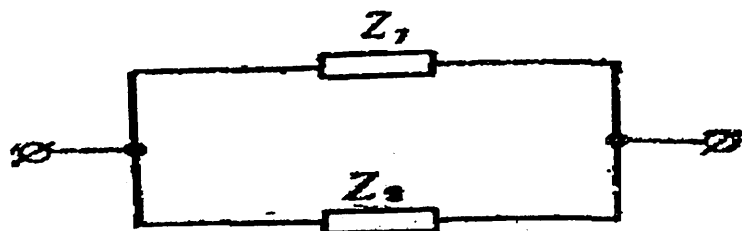
Konturdagi birlamchi energiya miqdori sarflanmas edi va magnit va elektr maydonlari o'rtasida navbat bilan taqsimlanib borar edi. Manbani tokdan uzib qo'yilsa konturdagi tebranish holati cheksiz davom etib borgan bo'lar edi.

BUNDAY KONTUR IDEAL KONTUR deb ataladi, chunki paralel ulangan induktivlik va sig'im elementlaridagi energiya yo'qotilishini e'tiborga olmaydi.

Paralel tebranish konturi turlari

Faraz qilaylik, paralel tebranish kontur shoxobchasi paralel ulangan ikkita KOMPLEKS qarshiliklardan tashkil topgan bo'lsin:

$$Z_1 = r_1 + jx_1 \quad \text{ba} \quad Z_2 = r_2 + jx_2. \quad (11.7)$$

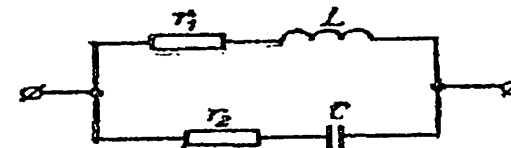


11.3-rasm.

Reaktiv qarshiliklarning x_1 va x_2 o'zgarishlariga qarab 3(UCh) xil TURDAGI paralel TEBRANISH konturlari bo'ladi:

Birinchi turdagi tebranish konturi:

Konturning bir shoxobchasida induktivlik, ikkinchi shoxobchasida esa sig'im elementlari ulangan tebranish konturi.

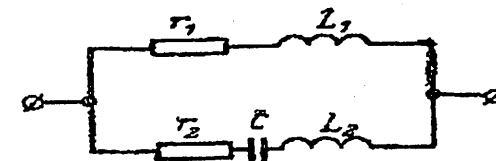


11.4-rasm.

Bunday holatda induktivlik va sig'im elementlarida reaktiv qarshiliklar quyidagi formulalar orqali ifodalanadi:

$$x_1 = \omega L; \quad x_2 = -\frac{1}{\omega C}. \quad (11.8)$$

Ikkinchi turdagi paralel konturda bir shoxobchada induktivlik, ikkinchi shoxobchada esa induktivlik va sig'im elementlari ulangan bo'ladi:

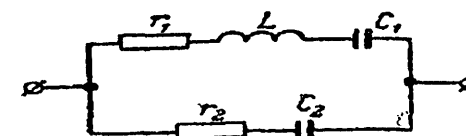


11.5-rasm.

Bu holatda reaktiv qarshiliklar quyidagicha ifodalanadi:

$$x_1 = \omega L_1 \quad x_2 = \omega L_2 = -\frac{1}{\omega C} \quad (11.9)$$

Uchinchi turdagi paralel tebranish konturida esa, bir shoxobchada sig'im elementi ulangan bo'lsa, ikkinchi shoxobchada induktivlik va sig'im elementlari ulangan bo'ladi.



11.6-rasm.

Bunday holatda konturning reaktiv qarshiliklari quyidagicha ifodalanadi:

$$x_1 = \omega L - \frac{1}{\omega C_1}; \quad x_2 = -\frac{1}{\omega C_2}. \quad (11.10)$$

Parallel konturlarda KIRISH O'TKAZUVCHANLIGI quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$Y = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{r_1 + jx_1} + \frac{1}{r_2 + jx_2} = \frac{r_1 - jx_1}{r_1^2 + x_1^2} + \frac{r_2 - jx_2}{r_2^2 + x_2^2} = g - jb. \quad (11.11)$$

Aktiv o'tkazuvchanlik esa quyidagicha ifodalanadi:

$$g = \frac{r_1}{r_1^2 + x_1^2} + \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2}. \quad (11.12)$$

Reaktiv o'tkazuvchanlik esa quyidagicha ifodalanadi:

$$b = \frac{x_1}{r_1^2 + x_1^2} + \frac{x_2}{r_2^2 + x_2^2}. \quad (11.13)$$

Rezonans shartiga ko'ra: $b=0$ bo'lsa u holda:

$$x_1(r_2^2 + x_2^2) + x_2(r_1^2 + x_1^2) = 0. \quad (11.14)$$

Yuqoridagi ifodalarni inobatga olgan holda konturning rezonans O'TKAZUVCHANLIGI:

$$Y_0 = g_0 = \frac{r_1}{r_1^2 + x_1^2} + \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2}. \quad (11.15)$$

Yuqoridagi formulaga asosan:

$$\frac{1}{r_2^2 + x_2^2} + \frac{x_1}{x_2(r_1^2 + x_1^2)} \quad (11.16)$$

Shunga asosan:

$$g_0 = \frac{r_1 - \frac{r_2 x_1}{x_2}}{r_1^2 + x_1^2}. \quad (11.17)$$

Rezonansga yaqin bo'lgan holatda:

$$r_1 \ll |x_1| \quad \text{ba} \quad r_2 \ll |x_2|. \quad (11.18)$$

REZONANS SHARTIGA ASOSAN:

$$x_1 x_2^2 + x_2 x_1^2 \approx 0, \quad (11.19)$$

yoki:

$$x_1 \approx -x_2. \quad (11.20)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Parallel tebranish konturlari.
2. Tok rezonansi.
3. Parallel tebranish konturlarida konturning aslliligi.
4. Kompleks qarshilik va rezonans chastota formulalari.
5. Induktiv va sig'im toklari, formulalari.
6. Parallel tebranish konturi aslliligi, formulasi.
7. Parallel tebranish konturi turlari.
8. Rezonans holati sodir bo'lish sharti.

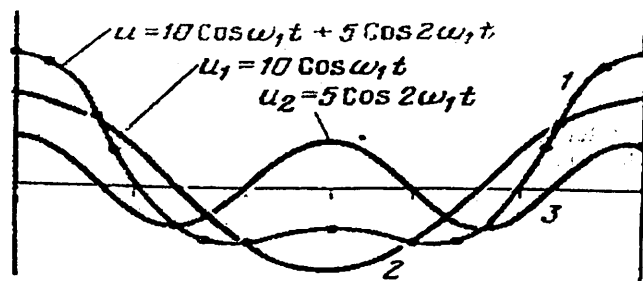
XII bob. DAVRIY FUNKSIYALARNING GARMONIK TARKIBLARGA YOYILISHI

Garmonik signallardan farq qiluvchi barcha davriy signallar (tok va kuchlanish) NOGARMONIK SIGNALLAR deb ataladi. Har qanday nogarmonik signallar o'zlarining davri T , tok va kuchlanishlarning shakli va amplitudalar qiymatlari (U_a , I_a) bilan farq qiladi.

Nogarmonik signallarning bir nechta turlari mavjud, ularni tahlil qilish uchun bir qancha usullar ishlab chiqilgan.

Nogarmonik signallarning shaklidan qat'iy nazar garmonik signallarning (sinusoidal va kosinusoidal) shunday shakllari olinadiki, ularning chastotalari, boshlang'ich fazalari, amplitudalarining ordinata o'qidagi qiymatlarining algebraik yig'indilari, har qanday vaqtda, chiqishdagi nosinusoidal signalning ordinata o'qidagi qiymatiga teng bo'ladi.

Masalan, 10.1-rasmdagi 1 kuchlanishni 2 va 3 kuchlanishlar bilan almashtirish mumkin, chunki U_1 va U_2 kuchlanishlarning oniy qiymatlari yig'indisi U kuchlanishga teng.



12.1-rasm.

Endi garmonik signalning boshlang'ich fazasini, amplitudasini va chastotasini, qanday qilib NOGARMONIK signalga almashtirilish orqali aniqlashni ko'rib chiqamiz.

rasmda ko'rsatilgan NOGARMONIK signal tarkibini aniqlash uchun har qanday ko'rinishdagi sinusoidal signallar olinmaydi, faqat CHASTOTALARI quyidagi ko'rinishdagi qiymatlarga teng bo'lgan signallar olinadi, ya'ni KARRALI bo'lgan qiymatlari:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{10^3} = 10^3 \Gamma y = 1\kappa \Gamma y \quad (12.1)$$

Garmonik signal davri T nogarmonik signal davriga teng bo'lsa, shu nogarmonik signalning BIRINCHI yoki ASOSIY garmonik tarkibi deb ataladi.

Qolgan hamma garmonik tarkiblar signallarning OLIY GARMONIKALARI deb yuritiladi.

Chastotasi asosiy garmonikadan IKKI marta katta bo'lgan garmonik signallar "IKKINCHI" garmonika, UCH marta katta bo'lsa "UCHINCHI" garmonika deb yuritiladi.

Har qaysi garmonika boshlang'ich fazasi NOLGA teng bo'lmagan chastotalali garmonikadan, yoki boshlang'ich fazasi NOLGA teng bo'lgan sinusoidal garmonikalardan tashkil topgan bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan fikrlar quyidagi formulalar orqali ifodalanadi:

$$A_m \sin(\alpha t + \psi) = A_m \cos \psi \sin \alpha t + A_m \sin \psi \cos \alpha t = A'_m \sin \alpha t + A''_m \cos \alpha t$$

Bu ifodada:

$$A'_m = A_m \cos \psi; \quad A''_m = A_m \sin \psi. \quad (12.2)$$

Amaliyotda birinchi navbatda har qaysi garmonik signalning sinusoidal amplitudasini A'_m va kosinusoidal amplitudasini A''_m aniqlab olinadi.

Keyin esa asosiy garmonik signalning UMUMIY signal amplitudasi va boshlang'ich fazalari aniqlanadi, ya'ni

$$A_{mk} = \sqrt{(A'_{mk})^2 + (A''_{mk})^2}; \quad \psi_k = \arctg \frac{A''_{mk}}{A'_{mk}}. \quad (12.3)$$

Sinusoidal va kosinusoidal signallarning amplitudalari tarkibiy qismlarini:

$$A'_m; \quad A''_m. \quad (12.4)$$

Matematikadan aniq bo'lgan FURE qatorlari koeffitsentlarini aniqlash formulasi orqali aniqlanadi.

SINUSOIDAL va KOSINUSOIDAL garmonik signallar FURE qatorlari orqali quyidagicha ifodalanishi:

$$A_{mk} = \frac{2T}{T_0} \int_0^T f(t) \sin k\omega_1 t dt; \quad A''_{mk} = \frac{2T}{T_0} \int_0^T f(t) \cos k\omega_1 t dt. \quad (12.5)$$

Bu ifodada:

k – garmonik qator raqami;

$f(t)$ – garmonik qator aniqlanadigan matematik ifoda;

T – nogarmonik signal davri;

ω_1 – nogarmonik signalning birinchi garmonikasining burchak chastotasi

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T}. \quad (12.6)$$

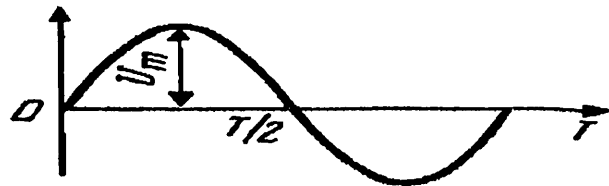
Shunday qilib, har qanday davriy nogarmonik signalning oniy qiymatlarini garmonikani tashkil etuvchi doimiy qiymatlar yig'indilarini FURE QATORLARI ORQALI MATEMATIK ifodalash mumkin.

Agar nogarmonik signalning oniy kuchlanishi quyidagi qiymatga teng bo'lsa: $u(t)$ u holda bunday nogarmonik kuchlanishni FURE qatorlari orqali quyidagicha ifodalaymiz:

$$\begin{aligned} u(t) = & U_0 + U_{m1} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + U_{m2} \sin(2\omega_1 t + \psi_2) + \\ & + U_{m3} \sin(3\omega_1 t + \psi_3) + \dots + U_{mk} \sin(k\omega_1 t + \psi_k) = U_0 + U'_{m1} \sin \omega_1 t + \\ & + U''_{m2} \sin 2\omega_1 t + \dots + U'_{mk} \sin k\omega_1 t + U''_{m1} \cos \omega_1 t + \\ & + U''_{m2} \cos 2\omega_1 t + \dots + U''_{mk} \cos k\omega_1 t. \end{aligned} \quad (12.7)$$

Endi bir nechta signallarning FURE qatoriga yoyilganda xosil bo'lgan chizmalarini ko'ramiz:

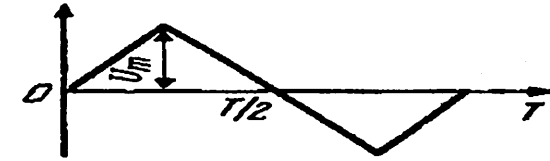
SINUSOIDAL chizma, qatorga yoyilganda "OLIY GARMONIK" signal amplitudasi NOLGA TENG BO'LADI:



12.2-rasm.

$$u = U_m \sin \omega_1 t. \quad (12.8)$$

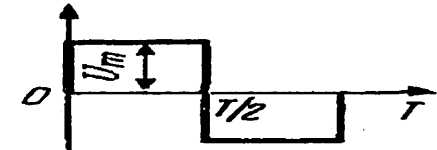
Signalning Uchburchak Shaklidagi Chizmasi:



12.3-rasm.

$$u = \left[\frac{8U_m}{\pi^2} \right] \left(\sin \omega_1 t - \frac{1}{9} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{25} \sin 5\omega_1 t + \dots + \frac{1}{k^2} \cdot \sin k\omega_1 t \right) \quad (12.9)$$

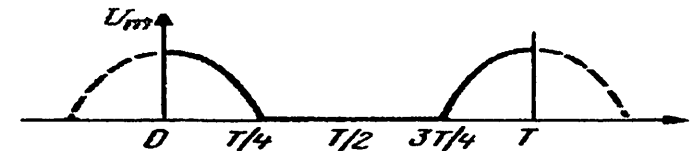
Signalning To'rtburchak Shaklidagi Chizmasi: bu ifodada k – butun juft son.



12.4-rasm.

$$u = \left[\frac{4U_m}{\pi} \right] \left(\sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t + \dots + \frac{1}{k} \cdot \sin k\omega_1 t \right) \quad (12.10)$$

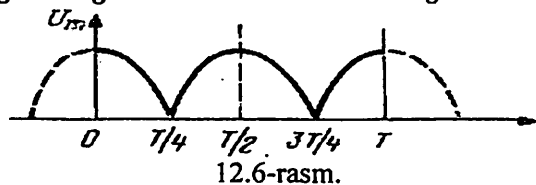
Signalning Bir Yarim Davr Shaklidagi Chizmasi:



12.5-rasm.

$$u = \left[\frac{U_m}{\pi} \right] \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos \omega_1 t + \frac{2}{3} \cos 2\omega_1 t - \frac{2}{15} \cos 4\omega_1 t + \frac{2}{35} \cos 6\omega_1 t + \dots \right) \quad (12.11)$$

Signalning Ikki Yarim Davr Shakldagi Chizmasi:



12.6-rasm.

$$u = \left[\frac{2U_m}{\pi} \right] \left(1 + \frac{2}{3} \cos 2\omega_1 t - \frac{2}{15} \cos 4\omega_1 t + \frac{2}{35} \cos 6\omega_1 t + \dots \right) \quad (12.12)$$

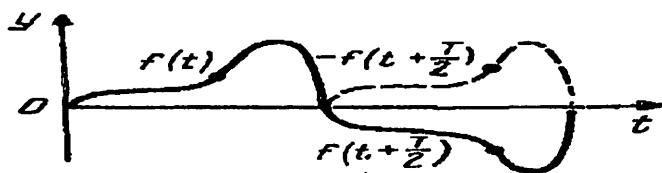
12.1. Davriy nogarmonik signallarning simmetrik ko'rinishlari

SIGNALLARNING GORIZONTAL O'QQA NISBATAN SIMMETRIYA KO'RINISHI.

Har qanday signal shakli uchun quyidagi shart bajarilsa, u signal gorizontaal o'qqa nisbatan **SIMMETRIK** deb ataladi.

$$f(t) = -f\left(t + \frac{T}{2}\right) \quad (12.13)$$

Agar signalning gorizontaal o'qdagi yarim davr shaklini o'qning yarim qismiga o'tkazilsa, u holda signal shakli simmetrik ravishda oldingi holatini takrorlaydi, ya'ni gorizontaal o'qqa nisbatan simmetrik shakl hosil bo'ladi. Bunday signallar juft garmonikalar ko'effitsentlari **NOLGA TENG** bo'ladi.



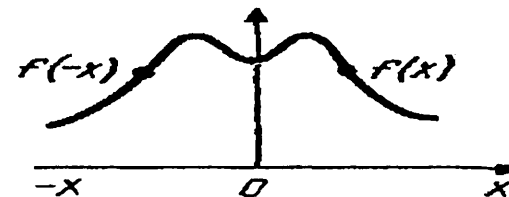
12.7-rasm.

Demak, gorizontaal o'qqa nisbatan simmetrik bo'lgan har qanday nogarmonik signalning oniy qiymatlarini ifodalovchi matematik qatorlar faqat **TOQ** garmonikalardan tashkil topgan bo'ladi.

12.2. Gorizontaal o'qqa nisbatan simmetrik signal shakli

Quyidagi ifodaga to'g'ri keladigan nogarmonik signal gorizontaal o'qqa nisbatan **SIMMETRIK** deb yuritiladi:

$$f(t) = f(-t) \quad (12.14)$$

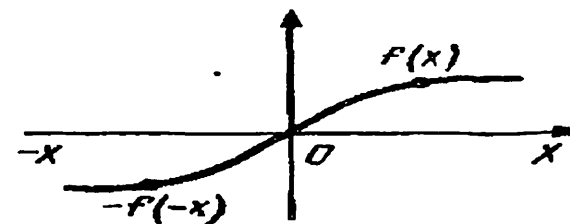


12.8-rasm.

Bunday signallarda boshlang'ich faza qiymati **NOLGA** teng bo'ladi.

12.3. Nogarmonik signallarning koordinata o'qi boshlanishiga nisbatan simmetrik shakli

Har qanday nogarmonik signal quyidagi shartga $f(t) = -f(-t)$ to'g'ri kelsa u koordinata o'qi boshlanishiga nisbatan **SIMMETRIK** hisoblanadi.



12.9-rasm.

Bunday signallar faqat **NOLGA** teng bo'lgan boshlang'ich fazalardan iborat bo'lgan signallardan tashkil topgan bo'ladi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Nogarmonik signallar, ta'rifi.
2. Nogarmonik signallarning qanday shakllari olinadi?
3. Ikkinchi va uchinchi garmonikalar deb nimaga aytiladi?
4. Davriy nogarmonik signal amplitudalari qanday formula orqali ifodalanadi?
5. Fure qatorlari qaysi formula orqali ifodalanadi?
6. Davriy nogarmonik signallarning simmetrik turlari (gorizontal o'qqa, vertikal o'qqa, koordinata o'qining boshlanishiga nisbatan).

XIII bob. IKKI QUTBLI ELEKTR ZANJIRLARI. TA'RIFLARI VA KLASSIFIKATSIYALARI

Ikki uchli har qanday elektr zanjirlari **IKKI QUTBLI** elektr zanjirlari deb ataladi. Ikki qutbli elektr zanjirlari murakkab va har xil tuzilishlarga ega bo'ladi.

Eng oddiy ikki qutbli elektr zanjirining tuzilishi quyidagicha belgilanadi:



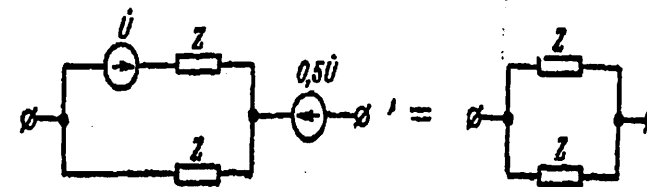
13.1-rasm.

IKKI qutbli elektr zanjirlari:

- chiziqli va nochiziqli;
- bir, ikki va ko'p elementli;
- reaktiv (induktivlik va sig'im ulangan);
- energiya yo'qotuvchi (aktiv qarshilik ulangan);
- aktiv va passiv turlariga bo'linadi.

Elektr energiyasi o'zaro qoplanmaydigan elektr manbasi ulangan ikki qutbli elektr zanjirlari **AKTIV** ikki qutbli elektr zanjirlari deb ataladi, ya'ni elektr energiyasi faqat sarflanadi, lekin o'zaro qoplanmaydi. Elektr manbasi ulanmagan elektr zanjiri **PASSIV** IKKI qutbli elektr zanjiri deb ataladi.

Misol uchun, quyidagi elektr zanjiri **PASSIV** ikki qutbli elektr zanjiri deb yuritiladi.



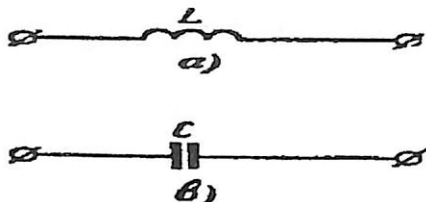
13.2-rasm.

Ikki qutbli elektr zanjirlarning **QARSHILIGI** va **O'TKAZUV-CHANLIGI** chastotaga bog'liqligi **CHASTOTALI XARAKTERISTIKALAR** deb ataladi.

Bunday bog'liqlik ikki qutbli elektr zanjirining TOK va KUCH-LANISHlar amplitudasi va fazasi chastotaga bog'liqligini ko'rsatadi.

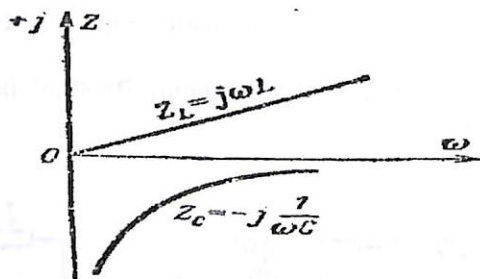
13.1. Bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri

Induktivlik va sig'im elementlari REAKTIV ikki qutbli elektr zanjirlari hisoblanadi, masalan:



13.3-rasm.

Ushbu grafikda induktiv va sig'im elementlarining kompleks qarshiligining chastotaga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Grafikda kompleks qarshilik butun chastota spektri bo'yicha MUSBAT qiymatga, kompleks o'tkazuvchanlik esa MANFIY qiymatga teng bo'lib turibdi.

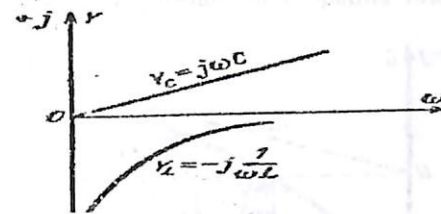


13.4-rasm.

$$Z_L = jx_L = j\omega L; \quad (13.1)$$

$$Y_L = -jb_L = -j \frac{1}{\omega L}. \quad (13.2)$$

Sig'im elementida esa, kompleks qarshilik MANFIY ishoraga, kompleks o'tkazuvchanlik esa MUSBAT ishoraga teng bo'lib turibdi.



13.5-rasm.

$$Z_C = -jx_C = -j \frac{1}{\omega C}; \quad (13.3)$$

$$Y_C = jb_C = j\omega C. \quad (13.4)$$

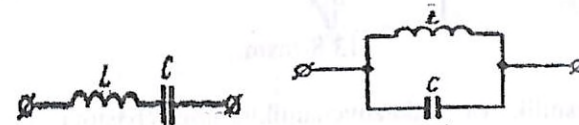
Xulosa qilib quyidagi fikrlarni keltirishimiz mumkin: bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjirlarida induktiv elementning kompleks qarshiligi va sig'im elementning o'tkazuvchanligi **TO'G'RI CHI-ZIQLI** xarakteristikaga, sig'im elementning kompleks qarshiligi va induktiv elementning o'tkazuvchanligi **GIPERBOLA turidagi CHASTOTALI xarakteristikalariga ega bo'ladi.**

Demak, bir elementli ikki qutbli REAKTIV elektr zanjirlarida chastota oshgan sari kompleks qarshilik va o'tkazuvchanlik o'sib boradi, ya'ni ushbu ifoda o'rinni bo'ladi:

$$\frac{dZ}{j\omega} > 0; \quad \frac{dY}{j\omega} > 0. \quad (13.5)$$

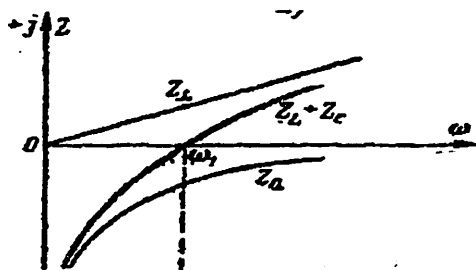
13.2. Ikki elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri

Ikki elementli ikki qutbli reaktiv elektr zanjiri induktiv va sig'im elementlarining ketma ket va paralel ulanishlari orqali hosil bo'ladi, misol uchun:



13.6-rasm.

Ushbu grafikdan ko'rinib turibdiki, ketma ket ulangan ikki elementlarning reaktiv qarshiliklarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni qalin chiziq bilan ularning chastotali xarakteristikalari ko'rsatilgan.



13.7-rasm.

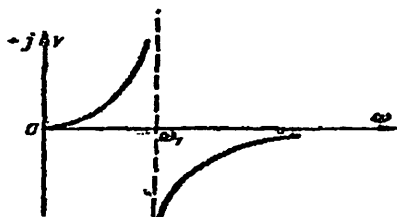
Bu qalin chiziq koordinataning absissa o'qini rezonans chastotaning quyidagi qiymatiga teng bo'lgan qiymatida, ya'ni:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.6)$$

REZONANS KUCHLANISHI holatida kesib o'tadi (grafikka qarang).

O'tkazuvchanlikning chastota xarakteristikasi quyidagi grafikda ko'rinib turibdi. Reaktiv elementning o'tkazuvchanligi qarshilikka teskari qiymatga teng bo'ladi, ya'ni:

$$Y = \frac{1}{Z}. \quad (13.7)$$



13.8-rasm.

Reaktiv qarshilik va o'tkazuvchanliklarning chastota xarakteristikalarining grafiklari quyidagi formulalarga mos keladi, ya'ni:

$$Z = jx = j(x_L - x_C) = j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = jL(\omega - \frac{1}{\omega LC}) \quad (13.8)$$

$$Y = -jb = -j \frac{1}{L(\omega - \frac{1}{\omega LC})} \quad (13.9)$$

Agar quyidagi ifodani e'tiborga olsak,

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.10)$$

u holda:

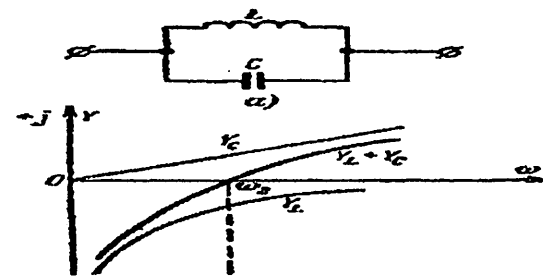
$$x = L \frac{\omega^2 - \omega_1^2}{\omega} \quad b = \frac{\omega}{L(\omega^2 - \omega_1^2)} \quad (13.11)$$

Shunday qilib, keltirilgan grafikdan xulosa qilib quyidagilarni keltiramiz:

Rezonans chastotasidan kichik bo'lgan qiymatda, ya'ni ($\omega < \omega_1$) sig'im elementi qarshiligi absolyut miqdor sifatida induktiv element qarshiligidan katta bo'ladi, shuning uchun ham ikki qutbli elektr zanjirining natijaviy qarshiligi SIG'IM elementiga yaqin xarakteristikaga teng bo'ladi.

Agar chastota rezonans chastotasidan katta bo'lsa, ya'ni ($\omega > \omega_1$) u holda, sig'im elementi qarshiligi induktiv elementi qarshiligidan absolyut miqdor jihatdan kichik bo'ladi, shuning uchun ham ikki qutbli elektr zanjirining natijaviy qarshiligi INDUKTIV elementiga yaqin bo'lgan xarakteristikaga teng bo'ladi.

Sig'im va induktiv elementlar parallel ulangan ikki qutbli reaktiv elektr zanjirlarida elementlarning KOMPLEKS O'TKAZUVCHANLIKLARINING algebraik yig'indisiga teng bo'ladi (grafikda qalin chiziq).



13.9-rasm.

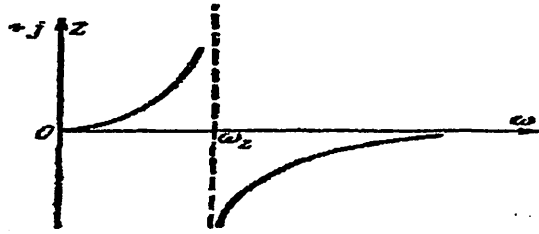
Rezonans chastotasi quyidagi miqdorga teng bo'lgan vaqtda natijaviy o'tkazuvchanlik absissa o'qini kesib o'tadi, ya'ni TOK REZONANSI hosil bo'ladi.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.12)$$

Xuddi shu ikki qutbli elektr zanjirining reaktiv qarshilik xarakteristikasi o'tkazuvchanlikka teskari qiymatga teng bo'ladi, ya'ni:

$$Z = \frac{1}{Y} \quad (13.13)$$

Kompleks qarshilikning chastotaviy xarakteristikasi ushbu grafikda ko'rsatilgan:



13.10-rasm.

Endi yuqorida keltirilgan chastotaviy grafiklar hosil bo'lgan formulalarni keltiramiz, ya'ni:

$$Y = -jb = -j(b_L - b_C) = -j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) = -jC\left(\frac{1}{\omega LC} - \omega\right) \quad (13.14)$$

$$Z = jx = j \frac{1}{C\left(\frac{1}{\omega LC} - \omega\right)} \quad (13.15)$$

Agar quyidagi ifodani e'tiborga olsak, u holda:

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ b &= C \frac{\omega_2^2 - \omega^2}{\omega} \end{aligned} \quad (13.16)$$

$$x = \frac{\omega}{C(\omega_2^2 - \omega^2)} \quad (13.17)$$

Yuqoridagi formulalar orqali quyidagicha xulosalar qilamiz:

Chastota qiymati rezonans chastotasi qiymatidan kichik bo'lgan vaqtda, induktiv elementning o'tkazuvchanligi, sig'im elementi o'tkazuvchanligining absolyut miqdoridan katta bo'ladi, shuning uchun ikki qutbli elektr zanjirining **QARSHILIGI induktiv xarakterga ega bo'ladi.**

Agar chastota rezonans chastotasidan **KATTA** bo'lganda, ikki qutbli elektr zanjirining qarshiligi **SIG'IM** elementi xarakteriga ega bo'ladi.

DEMAK, IKKI ELEMENTLI REAKTIV IKKI QUTBLI ELEKTR ZANJIRI CHASTOTAGA BOG'LIQ HOLDA INDUKTIV YOKI SIG'IM QARSHILIKLARIGA EGA BO'LADI.

NAZORAT SAVOLLARI

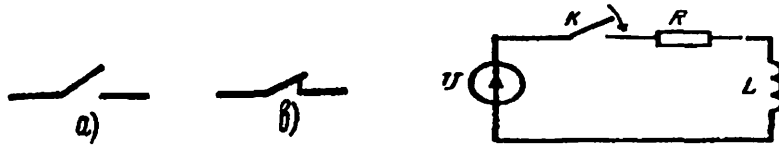
1. Ikki qutbli elektr zanjirlar.
2. Ikki qutbli elektr zanjirlarining turlari.
3. Aktiv va passiv ikki qutbli elektr zanjirlari.
4. Chastota xarakteristikalarini.
5. Bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjirlari.
6. Reaktiv qarshilik va o'tkazuvchanlik grafiklari, formulalari.
7. Ketma ket ulangan ikki elementli ikki qutbli reaktiv elektr zanjirlari, grafiklari va formulalari.
8. Parallel ulangan ikki qutbli reaktiv elektr zanjirlari, grafiklari va formulalari.

XIV bob. CHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLARIDA O'TISH JARAYONLARI.

Elektr zanjirining bir turg'un holatidan boshqa bir turg'un holatiga o'tishini ifodalovchi jarayon **O'TISH JARAYONI** deb ataladi.

Elektr zanjirining asosiy ish holati quyidagi jarayonlar orqali ifodalanadi: manbaga ulanish va undan ajralish, ishlayotgan zanjirga qo'shimcha manbalarning ulanishi, zanjir tarkibiy qismlarining qisqa tutashuvi, zanjirda yuklamaning keskin ortishi va kamayishi va h.k.

Yuqoridagi omillar orqali zanjir parametrlari o'zgarishi mumkin. Elektr zanjirining ish holatlarining o'zgarishiga olib keluvchi barcha sabablar oddiy ravishda KOMMUTATSIYA yoki KOMMUTATSION jarayon orqali sodir bo'ladi. Misol uchun, ushbu rasmda kommutatsiya jarayoni ko'rsatilgan:



14.1-rasm.

Elektr zanjiri elementlarining va manbalarning ulanishi, zanjirdan uzilishi yoki qayta ulanishi – KOMMUTATSIYA deb ataladi. Elektr zanjirlarida kommutatsiya quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

Muhandislik hisoblarida, elektr zanjiridagi o'rnatilgan holat KOMMUTATSIYA sodir bo'lgan ondan (zanjirga yuklama ulangandan yoki uzilgandan) keyin boshlanadi deb taxmin qilinadi. Bu taxmin faqat zanjirda faqat aktiv qarshilik ulangan bo'lsagina to'g'ri bo'ladi. Agar zanjirda induktivlik yoki sig'im elementlari ulangan bo'lsa, u holda bu taxmin noto'g'ri bo'ladi.

Induktivlik yoki sig'im elementlari ulangan zanjirda turg'un holatdan boshqa holatga o'tishi shu elementlarning magnit va elektr maydonlarida elektromagnit energiyaning miqdor jihatdan o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

$$\omega_L = \frac{Li_L^2}{2}; \quad \omega_C = \frac{Cu_C^2}{2}. \quad (14.1)$$

Energiyaning son jihatdan ma'lum bir miqdorga o'zgarishi bir zumda sodir bo'lmaydi, ya'ni zanjirning turg'un holatdan boshqa holatga o'tishi ma'lum bir vaqtni talab qiladi.

Fizik nuqtai nazardan qaralganda O'TKINCHI jarayon elektr zanjirining kommutatsiyagacha bo'lgan energetik holatidan kommutatsiyadan keyingi energetik holatiga o'tish jarayoni tushuniladi.

Shuning uchun ham elektr zanjirlarining O'TKINCHI holati reaktiv elementlarning (L va C).

Xususiyatlaridan kelib chiqqan holda quyidagi KOMMUTATSIYA qonunlari orqali ifodalanadi:

Kommutatsiyaning Birinchi Qonuni:

Har qanday induktivlikka ega tarmoqdagi tok va magnit oqim KOMMUTATSIYA paytida ($t = 0$) o'zining kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan keyin ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

Kommutatsiyaning Ikkinchi Qonuni:

Har qanday tarmoqda sig'imdagi kuchlanish va zaryad KOMMUTATSIYA paytida ($t = 0$) o'zining kommutatsiyaga qadar bo'lgan qiymatini saqlaydi va bundan so'ng ana shu qiymatlaridan boshlab o'zgaradi.

Elektr zanjirlarida o'tish jarayonlarini tahlil qilish uchun quyidagi usullardan foydalaniladi:

- 1. Klassik usuli.
- 2. Operator usuli.
- 3. Vaqt usuli.
- 4. Chastotaviy usul.

Yuqorida keltirilgan usullarni tahlil qilishdan oldin elektr zanjirlaridagi o'tish jarayonlarini ifodalovchi bir nechta holatlarni ko'rib chiqamiz.

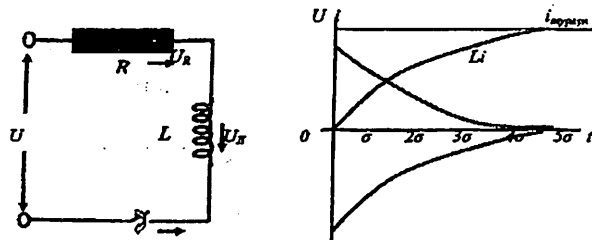
14.1. Tok va kuchlanishning erkin va majburiy tashkil etuvchilari

Yuqorida ko'rsatib o'tilgandek elektr zanjirining bir turg'unlashgan holatidan boshqa holatga o'tishi bir zumda sodir bo'lmaydi, balki energiya manbai bilan zanjirning energiya to'plovchi elementlari

orasidagi energiyaning taqsimlanish jarayoniga ketgan vaqt qadar davom etadi.

Shundan kelib chiqqan holda elektr zanjirlari uchun differensial tenglamalarning bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan ifodalari tuziladi.

Bir jinsli differensial tenglamani yechishda xususiy yechimi va umumiy yechimini topish kerak bo'ladi. Misol uchun, ushbu elektr zanjirini ko'rib chiqamiz:



14.2-rasm.

Yuqorida keltirilgan elektr zanjiri uchun quyidagi tenglama o'rinli bo'ladi:

$$U_L + U_R = U$$

Bunda, i – o'tkinchi jarayon toki, ya'ni O'TKINCHI TOK.

O'tkinchi tokni ikkita toklar yig'indisi deb qarash mumkin: majburiy tok i_{majb} , u o'tkinchi jarayon tugugandan so'ng namoyon bo'ladi va erkin tok i_{erk} , o'tkinchi jarayon davom etayotgan vaqtda sodir bo'ladi, u induktiv g'altakda to'plangan magnit maydon energiyasi evaziga hosil bo'ladi:

$$i = i_{majb} + i_{erk} \quad u = u_{majb} + u_{erk}$$

Majburiy tok (kuchlanish) deganda zanjirdagi EYuK orqali hosil bo'ladigan tokni (kuchlanishni) tushunish kerak bo'ladi.

Erkin tok (kuchlanish) ko'rsatgichli funksiya orqali ifodalanadi, ular eksponensial qonun asosida so'nadi va vaqt t oshgan sari ko'rsatgichli funksiya kamayib boradi.

O'tkinchi jarayonlarda elektr zanjirini uchastka va elementlarida tok va kuchlanishlarni hisoblash elektr holat tenglamalari bo'yicha amalga oshiriladi.

Bu tenglamalar tok va kuchlanishlarni oniy qiymatlari uchun tuziladi. R , L va S parametrlari o'zgarmas bo'lgan chiziqli elektr zanjirlari uchun tenglamalar o'zgarmas koeffitsiyentlar orqali ifodalanadi.

Bu tenglamalarni yechilishi o'tkinchi jarayonlardagi tok yoki kuchlanishlarni o'zgarish qonuniyatini belgilaydi (kommutatsiya qonunlari orqali).

Majburiy rejim uchun elektr holat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$Ri_{majb} = U.$$

Erkin rejim uchun elektr holat tenglamasi o'tkinchi jarayon tenglamasidan majburiy rejim tenglamasini ayirmasi (yig'indisi) orqali topiladi:

$$L \frac{di_{erk}}{dt} + Ri_{erk} = u \quad (14.2)$$

Matematikadan ma'lumki, bu tenglamani yechimi quyidagicha bo'ladi:

$$i_{erk} = Ae^{-t/\tau}.$$

bunda, A – o'zgarmas kattalik; $\tau = \frac{L}{R}$ – vaqt doimiysi.

O'zgarmas A boshlang'ich shartlardan topiladi: ($t=0$) qachonki

$$i(0) = i_{majb}(0) + i_{erk}(0).$$

Induktivlik zanjiri uchun kommutatsiya vaqtida o'tkinchi tok kommutatsiyagacha bo'lgan tokka teng, ya'ni $i(0) = 0$.

Majburiy rejim uchun: $i_{majb}(0) = \tau_{majb} = U/R$

Erkin rejim uchun $i_{erk}(0) = A$ va, undan kelib chiqib

$$A = -\frac{U}{R}. \quad (14.3)$$

O'tkinchi jarayondagi tok

$$I = I_{majb} + I_{erk} = \frac{U}{R} - \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (14.4)$$

$$\frac{U}{R} - \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (14.5)$$

O'tkinchi jarayonda induktivlikdagi kuchlanish

$$u_L = L \frac{di}{dt} = ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (14.6)$$

O'tish jarayonlarida tok va kuchlanishlarning erkin tashkil etuvchilari tashqi ta'sir etuvchilarga bog'liq bo'lmasdan, faqat zanjirning passiv elementlari parametrlari orqali aniqlanadi. Aniqlanadigan parametrlar kommutatsiyadan keyingi holat uchun aniqlanadi.

O'tish jarayonlarini tahlil qilishda to'liq, majburiy va erkin TOK va KUCHLANISHlari tahlil qilindi.

Amalda TO'LIQ TOK va KUCHLANISHlardan foydalaniladi.

14.2. O'tish jarayonlarini klassik usul orqali tahlil qilish

1. Elektr zanjirining kommutatsiyagacha bo'lgan holati $t=0$ tahlil qilinadi, ya'ni zanjirdagi kalit holatiga qarab uning induktiv va sig'im elementlari orqali o'tayotgan tok va kuchlanishlar aniqlanadi.

2. Zanjirning kommutatsiyadan keyingi holati uchun, ya'ni $t \rightarrow \infty$ holat uchun, o'tish jarayoni tugagandan keyingi holat. Induktiv va sig'im, qarshilik elementlaridan o'tgan tok va kuchlanishlar miqdori aniqlanadi.

Shu holatda zanjirning xarakteristik tenglamasi tuziladi, ya'ni zanjirdagi manba uziladi va induktiv, sig'im elementlarini ifodalovchi kompleks qarshiliklar orqali tenglama tuziladi.

Ildizi ikkiga teng bo'lgan tenglama yechiladi. Bunda, P - kattalikning ildizi topiladi. Bu kattalik ko'rsatgichli funksiyaning birligi bo'lib, o'tish jarayonida tok va kuchlanishlar qiymatlarining o'zgarish tezligini aniqlaydi.

Bundan tashqari o'tish jarayoning doimiy vaqtini ifodalovchi kattalik, hamda o'tish jarayoning vaqti aniqlanadi.

3. Kommutatsiya qonunlariga asosan tok va kuchlanishlarning MAJBURIY va ERKIN tashkil etuvchilari topiladi. Bu holatda A - doimiy integral kattaligi aniqlanadi. Shu bosqichda elektr zanjir elementlarining TOK va KUCHLANISHlarining barcha qiymatlari aniqlanadi.

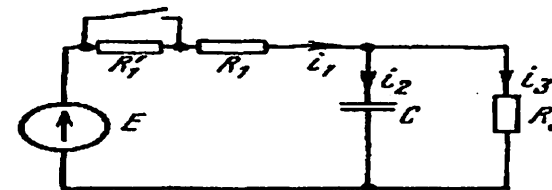
4. TOK va KUCHLANISHlarning barcha qiymatlari uchun vaqtga bog'liq bshlgan grafiklari chiziladi.

O'tish jarayonini ifodalovchi grafik 4 (TO'RT) bosqichdan iborat bo'ladi:

1. Kommutatsiyagacha bo'lgan holat.
2. Kommutatsiyadan keyingi holat.
3. Kommutatsiya vaqtidagi holat.
4. O'tish jarayonini ifodalovchi holat.

Klassik usul uchun misol:

Kommutatsiyagacha elektr zanjiri turg'unlashgan holatda edi. Quyidagi qiymatlar berilgan bo'lsin.



14.3-rasm.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 50 \Omega \quad C = 100 \text{ mkF} \quad E = 150 \text{ V}$$

1. Kommutatsiyagacha va kommutatsiyadan keyingi holatlar uchun i_1 i_2 i_3 qiymatlarini topish talab etiladi.

2. Vaqt funksiyasi bo'yicha tok va kuchlanishlar qiymatlarini topish kerak.

Misolning birinchi qismi: Kommutatsiyagacha:

$$i_1(0) = i_3(0) = \frac{E}{(R_1 + R_2 + R_3)} = \frac{150}{150} = 1 \text{ A.}$$

Kondensatordagi kuchlanish:

$$u_C(0) = i_3(0)R_3 = 1 \cdot 50 = 50 \text{ V.}$$

Kommutatsiyadan keyingi TOK va KUCHLANISHLAR qiymatini topamiz:

$$i_{1np} = i_{3np} = \frac{E}{R_1 + R_3} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ A} \quad u_{Cnp}(0) = i_{3np}(0)R_3 = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ B}$$

Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tenglama tuzamiz: $t=0$ holat uchun:

$$i_1(0_+)R_1 + u_C(0_+) = E \quad u_C(0_+) = u_C(0_-)$$

$$i(0_+) = \frac{E - u_C(0_-)}{R_1} = \frac{150 - 50}{50} = 2A$$

$$i_3(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{R_3} = 1A$$

Kirxgofning BIRINCHI qonuni bo'yicha:

$$i_1(0_+) = i_2(0_+) + i_3(0_+)$$

$$i_2(0_+) = i_1(0_+) - i_3(0_+) = 2 - 1 = 1A$$

$t = 0_+$ holat uchun tok va kuchlanishlarning erkin va majburiy qiymatlarini topamiz:

$$u_{C_{cb}}(0_+) = u_C(0_+) - u_{C_{mn}}(0_+) = 50 - 75 = -25B$$

$$i_{C_{cb}}(0_+) = i_1(0_+) - i_{1np}(0_+) = 2 - 1,5 = 0,5A$$

$$i_{2cb}(0_+) = i_2(0_+) - i_{2np}(0_+) = 1 - 0 = 1A$$

$$i_{3cb}(0_+) = i_3(0_+) - i_{3np}(0_+) = 1 - 1,5 = -0,5A$$

Kondensatorlarda erkin TOK

$$i_{cb} = C \frac{du_{C_{cb}}}{dt}; \quad \frac{du_{C_{cb}}}{dt} = \frac{i_{cb}}{C};$$

$$\left(\frac{du_{C_{cb}}}{dt}\right)_{t=0_+} = \frac{i_{2cb}(0_+)}{C} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = 10^4 \frac{B}{c}$$

Misolning 2-qismi:

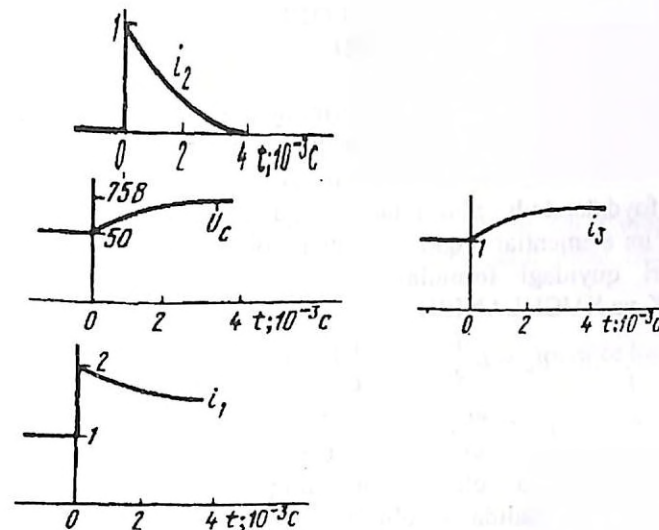
Kommutatsiyadan keyingi holat uchun tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$pR_1R_3C + R_1 + R_3 = 0 \quad p = -\frac{R_1 + R_3}{R_1R_3C} = -400c^{-1}$$

Elektr zanjiridagi har bir tok majburiy va erkin tashkil etuvchilarning yig'indisiga teng bo'ladi:

$$i_1 = 1,5 + 0,5e^{-400t} A; \quad i_2 = e^{-400t} A;$$

$$i_3 = 1,5 - 0,5e^{-400t} A; \quad u_C = 75 - 25e^{-400t} B.$$



14.4-rasm.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr zanjirlarida o'tish jarayonlari.
2. Elektr zanjirlarida kommutatsiya deb nimaga aytiladi?
3. Kommutatsiya qonunlari.
4. Tok va kuchlanishning erkin va majburiy tashkil etuvchilari.
5. O'tish jarayonlarida to'liq tok va kuchlanishlar ifodalari.
6. Elektr zanjirining klassik usulda tahlil qilish tartibi.
7. Kompleks qarshiliklar orqali differensial tenglamalar tuzish.

XV bob. O'TISH JARAYONLARINI OPERATOR USULIDA HISOBLASH

O'tkinchi jarayonlarda elektr zanjirining tok va kuchlanishlar ONIY qiymatlarini hisoblashda matematik usul ancha murakkab hisoblanadi. Chunki o'tish jarayonlarini yozishda differensial va integrallardan foydalaniladi. Shu bilan bir qatorda, elektr zanjirdagi induktiv va sig'im elementlar orqali o'tayotgan tok va kuchlanishlarning oniy qiymatlari quyidagi formulalar orqali ifodalanadi: L va C zanjirlarda TOK va KUCHLANISH:

$$u_L = L \frac{di}{dt}; \quad i = \frac{1}{L} \int u_L dt. \quad (15.1)$$

$$i = C \frac{du_C}{dt}; \quad u_C = \frac{1}{C} \int idt. \quad (15.2)$$

O'tish jarayonlarida elektr zanjirining tok va kuchlanish qiymatlarini operator usulida hisoblashda ular ifodalarining TASVIRLARI orqali ifodalanadi. TOK va KUCHLANISHlarning integral orqali ifodalari algebraik ifodalarga aylanadi va ularning oniy qiymatlarini hisoblash mumkin bo'ladi.

O'tish jarayonlarining OPERATOR usuli LAPLAS formulasiga asoslanadi, ya'ni:

Fransuz matematigi, fizigi Per Simon LAPLAS nomi bilan ataladigan FORMULA ORQALI hisoblanadi (LAPLAS INTEGRALI)

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt. \quad (15.3)$$

Bu formulada funksiya $f(t)$ – funksiyaning originali, $F(p)$ – funksiyaning tasviri hisoblanadi.

Agar,

$$f(t) = U, \quad F(p) = \frac{U}{p} \quad (15.4)$$

teng bo'lsa, u holda, LAPLAS INTEGRALI:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} Ue^{-pt} dt = U \frac{1}{(-p)} e^{-pt} \Big|_0^{\infty} = \frac{U}{(-p)} (0-1) = \frac{U}{p}. \quad (15.5)$$

Agar, $f(t) = e^{at}$ teng bo'lsa, u holda LAPLAS INTEGRALI:

$$F(p) = \int_0^{\infty} e^{at} \cdot e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} e^{-(p-a)t} dt = \frac{1}{-(p-a)} e^{-(p-a)t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{-(p-a)} (0-1) = \frac{1}{p-a}, \quad (15.6)$$

Demak,, funksiya $e^{at} = \frac{1}{p-a}$ ifodaga almashtirildi.

Yuqoridagi LAPLAS formulasi orqali har qanday funksiyaning uning tasviri va originali orqali bo'linmalar bilan ifodalash imkonini beradi (1-jadval).

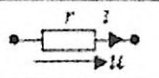
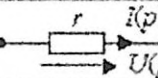
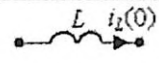
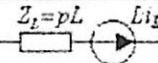
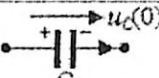
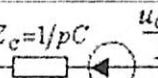
1-jadval

	Operator ko'rinishi
$\delta_1(t) = 1(t)$	$\frac{1}{p}$
$A\delta_1(t)$	$\frac{A}{p}$
$\delta(t) = \frac{d\delta_1}{dt}$	1
$\frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{p^{(n+1)}}$
e^{-at}	$\frac{1}{p+a}$
$(1 - e^{-at})$	$\frac{a}{p(p+a)}$
$\sin(\omega t + \psi)$	$\frac{p \sin \psi + \omega \cos \psi}{p^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$
te^{-at}	$\frac{1}{(p+a)^2}$
$f(t)$	$F(p)$
$\frac{df(t)}{dt}$	$pF(p) - f(0)$
$\int_0^t f(t) dt$	$\frac{F(p)}{p}$

Bu ifodalarda p – LAPLAS OPERATORI deb yuritiladi. Operator usulida R, L, C zanjirlarida xosila d/dt p – LAPLAS operatori bilan, integral esa $1/p$ ifoda bilan ALMASHTIRILADI.

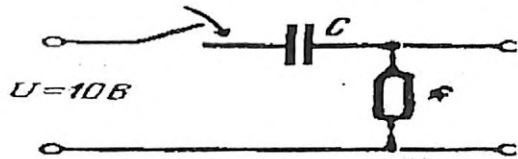
Har bir elementning tok va kuchlanishlarini bog'lovchi Laplas formulasidan foydalangan holda elektr zanjirlarining oddiy sxemalaridan OPERATOR holatlariga o'tish usulini keltirish mumkin.

2- jadval

Boshlang'ich elektr zanjir	Operator hisoblash zanjiri
$i(t), u(t), e(t), J(t)$ 	$I(p), U(p), E(p), J(p)$ 
	$Z_L = pL$ 
	$Z_C = 1/pC$ 

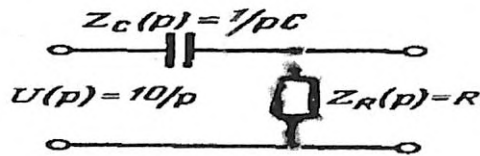
OPERATOR USULIGA MISOLLAR

Keltirilgan elektr zanjiri uchun OPERATOR usulida chiqish KUCHLANISHINI hisoblash talab qilinsa, u holda:



15.1-rasm.

Keltirilgan elektr zanjirini kommutatsiyadan keyingi holat uchun boshqatdan chizib olamiz:



15.2-rasm.

Ushbu sxema uchun OPERATOR TOKINI ANIQLAYMIZ:

$$I(p) = \frac{U(p)}{Z_{BX}(p)} = \frac{U}{R(p + \frac{1}{pC})} = \frac{UpC}{p(pRC + 1)} = \frac{UC}{RC(p + \frac{1}{RC})} = \frac{U}{R(p + \frac{1}{RC})} \quad (15.7)$$

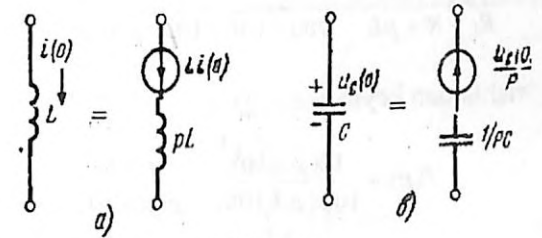
CHIQUISH KUCHLANISHI ESA quyidagicha ifodalanadi:

$$U_2(p) = R \cdot I(p) = \frac{UR}{R(p + \frac{1}{RC})} = U \cdot \frac{1}{(p + \frac{1}{RC})} \quad (15.8)$$

Yuqoridagi keltirilgan tablitsadan foydalangan holda

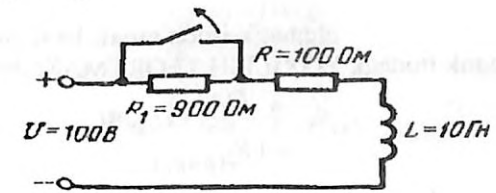
$$F(p) = \frac{U}{(p + \frac{1}{RC})} \quad (15.9)$$

Elektr zanjirlarida OPERATOR usulida hisoblash uchun EKVIVALENT quyidagi sxemalar orqali ifodalanadi.



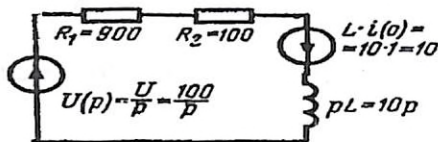
15.3-rasm.

Quyidagi elektr zanjir uchun OPERATOR sxemasini chizing va operator tokini yozing.



15.4-rasm.

Yuqoridagi elektr zanjiri uchun kommutatsiyadan keyingi OPERATOR sxemasini chizamiz:



15.5-rasm.

Kommutatsiyadan keyin TOK quyidagi qiymatga teng bo'ladi:

$$i(0) = \frac{U}{R} = \frac{100}{100} = 1A. \quad (15.10)$$

Operator TOKINI hisoblaymiz:

$$I(p) = \frac{U(p) + Li(0)}{R_1 + R_2 + pL} = \frac{\left(\frac{100}{p}\right) + 10 \cdot 1}{900 + 100 + 10p} = \frac{10p + 100}{p(10p + 1000)}. \quad (15.11)$$

Ba'zi qisqartirishlardan keyin

$$I(p) = \frac{10(p+10)}{10p(p+100)} = \frac{p+10}{p(p+100)}. \quad (15.12)$$

YOYILISH TEOREMASI

Operator umulida funksiya originalini $f(t)$ va tasvirini

$$F(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}$$

jadval orqali emas, balki matematik ifoda orqali ham aniqlash mumkin, bunday matematik ifodaga YOYILISH TEOREMASI deb ataladi:

$$f(t) = \sum_{n=1}^n \frac{F_1(p=p_k)}{F_2(p=p_k)} e^{p_k t} \quad (15.13)$$

Bu ifodada $\sum_{n=1}^n$ yig'indi, quyidagi

ifodani
$$\frac{F_1(p=p_k)}{F_2(p=p_k)} e^{p_k t} \quad (15.14)$$

$F_2(p) = 0$ nechta ildizga ega bo'lsa, shuncha marta qo'shadi.

TOK va KUCHLANISHLARNING OPERATOR SHAKLIDAGI BALANSI, operator qarshiligi va operator o'tkazuvchanliklar ifodalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

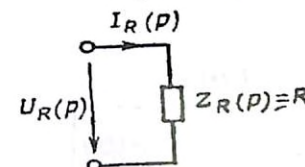
$$\sum_i U_i(p) = \sum_j E_j(p)$$

$$Z(p) = \frac{U(p)}{I(p)} \quad (15.15)$$

$$Y(p) = \frac{1}{Z(p)} = \frac{I(p)}{U(p)}$$

PASSIV IKKI QUTBLI ELEKTR ZANJIRLARINING OPERATOR TENGLAMALARI VA EKVIVALENT SXEMALARINI KO'RIB CHIQUAMIZ.

1. Qarshilik



15.6-rasm.

$$U_R(p) = RI_R(p)$$

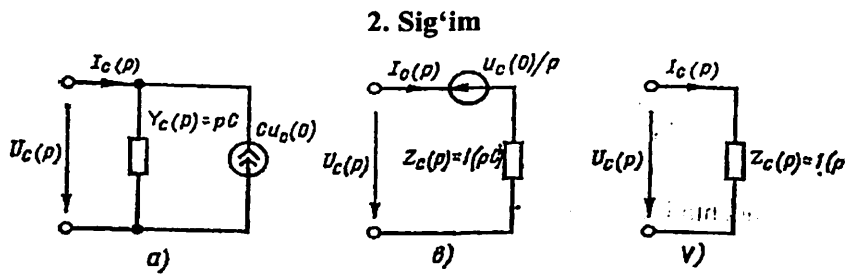
$$u_R = Ri_R$$

$$Z_R(p) = R$$

$$I_R(p) = GU_R(p)$$

$$i_R = Gu_R$$

$$Y_R(p) = G = \frac{1}{R}$$



15.7-rasm.

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

$$u_C = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt$$

Operator TOK va KUCHLANISHlar:

$$I_C(p) = pCU_C(p) - Cu_C(0)$$

$$U_C(p) = \frac{u_C(0)}{p} + \frac{1}{pC} I_C(p)$$

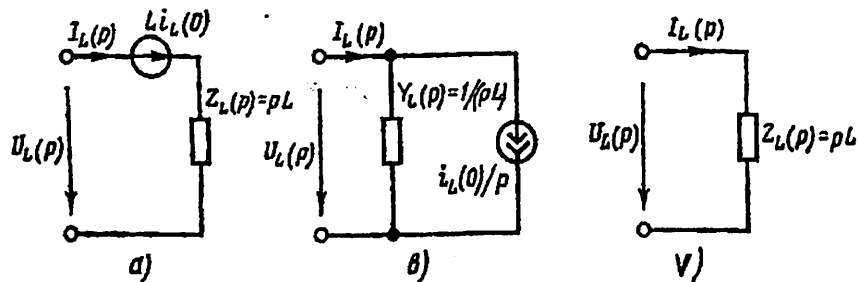
$$I_C(p) = pCU_C(p)$$

$$U_C(p) = \frac{I_C(p)}{(pC)}$$

$$Z_C(p) = \frac{1}{(pC)}$$

$$Y_C(p) = pC$$

3. Induktivlik



15.8-rasm.

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$i_L = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$$

Operator TOK va KUCHLANISH ifodalari:

$$U_L(p) = pLI_L(p) - Li_L(0)$$

$$I_L(p) = \frac{i_L(0)}{p} + \frac{U_L(p)}{pL}$$

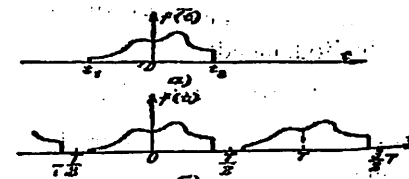
$$Z_L(p) = pL$$

$$Y_L(p) = \frac{1}{pL}$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Laplas integral formulasi, ma'nosi.
2. Funksiya tasviri va originali, ma'nosi, formulasi.
3. Operator usulining ma'nosi.
4. Operator usulini ifodalovchi jadvalni yozing.
5. Operator usulidan foydalangan holda elektr sxemalarni chizing.
6. Qarshilik elementining operator TOK, kuchlanish, o'tkazuvchanlik formulalari.
7. Sig'im elementining operator TOK, kuchlanish, o'tkazuvchanlik formulalari.
8. Induktivlik elementining operator TOK, kuchlanish, o'tkazuvchanlik formulalari.

**XVI bob. SPEKTRAL (CHASTOTAVIY) USUL YORDAMI
BILAN CHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLARNI TAHLIL QILISH.
TO'RTQUTBLIKLAR (TQ)**



16.1-rasm.

Spektral (chastotaviy) usul yordami bilan CHEZlarni tahlil qilish.

Elektr zanjirlarini CHASTOTAVIY usulda tahlil qilishda zanjir orqali o'tayotgan signallarning chastotaviy xarakteristikalarini hisoblashda qo'llaniladi. Signal energiyasini spektr bo'yicha taqsimlanishini kuzatish mumkin. Shu xususiyatlari tufayli elektr zanjirlardagi o'tish jarayolarini tahlil qilishga imkon beradi.

Shuning uchun ham CHASTOTAVIY usulda elektr zanjirlari orqali o'tayotgan signallarni matematik usulda ifodalash mumkin bo'ladi. Signallar spektrlarini vaqt funksiyasi orqali topish garmonik TAHLIL, berilgan spektr orqali vaqt funksiyasini topish garmonik SINTEZ deb ataladi.

Yuqoridagi fikrlarni e'tiborga olgan holda elektr zanjirlar parametrlarini CHASTOTAVIY USULDA hisoblash tartibini ko'rib chiqamiz.

Chastotaviy usul:

1). O'tkinchi jarayonni turg'unlashgan rejimlar yechimlarining yig'indisi ko'rinishida bajarish imkonini beradi.

2). Nodavriy yakka funksiyani (tok yoki kuchlanishni) sinusoidal tashkil etuvchilar yordamida tahlil qilish imkoniyatini beradi.

Zanjir orqali o'tayotgan signallarga chastotaviy usulni qo'llash uchun quyidagi keltirilgan nosinusoidal signalni sinusoidal signalga aylantiramiz:

a) signal spektri $(-\frac{T}{2}, \frac{T}{2})$ vaqt oralig'ida;

b) signal spektri (sinusoidal) shakliga mos keladi.

Shu sababli bu signal spektri FURE qatorlari orqali ifodalanishi mumkin. Keltirilgan vaqt INTERVALIdan katta intervallarda signal spektrini FURE qatori orqali ifodalab bo'lmaydi.

Fure qatorining kompleks shaklidagi ifodasi quyidagicha yoziladi,

$$f(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{jn\omega_1 t} \quad (16.1)$$

Bu formulani quyidagi shaklda yozib olamiz:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\pi}{\omega_1} A_n e^{jn\omega_1 t} \cdot [n\omega_1 - (n-1)\omega_1] = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{T}{2} A_n e^{jn\omega_1 t} (n\omega_1 \Delta) \quad (16.2)$$

Bu ifodada:

$$\Delta (n\omega_1) = n\omega_1 - (n-1)\omega_1 \quad (16.3)$$

Fure qatoridagi chastota intervali:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} \quad (16.4)$$

Agar, $A_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt$ teng bo'lsa,

u holda:

$$\Delta = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\omega_1 t} (n\omega_1) \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \quad (16.5)$$

Keltirilgan formulada, agar,

$$T \rightarrow \infty \quad n\omega_1 \rightarrow \omega \quad \Delta(n\omega_1) \rightarrow d\omega_1$$

bo'lsa, u holda INTEGRAL chegaralaridagi

$T \rightarrow \infty$ intilgan bo'lsa, NODAVRIY FUNKSIYANING SPEKTRI deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (16.6)$$

Agar, "T" ni cheksiz ravishda oshirib borsak, u holda ifoda quyidagi funktsiya holatiga keladi:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (16.7)$$

Yuqorida keltirilgan formula FURE funksiyasining IKKI tomonlama almashtirish funktsiyasi, formula esa EURE funktsiyasining TESKARI almashtirish funktsiyasi deb yuritiladi. Fure INTEGRALI bo'yicha quyidagi ifodalar va almashtirishlar o'rinli bo'ladi:

$$\begin{aligned} F(j\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \\ f(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega t} d\omega \\ F(j\omega) &= F(p)/p=j\omega \end{aligned} \quad (16.8)$$

Chastotaviy (spektr) usuli uchun Om va Kirxgof qonunlari

Om va Kirxgof qonunlari

$$\begin{aligned} I(p) = \frac{E(p)}{Z(p)} &\rightarrow I(j\omega) = \frac{E(j\omega)}{Z(j\omega)} \\ \sum I_k(p) = 0 &\rightarrow \sum I_k(j\omega) = 0 \\ \sum E_k(j\omega) &= \sum I_k(j\omega) \cdot Z_k(j\omega) \end{aligned} \quad (16.9)$$

$I(j\omega)$, $E(j\omega)$ – spektrlar;
 $Z(j\omega)$ – kompleks qarshilik.

16.1. To'rtqutbliklar (TQ)

Elektr zanjirining istalgan ikki juft ikki klemmalariga nisbatan ko'riladigan elektr zanjir qismi to'rtqutblilik deb ataladi.

To'rtqutbli zanjir klemmalariga elektr energiya manbasi ulansa, klemmalar KIRISH, agar biron bir YUKLAMA ulansa, CHIQISH klemmalari deb ataladi.

Yoki "KIRISH" va "CHIQISH" deb ham yuritiladi.

To'rtqutblilik zanjirlar klemmalariga ulangan uzun liniya, elektr filtrlari, transformatorlar misol bo'la oladi.

TQning kirishdagi va chiqishdagi kompleks toklar va kuchlanishlarni bog'lovchi munosabatlar TQning uzatish tenglamalari deyiladi. Ular 6 ta shaklda ifodalanadi.

1) Z-shakl:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2' \\ \dot{U}_2 &= Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2' \end{aligned}$$

2) Y- shakl:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2' &= Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 \end{aligned}$$

3) A- shakl:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2 \end{aligned}$$

(to'g'ri uzatish)

4) B- shakl:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= B_{11}\dot{U}_1 + B_{12}\dot{I}_1 \\ \dot{I}_1 &= B_{21}\dot{U}_1 + B_{22}\dot{I}_1 \end{aligned}$$

(teskari uzatish)

5) H- shakl:

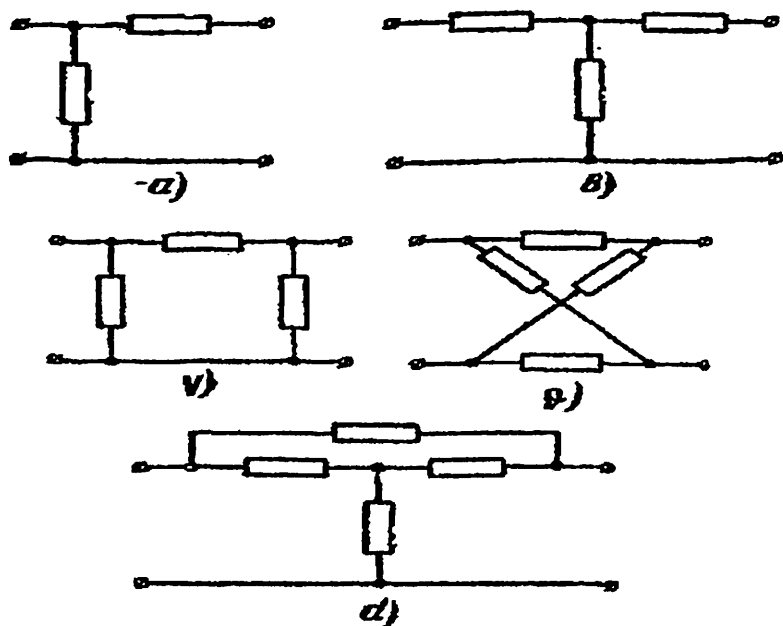
$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= H_{11}\dot{I}_1 + H_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2' &= H_{21}\dot{I}_1 + H_{22}\dot{U}_2 \end{aligned}$$

6) F- shakl:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= F_{11}\dot{U}_1 + F_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= F_{21}\dot{U}_1 + F_{22}\dot{I}_2 \end{aligned}$$

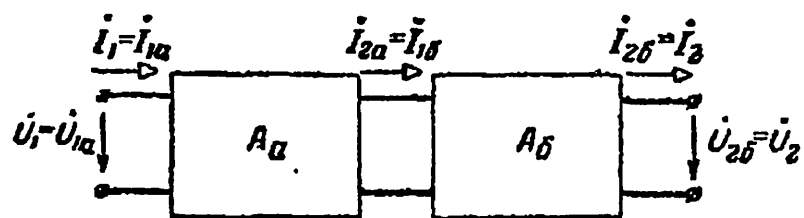
Bu tenglamalardagi kompleks koeffitsiyentlar TQning parametri deb ataladi. Ular hammasi o'zaro bog'langan.

TQ ulanish turlari



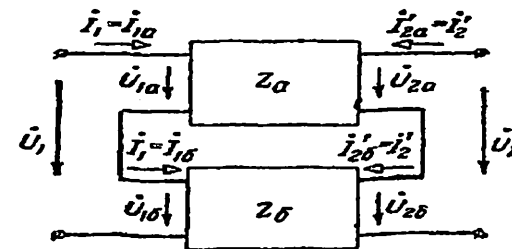
16.2-rasm.

Kaskadli (Zanjirli) ulanish



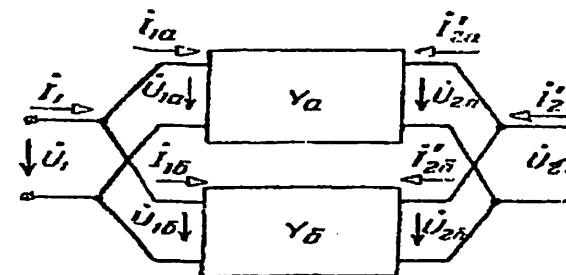
16.3-rasm.

Ketma-ket ulanish



16.4-rasm.

Parallel ulanish



16.5-rasm.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Chastotaviy usul ma'nosi.
2. Fure qatorining kompleks shaklidagi ifodasi.
3. Nodavriy funksiyaning spektr formulasi.
4. FURE funksiya'sining IKKI tomonlama almashtirish funksiya'si.
5. FURE funksiya'sining TESKARI almashtirish funksiya'si.
6. Chastotaviy usul uchun Om va Kirxgof qonunlari.
7. To'rtqubli elektr zanjirlari.
8. To'rtqubli elektr zanjirlarning uzatish tenglamalari.
9. To'rtqubli elektr zanjirlarning ulanish sxemalari (ketma-ket, paralel, kaskadli).

**XVII bob. BATTERVORD, CHEBISHEV VA ZOLOTARYOV
FILTRLARI**

Filtrlar asosan induktivlik va sig'im elementlaridan tashkil topgan zanjiri hisobiga tashkil topadi. Shunday ekan bizga malumki induktiv qarshiligi chastotaga to'g'ri proporsional, sig'im qashiligiga esa teskari proporsional. Bundan tashqari, induktivlikdagi tok $\frac{\pi}{2}$ miqdordagi burchakka kuchlanishdan orqada qoladi. Sig'imda esa tok kuchlanishdan $\frac{\pi}{2}$ burchakka ilgarilab ketadi. Keltirilgan ma'lumotlar asosida va **INDUKTIVLIK** va **SIG'IM** elementlarinig bir-biri bilan bog'lanish kombinatsiyalari hisobiga elektr filtrlari tuziladi va bir nechta turlarga bo'linadi.

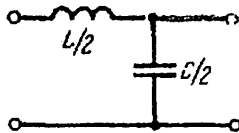
Ideal filtrlar faqat reaktiv elementlardan tuzilgan bo'ladi.

Quyida elektr filtrlarining bir nechta turlarini ko'rib chiqamiz.

Elektr filtrlarini sintez qilishda S. BATTERVORD (elektrik-muhandis), P. L. CHEBISHEV va Ye. I. ZOLOTARYOV (yirik matematik olimlar) nomlari bilan ataladigan elektr filtrlari keng tarqalgan.

Yuqoridagi filtrlarni ko'rib chiqishdan oldin quyidagi tushunchalarni keltiramiz:

Quyi va yuqori chastotali filtrlardagi reaktiv elementlar soniga filtr tartibi (n) deb ataladi. Masalan, ushbu sxemalarda: 2- va 7- tartibli filtrlar keltirilgan.

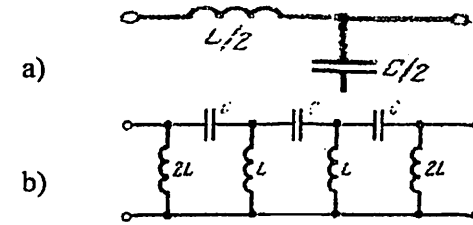


17.1-rasm.

Demak, filtr nechanchi tartibli bo'lsa filtr parametrlarini hisoblashda operator, kompleks va differensial tenglamalar ham 2-, 3- va 7- tartibli holatda tuziladi.

Elektr filtrlarining gorizontaal yelkalaridagi qarshiliklarini perpendikulyar yelkalaridagi qarshilik qiymatlariga ko'paytmasi **FILTRNING XARAKTERISTIK QARSHILIGI** deb ataladi:

$$j\omega\left(\frac{L}{2}\right)\left(\frac{2}{j}\omega C\right) = \frac{L}{C} = k^2 \quad (17.1)$$



17.3-rasm.

Elektr filtrlari rasmda ko'rsatilgandek to'rtqutbli elektr zanjirlari tarkibiga kiradi va quyi chastotali filtrlar $K=\sqrt{L/C}$ (QCHF) deb ataladi.

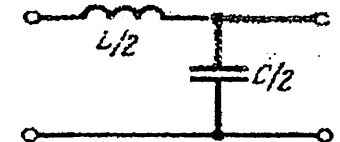
Bunday filtrlarda induktiv elementlarida qarshilik juda kam bo'ladi, chastota oshgan sari gorizontaal shoxobchadagi qarshilik osha boradi, perpendikulyar shoxobchada esa uzatish koeffitsiyenti kamayadi.

Bu turdagi filtrlarda **REZONANS CHASTOTASI QIRQISH**

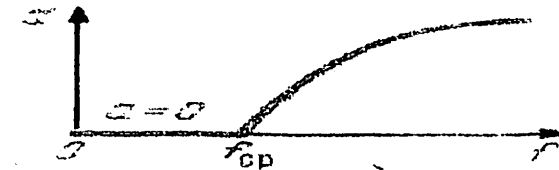
CHASTOTASI ω_{cp} deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{2} \cdot \frac{C}{2}}} = \frac{2}{\sqrt{LC}}$$

$$f_{cp} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$$



17.4-rasm.

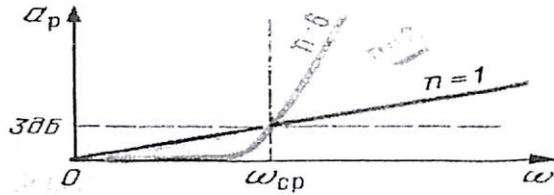


17.5-rasm.

Elektr filtrlarida **NORMALLASHTIRILGAN** kattalik bu o'lchov birliksiz kattalik bo'lib quyidagicha ifodalanadi: masalan, normal-lashtirilgan chastota, chastotaning qirqish chastotasi nisbatiga aytiladi.

$$\omega = \frac{\omega}{\omega_{cp}} \text{ yoki } f = \frac{f}{f_{cp}} .$$

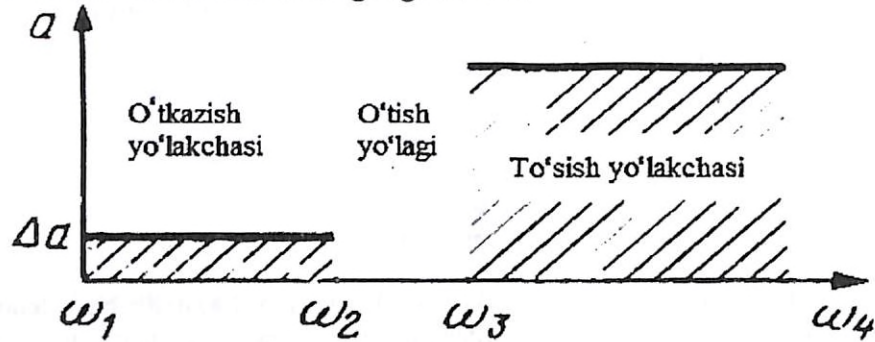
Battervord xarakteristikalariga ega bo'lgan filtrlar shunday filtrlarki, QCHF larda chastotata NOLGA teng bo'lganda signal so'nishi ham NOLGA teng bo'ladi, o'tkazish yo'lakchasida esa signal so'nishi monoton ravishda o'sadi va chegaraviy 3 dB chastotaga teng bo'ladi. Keyinchalik ushlab qolish yo'lakchasida esa monoton ravishda keskin oshadi.



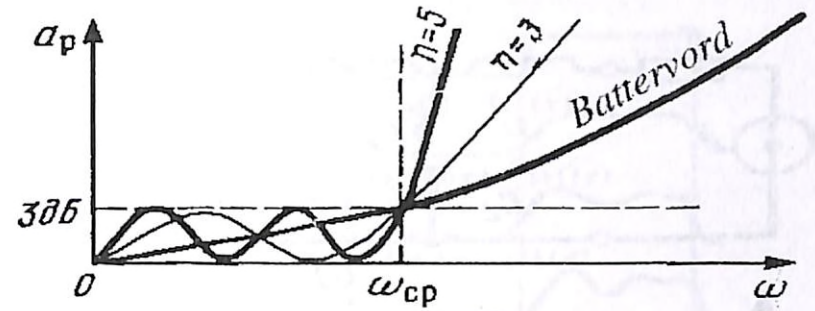
17.6-rasm.

Bunday filtrlarda filtr tartibi qanchalik katta bo'lsa, ushlab qolish yo'lakchasida signal xarakteristikasi keskinlashadi, o'tkazish yo'lakchasida esa kuchsizlanadi. E'tiborga olish kerakki filtr elementlari faqat reaktiv elementlar bo'lganda shunday holat yuz beradi.

Chebyshev filtrlarida signalning so'nish xarakteristikasi o'tkazish yo'lakchasida amplitudasi 3 dB dan oshmaydigan tebranma ko'rinishda bo'ladi, ushlanib qolish yo'lakchasida esa xuddi shunday tartibga ega bo'lgan BATTERVORD filtrlaridan katta bo'lgan monoton ravishda o'sib boruvchi xarakteristikaga ega bo'ladi.



17.7-rasm.

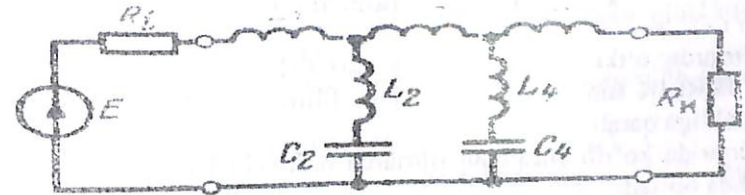


17.8-rasm.

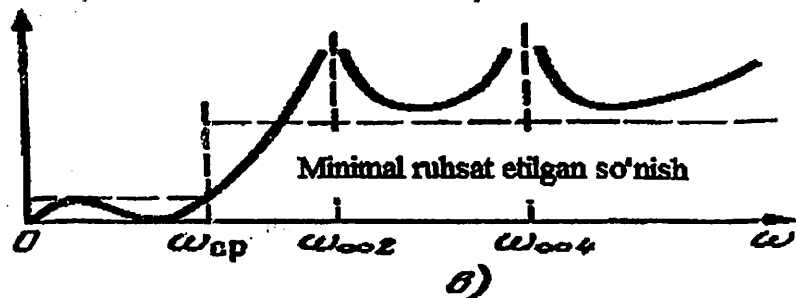
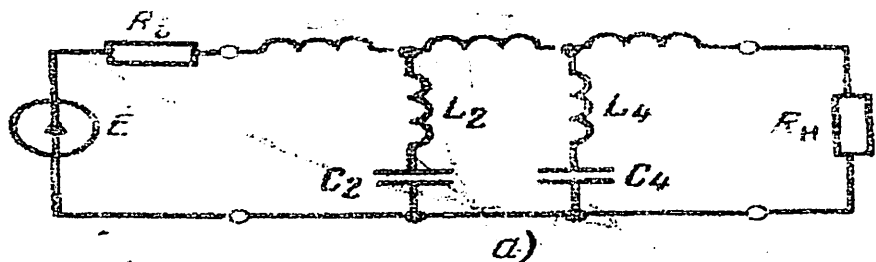
O'tkazish yo'lakchasida signalning tebranish amplitudasi qanchalik katta bo'lsa, filtrning ushlanib qolish yo'lakchasida signal xarakteristikasining keskin oshib ketishi kuzatiladi yoki uning teskarisi, signal amplitudasi qanchalik kichik bo'lsa, signal xarakteristikasining o'sishi ham ancha past darajada ekanligi kuzatiladi. Agar signal parametrlarini shunday tanlansaki o'tish yo'lakchasida signal amplitudasi nolga teng bo'lsa, (tugatilsa) CHEBISHEV filtri BATTERVORT filtriga aylanadi.

17.1. Zolotaryov filtrlari

Bu turdagi filtrlarda o'tkazish yo'lakchasida signallar tebranma xarakterga ega bo'ladi, ushlanib qolish yo'lakchasida esa monoton bo'lmagan, keskin o'zgaruvchan xarakterga ega bo'ladi. Quyidagi rasmlarda Zolotaryov filtrlari keltirilgan:



17.9-rasm.



17.10-rasm.

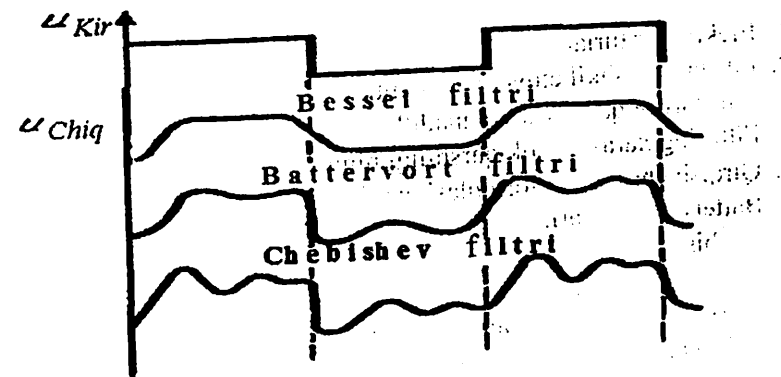
Bu turdagi filtrlar shunday tuziladiki, elektr sxemalarda bir nechta chastota rezonansi hosil bo'luvchi zanjirlardan tuziladi (rasmga qarang), chunki kam chastotalarda gorizontaal shoxobchalarda qarshilik kam bo'lishi, perpendikulyar shoxobchalarda esa katta bo'lishi kuzatiladi.

Endi katta miqdordagi chastotalarda buning teskarisi kuzatiladi.

17.2. Filtrlarda o'tkinchi jarayon

Filtrlarda o'tkinchi jarayonlarni kuzatish uchun ularning kirish qismiga BJRLIK funksiyasi uzatiladi va filtrning CHIQISH qismidagi signal shakliga qarab tahlil qilinadi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan filtrlarda o'tkinchi jarayonlar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



17.11-rasm.

rasmdan ko'rinadiki, signal shaklining eng kam buzilishi BESSEL filtrida kuzatigan, signal shaklining eng ko'p buzilishi CHEBISHEV filtrida kuzatilgan.

Shuni ta'kidlash kerakki, BESSEL filtrlari o'tkinchi jarayonlarda signal xarakteristikallari yomon ko'rsatgichlarga erishadi, CHEBISHEV filtrlari esa buning teskarisi bulgan xarakteristikallarga ega bo'ladi.

Yana shuni ta'kidlash kerakki, filtrlar tartibi (n) oshgan sari BESSEL filtrlari xarakteristikallari yaxshilanib boradi, BATTERVORD filtrlarida esa yomonlashadi.

Shunday qilib, ko'rib chiqilgan variantlardan BATTERVORD filtrlari eng optimal deb topilgan va shu filtrlar elektrotexnikada ishlatilib kelinmoqda.

Filtr parametrlarini hisoblash tartibi

Filtrlar parametrlarini hisoblashda QCHF lar asos qilib olinadi va qolgan filtrlarga tatbiq etiladi.

Filtr parametrlarini hisoblashda quyidagilar asos qilib olinadi:

1. Filtr turkumi (YuCHF, QCHF, YF, UQF va h.)
2. O'tkazish yo'lakchasi uchun chastotalar diapazoni (qiymati).
3. Ushlanib qolish yo'lakchasida chastotalar diapazoni (qiymati).
4. Ushlanib qolish yo'lakchasida, ma'lum bir chastotalar uchun, ruxsat etilgan signalning so'nish qiymati.
5. Generator va sxemadagi yuklamalar uchun qarshiliklar qiymati.

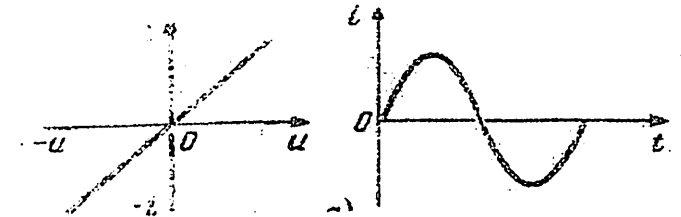
NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr filtrlari.
2. Filtrlarni tashkil etuvchi elementlar.
3. Filtr tartibi qanday aniqlanadi?
4. Filtrning xarakteristik qarshiligi nima?
5. Qirqish chastotasi, formulasi, grafigi.
6. Batteredd filtrlari.
7. Chebishev filtrlari.
8. Zolotaryov filtrlari.
9. Filtrlarda o'tkinchi jarayonlar.
10. Filtr parametrlarini hisoblash tartibi.

XVIII bob. NOCHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLAR

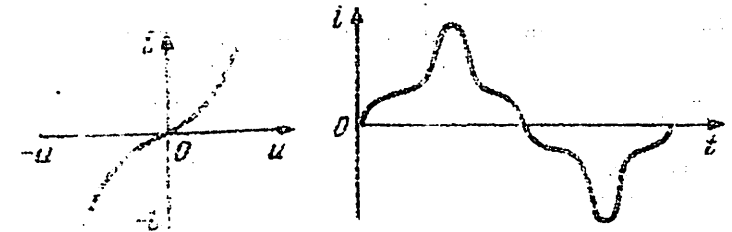
CHIZIQLI zanjirlarning parametrlari, ya'ni qarshiliklari, induktivliklari, boshqaruvchi manbalarning sig'implari-ulgarga ulangan kuchlanishlar yoki ulardan oqib o'tayotgan toklarning qiymatlariga bog'liq emas edi.

Element qarshiligi shu qarshilik qutblaridagi kuchlanish U ning miqdori va shu qarshilikdan oqib o'tayotgan tok I ning miqdori qandayligidan qat'i nazar, unga nisbati doimo bir xil miqdorga teng bo'lgan, ya'ni qarshilikning kuchlanishi va toki orasidagi bog'lanish $U(I) = \Omega \cdot I = \text{const}$ doimo o'zgarmas bo'lgan elektr zanjirlari CHIZIQLI elektr zanjirlari deb ataladi va TOK va KUHLANISH shakllari quyidagicha bo'ladi.



18.1-rasm.

Elektr zanjirining qarshiligi tok kuchiga va kuchlanishiga bog'liq bo'lgan zanjir *nochiziqli zanjir* deb ataladi.



18.2-rasm.

Nochiziqli elektr zanjirlari o'zlarining xarakteristikalariga, asosan, ikki turga bo'linadi: SIMMETRIK va SIMMETRIK BO'LMAGAN.

Zanjir qutblaridagi tok va kuchlanishlar yo'nalishlari volt-ampere xarakteristikalariga bog'liq bo'lmagan nochiziqli elementlarga SIMMETRIK NOCHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLARI deb ataladi.

Bu turdagi elektr zanjirlariga elektr lampalari, baretterlar (tokni stabil holatga keltiruvchi qurilma) termorezistorlar kiradi.

Zanjir qutblaridagi tok va kuchlanishlar yo'nalishlari har xil bo'lgan volt ampere xarakteristikali nochiziqli elementlarga SIMMETRIK bo'lmagan elektr zanjirlari deb ataladi.

Bunday turdagi elektr zanjirlariga triodlar (lampali, yarimo'tkazgichli) kiradi.

Nochiziqli zanjirlarga cho'g'lanma lampalar, elektron lampalar, ion va yarim o'tkazgichli asboblari misol bo'la oladi.

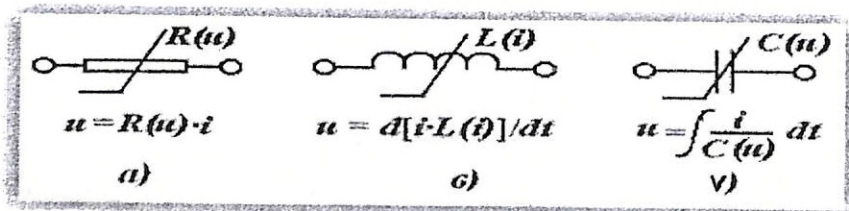
Bunday zanjirlarning qarshiligi doimiy bo'lmagani uchun zanjirdagi tok kuchi uning qutblaridagi kuchlanishga proporsional bo'lmaydi.

Nochiziqli xarakteristikali elementlarga aktiv nochiziqli qarshiliklar; termistorlar, yarim o'tkazgichli diod, stabilizator, yarimo'tkazgichli termoqarshiliklar va reaktiv nochiziqli qarshiliklar, to'yingan ferromagnit o'zakli drossellar hamda nochiziq dielektrikli kondensatorlar kiradi.

Nochiziqli elektr zanjirlar parametrlari

Rezistiv qarshilik, induktivlik va sig'im ularning parametrlari mos ravishda R , L va C o'z qiymatlarini saqlashmasa va tokka yoki kuchlanishga bog'liq bo'lsa, ular nochiziqli deyiladi.

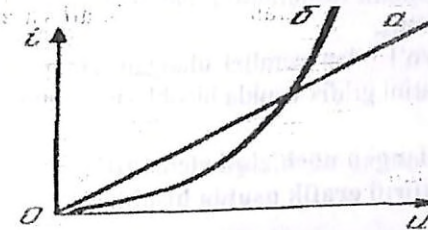
Ularning xarakteristikasi: (volt-ampere $u=iR$, veber-ampere $\Psi=Li$ va volt-kulon $q=Cu$) egri chiziqli liniya orqali ifodalanadi.



18.3-rasm.

Har bir element uchun qutblarida (klemmlarida) hosil bo'ladigan kuchlanish va shu element orqali o'tayotgan TOKlarni bir-biriga bog'liqliklarini ko'rsatuvchi VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALARI (VAX) mavjud bo'ladi.

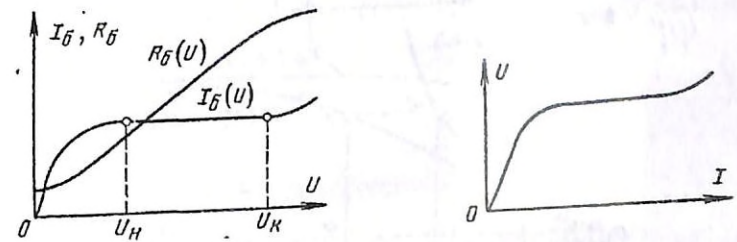
Ushbu grafikda CHIZIQLI va NOCHIZIQLI elementlarning TOK va KUHLANISHLARGA bog'liqlik grafigi keltirilgan. Chiziqli elementlarda KUHLANISH oshgan sari TOK ham oshib boradi, Nochiziqli elementlarda esa har bir nuqtada tok va kuchlanish qiymatlari har xil bo'ladi va o'zgarishlar ham har xil bo'ladi.



18.4-rasm.

BARETTERning VAX keltirilgan. Kuchlanishning U_n va U_k oralig'ida baretterdagi TOK miqdori o'zgar olmaydi, qarshilik esa R_b tok oshgan sari oshib boradi

TERMOREZISTOR (kuchlanishni normal holatga keltiruvchi qurilma)ning VAX keltirilgan. Harorat oshgan sari qarshilik kamayib boradi. Bu qurilma elektr zanjirlarda haroratni o'lchash va normallashtirish uchun ishlatiladi.



18.5-rasm.

Nochiziqli ikkita paralel ulangan elementlar va ularning VAX quyidagicha berilgan bo'lsa:

$$r_1(I_1) \text{ va } r_2(I_2) \quad I_1(U_1) \quad \text{va} \quad I_2(U_2)$$

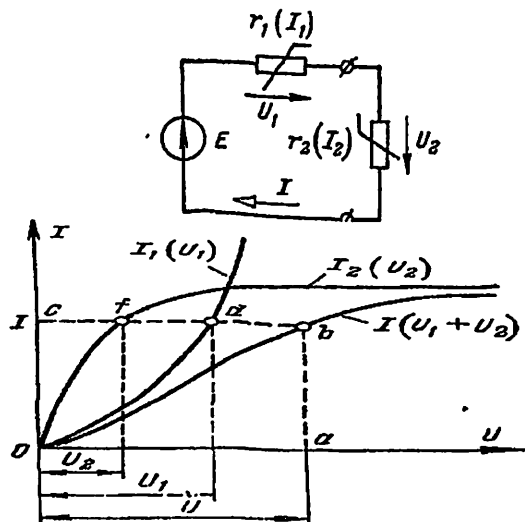
Berilgan zanjir uchun kuchlanishning toklar yig'indisiga ($I_1 + I_2$) bog'liqlik grafisini chizish kerak bo'ladi.

Paralel ulangan elektr zanjirlarida shoxobchalardagi kuchlanishlar bir-biriga teng bo'lganligini $U_1 + U_2 = U$ va $I = I_1 + I_2$ e'tiborga olgan holda, ordinata o'qiga toklar qiymatini qo'yamiz (OS nuqta), S nuqtadan to'g'ri chiziq (sd nuqta). Shu nuqtadan ordinata o'qiga paralel bo'lgan (da kesimini tushuramiz), natijada ad va af masshtabga teng bo'lgan kesma olamiz.

Xuddi shunday yo'l bilan paralel ulangan har qanday nochiziqli elektr zanjir parametrlarini grafik usulda hisoblash mumkin.

18.1. Ketma-ket ulangan nochiziqli elementlar ulangan elektr zanjirni grafik usulda hisoblash

Ketma-ket ulangan nochiziqli elektr zanjirlarda tok $I=I_1+I_2$, $U=U_1+U_2$ ga teng bo'ladi. Shu ifodalarni e'tiborga olgan holda, bir xil kuchlanishlar qiymatida toklar yig'indisi topiladi (grafikda keltirilgan).



18.6-rasm.

18.2. Nochiziqli rezistiv elementi

Tarkibida sig'im va induktivliklari, ya'ni energiyani zahiralovchi reaktiv elementlari bo'lmagan elektr zanjirlari rezistiv zanjirlar deyiladi. Rezistiv elementning sxemadagi shartli belgisi yuqorida keltirilgan.

NCH rezistiv elementni aniqlashda albatta, uning Volt-Amper xarakteristikalari keltiriladi:



$$R = \frac{u}{i} \quad G = \frac{i}{u} = \frac{1}{R}; \quad G_d = S = \frac{di}{du} = \frac{1}{R}. \quad (18.1)$$

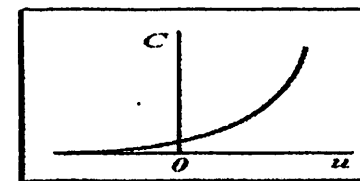
18.3. Nochiziqli sig'im.

Nochiziqli sig'imning sxemadagi shartli belgilanishi quyida keltirilgan:

Undagi to'plangan zaryad $q=q(u)$ kuchlanishga $u(t)$ nochiziqli bog'lanishda bo'ladi.



$$C = \frac{q}{u_C}; \quad C_d = \frac{dq}{du_C}. \quad (18.2)$$

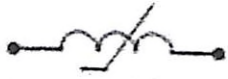


18.7-rasm.

$$i = C(u) \frac{du}{dt}. \quad (18.3)$$

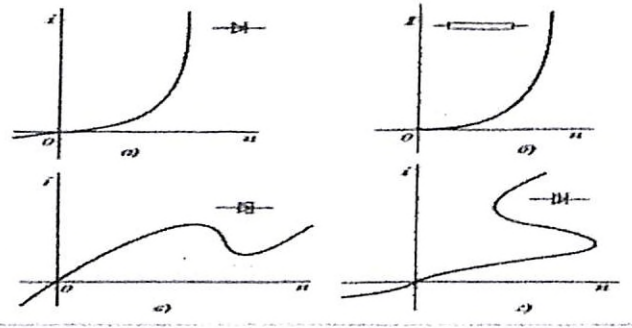
18.4. Nochiziqli induktivlik

Nochiziqli induktivlikning elektr sxemadagi shartli belgisi quyida rasmda keltirilgan. Magnit ilashuvning tokka nochiziqli bog'langanligi quyidagicha ifodalanadi:



$$L = \frac{\psi}{i}; \quad L_d = \frac{d\psi}{di}. \quad (18.4)$$

Real elementlarning NCH rezistiv elementlar modellari shaklidagi tavsiflanishiga diod, tiristor, dinistor misol bo'la oladi.



18.8-rasm.

Chiziqli elektr zanjir parametrlari Om qonuni orqali hisoblansa, nochiziqli VAX katta tartibdagi ko'phadlar orqali hisoblanadi:

$$i = a_0 + a_1u + a_2u^2 + a_3u^3 + a_4u^4 + a_5u^5 + \dots \quad (18.5)$$

Bu formulada: a_0 – tokning doimiy tashkil etuvchisi;
 $a_1 \dots a_5$ – VAX turiga bog'liq bo'lgan va o'tkazuvchanlik o'lchov birligiga ega bo'lgan doimiy koeffitsiyentlar.

Nochiziqli elektr zanjirlar VAXlari qanchalik chiziqli elektr zanjirlar VAX laridan farq qilsa ko'phadli formuladagi daraja ko'rsatgichlari shunchalik katta tartibga ega bo'lib boraveradi va zanjir qutblariga (klemmalariga) qo'yilgan kuchlanish o'zgarib borgan sari TOK ham shunchalik o'zgarib boraveradi.

Misol uchun

Agar, kirish signali quyidagi garmonik funksiya ko'rinishiga ega bo'lsa:

$$u = U_m \sin \omega_1 t. \quad (18.6)$$

Nochiziqli elektr zanjirining VAXsi 2 tartibdagi ko'phaddan tashkil topgan bo'lsa va quyidagi tenglama bilan ifodalansa:

$$i = a_1u + a_2u^2 \quad (18.7)$$

U kuchlanish o'rniga $U_m \sin \omega_1 t$ ifodani qo'yamiz va quyidagi tenglamani olamiz:

$$i = a_1U_m \sin \omega_1 t + a_2U_m \sin^2 \omega_1 t. \quad (18.8)$$

Va quyidagi ifodani e'tiborga olsak,

$$\sin^2 \omega_1 t = \frac{1 - \cos 2\omega_1 t}{2}. \quad (18.9)$$

U holda nochiziqli elektr zanjirida TOK quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$i = a_1U_m \sin \omega_1 t + \frac{1}{2}a_2U_m - \frac{1}{2}a_2U_m \sin 2\omega_1 t. \quad (18.10)$$

DEMAK, NOCHIZIQLI ELEKTR ZANJIRI: kirish qismiga uzatilgan KUCHLANISH ω_1 chastotali sinusoidal signaldan tashkil topgan bo'ladi, TOK esa doimiy kattalikdan

$$\frac{1}{2}a_2U_m \quad (18.11)$$

va ikkilangan chastotali garmonik signaldan tashkil topgan

$$\frac{1}{2}a_2U_m \sin 2\omega_1 t. \quad (18.12)$$

NAZORAT SAVOLLARI

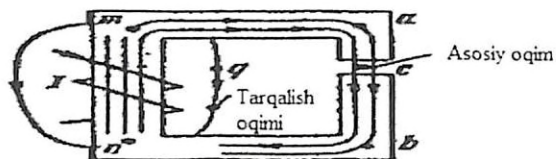
1. Nochiziqli qarshilik.
2. Nochiziqli sig'im.
3. Nochiziqli induktivlik.

XIX bob. MAGNITLI ZANJIRLAR

MAGNIT OQIMI BOG'LANGAN FERROMAGNIT MATERIALLAR VA MAGNIT YURITUVCHI KUCHLAR YIG'INDISIGA MAGNIT ZANJIRLAR DEB ATALADI.

Magnit zanjirlar tarmoqlanmagan va tarmoqlangan turlariga bo'linadi.

Magnit kesim yuzalarida magnit oqimi bir xil bo'lgan magnit zanjiriga TARMOQLANMAGAN magnit zanjiri deb ataladi. TARMOQLANMAGAN magnit zanjiriga quyidagi rasmdagi zanjir misol bo'la oladi. Tarmoqlanmagan magnit zanjirida magnit OQIMI bir xil bo'ladi, ya'ni:

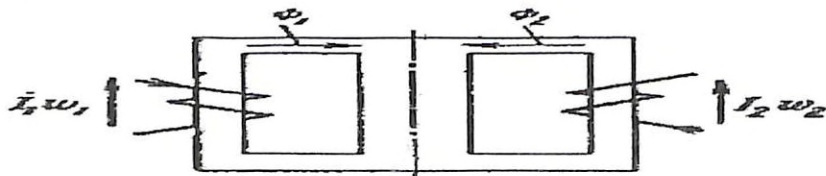


19.1-rasm.

$$\Phi = \int B dS = 0 \quad (19.1)$$

Magnit oqimi magnit kesim yuzalarida HAR XIL bo'lgan magnit zanjirlari TARMOQLANGAN magnit zanjiri deb ataladi.

Tarmoqlangan magnit zanjirlari SIMMETRIK va NOSIMMETRIK magnit zanjirlariga bo'linadi. SIMMETRIK magnit zanjiriga quyidagi rasmdagi zanjir misol bo'ladi:



19.2-rasm.

Agar, rasmda ko'rsatilgan magnit zanjirining ikki tomonidagi magnit yurituvchi kuchlari:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \quad (19.2)$$

va MAGNIT OQIMLARI

$$\Phi_1 = \Phi_2 \quad (19.3)$$

bir-biriga teng bo'lsa, bunday zanjir SIMMETRIK deb yuritiladi.

Agar, MAGNIT oqimi va magnit yurituvchi kuchlar bir-biriga teng bo'lmasa, ya'ni:

$$\begin{aligned} I_1 \omega_1 &\neq I_2 \omega_2 \\ \Phi_1 &\neq \Phi_2, \end{aligned} \quad (19.4)$$

bunday magnit zanjiri NOSIMMETRIK magnit zanjiri deb yuritiladi.

Magnit zanjirlarida asosiy kattaliklar quyidagilar hisoblanadi: MAGNIT INDUKSIYASI, MAGNITLANISH va MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGI.

MAGNIT INDUKSIYASI:

$$B = \mu_0(H+J) \quad 1 T = 1 B \cdot c/m^2 = 1 B \cdot \delta/m^2$$

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \mu H = \mu_a H \\ H &= B / \mu_0 \approx 0,8 \cdot 10^6 B \end{aligned} \quad (19.5)$$

MAGNITLANISH:

$$J = \chi H \quad I + \chi = \mu \quad (19.6)$$

Magnitlanish va magnit maydon kuchlanganligi o'lchov birliklari: (A/m) o'lchov birligi bilan o'lchanadi.

MAGNIT OQIMI: o'lchov birligi (Veber – Vb)

$$\Phi = \int B dS \quad (19.7)$$

Magnit zanjirlar parametrlarini hisoblashda asosiy qonunlardan biri bu TO'LIQ TOK QONUNI hisoblanadi va quyidagicha ifodalanadi:

YOPIQ MAGNIT KONTURI ORQALI AYLANAYOTGAN MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIK VEKTORI SHU KONTUR ORQALI OQAYOTGAN TOKLARNING ALGEBRAIK YIG'INDISIGA TENG BO'LADI:

$$\oint H dl = \sum I \quad (19.8)$$

Agar magnit katushkasidagi cho'lg'amlar sonini e'tiborga olsak, u holda to'liq tok qonuni quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$\oint H dl = I \omega = F \quad (19.9)$$

Bu yerda, F —magnitlanish kuchi, yoki magnit yurituvchi kuch deb yuritiladi, o'lchov birligi (amper- vitkax).

Yuqoridagi formulani e'tiborga oladigan bo'lsak, MAGNIT ZANJIR QONUNI quyidagicha ifodalanadi:

$$\sum_{k=1}^{k=n} H_k l_k = \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k}{\mu_{ak}} l_k = F \quad (19.10)$$

Bu ifodada: l — magnit induksiyasi liniyasining o'rtacha uzunligi.

19.1. Magnit zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari

KIRXGOFNING BIRINCHI QONUNI;

Magnit zanjirining har qanday tugunlaridagi magnit oqimlarning algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum \Phi = 0 \quad (19.11)$$

KIRXGOFNING IKKINCHI QONUNI:

Har qanday yopiq konturdagi magnit kuchlanganliklar tushumining algebraik yig'indisi shu konturning magnit yurituvchi kuchlarining algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum U = \sum I \omega \quad (19.12)$$

MAGNIT QARSHILIGI, MAGNIT ZANJIR UCHASTKASINING MAGNIT O'TKAZUVCHANLIGI. MAGNIT ZANJIRI UCHUN OM qonuni.

Qoidaga ko'ra magnit kuchlanganlik quyidagicha ifodalanadi:

$$U = Hl \quad (19.13)$$

Bu ifodada:

$$H = B/(\mu\mu_0) = \Phi/(\mu\mu_0 S), \quad (19.14)$$

Φ — magnit oqimi;

S — magnit uchastkasining ko'ndalang kesim yuzasi.

Yuqoridagi formulalarni inobatga olgan holda, MAGNIT ZANJIRI UCHUN OM qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} U &= \Phi l / (\mu\mu_0 S) = \Phi R \\ R &= l / (\mu\mu_0 S). \end{aligned} \quad (19.15)$$

Magnit zanjiri uchun OM qonuni magnit oqimi bilan magnit kuchlanganlik o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

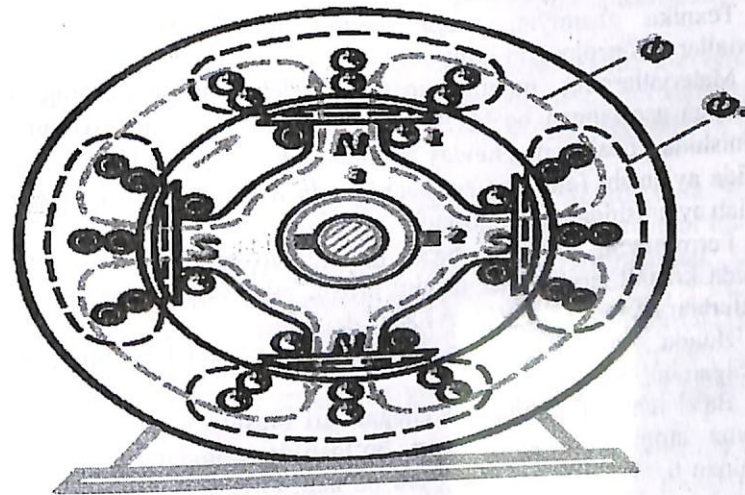
Bu ifodalarda quyidagi formula MAGNIT ZANJIR UCHASTKASINING MAGNIT QARSHILIGI deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$R = l / (\mu\mu_0 S). \quad (19.16)$$

Magnit uchastkasining magnit qarshiligi miqdoriga teskari bo'lgan ifoda MAGNIT O'TKAZUVCHANLIK deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$G = 1/R = \mu\mu_0 S/l. \quad (19.17)$$

Magnit zanjirlar ko'pchilik mashinalar, apparatlar, elektromagnit asboblarda va o'lchash texnikasi hamda avtomatika qurilmalarining asosini tashkil qiladi. Masalan, quyidagi rasmda kuchli magnitaviy maydon manbai hisoblangan va tez-tez uchrab turadigan o'zgaruvchan tok elektromagniti ko'rsatilgan:



19.3-rasm.

Bunda elektromagnit energiya mexanik energiyaga va energyaning boshqa ko'rinishlariga hamda teskarisiga almashinadi.

Masalan, o'zgarmas tok sinxron mashinasining rotori chulg'amidan tok o'tganda o'zgarmas "N-S" qutbli magnit maydoni hosil bo'ladi.

Bu magnit maydonning kuch chiziqlari rotor va statorning (A.V.S. chulg'amlarini ham kesib o'tib) po'lat o'zaklari orqali tutashadi. Rotor ma'lum ω burchak tezlik bilan aylanganda statorning chulg'amlarida ω chastotali o'zgaruvchan EYuK induksiyalanadi.

O'zgarmas tokning elektromagnit maydonidan po'lat buyum va metall siniqlarini tashishda ishlatiladigan ko'targich elektromagnitlar qurishda foydalanilishini misol tariqasida ko'rsatish mumkin.

Magnit materiallar yordamida magnit oqimi keskin kuchaytiriladi.

Magnit oqimidan past kuchlanishli toklarni yuqori kuchlanishli toklarga yoki elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda va elektr energiyasini shunga o'xshash tarzda generatsiyalashda foydalaniladi.

Tashqi magnit maydoni ta'sirida magnitlanish xossasiga ega materiallar *magnit materiallari* deb ataladi.

Asosiy magnit materiallarga nikel, kobalt va toza temir asosidagi turli qotishmalar misol bo'ladi.

Texnika ahamiyatga ega magnit materiallariga ferromagnit materiallar va ferromagnit kimyoviy birikmalar (ferritlar) kiradi.

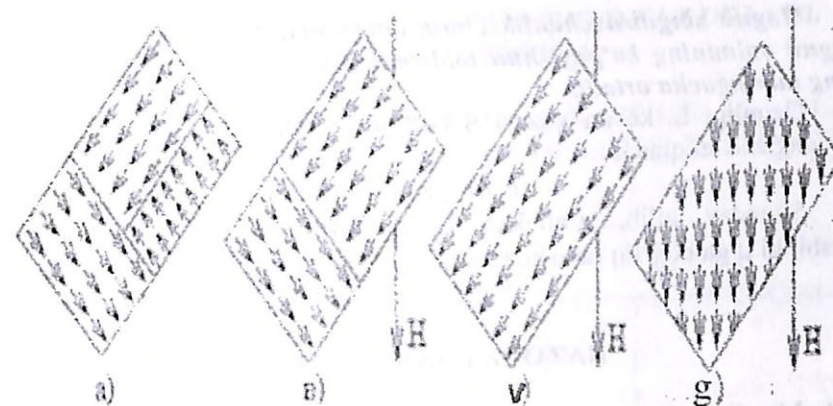
Materiallarning magnit xossalari elektr zaryadlarining ichki harakatiga asoslangan bo'lib, bunda zaryadlar elementar aylanma tok ko'rinishida ifodalanadi. Bunday aylanma toklar elektronlarning o'z o'qi atrofida aylanishi (elektron spinlar) hamda ularning atom ichida orbita bo'ylab aylanishidan hosil bo'ladi.

Ferromagnit hodisasi ba'zi materiallarning ichki mikroskopik qismida kristall strukturalar tashkil qilishi bilan bog'liq bo'lib, bunday strukturalar **MAGNIT DOMENLARI** deyiladi.

Bunda elektron spinlar o'zaro parallel ravishda bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Ba'zi materiallar (qatlam chegaralari orasidagi qalinlik bir necha o'n-yuz atom masofasiga teng bo'lgan)da domenlarning o'lchami taxminan $0,001-10 \text{ mm}^3$ oralig'ida bo'ladi. O'ta toza materiallarda esa domenlarning o'lchami yuqorida keltirilgan qiymatdan ham kattaroq bo'ladi.

Ferromagnitning magnitlanishida domenlarda sponlarning yo'nalish olishi.



19.4-rasm.

Polikristall magnetiklarda anizotropiya keskin ifodalangan hollarda ferromagnit magnit teksturaga ega bo'ladi.

Kerakli magnit tekstura olish orqali materialda ma'lum yo'nalishda yuqori magnit xarakteristikaga erishish mumkin.

Tashqi magnit maydoni ta'sirida ferromagnit materialning magnitlanish jarayoni quyidagicha kechadi:

- 1) magnit momenti maydon yo'nalishi bilan kichik burchak hosil qilgan domenlar kattalashadi va boshqa domenlar o'lchami kichrayadi;
- 2) magnit momentlari maydon yo'nalishi uzra buriladi va bir xil yo'nalishga ega bo'ladi.

Magnit to'yinishi domenning kattalashishi to'xtaganda va o'z-o'zidan magnitlangan barcha monokristall qismlarning magnit momenti maydon uzra yo'nalganida sodir bo'ladi. Domenlardagi spinlar yo'nalishining o'zgarishi rasmda keltirilgan.

Ferromagnit monokristallari magnitlanayotganda ularning chiziqi o'lchamlari o'zgaradi. Bu hodisa *magnit-striksiya* deyiladi. Temir monokristalining magnit-striksiyasi kristallning har xil yo'nalishlarida turlicha bo'ladi.

Materiallarning nisbiy magnit singdiruvchanligi magnit induksiyasi (V) ning magnit maydoni kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\rho_p = B/\mu_0 H. \quad (19.18)$$

Magnit materiallarning magnit singdiruvchanligi birdan yuqori $\mu \gg 1$ ($\mu_p = \mu_0 \cdot \mu$, $\mu = 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Hn/m}$) bo'ladi.

Magnit singdiruvchanlik chulg'amga magnit o'zak kiritilganda magnit oqimining ko'payishini bildiradi. Bu yuksalish bir necha o'n ming martagacha ortadi.

Uzunligi L , kesim yuzasi S bo'lgan o'zakning magnit qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{\mu} = L/\mu S = L/\mu\mu_0 S. \quad (19.19)$$

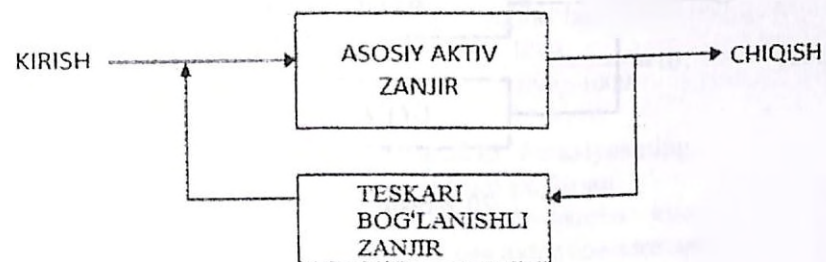
Shunday qilib, g'altakka o'zak kiritilishi natijasida magnit qarshiligi μ ga bog'liq ravishda kamayadi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Magnit zanjirlar ta'rifi.
2. Magnit zanjir turlari (tarmoqlangan va tarmoqlanmagan MZ).
3. Simmetrik va nosimmetrik MZ.
4. Magnit zanjirlar uchun KIRXGOF qonunlari.
5. MZ to'liq tok qonuni.
6. MZ to'liq magnit qonuni.
7. MZ uchun OM qonuni.
8. MZ to'liq magnit qarshiligi, magnit o'tkazuvchanlik.

XX bob. TESKARI BOG'LANGAN ELEKTR ZANJIRLARI. AVTOGENERATORLAR

CHIQUSHIDAGI SIGNAL QAYTADAN KIRISHIGA UZATILADIGAN ZANJIR TESKARI BOG'LANISHLI (TB) ZANJIR DEB ATALADI.



20.1-rasm.

Zanjirga teskari bog'lanishni kiritish zanjirning ishchi xarakteristikalarini o'zgartiradi.

Masalan, chiqishdagi signalning bir qismi TB orqali kirishga uzatilsa hamda u kirishdagi signaldan ayirib tashlansa bunday TB manfiy teskari bog'lanish deb ataladi (manfiy TB).

Agar, chiqishdagi signalning bir qismi kirishga uzatilsa hamda u kirishdagi signalga qo'shilsa, bunday teskari bog'lanish musbat teskari bog'lanish (Musbat TB) yoki regenerativ teskari bog'lanish deyiladi.

Manfiy teskari bog'lanish kuchaytirish koeffitsientini kamaytiradi va tekislaydi, uning o'tkazish oralig'ini kengaytiradi, shovqin va bo'zilishlarni kamaytiradi. Kuchaytirgichlarda ko'proq manfiy TB qo'llanadi.

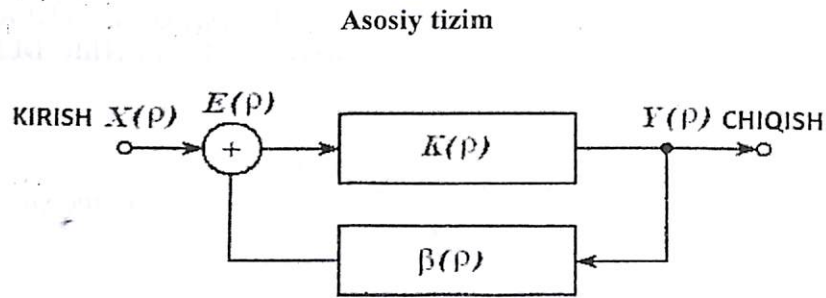
Musbat teskari bog'lanish kuchaytirish koeffitsientini orttiradi, o'tkazish oralig'ini kichraytiradi va kuchaytirish barqarorligini kamaytiradi. Musbat TB ko'pincha generatorlarda qo'llanadi.

Aktiv nochiqliq elementlardan tashkil topgan elektr zanjirlarda elektr tebranishlar davriy ta'sirsiz o'z ichidan hosil bo'lishi mumkin.

O'zgarmas manbalar energiyasining tebranishlar energiyasiga almashish jarayoni zanjirdagi avtotebranishlar deb ataladi.

Avtotebranishlar hosil bo'ladigan zanjir teskari bog'lanishli zanjirlar hisoblanadi.

Operator uzatish funksiyalarini $K(R)$ va $\beta(R)$ bo'lgan ikkita tizim quyidagicha bog'langan bo'lsin:



20.2-rasm.

Teskari tizim

Bunday tizim teskari bog'lanishli tizim deb yuritiladi. Agar, $X(R)$ va $Y(R)$ mos ravishda kirishdagi va chiqishdagi operator signallar bo'lsa, u holda:

Teskari bog'langan tizimning uzatish funksiyasi $N(R)$ ni aniqlaymiz:

$$Y(p) = E(p)K(p), \quad E(p) = X(p) + \beta(p)Y(p)$$

va $X(p) = E(p) - \beta(p)Y(p)$ ga teng bo'lsa, u holda:

Demak,

$$H(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{E(p)K(p)}{E(p) - \beta(p)Y(p)} = \frac{K(p)}{1 - \beta(p)\frac{Y(p)}{E(p)}} = \frac{K(p)}{1 - \beta(p)K(p)} \quad (20.1)$$

Agar, $P = j\omega$ bo'lsa, u holda, bu ifoda quyidagi shaklda bo'ladi:

$$H(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{1 - \beta(j\omega)K(j\omega)} = \frac{K(j\omega)}{F(j\omega)} \quad (20.2)$$

Bu formulada ushbu ifoda

$F(j\omega) = 1 - \beta(j\omega) \cdot K(j\omega)$ – teskari bog'lanishning kompleks chuqurligi deb yuritiladi.

Agar, $|1 - \beta(j\omega) \cdot K(j\omega)| > 1$ bo'lsa, tizimning uzatish koeffitsiyenti moduli va unga mos ravishda chiqishdagi signal amplitudasi kamaygani sababli teskari bog'lanish manfiy TB bo'ladi.

Agar, $|1 - \beta(j\omega) \cdot K(j\omega)| < 1$ bo'lsa, teskari bog'lanish musbat TB bo'ladi. **Masalan**, kuchaytirish koeffitsiyenti $K(j\omega) = 1000$ bo'lsa, teskari bog'lanishning uzatish koeffitsiyenti $\nu(j\omega) = -0,099$ bo'lsa, u holda teskari bog'lanishni o'z ichiga olgan kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

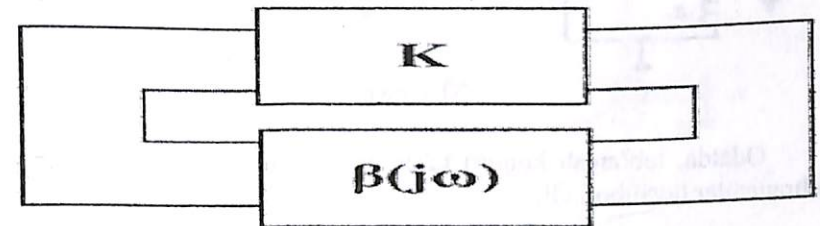
$$H(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{1 - \beta(j\omega)K(j\omega)} = \frac{1000}{1 - (-0,099) \cdot 1000} = 10. \quad (20.3)$$

Manfiy teskari bog'lanish uzatish funksiyasining barqarorligini (kuchaytirgich ishining barqarorligini) ko'paytiradi.

Manfiy teskari bog'lanish deyarli barcha kuchaytirgichlarda ishlatiladi. Musbat teskari bog'lanish esa avtogeneratorlarda ishlatiladi.

20.1. Avtogeneratorlar

Tashqi ta'sirsiz hosil bo'ladigan tebranishlar–avtotebranishlar deyiladi.



20.3-rasm.

Bu sxemada:

K – kuchaytirgich elementi;

$\beta(j\omega)$ – teskari bog'langan to'rtqutbli elementi.

Ichida avtotebranishlar hosil bo'ladigan maxsus qurilma avtogenerator deb ataladi. (masalan, soat, yurak, o'pkaning harakati va h.k.)

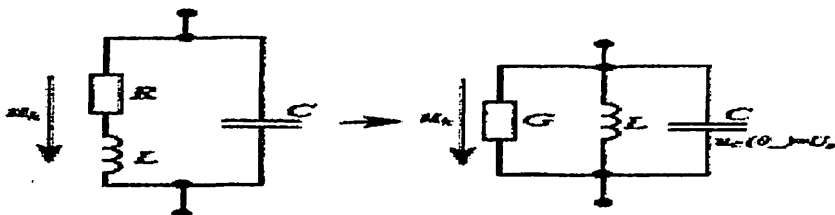
Avtotebranishlarning xususiyatlari:

- 1) tashqi ta'sirlardan hosil bo'lmaydi, sistema o'zining tebranish xususiyatidan hosil bo'ladi;
- 2) tebranish shakli, ularning amplitudasi va chastotasi sistemaning o'z xususiyatidan aniqlanadi;
- 3) hosil bo'layotgan avtotebranishlar maxsus energiyaga ega (sistemada o'z manbai bor).

Avtogeneratoring umumiy sxemasiga kuchaytirgich va TB to'rtqutbligi kiradi; ularning uzatish koeffitsiyentlari shartini bajariladigan qilib tanlanadi.

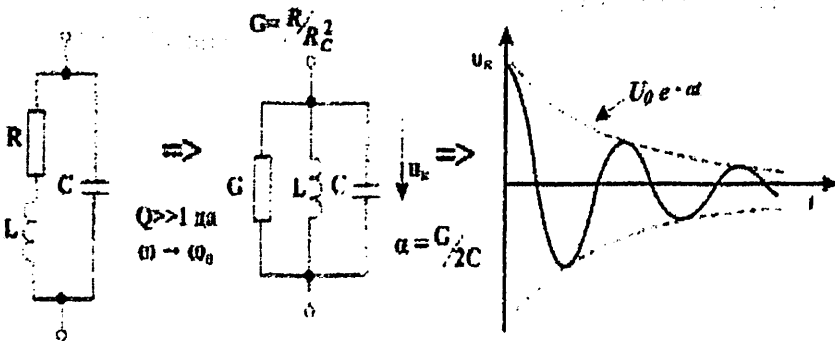
LC-avtogenerator

Parallel tebranish konturiga asosan, LC – avtogeneratorni tashkil etish mumkin. Misol uchun, quyidagi elektr zanjirlari buning isbotidir.



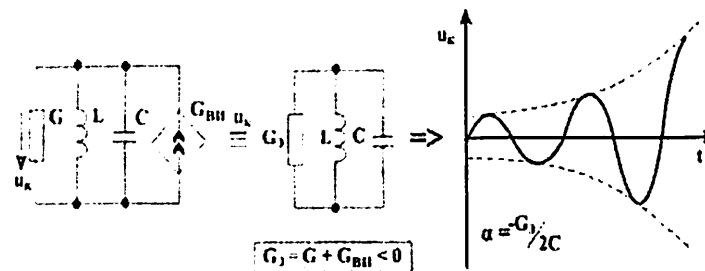
20.4-rasm.

Odatda, tebranish konturi ta'sir bo'lmagan holda faqat so'nuvchi tebranishlar hosil bo'ladi:



20.5-rasm.

Agar, konturga tebranish hosil qiluvchi elementlar ulansa, u holda tebranishlar o'suvchi bo'lib qoladi



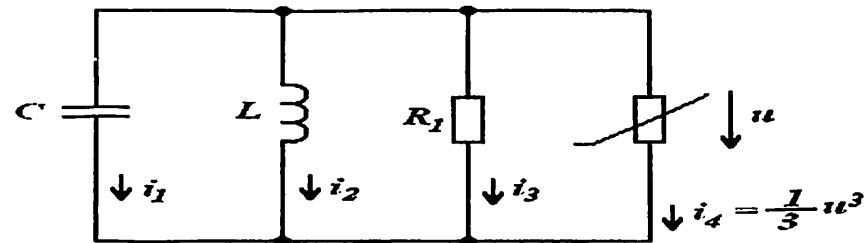
$$C \frac{d^2 u_k}{dt^2} + G \frac{du_k}{dt} + \frac{1}{L} u_k = G_{BH} \frac{du_k}{dt} \Rightarrow u_k = U_0 e^{\alpha t} \cos(\omega_0 t + \psi)$$

20.6-rasm.

Avtogenerator differensial tenglamalari

Agar, quyidagi ko'rinishdagi avtogenerator berilgan bo'lsa, u holda:

$$L = \frac{1}{C} = -\varepsilon \tag{20.4}$$



20.7-rasm.

Quyidagi tenglamalar o'rinli bo'ladi:

$$R=1 \quad i_4 = -\frac{1}{3} u^3 \tag{20.5}$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha:

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0. \tag{20.6}$$

Yuqoridagi zanjir uchun toklar quyidagicha ifodalanadi:

$$i_1 = C \frac{du}{dt}, \quad i_3 = \frac{U}{R}, \quad i_2 = \frac{1}{L} \int u dt, \quad i_4 = -\frac{1}{3} u^3. \tag{20.7}$$

Agar, bir-birini o'rniga qo'ysak, quyidagi ifodani olamiz:

$$C \frac{du}{dt} + \frac{1}{L} \int u dt + \frac{U}{R} - \frac{1}{3} u^3 = 0. \quad (20.8)$$

Vaqt bo'yicha differensiallab quyidagini olamiz:

$$C \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{L} u + \frac{1}{R} \frac{du}{dt} - u^2 \frac{du}{dt} = 0; \quad \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} - u^2 \right) \frac{du}{dt} + \frac{1}{CL} = 0. \quad (20.9)$$

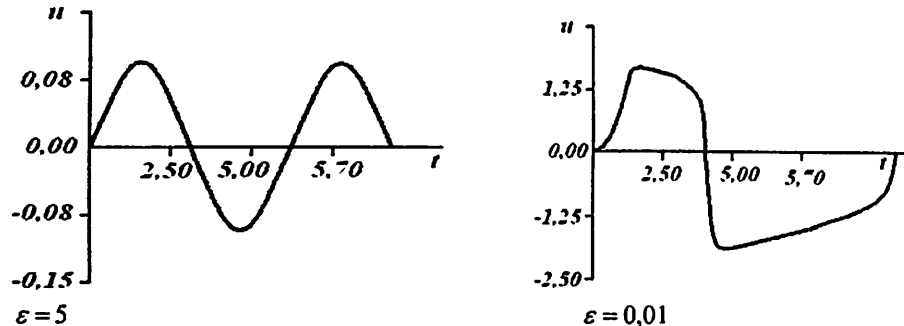
Yuqoridagi formulalarni bir-biriga qo'ysak,

Van - der - Polning nochiqli differensial tenglamasini olamiz:

$$u'' - \varepsilon(1 - u^2)u' + u = 0. \quad (20.10)$$

Tebranish konturi bo'lgan avtogeneratorlarning ko'plab tenglamalari Van-der-Pol tenglamalariga keltiriladi.

Avtogeneratorlar parametrlarini hisoblaganda quyidagi xarakteristikalarini olishimiz mumkin:



20.8-rasm.

Keltirilgan grafiklar avtogeneratorlar parametrlarini hisoblashda kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishini $\varepsilon=0,01$ har xil qiymatlari orqali ifodalaydi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Teskari bog'langan zanjirlar, ta'rifi, sxemasi.
2. Manfiy va musbat teskari bog'lanish zanjirlari.
3. Teskari bog'lanishning uzatish funksiyasi.
3. Avtotebranishlar, ta'rifi.
4. Avtogeneratorlar, ta'rifi.
5. LC- avtogenerator, sxemasi.
6. So'nuvchi tebranishlar.
7. O'suvchi tebranishlar.
8. Avtogeneratorlar differensial tenglamalari.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-4947-son farmoni. Toshkent, 2017-yil 7-fevral.
2. V.A.Tulyaganova, A.A.Yadgarova. Elektr Zanjirlar Nazariyasi fani bo'yicha talabalarning mustaqil tayyorlanishlari uchun uslubiy ko'rsatma. TATU. Toshkent, 2015.
3. Fundamentals of Electric Circuits/ Charles K/ Alexander, 2013.
4. Ta'limda innovatsion texnologiyalar. Ishmuxamedov R., Abduqodirov A., Pardayev A. Toshkent, 2008.
5. Бакалов В.П., Воробьенко П.П., Крук Б.И. Теория электрических цепей.: Учебник для ВУЗов; Под ред. В.П. Бакалова, -М.: Радио и связь, 1998.
6. Белецкий А.Ф. Теория электрических цепей: Учебник для ВУЗов. -М.: Радио и связь, 1986. -544 с.
7. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи: Учебник для ВУЗов. -3-е изд., -М.: Высш. Шк., 1990. -400 с.
8. Крылов В.В., Корсаков С.Я. Основы теории цепей для системотехников: Учеб. Пособие для ВУЗов. -М.: Высш. Шк., 1990. -224 с.
9. Шлебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей - М: Высшая школа 1990. - 544 с.
10. Основы теории цепей: Учебник для ВУЗов. Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.Н. Нетушил, С.В. Страхов - М: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
11. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. 2017.
12. Mirziyoyev Sh.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash - yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. 2017.
13. Mirziyoyev Sh.M. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. 2017.
14. Mirziyoyev Sh.M. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik-har bir rahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2016-yil yakunlari va 2017-yil istiqbollariga bag'ishlangan majlisidagi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining nutqi. // Xalq so'zi gazetasi. 2017-yil 16-yanvar, № 11.
15. Теория электрической связи: Учебник для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; Под ред. Д.Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 1999. - 432 с.
16. Теория электрической связи: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. - М.: «Академия», 2010. - 336 с.
17. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003. - 1104 с.
18. Прокс Дж. Цифровая связь.- М: Радио и связь, 2000.
19. Ю.П. Акулиничев. Теория электрической связи: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2010.

**A.A.TULYAGANOV, S.S.PARSIYEV,
V.A.TULYAGANOVA, U.M.ABDULLAYEV**

**ELEKTR ZANJIRLAR
NAZARIYASI**

Maxsus fakultet talabalari uchun

(O'quv qo'llanma)

Toshkent – «Aloqachi» – 2018

Muharrir: M.Mirkomilov
Tex. muharrir: A.Tog'ayev
Musavvir: B.Esanov
Musahhiha: N.Hasanova
Kompyuterda
sahifalovchi: F.Tog'ayeva

Nashr.lits. AIN^o176, 11.06.11.
Bosishga ruxsat etildi:6.09.2018. Bichimi 60x841 /16.
«Timez Uz» garniturasini. Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 9,75. Nashr bosma tabog'i 9,0.
Adadi 200. Buyurtma № 24.

«Nihol print» Ok da chop etildi.
Toshkent sh., M. Ashrafiy ko'chasi, 99/101.