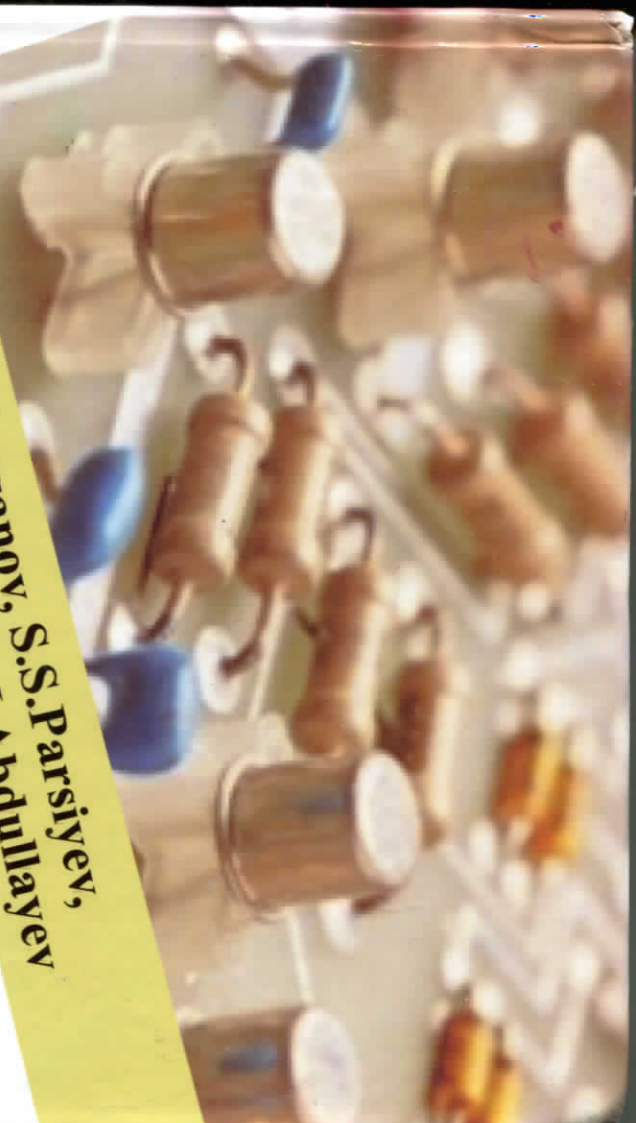
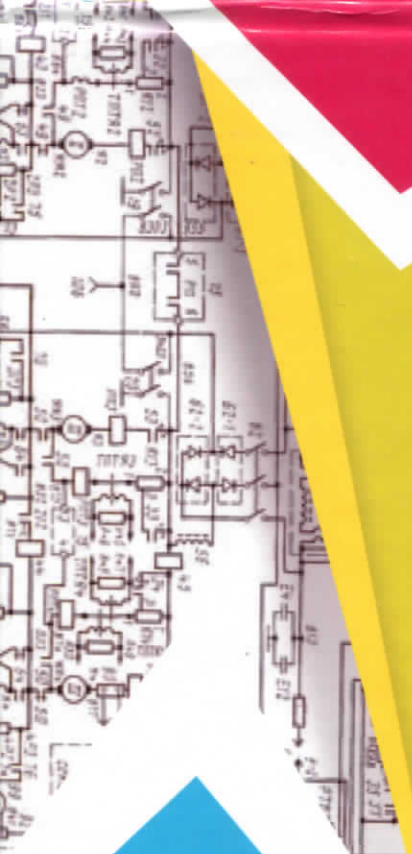


A.A.Tulyaganov, S.S.Parsiyev,
V.A.Tulyaganova, U.M.Abdullayev

ELEKTR ZANJIRLAR NAZARITYASI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT
TEKNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARINI
RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

A.A.TULYAGANOV, S.S.PARSIVEV,
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.Parsiyeu, 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 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 jihatlari 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 tekhi qarshiligi.....	12
II bob. Kuchlanish. Elektr potentsiali va potentsiallar farqi. Elektr yurituvchi kuch.	14
2.1. Kuchlanish.....	14
2.2. Potentsial. 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 (EYVK).....	21
3.4. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan zanjirlar.....	22
3.5. Elektr zanjir elementlarining Volt-Amper xarakteristikalari.....	23
3.6. Elektr zanjirlarning topologik xarakteristikalari.....	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 almashirish (ekvivalent almashirish usuli).....	34
5.1. Ekvivalent almashirish usuli.....	34
5.2. Kontur toklar usuli.....	36
5.3. Tugunlar potentsiali usuli.....	37
5.4. O'zgarmas 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.....	42



6.4.	Induktivlik orgali garmonik tok o'tishi.....	45
6.5.	Garmonik tokning sig'im orgali o'tishi.....	46
VII bob.	Sinusoidal funksiyalarni vektor diagrammasi va kompleks sonlar orgali 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 orgali hisoblash.....	60
IX bob.	Kompleks qarshilik va o'tkazuvchanlik. Kirxgof va Om qonunlarini kompleks miqdorlar orgali 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 tarkiblariga 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 bo'slanishiga nisbatan simmetrik shakli.....	85
XIII bob.	Ikkiqutbli elektr zanjirlari. Ta'rifi va klassifikatsiyalari.....	87
13.1.	Bir elementi reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri.....	88
13.2.	Ikki elementi 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 orgali tahlil qilish.....	98
XV bob.	O'tish jarayonlarini operator usulida hisoblash.....	102
XVI bob.	Spektral (chastotaviy) usul yordami bilan CHEZlarni tahlil qilish. To'rqtubliklar (TQ).....	110
16.1.	To'rqtubliklar (TQ).....	112
XVII bob.	Battervord, Cheblshev 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.....	128
18.4. Nochiziqli induktivlik.....	130
XIX bob. Magnitli zanjirlar.....	132
19.1. Magnit zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari.....	137
XX bob. Teskari bog'langan elektr zanjirlari. Avtogenertorlar.....	139
20.1. Avtogenertorlar.....	143
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 uzatildi, internet tarmog'i orqali barcha axborotlarni qabul qilish, uzatish va axborot almashish imkoniyati yaratildi.

Ushbu telemekommunikatsiya 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.

Telemekommunikatsiya 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 inijener 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 minnatdorchiiliklarini 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 **ZARYADLAR**NING paydo bo'lishi bilan tushuntirishi mumkin. Keyinchalik bu mayda zaryadlar **ELEKTR ZARYADLARI** deb nomlandi.

Zaryadlangan jismlar bir-birlarini tortishlari va itarishlari orqali ularni aqarish xususiyati paydo bo'ladi. 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'ladi.

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 **ELEKTRODAN** tashkil topganligi aniqlandi. Agar musbat zaryadlangan yadrolar, manfiy zaryadlangan elektronlarga 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 inijener-fizigi nomiga)

6 290 000 000 000 000 000

6,29.10¹⁸ elektron zaryadlar.

Demak,, **1KI = 6,29.10¹⁸** 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.

$$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon_0 \epsilon_r R^2}. \quad (1.1)$$

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;

q₁, q₂ – zaryadlar, Kl;

R – zaryadlangan zarrachalar orasidagi masofa, m;

ε₀ – dielektrik singdiruvchanlik;

ε_a = ε₀ • ε_r;

ε₀ – vakuumning dielektrik singdiruvchanlik doimiyligi;

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

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

$$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon_0 \epsilon_r R^2}. \quad (1.2)$$

Tajriba yo'llari bilan aniqlanganiki 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 **ELEKTRILANGAN MAYDON** deb yuritiladi.

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

Zaryadlari o'zgaraydigan maydon **ELEKTROSTATIK** maydon deb yuritiladi.

Elektr maydonning har bir nuqtasi elektr maydonning **KUCHLANGANLIGI E** bilan xarakterlanadi.

Kuchlanganlik $E = \frac{F}{q}$ formula orqali ifodalalanadi, bu yerda, **F** maydonda joylashgan **q** zaryadga ta'sir etuvchi kuch.

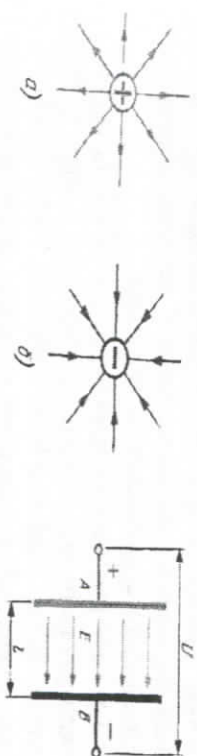
Zaryadlangan zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch **F NYUTONDA (N)**, zaryad **q esa KULONDA (Kl)**, elektr maydonning kuchlanganligi **E esa (N/Kl)** da o'lchanadi.

Elektr maydon kuchlanganligi deb, elektr maydonning 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:

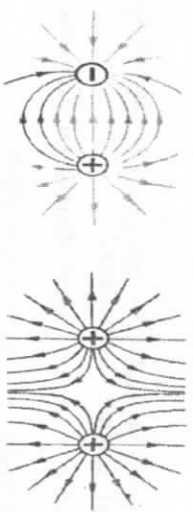
Elektr maydonning kuchlanganligi vektor kattalik hisoblanadi va elektr maydonini va shu maydon orqali zaryadlangan zarrachalarga ta'sir etuvchi kuchni xarakterlaydi.

Elektr maydon maydonning kuchlanganlik chiziq-lari bilan tasvirlanadi. Maydon kuchlanganligining vektori maydonning har bir nuqtasida bir hil bo'lgan maydon **BIR TURDAGI MAYDON** deb ataladi.

Elektr kuchlanganlik chiziq-lari yopiq chiziq-lar 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 gochishlari.

1.4. Elektr toki

Har qanday metall o'tkazgichlarda erkin harakatlanuvchi **ELEKTRONLAR** mavjud bo'ladi. Agar metall o'tkazgich uchlariga (klemmalariga) 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 holarda o'tkazgich kesimidan bir vaqtning o'zida bir xil miqdordagi elektr zaryadlari ko'chib o'tishi kuzatiladi. Elektronlarning tartibli harakati orqali zaryadi zarrachalarning o'tkazgichning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chib o'tishi **ELEKTR TOKI** deb ataladi, qisqacha **TOK** deyiladi.

Tokning o'lehov birligi fransuz fiziki **N.M.AMPPER** (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 (garnonik) 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'rilyotgan 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, oqibarda 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'lehov 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:

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

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 Rasmnda ko'rsatilgandek belgilanadi:



1.3-rasm. Rezistor elementini sxemada belgilanishi.

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

Rezistorli zanjirlarda o'tkazuvcchanlik quyidagi formula orqali

$G = \frac{1}{R}$ ifodalanadi. O'tkazuvcchanlikning o'lchov birligi nemis

elektrotexniki **E.V.Simens** (1816–1892) sharafiga **Simens (Sm)**da o'lchanadi. Solishtirma qarshilikka teskari bo'lgan kattalik **SOLISH-**

TIRMA O'TKAZUVCHANLIK deb ataladi va $\gamma = \frac{1}{\rho}$ formula orqali

ifodalanadi. Solishtirma o'tkazuvcchanlikning o'lchov birligi quyidagi qiymat bilan aniqlanadi:

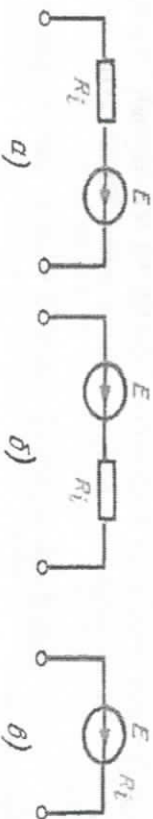
$$\frac{1}{\text{Om} \cdot m} \text{ yoki } \frac{\text{mm}^2}{\text{Om} \cdot m}$$

1.7. Manbaning ichki qarshiligi

Har qanday elektr energiyasi manbalari ichki qarshilikka ega bo'ladi 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.

NAZORAT SAVOLLARI

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'tkazuvcchanlik tushunchasi.
10. Solishtirma o'tkazuvcchanlik.
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.

$$\phi_a = \phi_b + IR. \quad (2.1)$$

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

$$U_{ab} = \phi_a - \phi_b. \quad (2.2)$$

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

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

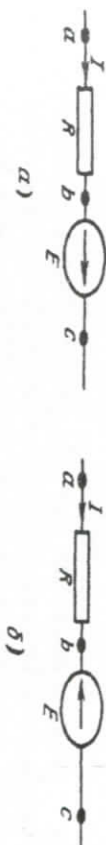
Elektrotexnikada qarshilikning ikki chekka nuqtalaridagi potensiallar farqi kuchlanish **PASAYISHI** deb ataladi.

Zanjirning biron bir uchastkasida potentsiallarning pasayish yo'nalishi strejka bilan ko'rsatiladi, odarda, 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:

$$U_{ac} = \phi_a - \phi_c. \quad (2.4)$$



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 miqdorchicha kam bo'ladi, ya'ni:

$$\phi_b = \phi_c - E. \quad (2.5)$$

Agar "b" nuqtadan "c" nuqtaga qarab yurilsa, EYUK yo'nalishiga mos keladi va "c" nuqtaning potentsiali "b" nuqtaning potentsialidan EYUKning quyidagi miqdorchicha katta bo'ladi, ya'ni:

$$\phi_b = \phi_c + E. \quad (2.6)$$

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-rasming ikkalasida ham "a" nuqtaning potentsiali "b" nuqtaning potentsialidan qarshilikning quyidagi miqdorchicha yuqori bo'ladi, ya'ni:

$$\phi_a = \phi_b + IR. \quad (2.7)$$

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

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

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 strekka o'rgali ko'rsatilgan.

Qoidaga ko'ra "a" va "c" nuqtalar kuchlanishi quyidagi formula o'rgali ifodalanaadi:

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

Shuning uchun ham $U_{ca} = -U_{ac}$, ya'ni kuchlanish ham musbat, ham manfiy qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Kuchlanishning o'lov birligi Italiya fiziki **Aleksandro Volt** (1745-1827) sharafiga **Volt (V)** deb belgilanadi. Elektrotexnikada kuchlanishning quyidagi o'lov 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" atrofiida 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 maydonning har bir nuqtasi elektr potensiali 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'lov birligi **(VOLT, qisqacha (V)). ENERGIYA** ish kabi ingliz fiziki **DJEMMS DJOUL** (1818 - 1889) sharafiga **DJOUL (Dj)** o'lov birligi bilan o'lanadi. Bir metr yo'l uzunligida bir NYUTON kuch bajarilgan ish bir **DJOUL** deyiladi, ya'ni:

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

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

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

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

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{F\varphi}{W} = \frac{F\varphi}{FL} = \frac{\varphi}{L}. \quad (2.13)$$

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

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

2.3. Elektr yurituvchi kuch

Oldingi bo'limlarda ikki nuqtaning potensiallar farqi **KUCHLANGANLIK** deb atalgan edi.

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

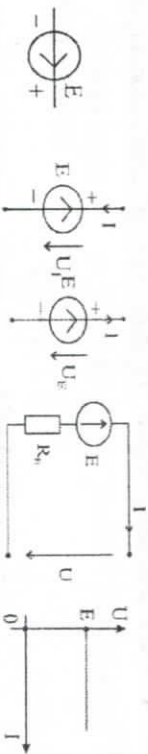
$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (2.14)$$

bu yerda, (φ_1 va φ_2) maydonlardagi noelektrik energiya hisobiga hosil bo'lgan potensiallar 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 potensiallar paydo bo'ladi. Shu ximiyaviy elementlar chiqishlarida **KUCHLANGANLIK** hosil bo'ladi. Ushbu kuchlanish manbani ochiq klemmlarida **ELEKTR YURITUVCHI KUCH (EYUK)** deb yuritiladi.

Demak, EYUK ham har xil ko'rinishdagi **KUCHLANGANLIK** hisoblanadi. EYUK ham kuchlanish kabi **VOLT (V)** o'lov birligida o'lanadi. Demak, manbani **ELEKTR YURITUVCHI KUCH** shu manba ichidagi energiyaning sarflanishi hisobiga hosil bo'ladigan potensiallar farqiga aytiladi.

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

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



2.3-rasm.

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

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

NAZORAT SAVOLLARI

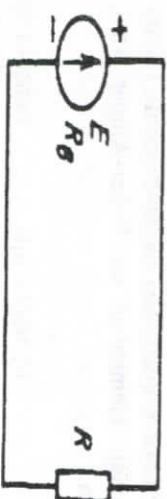
1. Kuchlanish ta'rifi. Kuchlanishni hosil qilish.
2. Kuchlanish o'lchov birligi.
3. Potensial, uning ta'rifi. Potensiallar farqi.
4. Elektr yurituvchi kuch, uning ta'rifi. EYuK o'lchov birligi.
5. EYuKning elektr sxemalarida belgilanishi.
6. DIOUL deb nimaga aytiladi?

III bob. ELEKTR ZANJIRI. ELEKTR ZANJIR ELEMENTLARI. ELEMENTLARINI 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 rasmada elektr sxemasining bir ko'rinishi keltirilgan.



3.1-rasm.

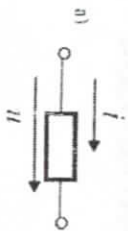
3.2. Elektr zanjir elementlari

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

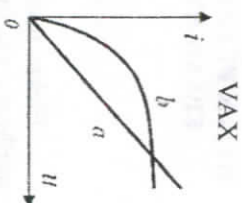
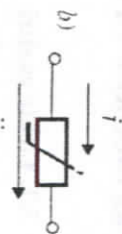
QARSHILIK ELEMENTI elektr energiyasining issiqlik energiyasiga o'tishini ifodalaydi va modda molekulasini harakatlanayotgan zaryadli zaryadchalar qarshiligiga uchraydi.

Bu holarda elektr energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi, elementda saqlanib qolmaydi (3.2-rasm). Ushbu rasmalarda qarshilik elementining elektr zanjirlarda belgilanishi, chiziqi va nochiiziqi elementlar hamda Volt-Amper xarakteristikalari (VAX) keltirilgan.

a) Chiziqli



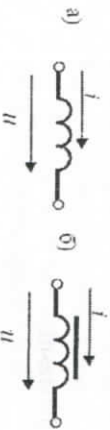
b) Nochiziqli



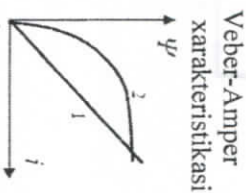
3.2-rasm. Qarshilik elementining elektr zanjirlarda belgilanishi (chiziqli va nochiziqli) hamda Volt-Amper xarakteristikalari.

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

a) Chiziqli



b) Nochiziqli

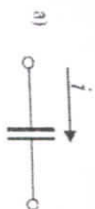


3.3-rasm. Chiziqli, nochiziqli induktivlik elementlar va ularning Veber-Amper xarakteristikasi.

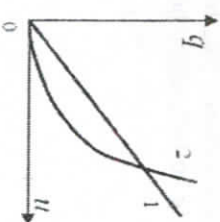
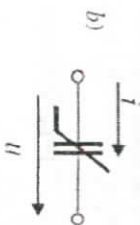
$$\Phi = LI, \quad L = \frac{\Phi}{I} \rightarrow [L] = \frac{Wb}{A} = v \cdot \frac{c}{A} = c \cdot Om$$

KONDENSATOR (SIG'IM) ELEMENTI qurilmada elektr maydon borligini ifodalaydi. Bunda zaryadlarning harakat energiyasi elektr maydonining 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.

a) Chiziqli



b) Nochiziqli



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

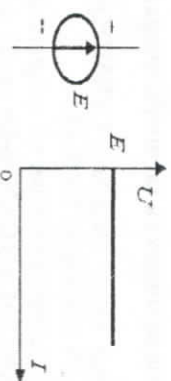
Yuqorida ko'rib chiqilgan elektr zanjirining elementlari (qarshilik, induktivlik va sig'im) PASSIV ELEMENTLAR deb ataladi, chunki zanjirning boshqa qismlaridan olgan energiyalari faqat musbat bo'ladi, yoki nolga teng bo'ladi, ya'ni o'zida qoladi.

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 "istemol" qiladigan tashqi energiya manfy 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.

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

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

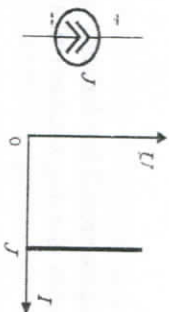


3.5-rasm. EYUK manbasining elektr zanjirlarda belgilanishi, VAX.

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'rinish turibdi.

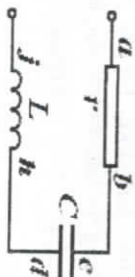
$$I_{iq} \rightarrow \infty; \quad I \rightarrow I_{qt}=J;$$

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



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 rezistoridagina 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 EY ni faqat $h-j$ oraliqda mujassamlangan g' altakda induktivlaydi, ya'ni ushbu sohada zanjirning barcha L induktivligi yig'ilgan.

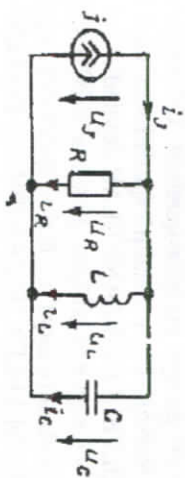


3.7-rasm.

3.4. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan zanjirlar

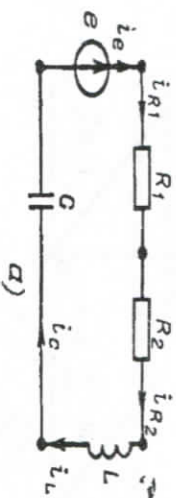
Barcha turdagi elektr zanjirlari **TARMOQLANGAN** va **TARMOQLANMAGAN** zanjirlarga bo'linadi.

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



3.8-rasm.

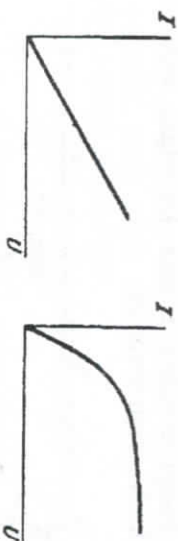
Elektr zanjir elementaridan bir xil miqdordagi toklar o'tsa bunday elektr zanjiri **TARMOQLANMAGAN** elektr zanjiri deb ataladi (3.9-rasm).



3.9-rasm.

3.5. Elektr zanjir elementlarining Volt-Amper xarakteristikalari

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



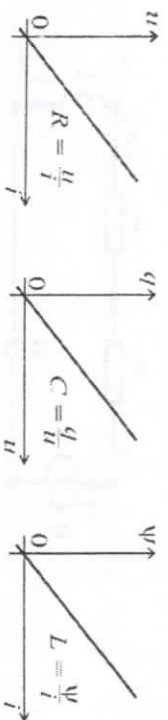
3.10-rasm.

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

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

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

Quyidagi rasmlarda chiziqi qarshilik, chiziqi kondensator va chiziqi induktivlik xarakteristiklari keltirilgan.



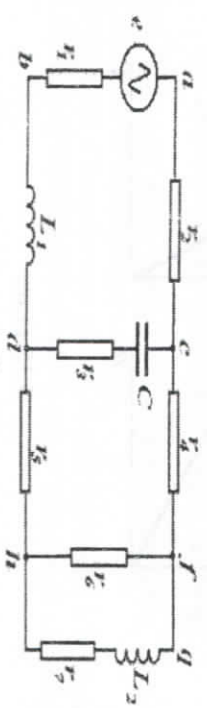
3.11-rasm.

3.6. Elektr zanjirlarning topologik xarakteristiklari

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 rasmnda keltirilgan elektr zanjirini misol tariqasida keltirishimiz mumkin:



3.12-rasm.

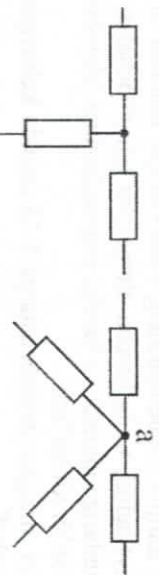
Unda sxemaning d nuqtasidan c nuqtasiga L_1 , r_1 , e va r_2 elementlari bo'ylab yursak, shu elementlarning har biridan bir xil TOK oqishini ko'ramiz.

Demak, sxemaning $d - L_1 - r_1 - e - r_2 - s$ bo'lagi shoxobcha hisoblanadi. Shu ds oralqini $s - C - r_3 - d$ bo'ylab yursak, ya'ni bir shoxobchani ko'ramiz.

Ushbu sxemada yana $c - r_4 - f - r_6 - h, q - L_2 - r_7 - h$ va $d - r_5 - h$ shoxobchalar ham mavjud. Demak, har bir shoxobchadagi elementlar o'zaro ketma-ket ulangan ekan.

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

Misol tariqasida ushbu rasmlarni keltirishimiz mumkin:

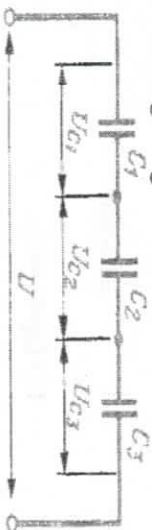


3.13-rasm.

Elektr zanjirining KONTURI deb, bir necha ketma-ket shoxobchalar orqali o'tgan ixtiyoriy berk yo'lga aytiladi. Bunga misol qilib yuqoridagi rasmndagi $abdaa$, $cdhfs$ 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.

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

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

Elektr zanjirlarida TOK va KUCHLANISHLARning zanjir bo'yi-cha taqsimlanishi KIRXGOF qonunlari orqali ifodalanadi.

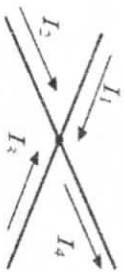
4.1. Kirxgof qonunlari

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

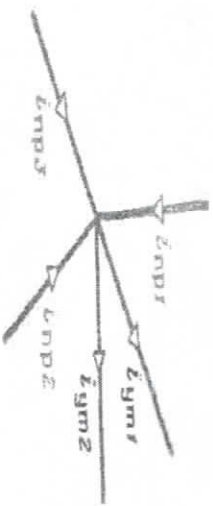


4.1-rasm.

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

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.

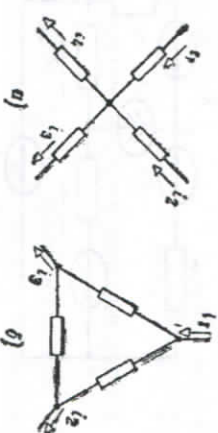
$$I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} - I_{u1} - I_{u2} = 0. \quad (4.2)$$

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 shoxobchalar-dagi 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 matnosi 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.

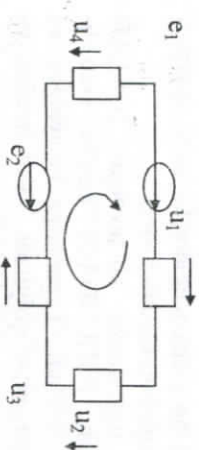
$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (4.3)$$

Kirxgofning ikkinchi qonuni

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

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

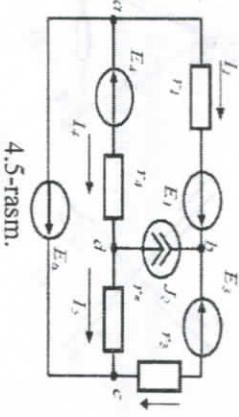
Kontur ichidagi tok yo'nalishi ixtiyoriy yo'nalishda olinadi, misol uchun soat strekasi yo'nalishi bo'yicha olinishi mumkin. Bu holatda EYUK va KUCHLANISHLAR uchun quyidagi qoidaga rioya qilinadi, ya'ni konturdagi tok yo'nalishi bilan EYUK va KUCHLANISH yo'nalishlari mos kelisa BIR XIL ishora bilan olinadi.



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:*

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

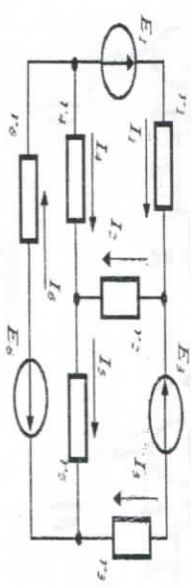
Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuziladigan tenglamalar soni quyidagicha aniqlanadi: $\nu - (n-1)I$, bu yerda, ν — shoxobchalalar soni.

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 qismini uchun OM QONUNINI 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 KUCLANISH vaqt bo'yicha o'zgarishligi mumkin (doimiy tok rejimi) u holda tok va kuchlanishning oniy qiymatlari ham o'zgarimas qiymatga ega bo'ladi. Shu holat uchun Om qonuni quyidagicha ifodalanadi va ta'rifi: **zanjirdan o'tayotgan TOK kuchlanishga to'g'ri proporsional, qarshilikka teskari proporsional.**

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

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



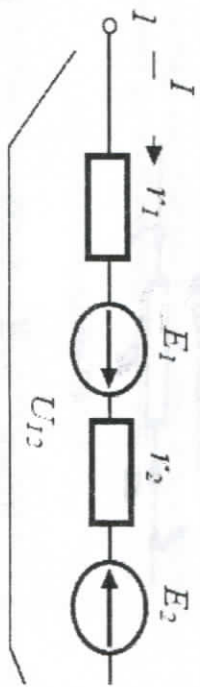
4.7-rasm.

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

Umumiy holarda esa quyidagicha ifodalanadi:

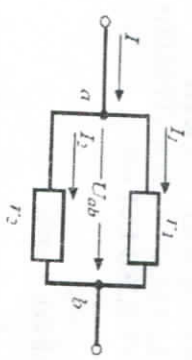
$$I = (\varphi_a - \varphi_b) \pm \frac{E}{R} = U_{ac} \pm \frac{E}{R}. \quad (4.10)$$

Elektr zanjirining EYUK ulangan qismi uchun OM qonuni quyidagicha ifodalanadi.



4.8-rasm.

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



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'rif.
2. Kirxgofning ikkinchi qonuni, ta'rif.
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 ALMASHITIRISH
 (EKVIVALENT ALMASHITIRISH USULI)

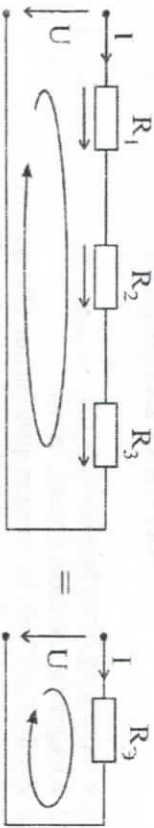
5.1. Ekvivalent almashitirish usuli

Ekvivalent almashitirish usulining mahosi: zanjirning bir nechta elementarini bir element bilan, yoki elektr sxemasini bir boshqa sxema bilan almashitirish, ya'ni soddalashitirish tushuniladi.

Sxemaning kiritishdagi tok va kuchlanishlar miqdori o'zgar olmay qolsa almashitirish ekvivalent hisoblanadi.

Ekvivalent almashitirishning maqsadi, elektr sxemalarini sodalashitirish va tenglamalar sonini kamaytirish hisoblanadi. Ekvivalent almashitirishlar uchun quyidagi misollarni keltiramiz:

Qarshiliklarni ketma-ket ulash.



5.1-rasm.

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

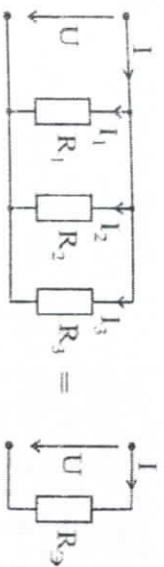
$$U=IR_1+IR_2+IR_3=I(R_1+R_2+R_3)=IR_3. \quad (5.1)$$

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, $R_3 = \sum_{k=1}^n R_k$ almashitirilgan sxemaning ekvivalent qarshiligi hisoblanadi.

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



5.2-rasm.

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

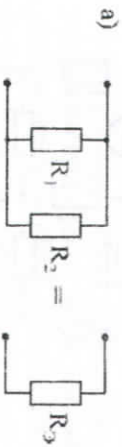
Yoki umumiy holda quyidagicha yoziladi:

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

bu yerda, $g_0 = \sum_{k=1}^n g_k$ ekvivalent o'tkazuvchanlik deyiladi.

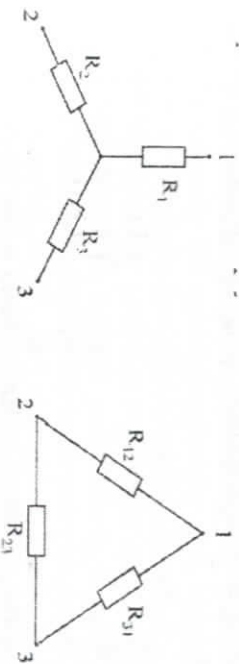
$R_0 = \frac{1}{g_0}$ – elektr sxemaning ekvivalent qarshiligi hisoblanadi.

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.

$$R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_{31}};$$

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3};$$

5.1.5

$$R_2 = \frac{R_1 R_3}{R_2 + R_3 + R_{31}};$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1};$$

(5.5)

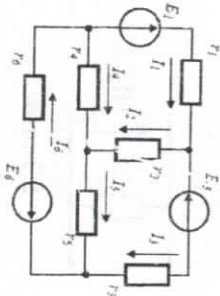
$$R_3 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_{31}};$$

$$R_{31} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2};$$

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:

$$\begin{aligned} I_6 - I_4 - I_1 &= 0 \\ I_1 - I_2 - I_3 &= 0 \\ I_3 + I_5 - I_6 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} I_1 r_1 + I_2 r_2 - I_4 r_4 = E_1 \\ I_3 r_3 - I_5 r_5 - I_2 r_2 = -E_3 \\ I_4 r_4 + I_5 r_5 + I_6 r_6 = -E_6 \end{cases} \quad (5.6)$$

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

$$I_4 = I_6 - I_1,$$

$$I_2 = I_1 - I_3,$$

$$I_5 = -I_3 + I_6$$

36

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.

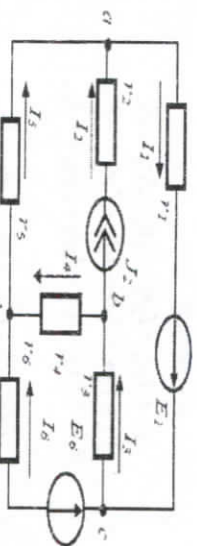
Shoxobchalardagi toklar zanjirdagi potentsiallar ayirmasiga bog'liq bo'ladi, agar zanjirdagi bitta tugunni yerga ulasak, u holda, uning potentsiali NOLGA teng bo'ladi, lekin sxemada toklar o'zgarmaydi.

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

$$\begin{cases} I_1 r_1 + I_2 r_2 - I_3 r_2 - I_6 r_4 + I_1 r_4 = E_1 \\ I_3 r_3 + I_3 r_5 - I_6 r_5 - I_1 r_2 + I_3 r_2 = -E_3 \\ I_6 r_4 - I_1 r_4 - I_3 r_5 + I_6 r_5 + I_6 r_6 = -E_6 \end{cases} \quad (5.7)$$

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

37



5.6-rasm.

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

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

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

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

5.10 tenglamani 5.9 tenglamaga qo'yamiz:

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

$$\begin{cases} \varphi_a \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) - \varphi_b \frac{1}{r_2} - \varphi_c \frac{1}{r_3} = -E_1 \frac{1}{r_1} + J \\ \varphi_b \left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) - \varphi_a \frac{1}{r_2} - \varphi_c \frac{1}{r_3} = -J \\ \varphi_c \left(\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_5} + \frac{1}{r_6} \right) - \varphi_a \frac{1}{r_5} - \varphi_b \frac{1}{r_6} = E_1 \frac{1}{r_5} + E_6 \frac{1}{r_6} \end{cases} \quad (5.11)$$

Boshqa shaklda quyidagicha ifodalaniadi:

$$\begin{cases} \varphi_a (g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_b g_2 - \varphi_c g_3 = -E_1 g_1 + J \\ \varphi_b (g_2 + g_3 + g_4) - \varphi_a g_2 - \varphi_c g_3 = -J \\ \varphi_c (g_3 + g_5 + g_6) - \varphi_a g_5 - \varphi_b g_6 = E_1 g_5 + E_6 g_6 \end{cases} \quad (5.12)$$

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 qarshiksiz 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 potentsial diagrammasi

Har qanday O'ZGARMAS tok zanjiri uchun potentsiallar 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.

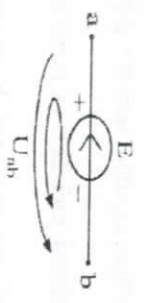
Zanjirning ushu qismini uchun Om qonuni, ya'ni "a" nuqtaning potentsiali "b" nuqtaning potentsialidan U_{ab} miqdorgacha katta. Demak, tok potentsial katta bo'lgan nuqtadan potentsial kichik bo'lgan nuqta tomonga oqadi. Potentsial diagramma tuzish vaqtida aynan shu holat e'tiborga olinadi.



5.7-rasm.

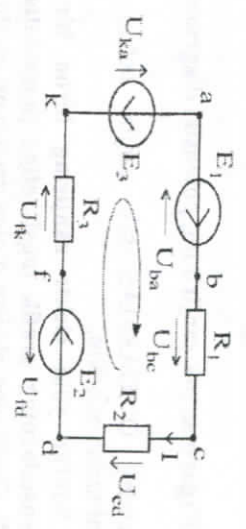
$$I = \frac{U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b}{R}; \quad IR = \varphi_a - \varphi_b; \quad \varphi_a = \varphi_b + IR. \quad (5.13)$$

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



5.8-rasm.

5.10 Rasmida ko'rsatilgan bir konturi elektr sxemasi uchun potentsial diagrammasini tuzamiz.

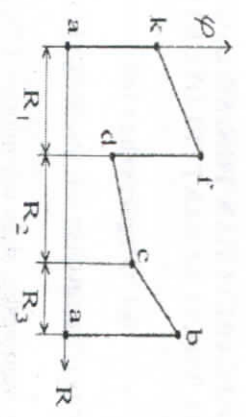


5.9-rasm.

Potensial 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:

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

Yuqorida keltirilgan bir konturi 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 ONIV 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

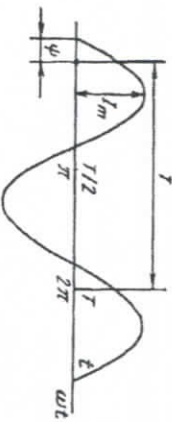
Qiymatlari Sinusoidal qonun asosida o'zgaruvchan tok (kuchlanish) GARMONIK TOK (KUCHLANISH) deb ataladi.

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

Garmolik signalardan shakli boshqa bo'lgan signallar har xil chastotalardan tashkil topgan bo'ladi. Garmolik signallar yordamida energiyani uzatish ancha qulay, lekin garmolik 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 CHAS-TOTASI va BOSHLANG'ICH FAZA orqali xarakterlanadi.

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

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

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 Gs (Gers) yoki Elektr tarmog'i kuchlanishining standart chastotasi 50 Gs.g.a shu kuchlanishning har $T=0,02s$.da bir marta o'zgarishi mos keladi.

$\frac{2\pi}{T}$ miqdor fazaning o'zgarish tezligini ifodalaydi va bilan belgilanadi va ω 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'zgaranda 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.

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

Xuddi shunday EYUK va kuchlanishlarning o'rtacha qiymatlari:

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

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

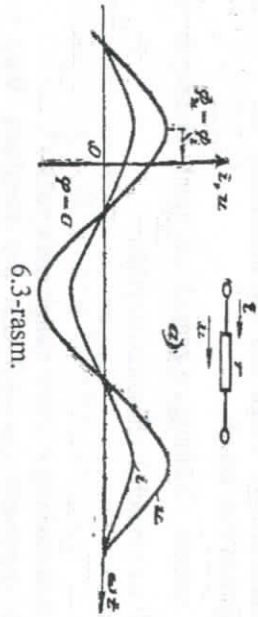
6.3. Qarshilik orqali garmonik tok o'tishi

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

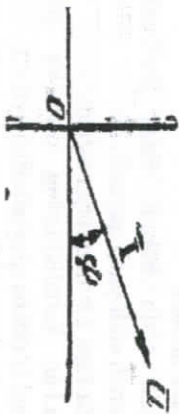


6.2-rasm.

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



6.3-rasm.



6.4-rasm.

Keltirilgan grafikdan shunday xulosa qilish mumkin, 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 holarda 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:

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

Quvvanning bir davr ichidagi o'tacha qiymati AKTIV QUVVAT deb ataladi.

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

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

O'tkazgichning qarshiligi o'zgaruvchan tokda doimiy tokdagi 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:

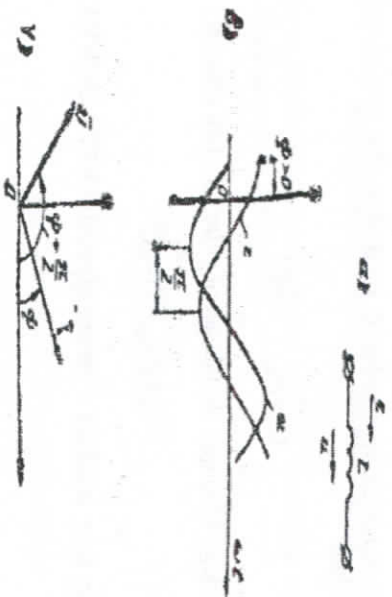
$$e_L = -L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + \psi) = U_m \cos(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}). \quad (6.13)$$

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 ilgari lab ketmoqda.

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



6.5-rasm.

Ushbu holat uchun Om 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:

$$P_L = u_i = U I \sin 2(\omega t + \psi). \quad (6.18)$$

Xulosa qilib shuni aytilish mumkinki, induktivlik orgali garmonik tok o'tganda, energiyaning manba bilan induktivlik o'trasida tebranishi hosil bo'ladi, natijada, **QUVVAT NOLGA TENG BO'LADI**.

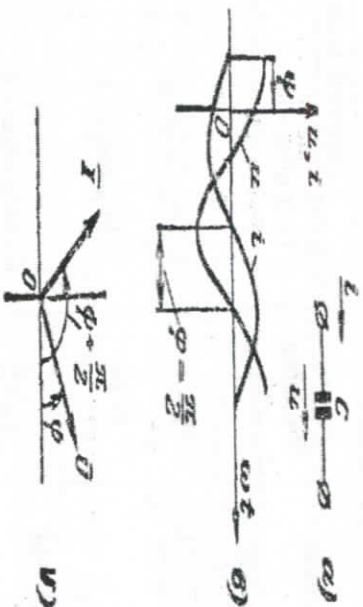
6.5. Garmonik tokning sig'im orgali o'tishi

Sig'im orgali 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 kosi-nusoidal qoidaga asoslanadi. Musbat va manfiy zaryadlarning plastinkalarda yig'ilishi garmonik tok miqdorining o'tishiga sabab bo'ladi.

Garmonik tokning miqdori kondensatoridagi zaryadlarning o'zga-rish tezligi orgali aniqlanadi, ya'ni: $\frac{dq}{dt}$ 6.20 ifoda shuni ko'rsatadiki,

garmonik tok kuchlanishdan $\frac{\pi}{2}$ burchakka ilgariab ketgan, demak,

tokning NOL qiymatiga kuchlanishning **MAKSIMAL** qiymati MOS keladi. Fazalar farqi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

Om qonuniga asosan:

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




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

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

$$P_c = u_i = -U_i \sin 2(\omega t + \varphi).$$

(6.23)

6.1-jadval

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

NAZORAT SAVOILLARI

1. O'zgaruvchan tok, ta'rifi.
2. Sinusoidal tok, ta'rifi.
3. Garnonik (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 orgali garnonik tok o'tishi.
8. Induktivlik orgali garnonik tok o'tishi.
9. Sig'im orgali garnonik tok o'tishi.

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

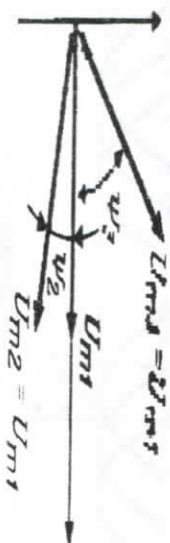
7.1. Sinusoidal funksiyalarni vektor diagrammasi

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

Shunday ekan, TOK va KUCHLANISHLARning ONIY qiymatlari ham garnonik 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 garnonik signallar ta'sirlarini sinusoidal grafiklar orgali emas, balki VEKTOR DIAGRAMMALAR orgali tahlil qilish osonroq bo'ladi.

Vektor diagrammasida vektor uzunliklari, burchak va fazalar miqdorlari proporsional ravishda olinadi. Bizga ma'lumki, kompleks tekislikda har bir nuqta radius, ya'ni vektor orgali 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 garnonik signallarning elektr zanjirlar elementlariga ta'sirini ifodalaydi.

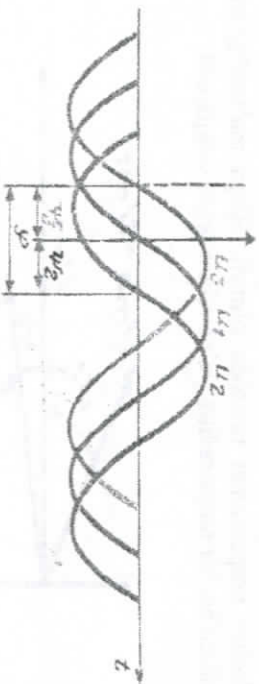
Vektor diagrammasida biron bir burchak boshlang'ich nuqtadan biron bir burchakka orqada qolayotgan bo'lsa, u holda, vektor soat strekasi yo'nalishiga MOS HOLDA buriladi, agar ilgariab ketayotgan bo'lsa soat strekasiga TESKARI yo'nalishda buriladi.

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 strekasi yo'nalishi bo'yicha buriladi, uchinchi kuchlanishning vektor qiymati esa ψ_3 burchakka soat strekasi 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.



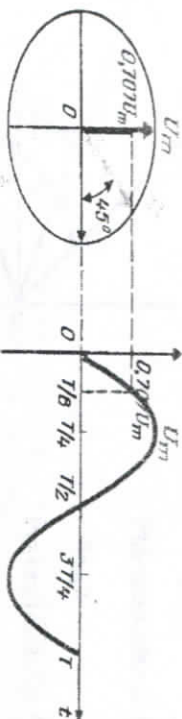
7.2-rasm.

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

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

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

Bu holatda vektorning soat strekasi yo'nalishi bo'yicha aylanishi MUSBAT, soat strekasi 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 proektsiyasi koordinataning VERTIKAL o'qida ham NOLGA TENG bo'ladi, ya'ni vektor proektsiyasining 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:

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

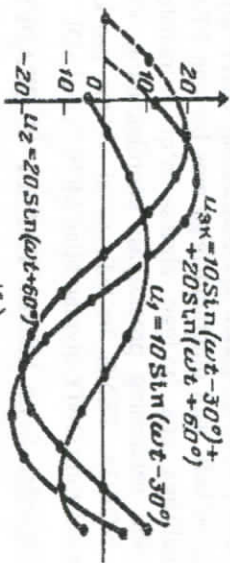
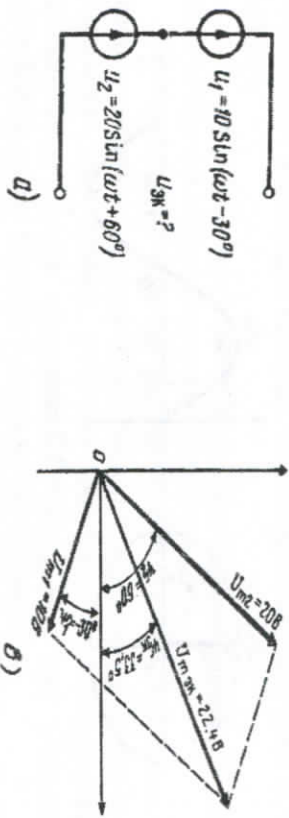
Shu vaqt oralig'ida VEKTOR HAM $0.707 U_m$ qiymatga teng bo'ladi. Endi

$t = \frac{T}{4}$ 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.

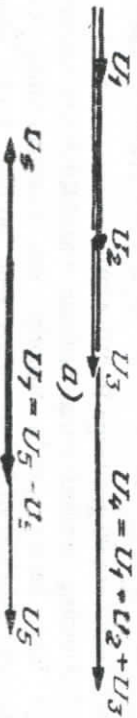
Xulosa qilib shuni ta'kidlash lozimki, Sinusoidal funksiyalar qiymatlarini aniqlash vaqtida ularning grafiklari orqali emas, balki ularning tasvirlari, ya'ni VEKTORLARI orqali ANIQLANADI.

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



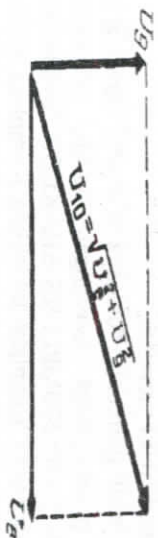
7.4-rasm.

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 almashiriladi va ularning har biri gorizontal va vertikal o'qlar bo'yicha joylashtiriladi.

Vektorning gorizontal 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 gorizontal 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 tarkibida: biri absissa o'qi bo'yicha gorizontal, ikkinchisi esa, ordinata o'qi bo'yicha vertikal o'qlariga joylashtiriladi. Bu holatda barcha vektorlar qiymatlarini gorizontal 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:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad (7.3)$$

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.

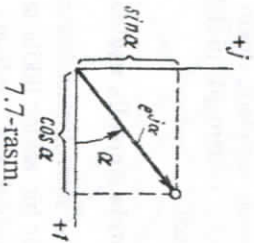
Shuning uchun ham doimiy tok zanjirlarini hisoblash uchun oddiy usul kerak bo'ladi, shunday usulni amerikalik olimlar (1893-1894 yillari A. ye. Kenneli va P. Ch. Shteynmetsonlar) tomonidan **KOMPLEKS AMPLITUDA USULI** yaratildi.

Ushbu usul garmonik funktsiya o'z o'qi atrofiga aylanayotgan vektorning proektsiyasiga asoslangan bo'lib, aylanayotgan vektor analitik ifoda bo'lib **KOMPLEKS SHAKLDA** ifodalanadi. Kompleks sonlarni tasvirovchi kompleks tekislikda Kompleks sonlar **HAQIQIY** va **MAVHUM** qismlarga bo'linadi. Absissa o'qiga **HAQIQIY** miqdorlar, ordinata o'qiga esa **MAVHUM** miqdorlar joylashiriladi.

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 $+j$ ($j = \sqrt{-1}$) kattaiklar 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'qidani soat strekasi yo'nalishiga teskari yo'nalish bo'yicha hisoblanadi.

U holda funktsiyaning **MODULI** quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

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

$e^{j\alpha}$ - funktsiyaning **HAQIQIY** miqdorlar o'qidagi proektsiyasi $\cos \alpha$ ga teng bo'lsa, **MAVHUM** miqdorlar $\sin \alpha$ o'qidagi proektsiyasiga teng bo'ladi.

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

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

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

NAZORAT SAVOLLARI

1. Garmonik funktsiyalarni vaqt diagrammasi orqali ifodalash (tasvirlash).
2. Garmonik funktsiyalarni vektor diagrammasi orqali tasvirlash.
3. Garmonik funktsiyalar 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:

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

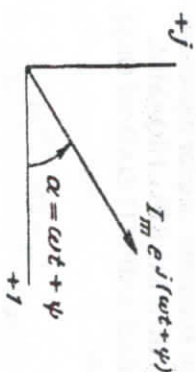
Ikkinchi qo'shiluvchi esa funksiyaning MAVHUM qismi hisoblanadi va I_m ifoda bilan belgilanadi.

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

U holda quyidagi ifodani olamiz:

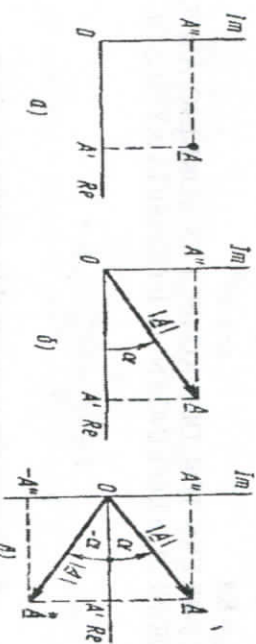
$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) = \text{Im } I_m e^{j(\omega t + \psi)}. \quad (8.6)$$

Demak, sinusoidal qonun asosida o'zgaradigan i tokni $\text{Im } I_m e^{j(\omega t + \psi)}$ ko'rinishida, yoki 3.3-rasmda ko'rsatilgan aylanna vektorining 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 jihardan 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 CHIQAMIZ:

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:

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

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

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 etiborga 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

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

$$D = AB = A e^{j\psi_A} \cdot B e^{j\psi_B} = AB e^{j(\psi_A + \psi_B)}$$

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

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

$$D = AB = A e^{j\psi_A} \cdot B e^{j\psi_B} = AB e^{j(\psi_A + \psi_B)}$$

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

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

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

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

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

Misol uchun, ikki kompleks sonlarni ko'paytiramiz:

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

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

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

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

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

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

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

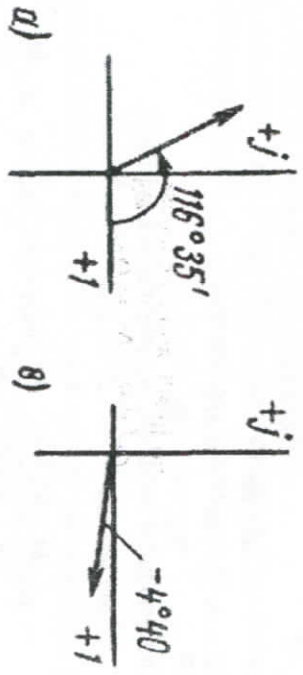
$$a + jb = c e^{j\psi}$$

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

$$d) -0,2 + 0,4j \quad e) 10 - j0,8$$

$$d) = 0,448 e^{j116^\circ 35'} \quad e) = 10 - 0,8j = 10 e^{-j4^\circ 40'} \quad (8.16)$$

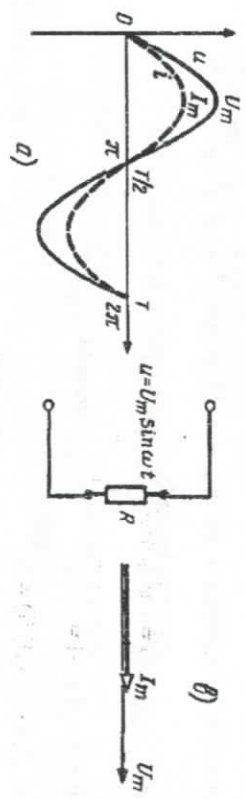
VEKTOR DIAGRAMMASI



8.3-rasm.

8.3. Oddiy elektr zanjirlarini kompleks ifodalar orqali hisoblash

R - zanjirni 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 ONLY 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:

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

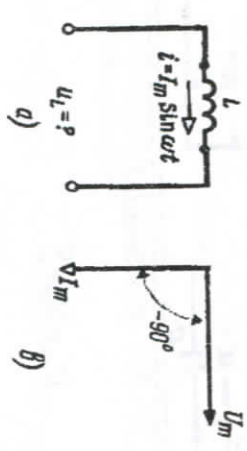
Rezistor orqali o'tayotgan garmonik tokning kompleks ko'rinishdagi ifodasi:

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

I, U - tok va kuchlanishlarning kompleks miqdorlari.

L - zanjirni 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 ONLY 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:

$$I_m = I_m e^{j\omega t} = I_m. \quad (8.25)$$

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

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

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

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

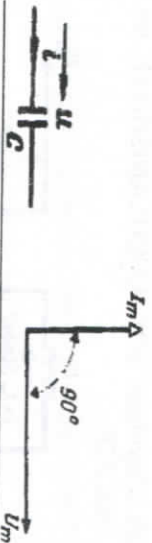
Tok va kuchlanishning kompleks shakldagi ifodalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

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

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

C-zanjirini hisoblash.

ZANJIR ORQALI O'TAYOTGAN TOK KUCHLANISHIDAN 90 GRADUSGA ILGARILAB KETADI



8.6-rasm.

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

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

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

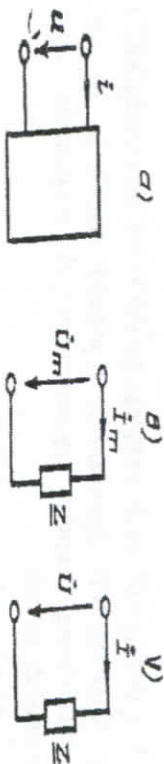
$$I_m = j\omega C U_m \quad i = U_m \omega C \sin(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (8.29)$$

NAZORAT SAVOILLARI

1. Kompleks sonlarning haqiqiy va mavhum qismlari.
2. Kompleks amplituda, ta'rifi.
3. Kompleks qiymatdan mos 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 funktsiya 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:

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

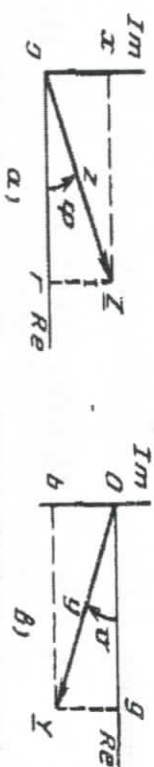
Yuqorida keltirilgan formulalarni e'tiborga oladigan bo'lsak TO'LIQ KIRISH QARSHILIK quyidagicha ifodalanadi:

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

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.

MAVVHUM va HAQIQIY qismlarini e'tiborga olsak:

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

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'tkazuvcchanligi ko'rsatkichli funktsiya orqali quyidagicha ifodalanadi:

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

Ushbu ifoda $y = |Y|$ - kompleks kirish o'tkazuvcchanligining 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'tkazuvcchanligining argumenti

$$\psi = -\varphi \quad (9.14)$$

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

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

Bu yerda yuqoridagi rasimga asosan:

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

9.1. Kompleks shakldagi Om va Kirxgof qonunlari

Zanjir uchastkasining kompleks qarshiligi va o'tkazuvcchanligi zanjir uchlardagi kompleks TOK va KUCHLANISHLARning 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'tkazuvcchanlikni bilgan holda, hamda zanjir uchlarga quyidagi $i = I_m$ va $u = U_m$ Miqdordagi TOK va KUCHLANISHlar yuklatilgan bo'lsa, yuqoridagi formulalardan foyda-

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

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

Xuddi shunday TOK va KUCHLANISHNING 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 KUCHLANISHLARI o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

TA'RIF: ELEKTR KONTURIGA KIRUVCHI BARCHA SHOXOBCHALARDAGI KUCHLANISHLAR 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'rif

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

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

U_{mj} U_j – 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 ifodalarni hisoblash mumkin va olingan ifodalar algebraik ifodalar hisoblanadi.

TOK va KUCHLANISHNING ONIV qiymatlarini usbu qonunlar orqali hisoblash, differensial tenglamalarga qaraganda, ancha qulay va oson hisoblanadi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Kompleks qarshilik, ta'rif, formulasi.
2. To'liq kirish qarshiligi, formulasi.
3. Kompleks kirish qarshiligining vektor ko'rinishi.
4. Kompleks kirish o'tkazuvchiligi, ta'rif, formulasi.
5. Kompleks to'liq o'tkazuvchanlik.
6. Kompleks shakldagi Om qonuni, ta'rif, 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'zgarmas 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:

$$u = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

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

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

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

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

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'lehov birligi Wt 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'lehov birligi (VAR) hisoblanadi va quyidagi shart bajariladi:

$$\sin \varphi > 0 \text{ unda } Q > 0 \quad \text{agar} \quad \sin \varphi < 0 \text{ unda } Q < 0.$$

10.3. To'liq quvvat

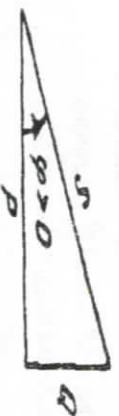
To'liq quvvat TOK va KUCHLANISHLARNING haqiqiy qiymat-lari ko'paytmasiga teng bo'ladi:

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

o'lehov 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 hisoblanasa, REAKTIV quvvat uchburchakning gipotenuzasiga to'g'ri keladi.



10.1-rasim.

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'rinish 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 KUCHLANISHLAR 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 FAZALALAR miqdorlari berilgan bo'lsa:

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

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

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

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

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

$$P_Q = UI \sin \varphi = 0,816 \sin 71^\circ = 0,7726aq \quad (10.26)$$

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

10.5. Quvvat muvozanati

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

i_k, u_k - k elementi 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:

$$-\sum_{k=1}^{N+M} P_k = \sum_{k=1}^H P_k \quad (10.29)$$

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

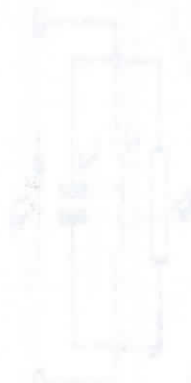
$$-\sum_{k=1}^{N+M} P_{Sk} = \sum_{k=1}^H P_{Sk} \quad (10.30)$$

Ushbu ifoda kompleks quvvatlar muvozanat TENGLAMASI deb ataladi.

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

NAZORAT 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.



XI bob. PARALLEL TEBRANISH KONTURI. TOK REZONANSI

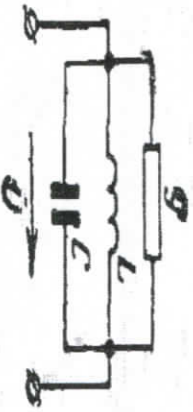
Energiya manbasiga elementlarning ulanish turiga qarab tebranish konturлари KETMA-KET (energiya manbasi induktivlik va sig'imga ketma ket ulangan) va PARALLEL tebranish konturlariga bo'linadi (energiya manbasi reaktiv elementlarga parallel ulangan).

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

Radiotexnikada bunday konturlar PARALLEL TEBRANISH KONTURLARI deb ataladi.

TOK rezonansi holati elektr zanjirining bir qismidagi induktiv o'kazuvchanlik zanjirining boshqa qismidagi parallel ulangan sig'im o'kazuvchanligi bilan qoplanadi (kompensiruetnya).

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



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:

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

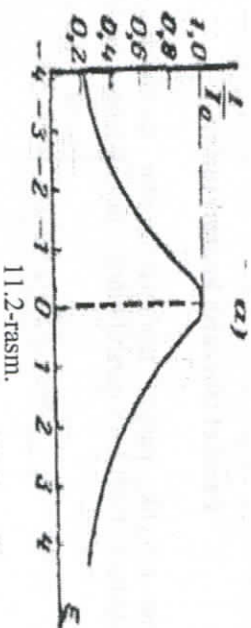
Ko'riyotgan konturning ASLLILIGI ketma ket tebranish konturining miqdoriga teskari bo'lgan miqdor orqali ifodalanadi:

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

REZONANS holatida manbadan kelayotgan TOK quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{YE}{gY} = \frac{Y}{g} = \frac{1}{1 - e^{-j\varphi}}. \quad (11.4)$$

TOK rezonansida parallel 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 parallel tebranish konturining ASLLILIGI induktivlik va sig'im elementlaridagi toklarga va umumiy (yig'indi) tok miqdorlariga 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 parallel tebranish konturidagi rezonans holati TOK REZONANSI deb yuritiladi.

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

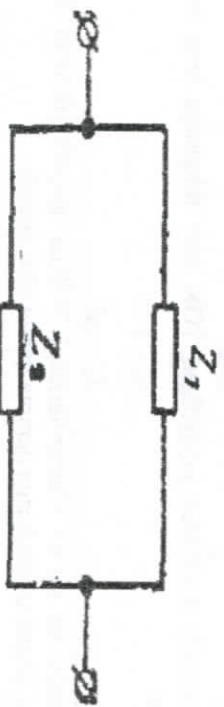
Konturdagi birlamchi energiya miqdori sarflanmas edi va magnit va elektr maydonlari o'rtasida navbat bilan taqsimlanib borar edi. Manbani tokdan uzib qo'yilsa konturdagi tebranish holati cheksiz davom etib borgan bo'lar edi.

BUNDAY KONTUR IDEAL KONTUR deb ataladi, chunki paralel ulangan induktivlik va sig'ım elementlaridagi energiya yo'qotilishini etiborga olmaydi.

Paralel tebranish konturi turlari

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

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

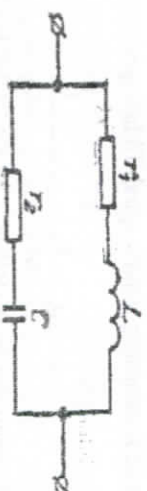


11.3-rasm.

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

Birinchi turdagi tebranish konturi:

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

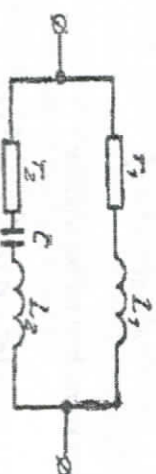


11.4-rasm.

Bunday holatda induktivlik va sig'ım elementlarida reaktiv qarshiliklar quyidagi formulalar orqali ifodalanganadi:

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

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

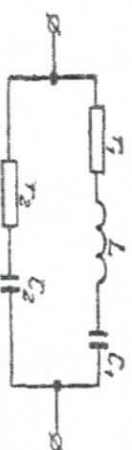


11.5-rasm.

Bu holatda reaktiv qarshiliklar quyidagicha ifodalanganadi:

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

Uchinchi turdagi paralel tebranish konturida esa, bir shoxobchada sig'ım elementi ulangan bo'lsa, ikkinchi shoxobchada induktivlik va sig'ım 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:

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

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 aslilligi.
4. Kompleks qarshilik va rezonans chastota formulalari.
5. Induktiv va sig'im toklari, formulalari.
6. Parallel tebranish konturi aslilligi, formulasi.
7. Parallel tebranish konturi turlari.
8. Rezonans holati sodir bo'lish sharti.

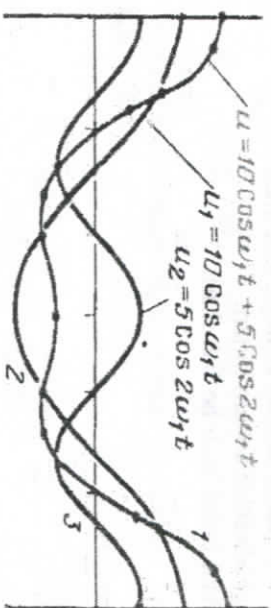
XII bob. DAVRIY FUNKSIONALARNING GARMONIK TARKIBLARGA YOYILISHI

Garmonik signallardan farq qiluvchi barcha davriy signallar (tok va kuchlanish) NOGARMONIK SIGNALLAR deb ataladi. Har qanday nogarmonik signallar o'zlarining davri T, tok va kuchlanishlarining 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 algebratik yig'indilari, har qanday vaqtda, chiqishdagi nosinusoidal signallingning 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 kuchlanishlarining oniy qiymatlari yig'indisi U kuchlanishiga teng.



12.1-rasm.

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

rasmida 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:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{10^3} = 10^3 T \gamma = kT \gamma \quad (12.1)$$

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

Qo'lgan 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 tashkili topgan bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan fikrlar quyidagi formulalar orqali ifodalaniadi:

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

Bu ifodada:

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

Amaliyotda birinchi navbarda har qaysi garmonik signalling sinusoidal amplitudasini A'_m va kosinusoidal amplitudasini A''_m aniqlab olinadi.

Keyin esa asosiy garmonik signalling 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 koefitsientlarini aniqlash formulasi orqali aniqlanadi.

SINUSOIDAL va KOSINUSOIDAL garmonik signallar FURE qatorlari orqali quyidagicha ifodalaniishi:

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

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

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

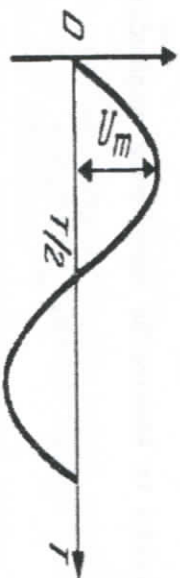
Shunday qilib, har qanday davriy nogarmonik signalning oniy qiymatlarini garmonikani tashkil etuvchi doimiy qiymatlar yig'indilarini FURE QATORLARI ORQALI MATEMATIK ifodalash mumkin.

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

$$u(t) = U_0 + U_{m_1} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + U_{m_2} \sin(2\omega_1 t + \psi_2) + U_{m_3} \sin(3\omega_1 t + \psi_3) + \dots + U_{m_k} \sin(k\omega_1 t + \psi_k) = U_0 + U'_{m_1} \sin \omega_1 t + U''_{m_2} \sin 2\omega_1 t + \dots + U'_{m_k} \sin k\omega_1 t + U''_{m_1} \cos \omega_1 t + U''_{m_2} \cos 2\omega_1 t + \dots + U''_{m_k} \cos k\omega_1 t. \quad (12.7)$$

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

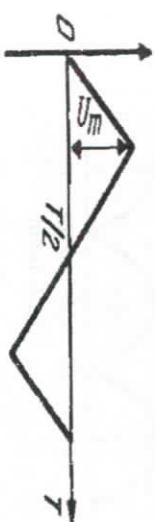
SINUSOIDAL chizma, qatorga yoyilganda "OLIV GARMONIK" signal amplitudasi NOLGA TENG BO'LADI:



12.2-rasm.

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

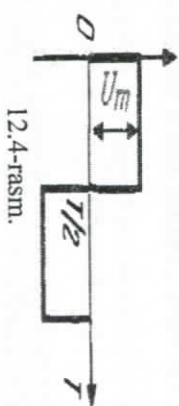
Signalning Uchburchak Shaktidagi Chizmasi:



12.3-rasm.

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

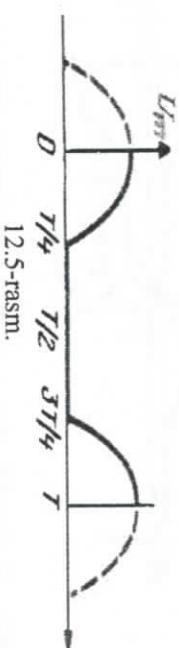
Signalning To'rtburchak Shaktidagi Chizmasi: bu ifodada k – butun juft son.



12.4-rasm.

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

Signalning Bir Yarim Davr Shaktidagi Chizmasi:



12.5-rasm.

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

Signalning Ikki Yarim Davr Shakldagi Chizmasi:



12.6-rasm.

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

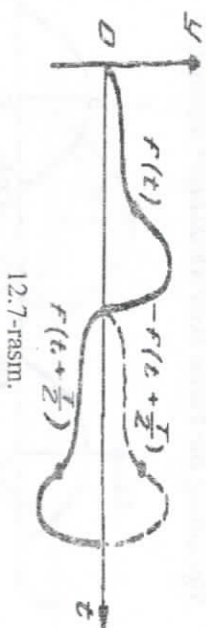
12.1. Davriy nogarmonik signallarining simmetrik ko'rinishlari

SIGNALLARNING GORIZONTAL O'QQA NISBATAN SIMMETRIYA KO'RINISHI.

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

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

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



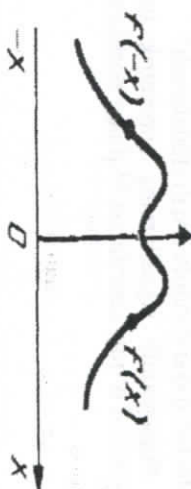
12.7-rasm.

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

12.2. Gorizontal o'qqa nisbatan simmetrik signal shakli

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

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

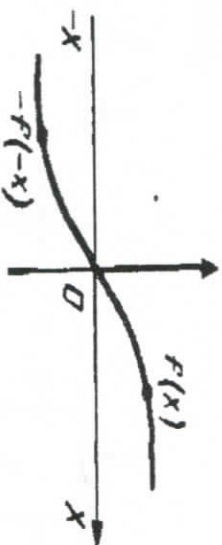


12.8-rasm.

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

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

Har qanday nogarmonik sigal 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'rif.
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 KLASSIFIKATSIVIALARI

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:



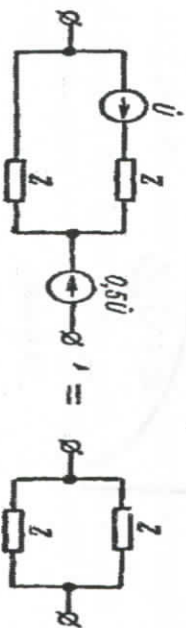
13.1-rasm.

IKKI qutbli elektr zanjirlari:

- chiziqqli va nochiziqqli;
- 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.



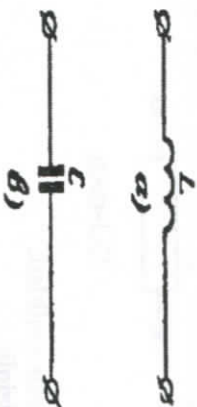
13.2-rasm.

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 KUUCH-LANISHLAR amplitudasi va fazasi chastotaga bog'liqligini ko'rsatadi.

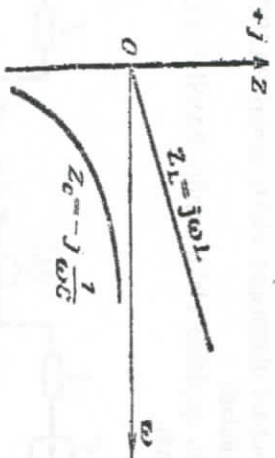
13.1. Bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri

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 grafiqi ko'rsatilgan. Grafikda kompleks qarshilik butun chastota spektri bo'yicha MUSBAT qiymatga, kompleks o'tkazuvchanlik esa MANFIY qiymatga teng bo'lib turibdi.

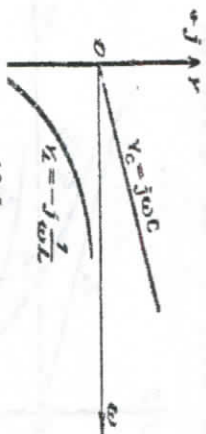


13.4-rasm.

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

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

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



13.5-rasm.

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

$$Y_L = jb_L = j\omega L. \quad (13.4)$$

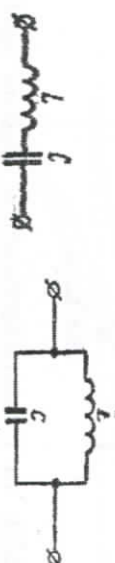
Xulosa qilib quyidagi fikrlarni keltirishimiz mumkin: bir elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjirlarida induktiv elementning kompleks qarshiligi va sig'im elementning o'tkazuvchanligi TO'G'RI CHIZIQLI xarakteristikaga, sig'im elementning kompleks qarshiligi va induktiv elementning o'tkazuvchanligi 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:

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

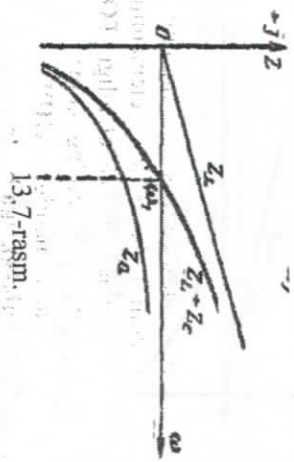
13.2. Ikki elementli reaktiv ikki qutbli elektr zanjiri

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.

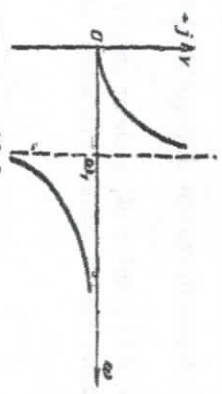
Bu qalin chiziq koordinataning absissa o'qini rezonans chastotaning quyidagi qiymatiga teng bo'lgan qiymatida, ya'ni:

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

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:

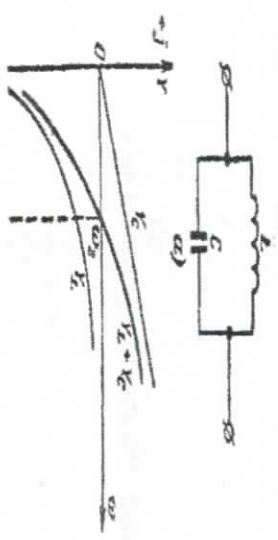
$$x = L \frac{\omega^2 - \omega_1^2}{\omega} \quad b = \frac{\omega}{L(\omega^2 - \omega_1^2)} \quad (13.11)$$

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.

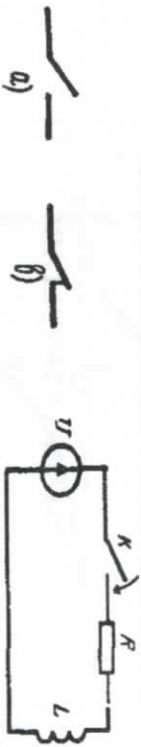
XIV bob. CHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLARIDA O'TISH JARAYONLARI.

Elektr zanjirining bir turg'un holatidan boshqa bir turg'un holatiga o'tishni 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, zanjirida yuklarning keskin o'rtishi 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 zanjirida faqat aktiv qarshilik ulangan bo'lsagina to'g'ri bo'ladi. Agar zanjirida induktivlik yoki sig'im elementlari ulangan bo'lsa, u holda bu taxmin noto'g'ri bo'ladi.

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

$$\omega_L = \frac{L I_L^2}{2}; \quad \omega_C = \frac{C U_C^2}{2}. \quad (14.1)$$

Energiyaning son jihatdan ma'lum bir miqdorga o'zgarishi bir zunda 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 holatdan 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.

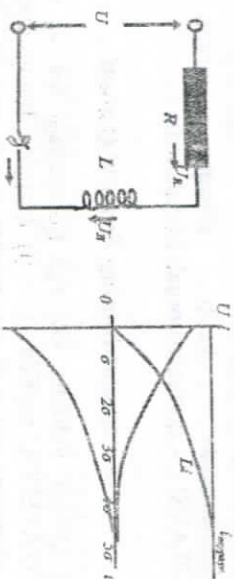
14.1. Tok va kuchlanishning erkin va majburiy tashkil etuvchilari

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

orasidagi energiyaning taqsimlanish jarayoniga kelgan vaqt gadar 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'rini bo'ladi:

$$U_L + U_R = U$$

Bunda, i - o'kinchi 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 magnet maydon energiyasi evaziga hosil bo'ladi:

$$i = i_{majb} + i_{erk}$$

$$U = U_{majb} + U_{erk}$$

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

Erkin tok (kuchlanish) ko'rsatgichi funksiya orqali ifodalanadi, ular eksponensial qonun asosida so'nadi va vaqt t oshgan sari ko'rsatgichi 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 jarayondagi 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:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U \quad (14.2)$$

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

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

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

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: $i_{majb}(0) = i_{majb} = U/R$

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

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

O'tkinchi jarayondagi tok

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

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

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'lmisdan, 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 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.

Ilidizi ikkiga teng bo'lgan tenglama yechiladi. Bunda, P - kattalikning ilidizi topiladi. Bu kattalik ko'rsatgichi funksiyaning biringi 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.

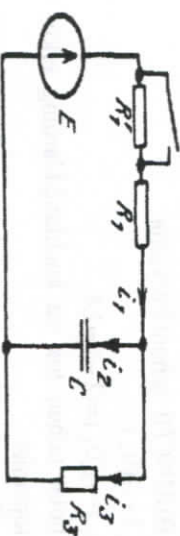
4. TOK va KUCHLANISHlarining barcha qiymatlari uchun vaqtga bog'liq bshlgan grafiklari chiziladi.

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.

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

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:

$$i_1(0) = i_2(0) = \frac{E}{(R_1 + R_2 + R_3)} = \frac{150}{150} = 1 \text{ A.}$$

Kondensatoridagi kuchlanish:

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

Kommutatsiyadan keyingi TOK va KUCHLANISHLAR qiymatini topamiz:

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

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

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

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

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

Kirrog'ning BIRINCHI qonuni bo'yicha:

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

$$i_2(0_+) = i_1(0_+) - i_3(0_+) = 2 - 1 = 1 \text{ A}$$

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

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

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

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

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

Kondensatorda erkin TOK

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

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

Misolning 2-qismi:

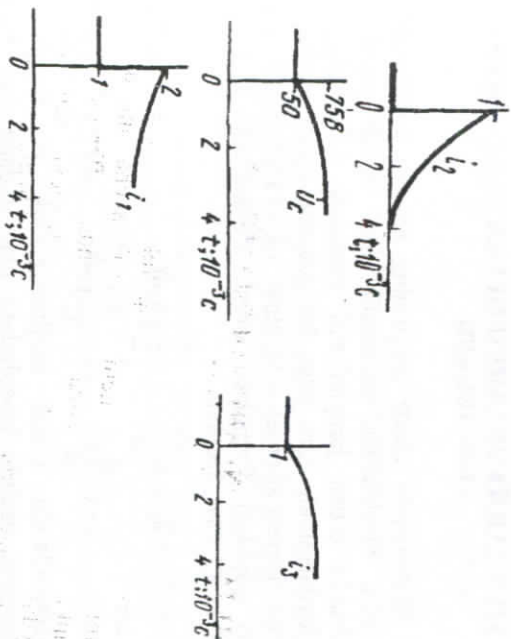
Kommutatsiyadan keyingi holat uchun tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

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

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

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

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



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 integralardan foydalaniladi. Shu bilan bir qatorda, elektr zanjirdagi induktiv va sig'im elementlar orgali o'tayotgan tok va kuchlanishlarning oniy qiymatlari quyidagi formulalar orgali ifodalanadi: L va C zanjirlarda TOK va KUCHLANISH:

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

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

O'tish jarayonlarida elektr zanjirning tok va kuchlanish qiymatlarini operator usulida hisoblashda ular ifodalarning TAS-VIURLARI orgali ifodalanadi. TOK va KUCHLANISHlarning integral orgali ifodalari algebratik ifodalarga aylanadi va ularning oniy qiymatlarini hisoblash mumkin bo'ladi.

O'tish jarayonlarining OPERATOR usuli LAPLAS formulasi 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:

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

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

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

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

Yuqoridagi LAPLAS formulasi orgali har qanday funksiyaning uning tasviri va originali orgali bo'linmalar bilan ifodalash imkonini beradi (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 ALMASHITIRILADI.

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

2-jadval

Boshlang'ich elektr zanjir	Operator hisoblash zanjiri

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:

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

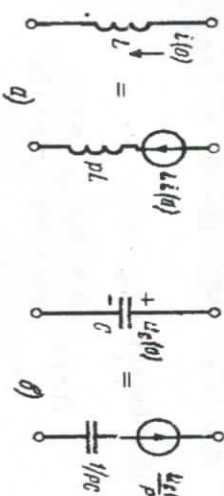
CHIQUISH KUCHLANISHI ESA quyidagicha ifodalanadi:

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

Yuqoridagi keltirilgan tablitmadan foydalanilgan holda

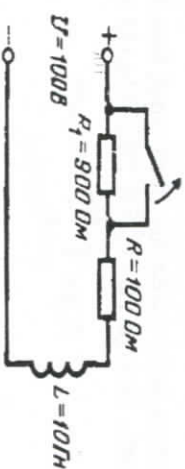
$$F(p) = \frac{U}{(p + \frac{1}{RC})} \quad (15.9)$$

Elektr zanjirlarida OPERATOR usulida hisoblash uchun EK VIVA-LENT quyidagi sxemalar orqali ifodalanadi.



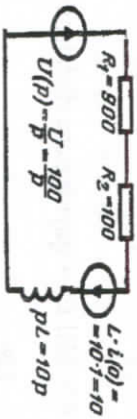
15.3-rasm.

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:

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

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 umumida 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:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p=p_k)}{F_2'(p=p_k)} e^{p_k t} \quad (15.13)$$

Bu ifodada $\sum_{k=1}^n$ 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:

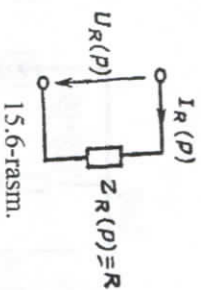
$$\sum U_i(p) = \sum E_j(p)$$

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

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

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

1. Qarshilik

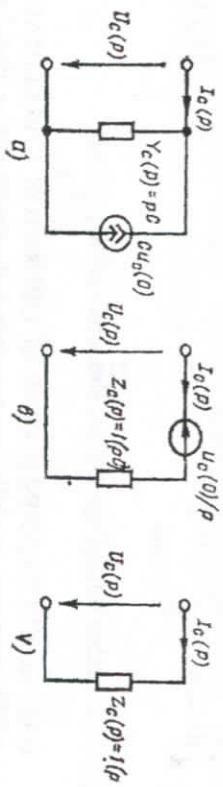


15.6-rasm.

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

$$u_R = Ri_R$$

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



1.5.7-rasm.

2. Sig'im

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

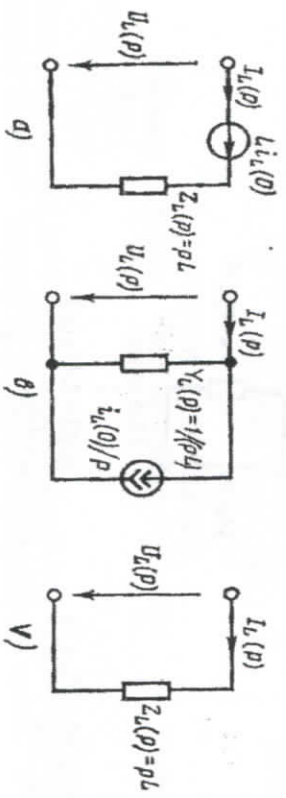
Operator TOK va KUCHLANISHLAR:

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

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

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

3. Induktivlik



1.5.8-rasm.

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

Operator TOK va KUCHLANISH ifodalari:

$$U_L(p) = pLI_L(p) - Li_L(0) \quad I_L(p) = \frac{i_L(0)}{p} + \frac{U_L(p)}{pL}$$

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

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'kazuvchanlik formulalari.
7. Sig'im elementining operator TOK, kuchlanish, o'kazuvchanlik formulalari.
8. Induktivlik elementining operator TOK, kuchlanish, o'kazuvchanlik formulalari.

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

Spektral (chastotaviy) usul yordami bilan CHEZlarni tahlil qilish.

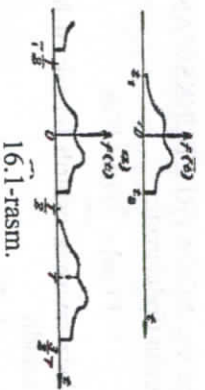
Elektr zanjirlarini CHASTOTAVIY usulda tahlil qilishda zanjir orqali o'tayotgan signallarning chastotaviy xarakteristikalarini hisoblashda qo'llaniladi. Signal energiyasini spektr bo'yicha taqsimlanishini kuzatish mumkin. Shu xususiyatlari tufayli elektr zanjirlardagi o'tish jarayolarini tahlil qilishga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

- 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.



16.1-rasm.

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

Fure gatorining 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 gatoridagi chastota intervali:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} \quad (16.4)$$

$$\text{Agar, } A_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \quad \text{teng bo'lsa,}$$

u holda:

$$\Delta = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\omega_1 t} (n\omega_1) \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \quad (16.5)$$

$$\text{Keltirilgan formulada, agar, } T \rightarrow \infty \quad n\omega_1 \rightarrow \omega \quad \Delta(n\omega_1) \rightarrow d\omega_1$$

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 funktsiyasining IKKI tomonlama almashirish funktsiyasi, formula esa FURE funktsiyasining TESKARI almashirish funktsiyasi deb yuritiladi. Fure INTEGRALI bo'yicha quyidagi ifodalar va almashirishlar o'rinni bo'ladi:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$f(t) = F(j\omega)$$

$$F(j\omega) = F(p)/p=j\omega \quad (16.8)$$

Chastotaviy (spektr) usuli uchun Om va Kirygor qonunlari

Om va Kirygor qonunlari

$$I(p) = \frac{E(p)}{Z(p)} \rightarrow I(j\omega) = \frac{E(j\omega)}{Z(j\omega)}$$

$$\sum I_k(p) = 0 \rightarrow \sum I_k(j\omega) = 0$$

$$\sum E_k(j\omega) = \sum I_k(j\omega) \cdot Z_k(j\omega) \quad (16.9)$$

$I(j\omega), E(j\omega)$ – spektrlar;

$Z(j\omega)$ – kompleks qarshilik.

16.1. To'rtqubliklar (TQ)

Elektr zanjirining istalgan ikki juft ikki klemmalariga nisbatan ko'riladigan elektr zanjir qismi **to'rtqublik** deb ataladi.

To'rtqubli 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'rtqublik 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-shakli:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned}$$

2) Y-shakli:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 \end{aligned}$$

3) A-shakli:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2 \end{aligned}$$

(to'g'ri uzatish)

4) B-shakli:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= B_{11}\dot{U}_1 + B_{12}\dot{I}_1 \\ \dot{I}_1 &= B_{21}\dot{U}_1 + B_{22}\dot{I}_1 \end{aligned}$$

(teskari uzatish)

5) H-shakli:

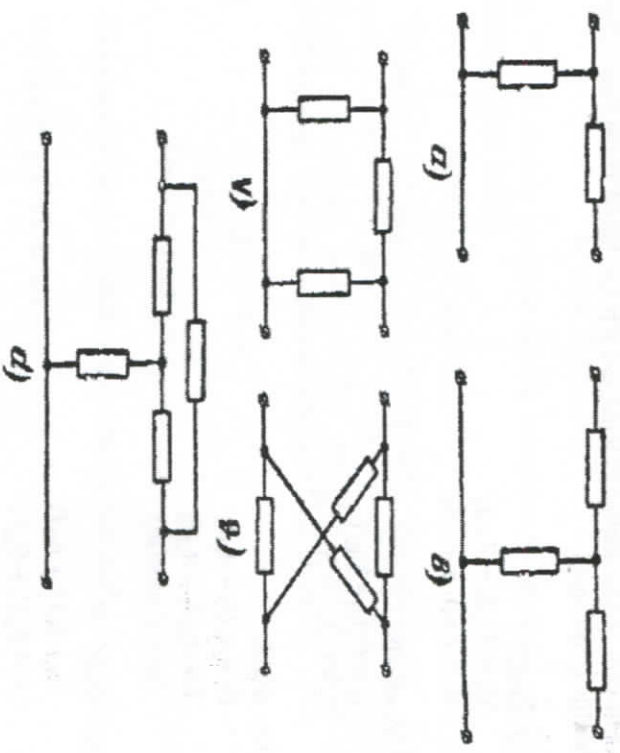
$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= H_{11}\dot{I}_1 + H_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= H_{21}\dot{I}_1 + H_{22}\dot{U}_2 \end{aligned}$$

6) F-shakli:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= F_{11}\dot{U}_1 + F_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= F_{21}\dot{U}_1 + F_{22}\dot{I}_2 \end{aligned}$$

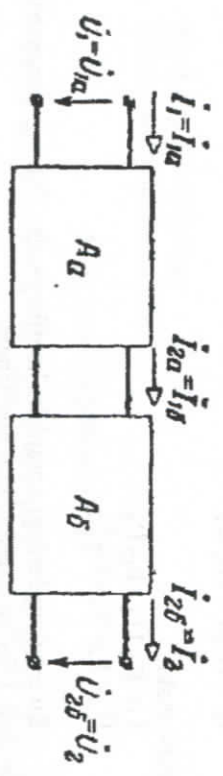
Bu tenglamalardagi kompleks koeffitsiyentlar TQning parametri deyiladi. Ular hammasi o'zaro bog'langan.

TQ ulanish turlari



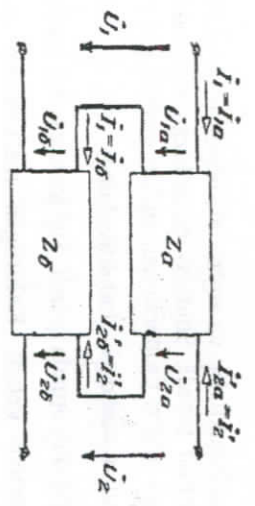
16.2-rasm.

Kaskadli (Zanjirli) ulanish



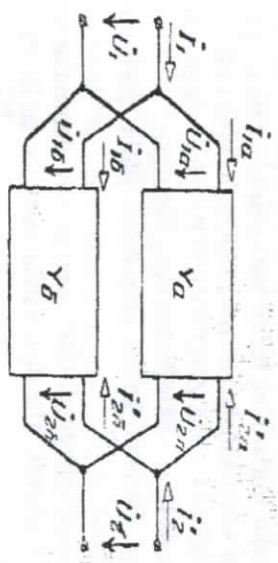
16.3-rasm.

Ketma-ket ulanish



16.4-rasm.

Parallel ulanish



16.5-rasm.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Chastotaviy usul mahosi.
2. Fure gatorining kompleks shaklidagi ifodasi.
3. Nodavriy funksiyaning spektr formulasi.
4. FURE funksiyasining IKKI tomonlama almashirish funksiyasi.
5. FURE funksiyasining TESKARI almashirish funksiyasi.
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. BATTERYORD, CHEBISHEV VA ZOLOTARYOV
FILTRLARI**

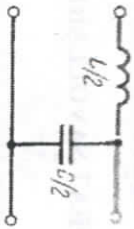
Filtrlar asosan induktivlik va sig'im elementlaridan tashkil topgan zanjiri hisobiga tashkil topadi. Shunday ekan bizga malumki induktiv qarshiligi chastotaga to'g'ri proporsional, sig'im qarshiligiga esa teskari proporsional. Bundan tashqari, induktivlikdagi tok $\frac{\pi}{2}$ miqdordagi burchakka kuchlanishdan orqada qoladi. Sig'imda esa tok kuchlanishdan $\frac{\pi}{2}$ burchakka ilgariab ketadi. Keltirilgan ma'lumotlar asosida va **INDUKTIVLIK** va **SIG'IM** elementlarining 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. BATTERYORD (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:

Quyida yuqori chastotali filtrlardagi reaktiv elementlar soniga filtrlar tartibi (n) deb ataladi. Masalan, ushbu sxemalarda: 2- va 7- tartibli filtrlar keltirilgan.

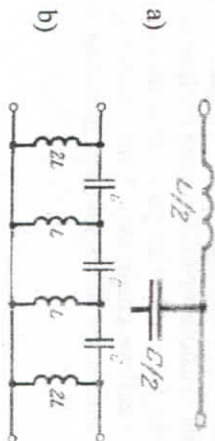


17.1-rasm.

Demak, filtrlar nechanchi tartibli bo'lsa filtrlar parametrlarini hisoblashda operator, kompleks va differensial tenglamalar ham 2-, 3- va 7-tartibli holatda tuziladi.

Elektr filtrlarining gorizontal 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 rasmida ko'rsatilgandek to'rtqutbli elektr zanjirlari tarkibiga kiradi va quyida chastotali filtrlar $K = \sqrt{L/C}$ (QCHF) deb ataladi.

Bunday filtrlarda induktiv elementlarida qarshilik juda kam bo'ladi, chastota oshgan sari gorizontal shoxobchadagi qarshilik oshadi, perpendikulyar shoxobchada esa uzatish koeffitsiyenti kamayadi. Bu turdagi filtrlarda **REZONANS CHASTOTASI QIRQISH**

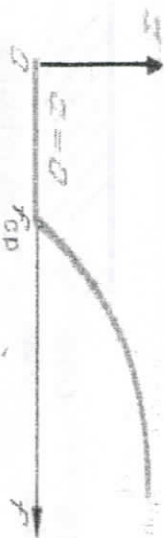
CHASTOTASI ω_{cp} deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \frac{L}{C}} = \frac{2}{\sqrt{2} \cdot LC}$$

$$f_{cp} = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$$



17.4-rasm.

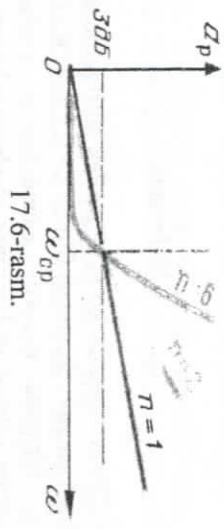


17.5-rasm.

Elektr filtrlarida **NORMALLASHTIRILGAN** kattalik bu o'lchov birliksiz kattalik bo'lib quyidagicha ifodalanadi: masalan, normal-lashtirilgan chastota, chastotaning qirg'ich chastotasi nisbatiga aytiladi.

$$\omega = \frac{\omega}{\omega_{cp}} \quad \text{yoki} \quad f = \frac{f}{f_{cp}}$$

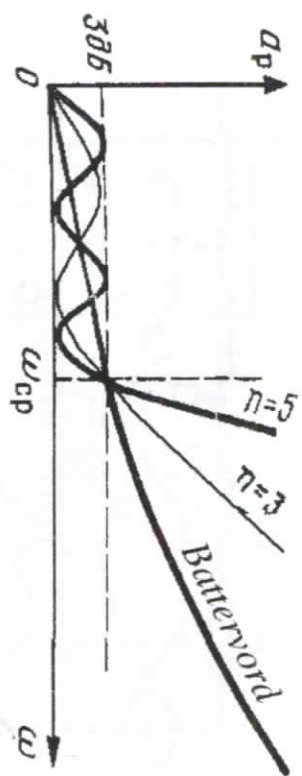
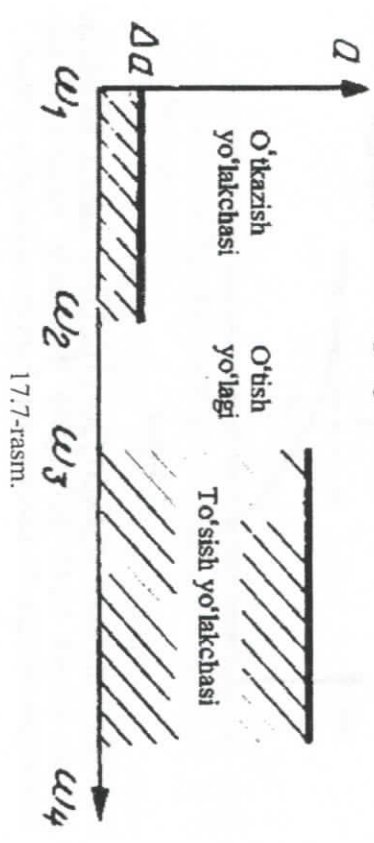
Battervord xarakteristikalariga ega bo'lgan filtrlar shunday filtrlarki, QCHF larda chastotata NOLGA teng bo'lganda signal so'nishi ham NOLGA teng bo'ladi, o'tkazish yo'lakchasida esa signal so'nishi monoton ravishda o'sadi va chegaraviy 3 dB chastotaga teng bo'ladi. Keyinchalik ushlab qolish yo'lakchasida esa monoton ravishda keskin oshadi.



17.6-rasm.

Bunday filtrlarda filtr tartibi ganchalik 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.

Chebisev filtrlarda signalning so'nish xarakteristikasi o'tkazish yo'lakchasida amplitudasi 3 dB dan oshmaydigan tebrama ko'rinishida bo'ladi, ushlanib qolish yo'lakchasida esa xuddi shunday tartibga ega bo'lgan BATTERVORD filtrlardan katta bo'lgan monoton ravishda o'sib boruvchi xarakteristikaga ega bo'ladi.

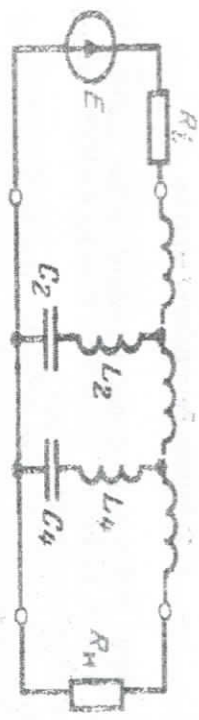


17.8-rasm.

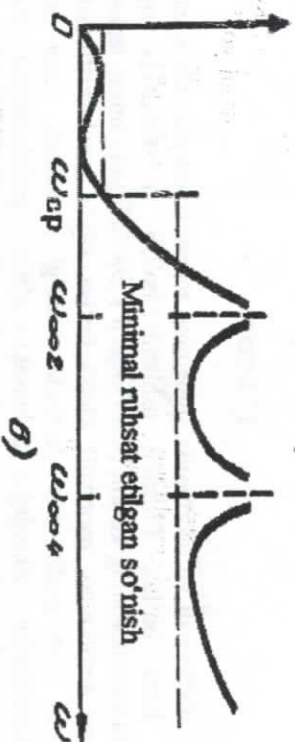
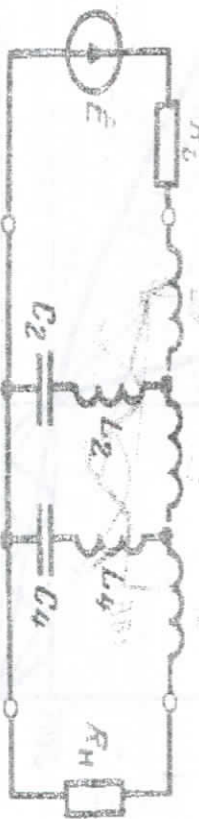
O'tkazish yo'lakchasida signalning tebranish amplitudasi qanchalik katta bo'lsa, filtrning ushlanib qolish yo'lakchasida signal xarakteristikasining keskin oshib ketishi kuzatiladi yoki uning teskarisi, signal amplitudasi qanchalik kichik bo'lsa, signal xarakteristikasining o'sishi ham ancha past darajada ekanligi kuzatiladi. Agar signal parametrlarini shunday tanlansaki o'tsh 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 tebrama xarakteriga 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.

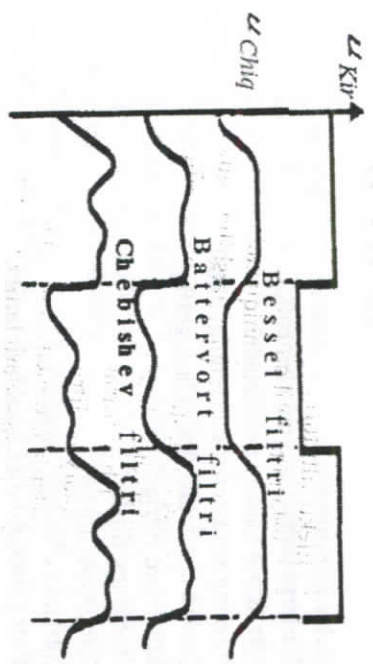


17.10-rasm.

Bu turdagi filtrlar shunday tuziladiki, elektr sxemalarda bir nechta chastota rezonansi hosil bo'luvchi zanjirlardan tuziladi (rasimga qarang), chunki kam chastotalarda gorizontal 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 BIRLIK funksiyasi uzatiladi va filtring 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 kuzatilgan, signal shaklining eng ko'p buzilishi CHEBISHEV filtrida kuzatilgan.

Shuni ta'kidlash kerakki, BESSEL filtrlari o'tkinchi jarayonlarda signal xarakteristikalarini yomon ko'rsatgichlarga erishadi, CHEBISHEV filtrlari esa buning teskarisi bulgan xarakteristikalariga ega bo'ladi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, filtrlar tartibi (n) oshgan sari BESSEL filtrlari xarakteristikalarini yaxshilanib boradi, BATTERVORD filtrlarida esa yomonlashadi. Shunday qilib, ko'rib chiqilgan variantlardan BATTERVORD filtrlari eng optimal deb topilgan va shu filtrlar elektrotexnikada ishlatilib kelimogda.

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'rtish qiymati.
5. Generator va sxemadagi yuklamalar uchun qarshiliklar qiymati.

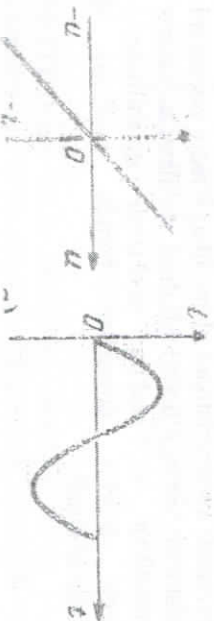
NAZORAT SAVOLLARI

1. Elektr filtr turlari.
2. Filtrlarni tashkil etuvchi elementlar.
3. Filtr tartibi qanday aniqlanadi?
4. Filtrning xarakteristik qarshiligi nima?
5. Qirqish chastotasi, formulasi, grafigi.
6. Battered filtrlari.
7. Chebishev filtrlari.
8. Zolotaryov filtrlari.
9. Filtrlarda o'rtinchi jarayonlar.
10. Filtr parametrlarini hisoblash tartibi.

XVIII bob. NOCHIZIQLI ELEKTR ZANJIRLAR

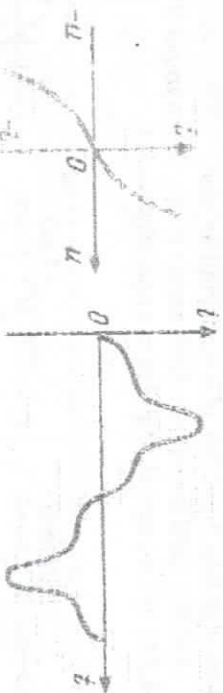
CHIZIQLI zanjirlarning parametrlari, ya'ni qarshiliklari, induktivliklari, boshqaruvchi manbalarning sig'implari-ularga ulangan kuchlanishlar yoki ularidan oqib o'tayotgan toklarning qiymatlari bog'liq emas edi.

Element qarshiligi shu qarshilik qutblaridagi kuchlanish U ning miqdori va shu qarshilikdan oqib o'tayotgan tok I ning miqdori gandayligidan qar'i nazar, unga nisbati doimo bir xil miqdorga teng bo'lgan, ya'ni qarshilikning kuchlanishi va toki orasidagi bog'lanish $U(I)=Q \cdot I = \text{const}$ doimo o'zgarmas bo'lgan elektr zanjirlari CHIZIQLI elektr zanjirlari deb ataladi va TOK va KUCHLANISH 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, yarim o'tkazgichli) kiradi.

Nochiziqli zanjirlarga cho'g'lanna lampalar, elektron lampalar, ion va yarim o'tkazgichli asboblar 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 termogarshiliklar 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.

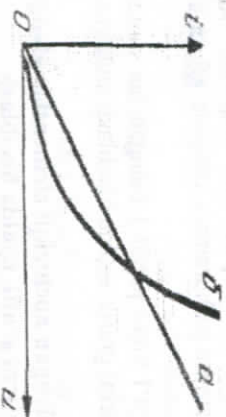
Ularning xarakteristikasi: (volt-ampere $u=iR$, veber-ampere $\Psi=L \cdot i$ va volt-kulon $q=Cu$) egri chiziqli liniya orqali ifodalanadi.



18.3-rasm.

Har bir element uchun qutblarida (klemmalarida) hosil bo'ladigan kuchlanish va shu element orqali o'tayotgan TOKlarni bir-biriga bog'liqliklarini ko'rsatuvchi VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALAR (VAX) mavjud bo'ladi.

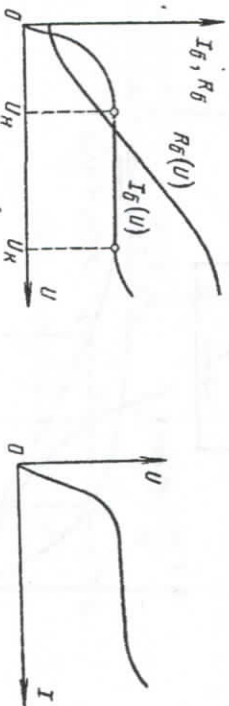
Ushbu grafikda CHIZIQLI va NOCHIZIQLI elementlarning TOK va KUCHLANISHLARGA bog'liqlik grafigi keltirilgan. Chiziqli elementlarda KUCHLANISH oshgan sari TOK ham oshib boradi. Nochiziqli elementlarda esa har bir nuqtada tok va kuchlanish qiymatlari har xil bo'ladi va o'zgarishlar ham har xil bo'ladi.



18.4-rasm.

BARETTERNING VAX keltirilgan. Kuchlanishning U_n va U_k oraliqida baretterdagi TOK miqdori o'zgarmaydi, 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 parallel ulangan elementlar va ularning VAX quyidagicha berilgan bo'lsa:

$$r_1(I_1) \text{ va } r_2(I_2) \quad I_1(U_1) \quad \text{va} \quad I_2(U_2)$$

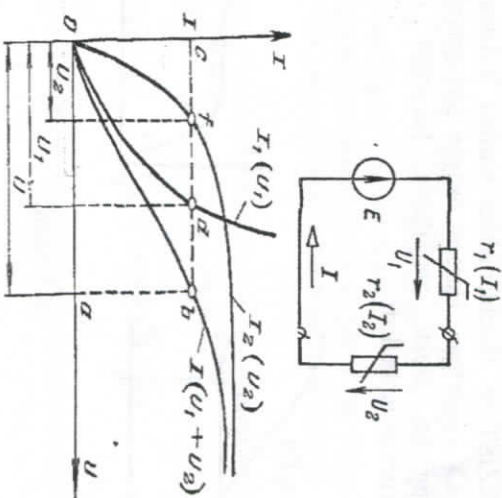
Berilgan zanjir uchun kuchlanishning toklar yig'indisiga ($I_1 + I_2$) bog'liqlik grafigini chizish kerak bo'ladi.

Parallel 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 parallel bo'lgan (**da kesimini tushuramiz**), natijada **ad va af** masshtabga teng bo'lgan kesma olamiz.

Xuddi shunday yo'l bilan parallel 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 elementi aniqlashda albatta, uning Volt-Amper xarakteristikalari keltiriladi:



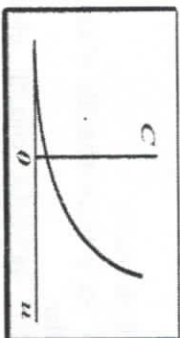
$$R = \frac{u}{i} \quad G = \frac{i}{u} = \frac{1}{R}; \quad G_d = S = \frac{di}{du} = -\frac{1}{R}. \quad (18.1)$$

18.3. Nochiziqli sig'im.

Nochiziqli sig'imning sxemadagi shartli belgilanishi quyida keltirilgan:



$$C = \frac{q}{u_C}; \quad C_d = \frac{dq}{du_C}. \quad (18.2)$$



18.7-rasm.

$$i = C(u) \frac{du}{dt}. \quad (18.3)$$

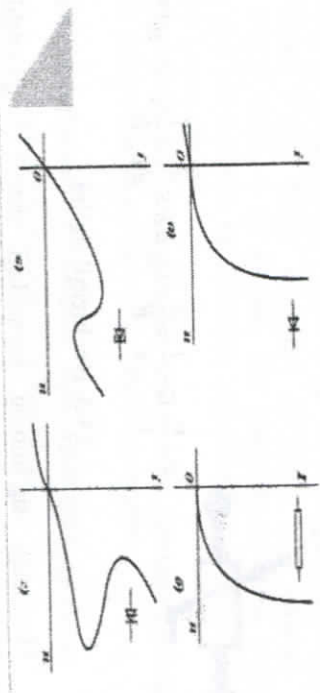
18.4. Nochiziqli induktivlik

Nochiziqli induktivlikning elektr sxemadagi shartli belgisi quyida rasmida keltirilgan. Magnit ilashuvning tokka nochiziqli bog'langanligi quyidagicha ifodalanaadi:



$$L = \frac{\psi}{i}; \quad L_d = \frac{d\psi}{di}. \quad (18.4)$$

Real elementlarning NCH rezistiv elementlar modellari shaklidagi tavsiflanishiga diod, tiristor, dimistor misol bo'la oladi.



18.8-rasm.

Chiziqi elektr zanjir parametrlari Om qonuni orqali hisoblanasa, nochiziqi VAX katta tartibdagi ko'phadlar orqali hisoblanadi:

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + a_4 u^4 + a_5 u^5 + \dots \quad (18.5)$$

Bu formulada: a_0 – tokning doimiy tashkil etuvchisi;

$a_1 \dots a_5$ – VAX turiga bog'liq bo'lgan va o'kazuvchanlik o'lchov birligiga ega bo'lgan doimiy koeffitsiyentlar.

Nochiziqi elektr zanjirlar VAXlari qanchalik chiziqi elektr zanjirlar VAX laridan farq qilsa ko'phadli formuladagi daraja ko'rsatgichlari shunchalik katta tartibga ega bo'lib boraveradi va zanjir qublariga (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:

$$u = U_m \sin \omega_1 t. \quad (18.6)$$

Nochiziqi elektr zanjirining VAXsi 2 tartibdagi ko'phaddan tashkil topgan bo'lsa va quyidagi tenglama bilan ifodalansa:

$$i = a_1 u + a_2 u^2 \quad (18.7)$$

U kuchlanish o'rniga $U_m \sin \omega_1 t$ ifodani qo'yamiz va quyidagi tenglamani olamiz:

$$i = a_1 U_m \sin \omega_1 t + a_2 U_m^2 \sin^2 \omega_1 t. \quad (18.8)$$

Va quyidagi ifodani e'tiborga olsak,

$$\sin^2 \omega_1 t = \frac{1 - \cos 2\omega_1 t}{2}. \quad (18.9)$$

U holda nochiziqi elektr zanjirida TOK quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$i = a_1 U_m \sin \omega_1 t + \frac{1}{2} a_2 U_m^2 - \frac{1}{2} a_2 U_m^2 \sin 2\omega_1 t. \quad (18.10)$$

DEMAK, NOCHIZIQI ELEKTR ZANJIRI: kirish qismiga uzatilgan KUCHLANISH ω_1 chastotali sinusoidal signaldan tashkil topgan bo'ladi, TOK esa doimiy kattalikdan

$$\frac{1}{2} a_2 U_m^2 \quad (18.11)$$

va ikkilangan chastotali garmonik signaldan tashkil topgan

$$\frac{1}{2} a_2 U_m^2 \sin 2\omega_1 t. \quad (18.12)$$

NAZORAT SAVOLLARI

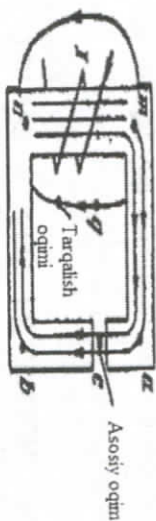
1. Nochiziqi qarshilik.
2. Nochiziqi sig'im.
3. Nochiziqi induktivlik.

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:

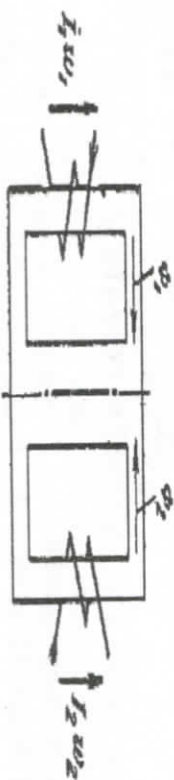


19.1.-rasm.

$$\Phi = \int B dS = 0 \quad (19.1)$$

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:

$$I_1 \omega_1 \neq I_2 \omega_2 \quad \Phi_1 \neq \Phi_2, \quad (19.4)$$

bunday magnit zanjiri NOSIMMETRIK magnit zanjiri deb yuritiladi.

Magnit zanjirlarida asosiy kattaliklar quyidagilar hisoblanadi: MAGNIT INDUKSIYASI, MAGNITLANISH VA MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGI.

MAGNIT INDUKSIYASI:

$$B = \mu_0 (H + J) \quad 1 T = 1 B * c/m^2 = 1 B \text{ G/m}^2$$

$$B = \mu_0 \mu H = \mu_0 H \quad H = B / \mu_0 \approx 0,8 * 10^6 B \quad (19.5)$$

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 magnet katushkasidagi cho'lg'amlar sonini e'tiborga olsak, u holda to'liq tok qonuni quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$iHdl = I\omega = F \quad (19.9)$$

Bu yerda, F —magnitlanish kuchi, yoki magnet yurituvchi kuch deb yuritiladi, o'lehov birligi (amper-vitkax).

Yuqoridagi formulani e'tiborga oladigan bo'lsak, MAGNIT ZANJIR QONUNINI quyidagicha ifodalanaadi:

$$\sum_{k=1}^{k=n} H_k l_k = \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k}{\mu_0 \mu_k} l_k = F \quad (19.10)$$

Bu ifodada: l — magnet induksiyasi liniyasining o'rta uzunligi.

19.1. Magnet zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari

KIRXGOFNING BIRINCHI QONUNI;

Magnet zanjirining har qanday tugunlaridagi magnet oqimlarning algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum \Phi = 0 \quad (19.11)$$

KIRXGOFNING IKKINCHI QONUNI;

Har qanday yopiq konturdagi magnet kuchlanganliklar tushumining algebraik yig'indisi shu konturning magnet 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 magnet kuchlanlanganlik quyidagicha ifodalanaadi:

$$U = HI \quad (19.13)$$

Bu ifodada:

$$H = B/(\mu\mu_0) = \Phi/(\mu\mu_0 S), \quad (19.14)$$

Φ — magnet oqimini;

S — magnet uchastkasining ko'ndalang kesim yuzasi.

Yuqoridagi formulalarni inobatga olgan holda, MAGNIT ZANJIRI UCHUN OM qonuni quyidagicha ifodalanaadi:

$$U = \Phi I / (\mu\mu_0 S) = \Phi R$$

$$R = l / (\mu\mu_0 S).$$

$$(19.15)$$

Magnet zanjiri uchun OM qonuni magnet oqimi bilan magnet kuchlanganlik o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

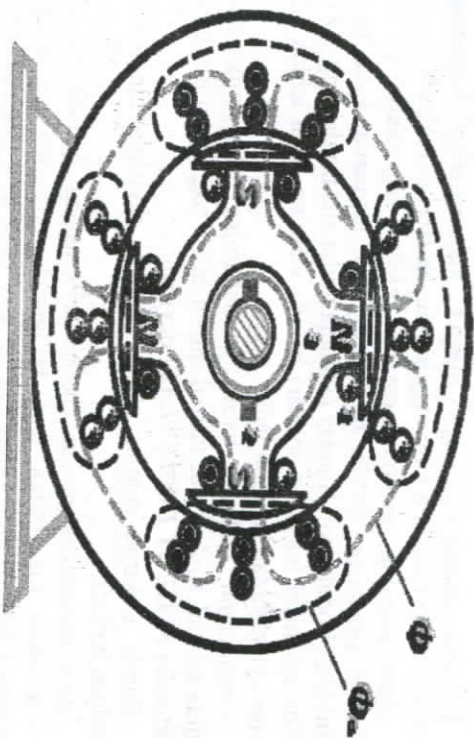
Bu ifodalarda quyidagi formula MAGNIT ZANJIR UCHASTKASINING MAGNIT QARSHILIGI deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanaadi:

$$R = l / (\mu\mu_0 S). \quad (19.16)$$

Magnet uchastkasining magnet qarshiligi miqdoriga teskari bo'lgan ifoda MAGNIT O'TKAZUVCHANLIK deb ataladi va quyidagicha ifodalanaadi:

$$G = 1/R = \mu\mu_0 S/l. \quad (19.17)$$

Magnet zanjirlar ko'pchilik mashinalar, apparatlar, elektromagnet asboblar va o'lehash texnikasi hamda avtomatika qurilmalarining asosini tashkil qiladi. Masalan, quyidagi rasmda kuchi magnetaviy maydon manbayi hisoblangan va tez-tez uchrab turadigan o'zgarmas tok elektromagniti ko'rsatilgan:



19.3-rasm.

Bunda elektromagnet energiya mexanik energiyaga va energiyaning boshqa ko'rinishlariga hamda teskarisiga almashinadi.

Masalan, o'zgarmas tok sinxron mashinasining rotori chulg'amidan tok o'tiganda 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 orgali 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 sinidqarini tashishda ishlatiladigan ko'targich elektromagnitlar qurishda foydalanilishini misol tariqasida ko'rsatish mumkin.

Magnit materiallar yordamida magnit oqimini keskin kuchaytiriladi.

Magnit oqimidan past kuchlanishi toklarni yuqori kuchlanishi toklarga yoki elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda va elektr energiyasini slungga 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.

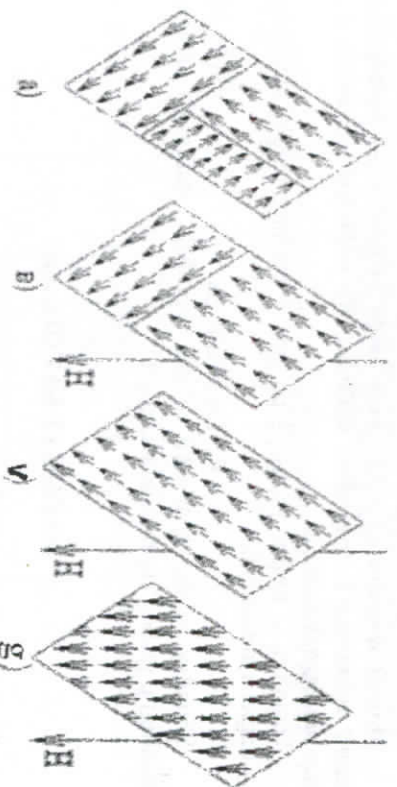
Materiallarning magnit xossalari elektr zaryadlarining ichki harakatiga asoslangan bo'lib, bunda zaryadlar elementar aylanna tok ko'rinishida ifodalanaadi. Bunday aylanna toklar elektronlarning o'z o'qi atroffida aylanishi (elektron spinlar) hamda ularning atom ichida orbita bo'ylab aylanishidan hosil 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'Ichami taxminan 0,001-10 mm³ oralig'ida bo'ladi. O'ta toza materiallarda esa domenlarning o'Ichami yuqorida keltirilgan qiymatdan ham kattaroq bo'ladi.

Ferromagnitning magnitlanishida domenlarda sponlarning yo'nalish olishi.



19.4-rasm.

Polikristall magnetiklarda anizotropiya keskin ifodalangan hollarda ferromagnetik magnit tekstura ega bo'ladi.

Kerakli magnit tekstura olish orgali 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'Ichami 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'Ichamlari o'zgaradi. Bu hodisa *magnit-striksiya* deyiladi. Temir monokristalining magnit-striksiyasi kristalning har xil yo'nalishlarida turlicha bo'ladi.

Materiallarning nisbiy magnit singdiruvchanligi magnit induksiyasi (V) ning magnit maydoni kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\mu_p = B/\mu_0 H. \quad (19.18)$$

Magnit materiallarning magnit singdiruvchanligi birdan yuqori $\mu \gg 1$ ($\mu_p = \mu_0 \mu$, $\mu = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ Hn/m) bo'ladi.

Magnit singdiruvchanlik chulg'anga magnit o'zak kiritilganda magnit oqiniining 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:

$$P_m = L/\mu S = L/\mu \mu_0 S. \quad (19,19)$$

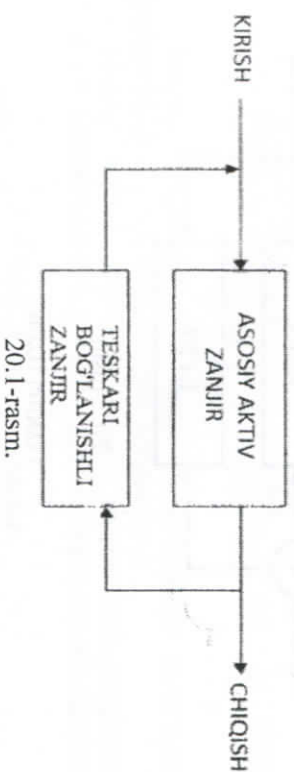
Shunday qilib, g'atakka o'zak kiritilishi natijasida magnit qarshiligi μ ga bog'liq ravishda kamayadi.

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'kazuvchanlik.

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, chiqishidagi 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'kazish oraliq'ini kengaytiradi, shovqin va bo'zilismlarni kamaytiradi. Kuchaytirgichlarda ko'proq manfiy TB qo'llanadi.

Musbat teskari bog'lanish kuchaytirish koeffitsientini orttiradi, o'kazish oraliq'ini kichraytiradi va kuchaytirish barqarorligini kamaytiradi. Musbat TB ko'pincha generatorlarda qo'llanadi.

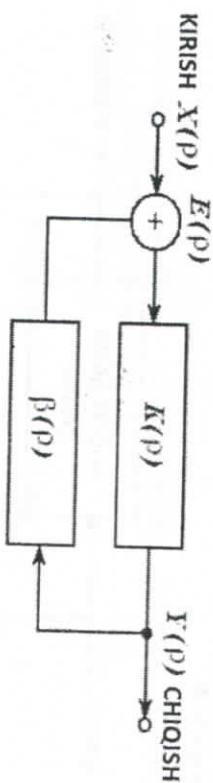
Aktiv nochiziqli elementlardan tashkil topgan elektr zanjirlarda elektr tebranishlar davriy ta'sirsiz o'z ichidan hosil bo'lishi mumkin.

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:

Asosiy tizim



20.2-rasm.

Testkari tizim

Bunday tizim testkari bog'lanishli tizim deb yuritiladi.

Agar, $X(R)$ va $Y(R)$ mos ravishda kiritishdagi va chiqishdagi operator signallar bo'lsa, u holda:

Testkari 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,

$$H(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{E(p)K(p)}{E(p) - \beta(p)Y(p)} = \frac{K(p)}{1 - \beta(p)K(p)} = \frac{K(p)}{1 - \beta(p)K(p)} \quad (20.1)$$

Agar, $P = j\omega$ bo'lsa, u holda, bu ifoda quyidagi shaklda bo'ladi:

$$H(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{1 - \beta(j\omega)K(j\omega)} \quad (20.2)$$

Bu formulada ushbu ifoda

$F(j\omega) = 1 - \beta(j\omega)K(j\omega)$ $K(j\omega)$ – testkari bog'lanishning kompleks chuqurligi deb yuritiladi.

Agar, $|1 - \beta(j\omega)K(j\omega)| > 1$ bo'lsa, tizimning uzatish koeffitsiyenti moduli va unga mos ravishda chiqishdagi signal amplitudasi kamaygani sababli testkari bog'lanish manfiy TB bo'ladi.

Agar, $|1 - \beta(j\omega)K(j\omega)| < 1$ bo'lsa, testkari bog'lanish musbat TB bo'ladi. **Masalan**, kuchaytirish koeffitsiyenti $K(j\omega) = 1000$ bo'lsa, testkari bog'lanishning uzatish koeffitsiyenti $v(j\omega) = -0,099$ bo'lsa, u holda testkari bog'lanishni o'z ichiga olgan kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

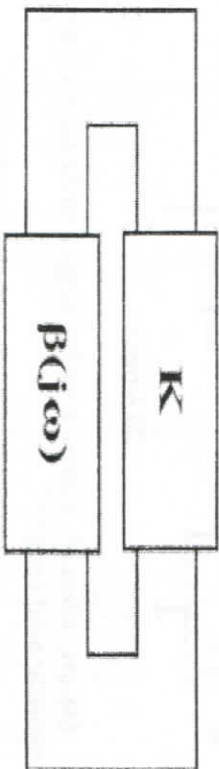
$$H(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{1 - \beta(j\omega)K(j\omega)} = \frac{1000}{1 - (-0,099) \cdot 1000} = 10. \quad (20.3)$$

Manfiy testkari bog'lanish uzatish funksiyasining barqarorligini (kuchaytirgich ishining barqarorligini) ko'paytiradi.

Manfiy testkari bog'lanish devyari barcha kuchaytirgichlarda ishlatiladi. Musbat testkari bog'lanish esa avtogeneratorlarda ishlatiladi.

20.1. Avtogeneratorlar

Tashqi ta'sirsiz hosil bo'ladigan tebranishlar–avtotrebranishlar deyiladi.



20.3-rasm.

Bu sxemada:

K – kuchaytirgich elementi;

$\beta(j\omega)$ – testkari bog'langan to'rtqutbli elementi.

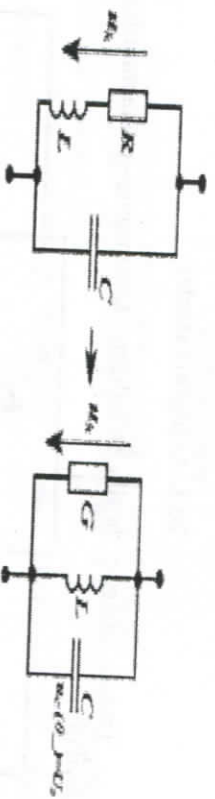
Ichida avtotrebranishlar hosil bo'ladigan maxsus qurilma avtogenerator deb ataladi. (masalan, soat, yurak, o'pkaning harakati va h.k.)

Avtotrebranishlarning 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 avtotrebranishlar maxsus energiyaga ega (sistemada o'z manbai bor).
- Avtogeneratorning umumiy sxemasiga kuchaytirgich va TB to'rtqubligi kiradi; ularning uzatish koeffitsiyentlari shartini bajariladigan qilib tanlanadi.

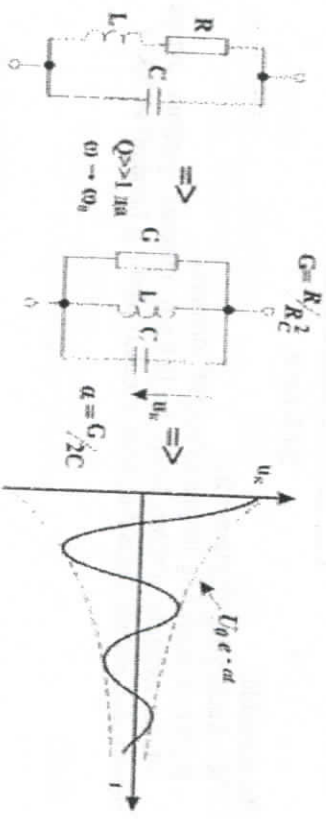
LC-avtogenerator

Parallel tebranish konturiga asosan, LC – avtogeneratorni tashkil etish mumkin. Misol uchun, quyidagi elektr zanjirlari buning isbotidir.



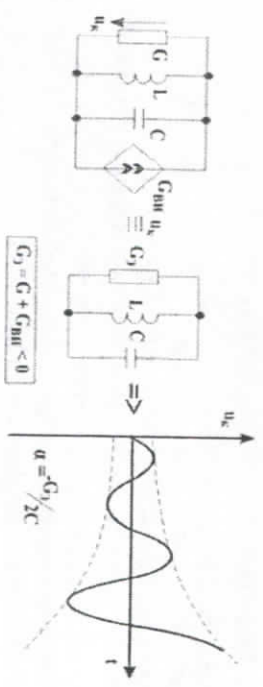
20.4-rasm.

Odatda, tebranish konturi ta'sir bo'lmagan holda faqat so'nuvchi tebranishlar hosil bo'ladi:



20.5-rasm.

Agar, konturga tebranish hosil qiliuvchi elementlar ulansa, u holda tebranishlar o'suvchi bo'lib qoladi

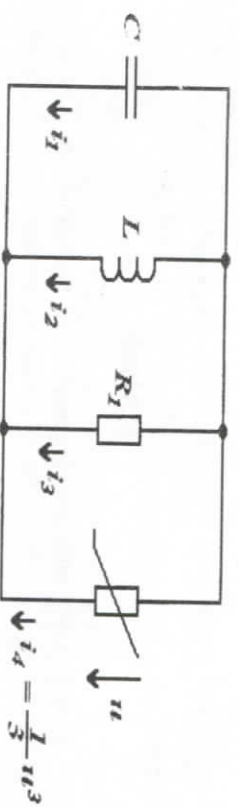


20.6-rasm.

$$C \frac{d^2 u_k}{dt^2} + G \frac{du_k}{dt} + \frac{1}{L} u_k = G_{av} \frac{du_k}{dt} \Rightarrow u_k = U_0 e^{at} \cos(\omega t + \psi)$$

Avtogenerator differensial tenglamalari
Agar, quyidagi ko'rinishdagi avtogenerator berrigan bo'lsa, u holda:

$$L = \frac{1}{C} = -\varepsilon \tag{20.4}$$



20.7-rasm.

Quyidagi tenglamalar o'rini bo'ladi:

$$R = 1 \quad i_4 = -\frac{1}{3} i_3 \tag{20.5}$$

Kirgogning birinchi qonuni bo'yicha:

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0. \tag{20.6}$$

Yuqoridagi zanjir uchun toklar quyidagicha ifodalaniadi:

$$i_1 = C \frac{du}{dt}, \quad i_2 = \frac{U}{L}, \quad i_3 = \frac{1}{L} \int u dt, \quad i_4 = -\frac{1}{3} i_3. \tag{20.7}$$

Agar, bir-birini o'rniga qo'ysak, quyidagi ifodani olamiz:

$$C \frac{di}{dt} + \frac{1}{L} i u d t + \frac{U}{R} - \frac{1}{3} i^3 = 0. \quad (20.8)$$

Yaqit bo'yicha differensiallab quyidagini olamiz:

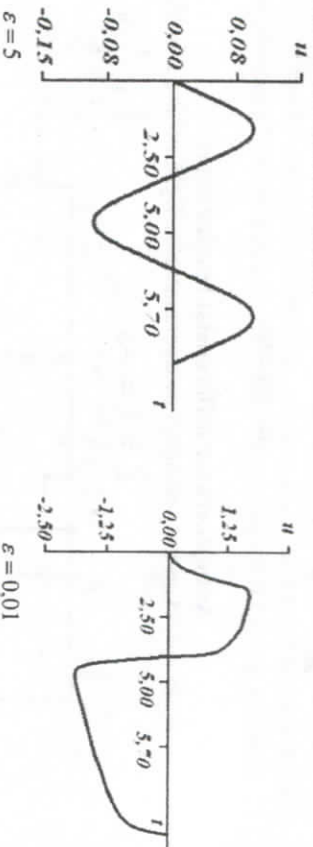
$$C \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{L} i + \frac{1}{R} \frac{di}{dt} - i^2 \frac{di}{dt} = 0; \quad \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} - i^2 \right) \frac{di}{dt} + \frac{1}{CL} i = 0. \quad (20.9)$$

Yuqoridagi formulalarni bir-biriga qo'ysak,

$$\text{Van - der - Polning nochiqiqi differensial tenglamasini olamiz:} \\ i'' - \epsilon(1 - i^2)i' + i = 0. \quad (20.10)$$

Tebrianish konturi bo'lgan avtogeneratorlarning ko'rlab 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 $\epsilon = 0,01$ 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. Avtotebrianishlar, ta'rifi.
4. Avtogeneratorlar ta'rifi.
5. LC - avtogenerator, sxemasi.
6. So'puvchi tebrianishlar.
7. O'suvchi tebrianishlar.
8. Avtogeneratorlar differensial tenglamalari.

FOYDALANILGAN ADAVIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-4947-son fatmoni. Toshkent, 2017-yil 7-fevral.
2. V.A. Tuluyaganova, A.A. Udadgova. Elektr Zanjirlar Nazariyasi fani bo'yicha talabalarning mustaqil ta'vurlanishlari ushbu uslubiy ko'rsatma. TATU. Toshkent, 2015.
3. Fundamentals of Electric Circuits/ Charles K/ Alexander, 2013.
4. Ta'limda innovatsion texnologiyalar. Ishmukhamedov R., Abdurqodirov A., Radaev A. Toshkent, 2008.
5. Bakajov V. P., Vorobyenko P. P., Krujk B. I. Teoriya elektricheskix tsepey. Uchebnik dlya VUZov. Pod red. V. P. Bakajova. -M.: Radio i svyaz, 1998.
6. Belitskiy A. F. Teoriya elektricheskix tsepey: Uchebnik dlya VUZov. -M.: Radio i svyaz, 1986. -544 s.
7. Matxanov P. N. Osnovy analiza elektricheskix tsepey. Lineynnye tsepi: Uchebnik dlya VUZov. -3-e izd., -M.: Vyssh. Shk., 1990. -400 s.
8. Krylov V. V., Korsakov S. D. Osnovy teorii tsepey dlya sistemotekhnikov: Ucheb. Posobie dlya VUZov. -M.: Vyssh. Shk., 1990. -224 s.
9. Shebes M. P., Kablukova M. V. Zadachnik po teorii lineynnykh elektricheskix tsepey - M.: Vysshaya shkola 1990. -544 s.
10. Osnovy teorii tsepey: Uchebnik dlya VUZov. G. V. Zevke, P. A. Ionkin, A. N. Netushil, S. V. Straxov - M.: Energoatomizdat, 1989. -528 s.
11. Mirziyoyev Sh. M. Vuyuk kelajadimizni mavd va olibanob xalqimiz bilan birga quramiz. 2017.
12. Mirziyoyev Sh. M. Qo'llan ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash - yurt taraqqiyo'i va xalq farovonligining garovi. 2017.
13. Mirziyoyev Sh. M. Etkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. 2017.
14. Mirziyoyev Sh. M. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-inozom va shaxsiy javobgarlik-har bir tahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2016-yil yakunlari va 2017-yil isloqolantirga bag'ishlangan majlisidagi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining nufuzi. // Xalq so'zi gazetasi. 2017-yil 16-yanvar. № 11.
15. Teoriya elektricheskoy svyazi: Uchebnik dlya vuzov / A. G. Zюko, D. D. Klovkский, V. I. Korzhik, M. V. Nazarov; Pod red. D. D. Klovkского. - M.: Radio i svyaz, 1999. -432 s.
16. Teoriya elektricheskoy svyazi: Uchebnoe posobie dlya studentov vysshix uchebnykh zavvedeniy / R. P. Bikkennin, M. N. Chesnokov. - M.: «Akademiy», 2010. -336 s.
17. Sklyar B. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - M.: Изд. Дом «Вильямс», 2003. -1104 с.
18. Проке Дж. Цифровая связь. - M.: Радио и связь, 2000.
19. Ю. П. Акулиничев. Теория электрической связи: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2010.