

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

Jizzax Politexnika Instituti

**“NAZARIY ELEKTROTEXNIKA”
fanidan**

Ma'ruzalar matni

1 - qism

Jizzax – 2018

Ushbu ma’ruzalar matni Jizzax politexnika instituti “Elektromexanika va Radioelektronika” fakulteti “__” “_____” 20__ yil ilmiy – uslubiy kengash tomonidan Bayyonoma №_____ tasdiqlangan

“Elektromexanika va Radioelektronika”
fakulteti dekani:

p.f.d. O. To`raqulov

“Elektroenergetika” kafedra mudiri:

prof. U. Yuldashev

Tuzuvchilar:

E.A. Abdullayev

O.U. Nurullayev

Jizzax politexnika instituti

Ushbu ma’ruzalar matni “Nazariy elektrotexnika” fanining 1 - qismidan ma’ruza darslari bo'yicha zaruriy ma'lumotlarni qamrab oladi.

Ma’ruzalar matni bakalavriatning 5310200 «Elektr energetikasi (tarmoqlar bo'yicha)», 5310700 «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (tarmoqlar bo'yicha)» ta'lim yo'nalishlarida tahsil oluvchi talabalar uchun mo'ljallangan bo'lib “Nazariy elektrotexnika” fanini o'zlashtirishda yordamchi qo'llanma sifatida xizmat qilishi kerak.

*Ma'ruza №1***Kirish. Elektrotexnika fanining taraqqiyoti tarixidan lavhalar.
Fanning boshqa fanlar bilan aloqasi.**

Hozirgi zamon elektroenergetikasi - mamlakatning yetakchi sohasidir. U ilmiy-texnik taraqqiyotda har qanday soha ishlab-chiqarishini jadallashtirishda hal qiluvchi rolni o'ynaydi.

Inson o'z faoliyatining barcha sohalarida elektr energiyadan foydalanadi. Elektr energiya boshqa energiya turlaridan quyidagi ajoyib xossalari bilan ajralib turadi:

- a) boshqa (mexanik, kimyoviy, issiqlik, yorug'lik, atom) energiya turlaridan olinishi nihoyatda sodda;
- b) uzoq masofaga yuqori foydali ish koeffitsiyenti (FIK) bilan uzatish va yuklamalarga oson taqsimlash mumkin;
- v) boshqa turdagi energiyaga oson aylantirish mumkin;
- g) turli quvvatga ega yuklamalarni bitta manbaga ulash mumkin;
- d) turli fizik tabiatli parametrlarni tok va kuchlanishga o'zgartirish sodda;
- e) signallarni uzoq masofalarga bir onda uzatish mumkin (telefon, telegrafiya, radioaloqa).

Elektr energiyaning bu xususiyatlari qisqa tarixiy muddatda nafaqat elektroenergetikaning asosiy masalalarini, balki noelektr texnikalarni yangi sifat darajaga ko'tarishga imkon berdi. Elektrotexnika fanining zamirida elektrotexnik, radiotexnik, elektromexanik va avtomatik uskunalar, shu jumladan hisoblash texnikasi tez sur'atlar bilan rivojlandi.

Elektrotexnikaning yuzaga kelishi o'zgarmas tok manbaining yaratilishi va elektr va magnetizm sohasidagi kashfiyotlar bilan bog'liq.

Qadim o'tmishda dastlab yunonlar kichik Osiyoning Magneziya tog' rudalarining parchalari temir jismlarni tortish xususiyatini payqadilar va bu hodisani magnetizm deb atadilar.

Miletlik Fales eramizdan avvalgi VIII-VII asrlardan oq qahrabo ishqalanish natijasida elektrlanishi va unda elektr maydon paydo bo'lishini ta'kidlagan. Elektr va magnit hodisalar qadim dunyodan ma'lum, lekin bu hodisalar to'g'risidagi fan 1600 yilda ingliz fizigi U. Gilbert elektr va magnit hodisalar to'g'risida tadqiqotlarini e'lon qilgandan keyin boshlandi. Elektr to'g'risidagi fanni rivojlanish bosqichida elektr hodisalarning tabiatini o'rganishga bag'ishlangan M.V. Lomonosov, G.V. Rixman, B. Franklino, Sh. Kulonlarning amaliy tadqiqotlari muhim ahamiyat kasb etdi.

Elektr va magnit hodisalarni o'zaro bog'langanligini rus olimi F. Epinus 1758 yilda o'z ma'ruzasida aytib o'tgan.

1785 yilda fransuz olimi Sh.Kulon o'z nomi bilan atalgan qonunni kashf etdi. U elektr maydoni kuchlanganligi tushunchasini kiritdi. Elektr zanjir tushunchasi 1794 yilda A. Volta tomonidan kiritilgan. Volt ustuni esa 1800 yilda yaratilgan. Rus akademigi V.V. Petrov 1802 yilda elektroximiya bo'yicha birinchi tadqiqotlarini o'tkazgan va u elektroximiyaning asoschisi hisoblanadi.

Magnit strelkaga tokning ta'siri X. Ersted tomonidan 1819 yilda, toklarning o'zaro ta'siri esa A. Amper tomonidan 1820 yilda o'rganilgan. Amper birinchi bo'lib elektr toki, tok kuchi, elektr kuchlanish atamalarini kiritgan. Magnit maydonining dastlabki tadqiqotlari J.B. Bio va M. Savar tomonidan o'tkazilgan va Laplas tomonidan matematik ravishda umumlashtirilgan (Bio - Savar - Laplas qonuni).

Elektrostatikaga oid ayrim tenglamalarni fransuz matematigi S. Puasson tadqiq etgan. Elektromagnit maydonning materialistik konsepsiyasi ingliz olimi M. Faradey tomonidan rivojlantirilgan. U elektr va magnit maydonlarni tadqiq etish uchun kuch va ekvipotensial chiziqlar atamalarini kiritgan.

1782 y. Laplas o'z nomi bilan ataladigan tenglamalarni og'irlik nazariyasiga tegishli asarlarida qo'llagan. Elektromagnit induksiya qonunini 1831 yilda ingliz fizigi M. Faradey tajriba yo'li bilan kashf etgan va elektrokimyo qonunlarini birinchi bor o'rgangan. Elektromagnitli telegraflar rus injeneri P.Shilling tomonidan 1832 yili yaratilgan. Rus akademigi B. Yakobi 1838 yili suv kemasi uchun elektr mashina yaratgan. Elektr zanjiriga oid Om qonuni 1826 yilda nemis olimi G. Om tomonidan kashf etilgan.

Elektromagnit o'lchash birligi absolyut tizimini nemis olimlari K.F. Gauss va T. Veber 1831-1833 yillari yaratdilar.

Tokning issiqlik ta'siri - Joul-Lens qonunini ingliz fizigi D. Joul 1841 yili va rus akademigi E. Lens 1842 yilda ta'riflab berishgan. 1844 yil E. Lens elektromagnit inersiya qonunini bayon qilgan. Nemis olimi G. Kirxgof 1845 yilda elektr zanjirlarga oid ikkita muhim qonunga ta'rif bergan.

Vektor potentsiali, induktivlik va o'zaro induktivlikni birinchi bor 1845 yil nemis olimi F. Neyman ifodalagan. Buyuk ingliz olimi D. Maksvell 1873 yili siljish toklari tushunchasini kiritdi, hamda hozirda uni nomi bilan ataladigan o'zgaruvchan elektromagnit maydon tenglamalarini tuzdi. Bundan faqat 25 yildan keyingina elektromagnit maydon mustaqil tarzda materiya deb isbot etildi.

Elastik muhitda energiya harakati rus olimi N.Umov tomonidan 1874 yilda nazariy jihatdan tadqiq qilingan.

Rus injeneri F. Pirotskiy 1875 yilda quvvati 4,4 kVt o'zgarmas tokni 1 km masofaga uzatish tajribasini o'tkazgan.

Cho'g'lanish lampasi 1875 yil A. Lodigin tomonidan kashf etilgan.

1884 yil ingliz olimi D. Poyting elektromagnit maydon energiyasini uzatishni nazariy jihatdan tadqiq etgan.

1889-91 yillarda rus injeneri M.O. Dolivo-Dobrovolskiy elektr energiyaning uch fazali tizimi qism(generator, transformator, motor) larini ishlab chiqqan va kuchlanishi 15 kV, quvvati 150 kVA bo'lgan elektr energiyani 175 km masofaga uzatishni amalga oshirgan.

1872 yilda rus olimi A. Stoletov fotoeffekt hodisasini kashf etgan. Dunyoda birinchi bo'lib A. Popov radio aloqani amalga oshirgan.

1887-88 yillarda nemis olimi G. Gers elektromagnit to'lqinlarni mavjudligini eksperimental ravishda isbot etdi.

Relyativistik elektrodinamikaning rivojlanishi 1905-1908 yillarda G. Lorens va G. Minkovskilarning izlanishlari bilan bog'liq.

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi nemis olimi G. Kamerling Onessom tomonidan 1911 yilda kashf etilgan.

"Nazariy elektrotexnika" faniga bevosita aloqasi bo'lgan matematik va umumnazariy ishlar to'g'risida quyidagi ma'lumotlarni berish mumkin.

Fransuz matematigi J. Dalamber, Peterburg fanlar akademiyasi akademiklari L. Eyler va D. Bernullilar bilan birgalikda to'lqin tenglamalari nazariyasini hamda matematik fizika asoslarini yaratishdi.

Laplasning to'g'ri o'zgartirish formulasi 1782 yilda taklif etilgan. Hajm integralini sirt integraliga o'zgartirish formulasini M.V. Ostrogradskiy 1828 yilda bergan.

Differensial tenglamalarni operator usulida integrallashni rus matematigi M. Vashenko-Zaxarchenko taklif etgan.

O'rama (svertka) teoremasi birinchi bor P.L. Chebishev tomonidan 1867 yil, Dyamel integrali esa 1883 yil berilgan. Ma'lum harakatning turg'unlik nazariyasini akademik A.M. Lyapunov bayon etgan. Operator usuli elektrotexnika faniga O. Xevisayd tomonidan 1892-1912 yillarda tadbiq etilgan.

Sinusoidal tok elektr zanjirlarini simvolik usulda hisoblash usulini amerika olimi Ch. Shteynmets 1894 yilda taklif etgan. Garmonik balans usulida nohiziq elektr zanjirlarni hisoblash usulini fransuz olimi M. Joli 1911 yil joriy etgan. Sekin o'zgaradigan amplitudalar usulini 1927 yil golland olimi B. Vander-Pol taklif etgan. Kichik parametrlar usulini esa 1928 yil fransuz olimi G. Puankare taklif etgan.

Nohiziq tebranishlar nazariyasidagi fundamental ishlarni akademiklar L. Mandelshtamm, N. Papaleksi va A. Andronov 1937 yil amalga oshirdilar.

Nohiziq zanjirlarni chastotaviy usulda tahlil etishni rus olimlari N.M. Krilov va N.N. Bogolyubov birinchi bo'lib taklif etdilar. Elektr zanjirlar sintezini birinchi bor nemis olimlari I.O. Sobel (1924 y.), amerika olimi R. Foster (1924 y.) rus olimlari S. Yevlanov (1937 y.) hamda B.V. Bulgakov (1949 y.) nazariy jihatdan asosladilar.

Elektr zanjirlarni signal graflar bilan tahlil qilishni rus olimi B.N. Petrov (1945 y.) va amerika olimi S. Mezon (1953 y.) taklif etishgan.

Maydon nazariyasi masalalarini yechishda integral tenglamalarni qo'llashni rus olimlari G.A. Granberg, V.M. Alexin, O.V. Tozoni, E.V. Kotelnikovlar (1948 y.) taklif etdilar.

1904 yilda Peterburg politexnika institutida professor V.F. Mitkevich "Elektr va magnit xossalari" fanidan, 1915 yilda Moskva Bauman oliy texnika o'quv yurtida professor K.A. Krug "O'zgaruvchan toklar nazariyasi" fanidan ma'ruzalar o'qidi.

O'zbekistonda energetika va elektrotexnika fanlarini o'rganish va rivojlantirish XX-asrning 30 yillaridan boshlandi. Respublikadagi energetika va elektrotexnikaning asosiy ilmiy yo'nalishlari N. Shcherdin va akademik X. Fozilov rahbarligida belgilandi va elektr stansiyalar elektr tizimi va jihozlarini takomillashtirish, puxtaligini oshirish, samaradorligini ko'tarishga qaratildi. Elektr tizimlarini hisoblashning ixcham usullari (X.Fozilov, K.R. Allayev, T.X. Nosirov, 1960-70 yillar) taklif etildi.

Elektr tizimlari rejimini ifodalaydigan katta o'lchamli nohiziq tenglamalarni yechish (S. Solihov) masalalari tadqiq qilindi.

An'anaviy energiya hamda tiklanuvchi energiyadan kompleks foydalanish (R.A. Zoxidov) masalalari xalq xo'jaligi uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

1970-1980 yillarda akademik J.Abdullayev tomonidan energetika tizimlarida o'lchash texnikasi aniqligi, puxtaligi va samaradorligini oshirish bo'yicha muhim tadqiqotlar amalga oshirildi. Shu yillarda o'zbek olimlari (M.Z.Xomidxonov, S.Z.Usmonov, N.M.Usmonxodjayev, M.Xusanov, O.O.Xoshimov, K.Mo'minov) avtomatlashgan elektr yuritmalarning yangi avlodini hamda ko'p rotorli asinxron motorlarni (A.Dadajonov) yaratishga muvaffaq bo'ldilar. Elektr tarmoqlari optimal rejimlarini boshqarish asoslari (E. Payziyev) yaratildi.

Nazariy elektrotexnika sohasida nohiziq elektr zanjirlari va tizimlari nazariyasi (G.R. Raximov, Z.I. Ismoilov, P.F. Xasanov) hamda avtoparametrik tebranishlar zanjirlarida o'zgaruvchan tok fazalar soni va chastotasini o'zgartirish nazariyasi (A.S.Karimov, M.I. Ibodullayev) takomillashtirildi.

Tarqoq parametrli zanjirlar nazariyasi va ular asosida elektrotexnik hamda elektr o'lchash o'zgartkichlarini takomillashtirish (M.F. Zaripov) yo'nalishlarida ijobiy natijalarga erishildi.

Elektr o'lchashlar fanida yangi xarakteristikalariga ega chastotasi o'zgaruvchan o'zgartgichlar va o'lchash ko'priklari nazariyasi Sh.Sh. Zoxidov tomonidan takomillashtirildi.

Ma'ruza №2

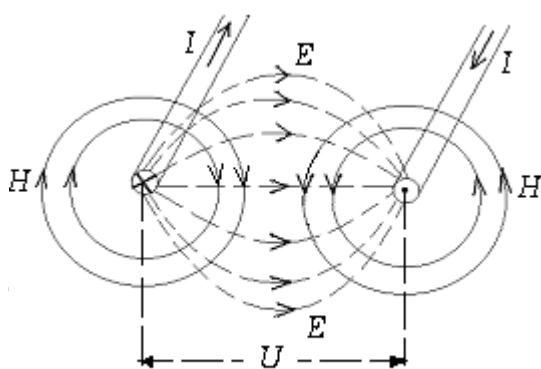
O'zgarmas tok chiziqli elektr zanjirlari va ularni hisoblash usullari Elektr zanjirlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklar

Reja:

1. Elektr maydonining kuchlanganligi
2. Elektr potensial va kuchlanish
3. Elektr tok. Tok zichligi
4. Elektr zanjir va uning elementlari.

Elektr maydonining kuchlanganligi

Magnit maydonini o'zgarishi natijasida elektr maydoni va aksincha elektr maydonini o'zgarishi natijasida magnit maydoni hosil bo'lishi bu ikki maydonning o'zaro bog'liqligini bildiradi. Buni elektr energiyani uzatish liniyasini ish faoliyati misolida ko'rish mumkin (1.1 - rasm).



1.1 – rasm

Liniya simlari orqali energiya uzatishda bir-biridan izolyasiya qilingan simlar U kuchlanish ta'sirida bo'ladi. Buning natijasida simlar orasida kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydoni hosil bo'ladi. Liniya

simlaridan I tok o'tishi natijasida ularning ichida va atrofida kuchlanganligi H bo'lgan magnit maydoni yuzaga keladi (1.1-rasmda elektr maydoni uzoq chiziqlar, magnit maydoni esa uzluksiz chiziqlar bilan ko'rsatilgan).

1.1-rasmdagi maydonlar kartinasidan ko'rinib turibdiki, *elektr maydoni kuch chiziqlari berk emas - ular musbat zaryadlangan simdan boshlanib manfiy zaryadlangan simda tugaydi, magnit maydoni kuch chiziqlari esa berk - ularning boshi ham, oxiri ham yo'q.*

Elektr maydonining eng oddiy ko'rinishi qo'zg'almas elektr zaryadlarning maydoni hisoblanadi va u elektrostatik maydon deb ataladi. Bu maydonning har bir nuqtasi kuchlanganlik vektori \vec{E} bilan tavsiflanadi.

Elektr maydonining kuchlanganligi unga kiritilgan nuqtali zaryadga maydon tomonidan ta'sir etayotgan kuchning shu zaryadga nisbatiga teng. Kuchlanganlik vektorining yo'nalishi nuqtali zaryadga ta'sir etayotgan kuch vektorining yo'nalishi bilan mos tushadi, binobarin:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \left[\frac{N}{Kl} = \frac{Jl}{m \cdot Kl} = \frac{A \cdot V \cdot s}{m \cdot A \cdot s} = \frac{V}{m} \right]$$

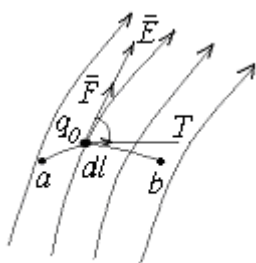
Nuqtali zaryad deb, shunday jism zaryadiga aytiladiki, uning o'lchami juda kichik bo'lib zaryadi tadqiq etilayotgan maydon ko'rinishiga ta'sir etmaydi.

Agar $q_0 = 1$ bo'lsa, u holda $\vec{E} = \vec{F}$ bo'lib, elektr maydonining kuchlanganligi son jihatdan birlik zaryadga maydon tomonidan ta'sir etadigan kuchga teng bo'ladi.

Kuchlanganligi barcha nuqtalarda bir xil bo'lgan maydon *bir jinsli maydon* deb ataladi.

Elektr potensial va kuchlanish

Zaryadlangan zarrachani elektr maydoni tomonidan ta'sir etuvchi kuch yordamida ko'chirishda maydon energiyasining o'zgarishi hisobiga ma'lum bir ish bajariladi.



1.2 – rasm

Aytaylik, musbat q_0 zaryadli zarracha elektr maydonida ma'lum bir yo'l bo'ylab a nuqtadan b nuqtaga ko'chirilmoqda (1.2-rasm).

Zarrachaga maydon tomonidan ta'sir etayotgan kuch

$\vec{F} = q_0 \vec{E}$ maydonning har bir nuqtasida kuchlanganlik kuch chiziqlariga urinma bo'ylab yo'naladi. 1.2-rasmda

α - \vec{F} kuch vektori va ab yo'l trayektoriyasiga o'tkazilgan urinma orasidagi burchak. ab yo'l trayektoriyasidan zarracha harakati yo'nalishi

bo'ylab $d\vec{l}$ elementar vektor ajratsak, u holda $d\vec{E}$ va $d\vec{l}$ vektorlar orasidagi burchak α bo'ladi.

Zaryadlangan zarrachani l yo'l bo'yl
ab ko'chirishda maydon kuchlari ish bajaradi:

$$dA = Fdl \cos \alpha = q_0 E dl \cos \alpha = q_0 \bar{E} d\bar{l}.$$

Butun ab yo'l bo'ylab bajarilgan ish:

$$A = \int_a^b F \cos \alpha dl = \int_a^b Eq_0 \cos \alpha dl = q_0 \int_a^b \bar{E} d\bar{l} \quad [\mathcal{K}\mathcal{I}].$$

Elektr maydoni o'zining har bir nuqtasida potensial energiyaga yoki ish bajarish qobiliyatiga ega. Bu qobiliyat potensial funksiya yoki potensial φ bilan aniqlanadi va u skalyar kattalik hisoblanadi. Elektr maydoni berilgan nuqtasi potensialining o'lchovi sifatida birlik zaryadni maydonning shu nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda maydon tomonidan bajarilgan ish qabul qilingan:

$$\varphi_a = \frac{A_a}{q_0} = \int_a^{\infty} \bar{E} d\bar{l} \quad [B].$$

Elektrostatika masalalarida odatda Yer yuzasining potensialini nolga teng deb qabul qilinadi. Fazoning cheklangan sohasida joylashgan va cheksiz dielektrik muhit bilan o'ralgan zaryadlangan jismlarga oid masalalarni yechishda bu jismdan cheksiz uzoqlikda joylashgan nuqtalar potentsiali odatda nolga teng deb olinadi.

q zaryaddan R masofada joylashgan nuqtaning potentsiali quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi R \varepsilon_a},$$

bu yerda ε_a - moddaning absolyut dielektrik singdiruvchanligi.

Nuqtali zaryadni elektr maydoni kuchlari yordamida a nuqtadan b nuqtaga ko'chirishda quyidagi tenglama bilan aniqlanadigan ish bajariladi:

$$A_{ab} = A_a - A_b = \varphi_a q_0 - \varphi_b q_0 = q_0 (\varphi_a - \varphi_b).$$

Elektr maydonini ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi elektr kuchlanish deb ataladi:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \frac{A_{ab}}{q_0} = \int_a^b \bar{E} d\bar{l} \quad [B].$$

Elektr kuchlanish qiymati jihatdan birlik zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirishda sarflangan ishga teng.

Kuchlanish - vektor kattalik bo'lib, uning musbat yo'nalishi potentsiali yuqori bo'lgan nuqtadan potentsiali past bo'lgan nuqtaga tomon olinadi, qiymati esa o'zi aniqlanayotgan nuqtalar holatiga bog'liq va zaryad ko'chayotgan yo'lga bog'liq emas.

Elektr tok. Tok zichligi

Elektr zaryadlari erkin tashuvchilarining elektr maydoni ta'sirida tartibli harakati elektr tok deyiladi. Elektr tok son jihatdan quyidagicha aniqlanadi:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt},$$

bu yerda Δq -elementar zaryad, Δt -shu zaryadni biror yuzadan o'tish vaqti.

Vaqt bo'yicha qiymati va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok o'zgarmas tok, vaqt bo'yicha o'zgaradigan tok o'zgaruvchan tok deb ataladi.

O'zgarmas tokning qiymati o'tkazgich ko'ndalang kesimidan 1 s vaqt mobaynida o'tadigan elektr miqdori yoki zaryad bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{Q}{t} \quad \left[\frac{K\lambda}{c} = A \right].$$

Amper - o'zgarmas tokning shunday qiymatiki, u cheksiz uzun va ingichka hamda vakuumda o'zaro 1 m masofada joylashgan ikkita o'tkazgichdan o'tganda ular orasida qiymati $2 \cdot 10^{-7}$ N ga teng bo'lgan kuch yuzaga keladi.

Elektr tokning musbat yo'nalishi sifatida musbat zaryadlarning manbaning "+" qismasidan "-" qismasiga harakat yo'nalishi shartli ravishda qabul qilingan.

Elektr tokni uzluksiz o'tishi uchun potentsiallar farqini hosil qiluvchi manba va zaryadlar harakati uchun berk yo'l bo'lishi shart.

O'tkazgichlarni elektr tok bilan qanday darajada yuklanganligini baholash uchun tok zichligi tushunchasidan foydalaniladi.

Tok zichligi vektor kattalik bo'lib, Δs elementar yuzadan o'tayotgan Δi elementar tokning Δs yuzaga nisbati $\Delta s \rightarrow 0$ dagi limitiga teng:

$$\bar{\delta} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta S} = \frac{di}{ds}$$

Masalan, elektr mashinalari chulg'amlarida ruxsat etilgan tok zichligi $3,7$ A/mm² ga teng.

Agar tok o'tkazgich kesimi bo'ylab bir tekis taqsimlangan bo'lsa, u holda tok zichligi:

$$\delta = \frac{I}{S}.$$

Elektr zanjir va uning elementlari

Elektr zanjiri elektr tokini hosil qilish va uning o'tishini ta'minlaydigan qurilma va obektlarning majmui bo'lib undagi elektromagnit jarayonlar elektr yurituvchi kuch (EYuK), tok va kuchlanish tushunchalari bilan ifodalanadi.

Elektr zanjir tushunchasi elektrotexnika fanining tayanch tushunchasidir.

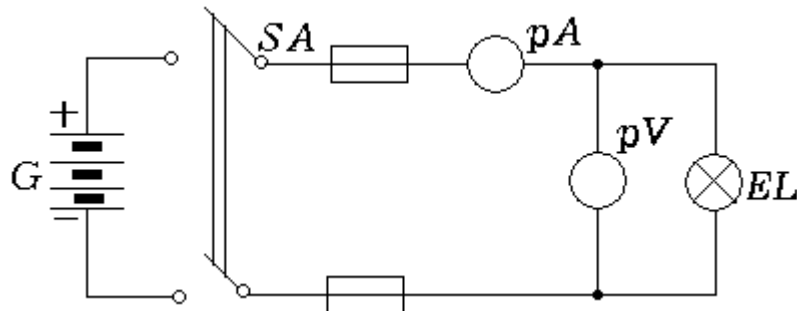
Elektr energiya manbai, iste'molchi va ularni o'zaro birlashtiruvchi o'tkazgichlar elektr zanjirning asosiy elementlari, o'lchash asboblari, ulab-uzgichlar va himoyalash qurilmalari esa uning yordamchi elementlari hisoblanadi. Demak,

elektr zanjir elementi bu elektr zanjir tarkibiga kiruvchi alohida qurilma bo'lib, u zanjirda aniq funksiyani bajaradi.

Elektr zanjirning elementlari shartli belgilar bilan tasvirlanadi.

Elektr zanjirning elementlari va ularni o'zaro ulanishining grafik tasviri elektr zanjirining sxemasi deb ataladi.

1.3-rasmda oddiy elektr zanjirining sxemasi keltirilgan.



1.3-rasm

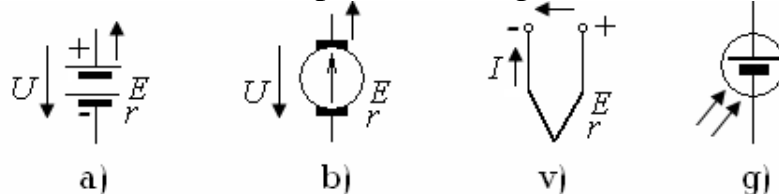
G - akkumulyator - elektr energiya manbai. U kimyoviy energiyani elektr energiyaga aylantiradi. EL – cho'g'lanma lampa - iste'molchi, unda elektr energiyasi yorug'lik va issiqlik energiyalariga aylantiriladi. SA - kalit, zanjirni ulab uzadi. pA - ampermetr, pV - voltmetr. To'g'ri chiziqlar - ulagich simlar - o'tkazgichlardir.

Elektr energiya manbalarining shartli belgilari-sxemalari: 1.4- a, b, v, g, rasmlarda keltirilgan.

Elektr energiya manbalarida turli tabiatli energiya maxsus o'zgartgichlar vositasida elektr energiyaga aylantiriladi.

O'zgartiriladigan energiyaning turiga ko'ra elektr energiya manbalari kimyoviy va fizik manbalarga bo'linadi. Kimyoviy reagentlar orasida oksidlanish-qaytarilish jarayonlari hisobiga elektr energiya ishlab chiqaruvchi manbalar **kimyoviy manbalar** deyiladi. Kimyoviy manbalarga galvanik elementlar, akkumulyatorlar va batareyalar kiradi.

Mexanik, issiqlik, elektromagnit, yorug'lik, radiatsion nurlanish, yadroviy parchalanish energiyalarini elektr energiyaga aylantiradigan qurilmalar **fizik manbalar** deyiladi. Ularga elektr generatorlar, termoelektr generatorlar, termoemission o'zgartgichlar, magnitogidrodinamik (MGD) generatorlar va quyosh nurlanishi hamda atom parchalanish generatorlari kiradi.

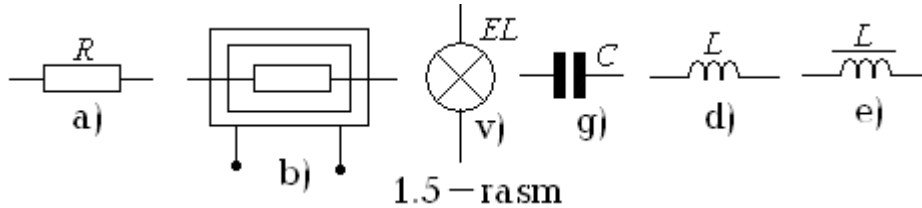


1.4 – rasm

- a) galvanik element,
- b) doimiy magnitli o'zgaruvchi tok elektr generatori,
- v) termojuft,
- g) fotoelement.

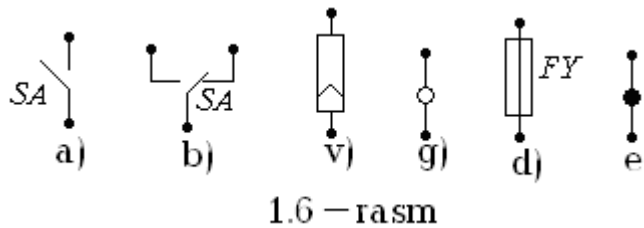
Elektr energiyasi iste'molchilarining shartli belgilari-sxemalari 1.5 - a, b, v, g, d, e rasmlarda keltirgan.

Elektr energiya iste'molchilari (elektr motorlar, elektr qo'ralar, issiqlik asboblari, cho'g'lanish lampalari, rezistorlar va b.) elektr energiyani boshqa tur energiyaga aylantirish uchun xizmat qiladi.



a) rezistor, b) elektr qizdirgich, v) cho'g'lanma lampa, g) kondensator, d) induktiv g'altak, e) o'zakli g'altak - drossel.

Elektr zanjir yordamchi elementlarining shartli belgilari-sxemalari 1.6-a, b, v, g, d, e - rasmlarda keltirilgan.



a) kalit (ulab-uzgich), b) qayta ulagich, v) shtepsel (raz'em), g) ajratish mumkin bo'lgan o'tkazgichning ulangan joyi-qisqich, d) eruvchan saqlagich, e) o'tkazgichlar kavsharlanib ulangan tugun.

Manba bilan iste'molchilar o'zaro o'tkazgich simlar yordamida birlashtiriladi. Ular elektr energiyasini manbadan iste'molchiga kam isrof bilan uzatadi. Elektr zanjirlariga ko'pincha yordamchi va o'lchash qurilmalari ulanadi. Ular elektr zanjiri ish holatini (misol uchun saqlagichlar) boshqarish, o'ta kuchlanish va katta toklardan saqlash va h.k. uchun xizmat qiladi.

Demak, har qanday elektr zanjirining asosiy vazifasi elektr energiyasini manbadan iste'molchiga uzatishdan iboratdir.

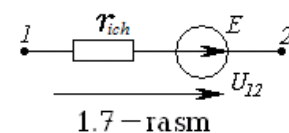
Elektr zanjirdagi elektromagnit jarayonlar EYuK, tok, kuchlanish, qarshilik (o'tkazuvchanlik), induktivlik, sig'im tushunchalari bilan ifodalanadi.

Har qanday tur energiyani elektr energiyaga aylantirishda EYuK hosil bo'ladi.

O'zgarmas tok zanjirlarida EYuK skalyar kattalik bo'lib, tashqi maydon va induksiyalangan elektr maydonning elektr tok hosil qilish xususiyatini tavsiflaydi.

Manba ichida zaryadlangan zarrachani siljitish uchun tashqi kuchlar tomonidan bajariladigan A ishni shu zarracha q zaryadiga bo'lgan nisbati EYuKning qiymatini aniqlaydi:

$$E = \frac{A}{q}$$



Agar $q=1 \text{ Kl}$ bo'lsa, unda $E=A$ bo'ladi.

Binobarin, EYuK manbaining ichida potentsiali pastroq qismdan potentsial yuqoriroq bo'lgan qismga birlamchi zaryadlarni ko'chirish uchun bajarilgan ish EYuKga teng. Agar manbaining ichki qarshiligi nolga teng, yani $r_{ich}=0$ bo'lsa, u holda EYuK qiymat jihatdan energiya manбайдan tok o'tayotgan holatda musbat va manfiy qisqichlar orasidagi kuchlanishga teng bo'ladi (1.7 - rasm):

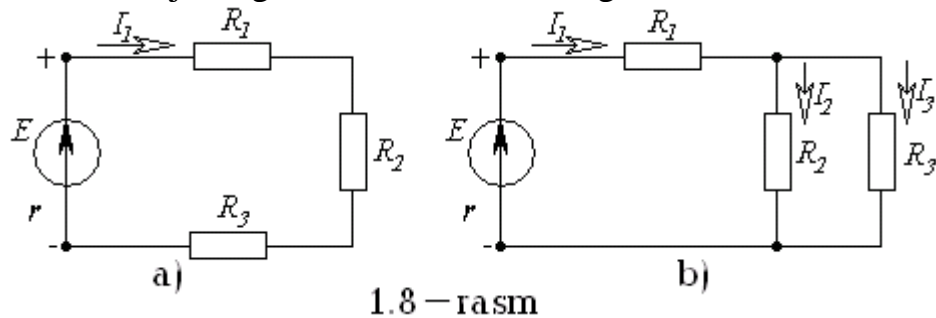
$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = U_{12}.$$

Berk zanjirda EYuK ta'sirida I tok hosil bo'ladi. Elektr zanjirlar *tarmoqlanmagan* va *tarmoqlangan* bo'ladi. Agar berk zanjirning barcha qismlaridan bitta tok o'tsa, u holda bunday zanjir tarmoqlanmagan bo'ladi (1.8 - rasm, a).

Tarmoqlangan zanjirning har bir shoxobchasida o'zining toki bo'ladi (1.8 - rasm, b). Elektr sxemada shoxobcha, tugun va kontur tushunchalaridan foydalaniladi.

Shoxobcha - elektr zanjirning bir xil qiymatli tok o'tuvchi qismi. Bunda elektr zanjirning elementlari ketma-ket ulangan qismi tushuniladi.

Tugun-elektr zanjirning uchtadan kam bo'lmagan shoxobchalari ulangan o'rni.



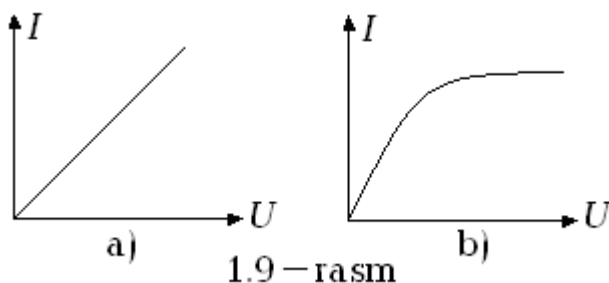
1.8 - rasm

Kontur - elektr zanjirning shoxobchalaridan hosil bo'lgan berk yo'l.

O'zgarmas tok - I harfi bilan, qarshilik - R va o'tkazuvchanlik - G harflar bilan belgilanadi.

Elektr zanjir elementi qismalaridagi kuchlanishni undan o'tuvchi tokka bog'liqligi elementning voltamper xarakteristikasi (VAX) deb ataladi (1.9-rasm). Masalan, rezistordan o'tuvchi tok bilan shu rezistordagi kuchlanish orasidagi bog'lanish rezistorning VAX bo'ladi.

Amalda absissa o'qiga kuchlanish qiymatini, ordinata o'qiga esa tok qiymatini tanlangan masshtabda belgilab elementning VAX quriladi. Agar rezistor VAX to'g'ri chiziq bo'lsa, u holda bunday rezistor *chiziqli rezistor*, chiziqli elementlardan tuzilgan zanjir esa *chiziqli zanjir* deb ataladi (1.9-rasm, a). Agar rezistorning VAX egri chiziq bo'lsa (1.9 - rasm, b), u holda bunday rezistor *nochiziq rezistor*, bunday rezistorlardan iborat elektr zanjir esa, *nochiziq elektr zanjir* deb ataladi.



1.9 - rasm

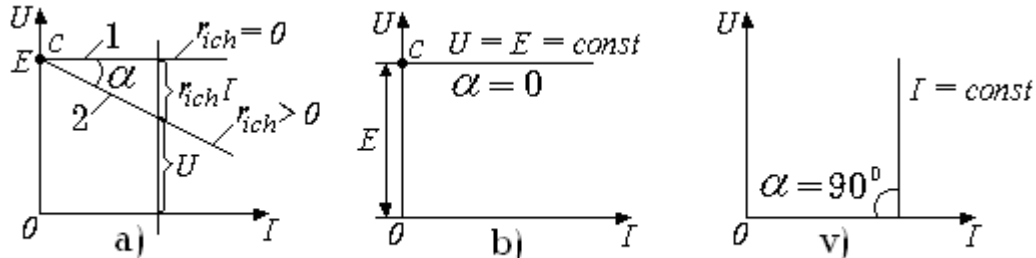
Chiziqli passiv element- rezistor R qarshilikka ega. Undan o'tuvchi tok va rezistorning qismalaridagi kuchlanish U ning o'zaro bog'lanishini *Om qonuni* ifodalaydi: $I = U/R$.

Qarshilikka teskari bo'lgan kattalik

o'tkazuvchanlik deb ataladi. O'lchov birligi Simens [Sm].

Chiziqli aktiv element - elektromagnit energiya manbai bo'lib, shartli ravishda ikki turga bo'linadi: EYuK manbai va tok manbai. Bu manbalar amalda ideal va real manbalar ko'rinishida bo'lishi mumkin.

Ideal EYuK manbai. Bunday manba qismlaridagi kuchlanish U u hosil qilgan tok qiymati I ga bog'liq bo'lmaydi. Ideal EYuK manbai uchun manbaning ichki qarshiligi $r_{ich}=0$, (1.10-rasm, a). Shuning uchun $U = E = const$ bo'ladi. Ideal EYuK manbai VAX absissa o'qiga parallel to'g'ri chiziqdan iborat (1.10-rasm, a) dagi 1-to'g'ri chiziq).

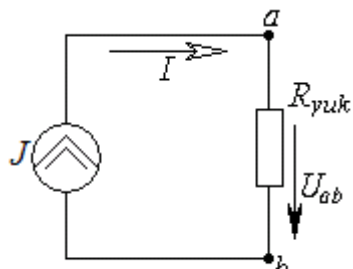


1.10 – rasm

Real EYuK manbai. Bunday EYuK manbaining ichki qarshiligi noldan farq qiladi. Shuning uchun manba qismlaridagi kuchlanish $U_{ab} = E - r_{ich}I$, ya'ni U tok qiymati I ga bog'liq bo'ladi. Real EYuK manbai VAX 1.10-rasm, a da keltirilgan (2-to'g'ri chiziq). Real EYuK manbaiga misol tariqasida akkumulyator batareyasi, o'zgarmas tok generatorini keltirish mumkin.

Real manbaning EYuKi miqdor jihatidan uning salt ish rejimida (tok nolga teng), qismlaridagi potentsiallar ayirmasi - kuchlanishga teng (1.10-rasm, b) bo'ladi. Bu manbaga tashqi zanjir ulanganda uning EYuKi avvalgi qiymatini saqlab qola olmaydi, chunki manba qisman ichki qarshilikka ega. Tok ortib borishi bilan Ir_{ich} ko'payadi, kuchlanish $U = E - r_{ich}I$ esa, kamayadi (1.10-rasm, a).

Ideal tok manbai. Agar manbaning toki u ta'minlab turgan zanjirning qarshiligiga bog'liq bo'lmasa, u holda bunday manba ideal tok manbai deyiladi (1.11 - rasm).

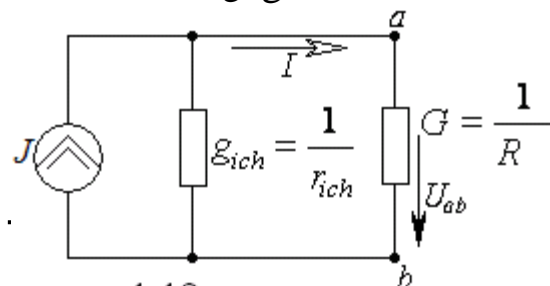


1.11 – rasm

Agar manbaning EYuKi E va ichki qarshiligi r_{ich} ni cheksiz oshirib borsak, unda c nuqta ordinata o'qi bo'yicha cheksizlikka, α burchagi esa 90° ga intiladi. Bunday manba ideal tok manbai deb ataladi (1.10 -rasm, v).

Demak, tok manbai elektromagnit energiya manbai bo'lib, manba toki va ichki o'tkazuvchanligi bilan tavsiflanadi. Demak, ideal tok manbaining ichki

o'tkazuvchanligi $g_{ich} = 0$.



1.12 – rasm

Real tok manbai. Haqiqiy tok manbai ma'lum bir qiymatli ichki o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Bunda $I = E/r_{ich}$, $g_{ich} = 1/r_{ich}$, $E = I/g_{ich}$ (1.12 - rasm).

Tok manbaiga misol qilib elektrostatik generatorni ko'rsatish mumkin.

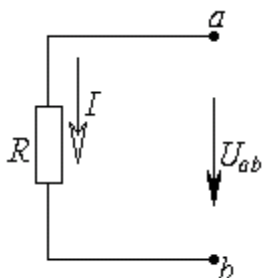
Ma'ruza №3

Om qonuni. Elektr energiya va elektr quvvat.

Reja:

1. Om qonuni. Zanjirning EYuK manbali qismi uchun Om qonuni.
2. Katta toklarda Om qonunining buzilishi. Potensial diagramma
3. Elektr energiya va elektr quvvat
4. Quvvatlar balansi.

Om qonuni



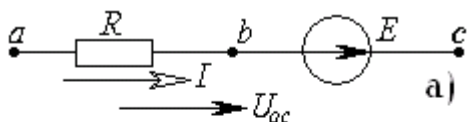
1.13 – rasm

Agar zanjirning biror qismida EYuK manbai bo'lmasa (1.13- rasm), u holda undagi tok bilan kuchlanish orasidagi bog'liqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{ab} = RI \text{ yoki } I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}.$$

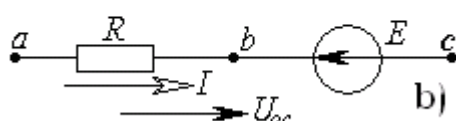
Zanjirning EYuK manbali qismi uchun Om qonuni

Agar zanjirning biror qismida EYuK manbai bo'lsa, u holda bu zanjir uchun potentsiallar ayirmasi EYuKning yo'nalishini e'tiborga olgan holda aniqlanadi. Om qonuni esa quyidagicha ifodalanadi (1.14 -rasm, a):



$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_c + E}{R} = \frac{U_{ac} + E}{R}.$$

1.14 - rasm, b uchun



$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_c - E}{R} = \frac{U_{ac} - E}{R}.$$

1.14 – rasm

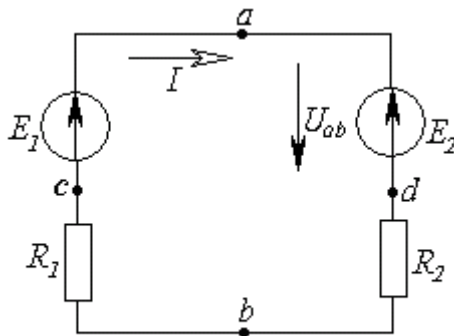
Umumiy holda, ya'ni elektr zanjir tarkibida bir nechta EYuK manbai va rezistorlar bo'lsa, tok $I = \frac{\varphi_a - \varphi_c + \Sigma E}{\Sigma R_{ac}}$ ifodadan aniqlanadi.

Bu formula *umumlashgan Om qonuni* deyiladi.

Bir konturli elektr zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$I = \Sigma E / \Sigma R$$

bunda ΣR -ichki va tashqi qarshiliklarning zanjir bo'yicha arifmetik yig'indisi, ΣE -zanjirdagi EYuKlarning algebraik yig'indisi. Agar tok yo'nalishi EYuK yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, u holda EYuK E musbat, qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa, manfiy ishora bilan olinadi.



1.15 – rasm

Masala: tarmoqlanmagan zanjirda (1.15-rasm) EYuK $E_1=110$ V, $E_2=48$ V, rezistor $R_1=18$ Om, $R_2 = 13$ Om. a va b nuqtalar orasidagi kuchlanishni aniqlang.

Tokning musbat yo'nalishini soat mili harakati yo'nalishi bo'yicha qabul qilamiz. Om qonuniga asosan:

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{110 - 48}{18 + 13} = 2 \text{ A.}$$

EYuK E_1 ning yo'nalishi tok I yo'nalishi bilan bir xil bo'lgani uchun E_1 musbat ishorada, E_2 yo'nalishi esa tok I yo'nalishiga teskari bo'lgani uchun manfiy ishorada olindi. Tok yo'nalishi ixtiyoriy qabul qilinadi. Agar topilgan tokning qiymati manfiy ishora bilan chiqsa, u holda tokning haqiqiy yo'nalishi dastlab qabul qilingan tok yo'nalishiga teskari yo'nalgan bo'ladi.

a va b nuqtalar orasidagi potentsiallar ayirmasi U_{ab} ni aniqlash uchun zanjirni adb qismini olib, unga zanjirning EYuK manbali qismi uchun Om qonuni qo'llaniladi:

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b - E_2}{R_2} = \frac{U_{ab} - E_2}{R_2}, \text{ bundan}$$

$$U_{ab} = E_2 + R_2 I = 48 + 13 \cdot 2 = 74 \text{ B.}$$

Zanjirning acb qismi uchun esa

$$I = \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_1}{R_1} = \frac{U_{ba} + E_1}{R_1}, \text{ bundan}$$

$$U_{ba} = -E_1 + R_1 I = -110 + 18 \cdot 2 = -74 \text{ B.}$$

Demak, $U_{ab} = 74$ B yoki $U_{ba} = -74$ B.

Katta toklarda Om qonunining buzilishi

Shu paytgacha biz elektronlarni faqat elektr maydon ta'siridagi harakatini o'rganib keldik. Lekin ma'lumki, o'tkazgichdan o'tayotgan tok magnit maydonining manbaidir. Magnit maydoni esa o'tkazgichni nafaqat tashqarisida, balki ichkarisida ham mavjuddir.

Misol uchun $I = 10 A$ tok o'tayotgan va diametri $d=1 mm$ bo'lgan o'tkazgich atrofidagi magnit maydonning induksiyasi $B=4\mu_0 I/d \approx 0,012 Tl$ ($\mu_0=4 \cdot 10^{-7} V \cdot s/A \cdot m$ -magnit doimiysi). Tokning magnit maydoni Om qonunini buzilishiga olib kelishi mumkin.

Darhaqiqat, magnit maydonida harakatlanayotgan elektronga uning trayektoriyasini buzuvchi Lorens kuchi ta'sir qiladi. Agar maydon induksiyasi B elektron tezligi v ga perpendikulyar bo'lsa, u xolda elektron trayektoriyasi $r = mv/eB$ radiusli aylana ko'rinishiga ega bo'ladi (m , e -elektron massasi va zaryadi). Agar B va v vektorlar orasidagi burchak α bo'lsa, u holda elektron diametri $d=2 (mv/eB)\sin\alpha$ li spiral bo'yicha harakat qiladi. Bunda elektron spiralning bir o'ramini $T=2\pi m/eB$ vaqt davomida bosib o'tadi. Agar elektronning erkin harakatlanish vaqti $\tau \gg T$, bo'lsa, u spiral bo'ylab harakatlanadi (1.16-rasm, a). Bu holda spiralning diametri $d < vT\tau$ vaqt davomida magnit maydoni yo'qligida elektronning siljish masofasi $l=v\tau$ dan ancha kam bo'ladi. Shuning uchun τ vaqt davomida elektron diametri d bo'lgan quvurda "qamalib" qolganday bo'ladi.

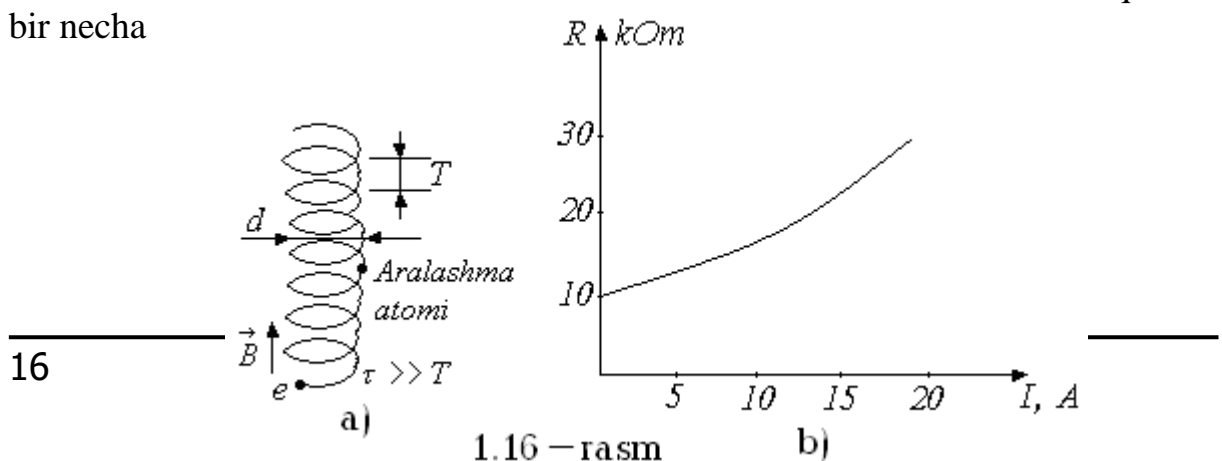
Natijada o'tkazgichning qarshiligi magnit maydon bo'lmagan holga nisbatan kattaroq bo'ladi. Binobarin, o'z tokining magnit maydoni ta'sirida bo'lgan o'tkazgichning R qarshiligini o'zgarishi katta toklarda Om qonunining buzilishiga olib keladi.

Agar $\tau \ll T$ bo'lsa, u holda ikkita ketma-ket keladigan to'qnashuvlar orasidagi elektronlar harakati to'g'ri chiziqdan juda kam farq qiladi. Bu holda magnit maydoni o'tkazgich qarshiligiga amalda ta'sir qilmaydi.

Magnit maydonning induksiyasi B_0 ta'sir qiladigan qiymatni elektronni aylana orbita bo'ylab harakat davrining $T=2\pi m/eB$ erkin harakat vaqti τ ga tengligidan keltirib chiqariladi: $B_0=2\pi m/e\tau$.

Metall o'tkazgichlarda mazkur qiymat taxminan $0,01 Tl$ ga teng. Bunday maydon diametri $d=1 mm$ bo'lgan simdan $I=10 A$ tok o'tganda paydo bo'ladi.

Metall o'tkazgich qarshiligini undan o'tayotgan tokka bog'liqligining eksperimental grafigi 1.16-rasm, b da keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, tok oshishi bilan qarshilik



barobar ko'payadi. Shunday qilib, tok magnet maydonining u o'tayotgan o'tkazgich qarshiligiga ta'sir qilishi Om qonunining buzilishiga olib keladi.

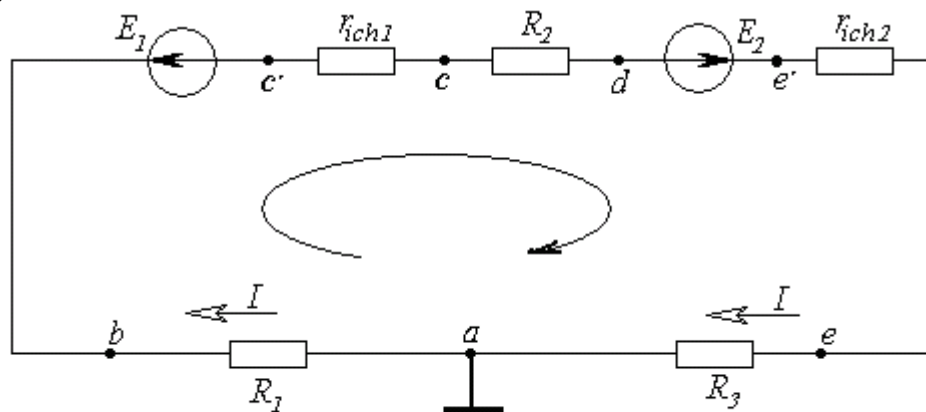
Biz o'tkazgichlarda Om qonunining katta toklarda buzilishini fizik sabablarini ko'rib chiqdik. Bundan tashqari texnikada keng qo'llaniladigan noxiziq elementlar-diod va tranzistorlarda hamda turli metallarning kontaktlashgan joylarida Om qonunining buzilishi kuzatiladi.

O'zgaruvchan elektr va magnet maydonlari ta'siridagi o'tkazgichlarda ham Om qonuni buzilishi ro'y beradi.

Potensial diagramma

Zanjirning biror qismi yoki berk zanjir (kontur) uchun belgilangan nuqtalardagi potentsiallar qiymatini shu zanjir qarshiliklarining qiymatiga qarab o'zgarish grafigiga *potensial diagramma* deb ataladi. Potensial diagrammani qurish uchun to'g'ri burchakli koordinatalar tekisligining absissa o'qiga kontur bo'yicha olingan rezistorlar qarshiliklari qiymati, ordinata o'qiga esa tegishli potentsiallar qiymati qo'yiladi. Diagrammadan zanjirning yoki konturning biror qismiga tegishli potentsiallarni aniqlash mumkin bo'ladi.

1-masala: bir konturli elektr zanjir uchun potentsiallar diagrammasini quring (1.17 - rasm).



1.17 - rasm

Berilgan: $E_1 = 24 \text{ V}$; $E_2 = 110 \text{ V}$; $R_1 = 4 \text{ Om}$; $R_2 = 3 \text{ Om}$; $R_3 = 7 \text{ Om}$;
 $r_{ich1} = r_{ich2} = 1 \text{ Om}$.

Yechish: EYuK $E_2 > E_1$ bo'lganligi uchun tokning haqiqiy yo'nalishi E_2 EYuKning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

Berk zanjir uchun Om qonuniga ko'ra tokni topamiz:

$$I = \frac{E_2 - E_1}{R_1 + r_{ich1} + R_2 + r_{ich2} + R_3} = \frac{110 - 24}{4 + 1 + 3 + 1 + 7} = 5,375 \text{ A.}$$

Potensial diagrammani qurish uchun zanjirning barcha nuqtalari potentsiallarini bilish zarur. a nuqtani yerga ulangan deb qabul qilamiz. Shuning uchun uning potentsiali $\varphi_a = 0$ bo'ladi. Elektr zanjirda a nuqtadan b nuqtaga o'tishda R_1 qarshilikli rezistor mavjud. Bu rezistorda $R_1 I$ -kuchlanish tushuvi hosil bo'ladi, ya'ni u a va b nuqtalar potentsiallari ayirmasiga teng:

$$\varphi_a - \varphi_b = R_1 I \text{ bundan } \varphi_b = \varphi_a - R_1 I = -21,5 \text{ V.}$$

b va c' nuqtalar orasida E_1 EYuK manbai ulangani uchun c' nuqta potentsiali b nuqta potentsialidan E_1 kattalikka pasayadi, ya'ni:

$$\varphi_{c'} = \varphi_b - E_1 = -21,5 - 24 = -45,5 \text{ V.}$$

c' nuqtadan c nuqtaga o'tishda r_{ich1} rezistor bor. Shuning uchun:

$$\varphi_c = \varphi_{c'} - r_{ich1} I = -45,5 - 5,375 = -50,875 \text{ V.}$$

Endi boshqa nuqtalarning potentsiallarini topamiz:

$$\varphi_c - \varphi_d = R_2 I,$$

$$\varphi_d = \varphi_c - R_2 I = -50,875 - 16,12 = -66,995 \text{ V.}$$

$$\varphi_e - \varphi_d = E_2$$

$$\varphi_e = \varphi_d + E_2 = -66,995 + 110 \approx 43,01 \text{ V.}$$

$$\varphi_e = \varphi_{e'} - r_{ich2} I = 43 - 5,375 = 37,625 \text{ V.}$$

$$\varphi_e - \varphi_a = R_3 I$$

$$\varphi_a = \varphi_e - R_3 I = 37,625 - 37,625 = 0 \text{ V.}$$

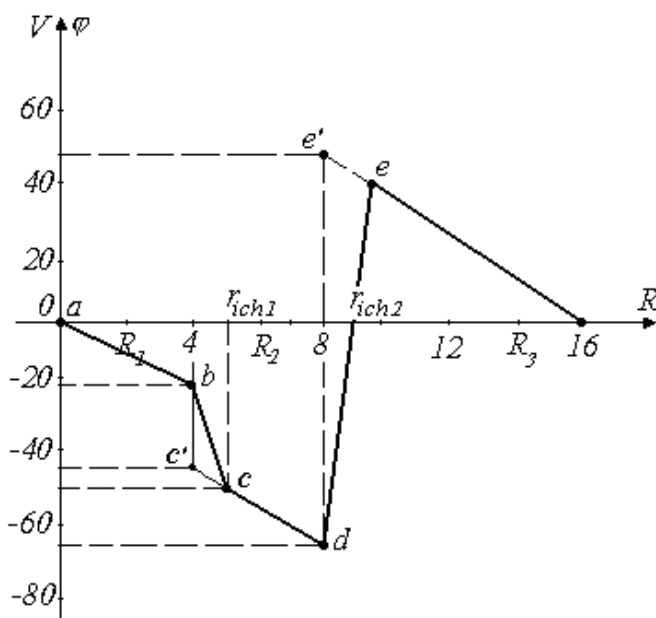
Potensial diagrammani koordinatalar tekisligida qurish uchun berilgan konturning ekvivalent qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + r_{u\text{ч}1} + R_2 + r_{u\text{ч}2} + R_3 = 16 \text{ Om.}$$

Qarshilik va potensial uchun masshtab tanlaymiz:

$$m_R = 0,2 \text{ Om/mm,}$$

$$m_U = 2 \text{ V/mm.}$$



Potensial diagrammadan berilgan kesmaning og'ish burchagining tangensi tok miqdoriga teng bo'lishiga ishonch hosil qilish mumkin. de uchastkada $E_2 = 110 \text{ V}$, ya'ni $r_{ich} I = 5,37 \text{ V}$ potentsialidan 20 martadan ko'proq.

Elektr energiya.

Oddiy elektr zanjiri uchun tok Om qonuniga ko'ra quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \frac{E}{R + r_{ich}}, \text{ bundan } E = IR + Ir_{ich}.$$

$IR = U$ ekanligini hisobga olib, $E = U + Ir_{ich}$ ifodani hosil qilamiz. Oxirgi tenglamani ikkala tomonini It ga ko'paytiramiz:

$$EIt = UI t + I^2 r_{ich} t,$$

bu yerda $EIt = W_G$ -manba energiyasi yoki u bajargan ish. $U = A/q = W/q$, $q = It$, $\Delta W = I^2 r_{ich} t$ tengliklardan $W_G = W + \Delta W$ ni hosil qilamiz.

Bunda ΔW -manba ichki qarshiligida isrof bo'lgan energiya. $W - R$ qarshilikli iste'molchida sarf bo'lgan energiya.

Shuni ta'kidlash kerakki, ish va energiya teng kuchli tushunchalardir. Energiyani o'lchash uchun jism shu energiyani sarflab bajargan ishini o'lchash kerak bo'ladi.

$$\text{Energiyaning o'lchov birligi } [W] = [UIt] = V \cdot A \cdot c = J.$$

$$1 \text{ kVt} \cdot \text{soat} = 3600000 \text{ J}.$$

Elektr quvvat

Elektr quvvat-elektr energiyani uzatish va boshqa tur energiyaga aylantirish tezligini xarakterlovchi fizik kattalikdir:

$$P_G = \frac{W_G}{t} = E_G I,$$

bu yerda P_G -manbaning quvvati.

Quvvatning o'lchov birligi *vatt*. 1 *vatt* - 1 sekund davomida 1 *Jl* ish bajarishga teng quvvat.

Energiya manbaining iste'molchiga berayotgan quvvati:

$$P = UI = I^2 R = U^2 G. \quad (1.1)$$

Manba ichki qarshiligida isrof bo'lgan quvvat: $\Delta P_G = I^2 r_{ich}$.

Energiya manbaining FIK

Iste'molchi quvvati (foydali quvvat)ning energiya manbai quvvatiga nisbati uning foydali ish koeffitsiyenti (FIK) deb ataladi:

$$\eta = \frac{P}{P_r} = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E} = \frac{IR}{IR + I r_{ich}} = \frac{R}{R + r_{ich}}.$$

Tenglamadan ko'rinib turibdiki, manba ichki qarshiligi qancha kichik bo'lsa, uning FIK shuncha katta bo'ladi.

Endi qanday shart bajarilganda energiya manbai maksimal foydali quvvat uzatishini aniqlaymiz. Buning uchun (1.1) tenglamani $I = E / (R + r_{ich})$ ifodani hisobga olgan holda quyidagicha o'zgartiramiz:

$$P = \frac{E^2}{R + 2r_{ich} + \frac{r_{ich}^2}{R}} = f(R).$$

$P = f(R)$ funksiyani maksimumga tekshiramiz:

$$\frac{df(R)}{dR} = \frac{d\left(R + 2r_{ich} + \frac{r_{ich}^2}{R}\right)}{dR} = 1 - \frac{r_{ich}^2}{R^2} = 0 \quad \text{yoki} \quad R = r_{ich}. \quad \text{Bu shartni}$$

$$P = f(R) \text{ ga qo'yib } P_{\max} = \frac{E^2}{4r_{ich}} \text{ ni hosil qilamiz.}$$

Shunday qilib, EYuK manbai maksimal foydali quvvatda ishlashi uchun tashqi zanjirning qarshiligi R manba ichki qarshiligi r_{ich} ga teng bo'lishi shart. *Bu rejim moslangan iste'molchi rejimi deb ataladi.*

Shu bilan birga bu rejimda manba quvvatining 50% ichki qarshilikda isrof bo'ladi va bunda $\eta = \frac{R}{R + r_{ich}} = \frac{R}{2R} = 0,5$ ga teng.

Bu rejim avtomatika, telemexanika va aloqa texnikasida kichik kuvvatli signallarni uzatishda ishlatiladi. Katta quvvatli signallarni uzatishda bu rejimda ishlashga ruxsat etilmaydi. Katta quvvatli manbalar, odatda $R = (10 \dots 20)r_{ich}$ rejimda ishlab FIK 95% gacha yetadi.

Elektr zanjirlarida quvvatlar balansi

Energiya saqlanish qonuniga ko'ra o'zgarmas tok zanjiriga ulangan manbalar quvvatlarining algebraik yig'indisi zanjirning barcha iste'molchilaridagi quvvatlarning arifmetik yig'indisiga tengdir:

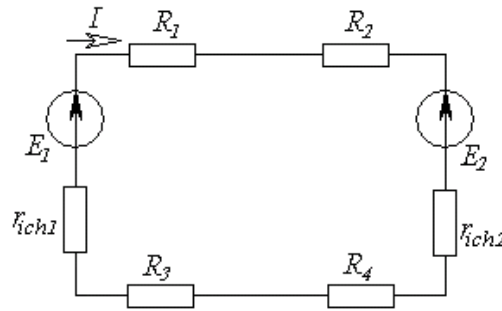
$$\sum EI = \sum I^2 R.$$

Bu ifoda energetik balans (muvozanat) tenglamasi deyiladi, ya'ni manbalarning ishlab chiqargan elektr energiyasi (quvvati) iste'molchilarda, uzatish liniyasida va manbalarning o'zida sarf bo'lgan energiya (quvvat)ga tengdir.

Agar elektr zanjirda tok yo'nalishi EYuK yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, u holda manba vaqt birligi ichida zanjirga energiya uzatuvchi manba hisoblanadi. Agar tok yo'nalishi EYuK yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, u holda EYuK manbai zanjirga

energiya bermaydi, aksincha energiyani qabul qiladi, ya'ni iste'molchi vazifasini bajaradi. Misol tariqasida akkumulyatorning zaryadlanishini keltirish mumkin. Bu holda $E_1 I$ ko'paytma quvvatlar muvozanati tenglamasiga manfiy ishora bilan kiradi.

1.21-rasmda keltirilgan zanjir uchun energetik balans tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:



1.21 – rasm

$$E_1 I - E_2 I = R_1 I^2 + R_2 I^2 + R_3 I^2 + R_4 I^2 + r_{ich1} I^2 + r_{ich2} I^2.$$

Agar elektr zanjiriga EYuK va tok manbalari ulangan bo'lsa, ya'ni zanjirning ayrim tugunlariga EYuK manbaidan tashqari tok manbai ham ulangan bo'lsa, u holda bir tugundan ikkinchi tugun tomon yo'nalgan tok manbaidan hosil bo'lgan quvvat sarfini hisobga olish kerak bo'ladi. Masalan, zanjirning a tuguniga I_k tok kirib b tugunidan chiqsa, u holda tok manbai sarflayotgan quvvat $P = U_{ab} I_k$ bo'ladi. Bunday holda energetik muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\sum_{i=1}^n R_i I_i^2 = \sum_{k=1}^m E I_k + \sum_{k=1}^m U_{ab} I_k.$$

Bu tenglama quvvatlar muvozanatining umumiy tenglamasi deyiladi.

Ma'ruza №4

Kirxgof qonunlari. Kirxgof qonunlari asosida murakkab elektr zanjirlarining topologik tenglamalarini tuzish.

Reja:

1. Kirxgof qonunlari.
2. Kirxgof qonunlari asosida murakkab elektr zanjirlarining topologik tenglamalarini tuzish.

Kirxgof qonunlari

Har qanday elektr zanjiridagi jarayonlar Kirxgofning 1- va 2 - qonunlari bilan ifodalanadi.

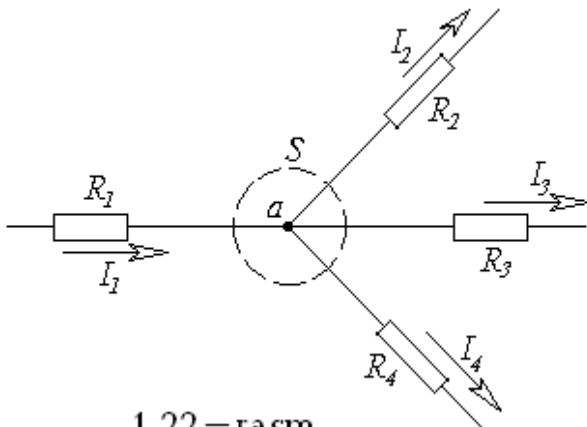
1-qonun. Kirxgofning 1-qonuni zanjirning tugunlariga tegishli bo'lib, unga ko'ra zanjirning istalgan tugunida toklarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0$$

yoki elektr zanjirning istalgan tuguniga kiruvchi toklarning arifmetik yig'indisi shu tugundan chiquvchi toklarning arifmetik yig'indisiga tengdir, ya'ni:

$$\sum_{i=1}^m I_i = \sum_{j=1}^q I_j.$$

1.22-rasmda elektr zanjirning a tuguni ko'rsatilgan. Agar a tugunga kiruvchi toklar musbat ishora bilan olinsa, tugundan chiquvchi toklar ishorasi manfiy olinadi (yoki aksincha).



1.22 – rasm

Kirxgofning 1-qonuniga asosan:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

$$\text{yoki } I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

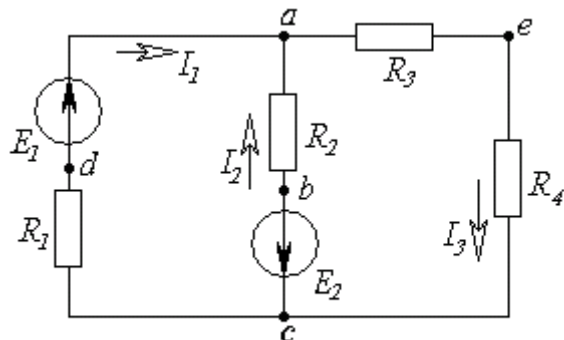
Kirxgof 1-qonunining fizik ma'nosi: elektr zanjirining tugunida zaryadlarning harakati uzluksizdir va unda zaryadlar to'planib qolmaydi.

2-qonun. Kirxgofning 2-qonuni zanjirning berk konturlariga tegishli bo'lib, unga ko'ra elektr zanjirining istalgan berk konturida kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisi shu konturdagi EYuKlarning algebraik yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{i=1}^m E_i.$$

Agar konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan tok yoki EYuK yo'nalishi bir xil bo'lsa, u holda yig'indiga tegishli tashkil etuvchilar "**musbat**" ishora bilan, aks holda esa "**manfiy**" ishora bilan kiradi.

Kirxgofning 2-qonunini boshqa ko'rinishda yozish ham mumkin: zanjirning ixtiyoriy konturida kuchlanishlarning algebraik yig'indisi nolga teng:



1.23 – rasm

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0.$$

1.23-rasmdagi $abcda$ kontur uchun $U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0$ yoki

$R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 + E_2$. Kirxgof qonunlarini chiziqli va nochiziqli elektr zanjirlarni hisoblash uchun qo'llash mumkin.

Kirxgof qonunlari asosida murakkab elektr zanjirlarining topologik tenglamalarini tuzish

Har qanday zanjir shoxobchalaridagi toklarni aniqlash uchun Kirxgof qonunlaridan foydalaniladi. Zanjirdagi tugunlar soni T , shoxobchalar soni Sh va tok manbalari soni Sh_{TM} deb belgilansa, har bir shoxobchadan o'tuvchi tokni hisoblashda ma'lum tartibdagi ketma-ketlikni tavsiya etish mumkin. Bunda tok manbai ulangan shoxobchalardan o'tuvchi tok qiymati ma'lum bo'lganligi uchun ularni umumiy toklar sonidan ayriladi, ya'ni $III-III_{TM}$. Zanjirning qolgan shoxobchalaridagi noma'lum toklarni hisoblashdan oldin quyidagilarni bajarish kerak:

a) har bir shoxobchadagi toklar yo'nalishlarini ixtiyoriy tanlab, ularni sxemada belgilaymiz;

b) Kirxgofning 2-qonuni bo'yicha tenglamalar tuzish uchun konturlarni aylanib chiqish yo'nalishini ixtiyoriy (soat mili harakati yo'nalishida yoki unga teskari) belgilaymiz.

Kirxgofning 1-qonuniga asoslangan va o'zaro bog'liq bo'lmagan tenglamalar sistemasini tuzish uchun tugunlar sonidan bitta kam tenglama tuzish kerak.

Kirxgofning 2-qonuniga asoslanib tuzilgan tenglamalar soni umumiy shoxobchalar sonidan tok manbalari ulangan shoxobchalar soni III_{TM} va Kirxgofning 1-qonuni bo'yicha tuzilgan tenglamalar sonini ayirib topiladi, ya'ni konturlar uchun tuzilgan tenglamalar soni:

$$K = (Sh - Sh_{TM}) - (T - 1) = Sh - Sh_{TM} - T + 1.$$

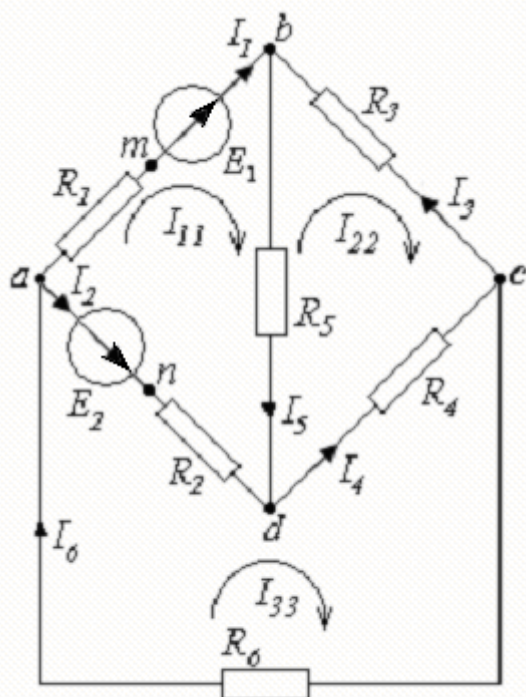
Kirxgofning 2-qonuni bo'yicha tenglamalarni o'zaro bog'liq bo'lmagan (mustaqil) konturlar uchun tuzish lozim. *O'zaro bog'liq bo'lmagan kontur deb shunday konturga aytiladiki, u oldingi konturlardan kamida bitta yangi shoxobcha bilan farq qiladi.*

Chiziqli algebraik tenglamalar sistemasi-o'zgarmas tok zanjirlarining matematik modeli hisoblanadi.

Elektr zanjirlar nazariyasida ikki turdagi masalalar uchraydi. *Birinchi turdagi masalalarda* sxemasi va elementlari ma'lum bo'lgan zanjirning shoxobchalardagi toklar va ayrim qismlaridagi kuchlanish va quvvatlarni hisoblash kerak bo'ladi. Bu

turdagi masalalar zanjirlarni analiz masalalari deb ataladi. *Ikkinchi turdagi masalalarda* teskari masala-zanjirning ba'zi bir uchastkalaridagi tok va kuchlanish berilgan bo'lib, zanjir sxemasi va uning elementlarini aniqlash kerak bo'ladi. Bunday masalalar elektr zanjirlarining sintez masalalari deyiladi. Ikkala turdagi masalalarni yechish uchun ko'pincha zanjirning matematik modeli tuziladi.

Quyida nazariy elektrotexnikada ko'p uchraydigan zanjirlarni Kirxgof qonunlari asosida matematik modelini tuzishni 1.24-rasmdagi zanjir misolida ko'rib chiqamiz.



1.24 – rasm

1. Har bir shoxobchadagi toklar yo'nalishi ixtiyoriy tanlab olinadi.
2. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglamalar tuzamiz. Ularning soni zanjir tugunlaridan bitta kam bo'ladi:

$$I_6 - I_1 - I_2 = 0 \quad a \text{ tugun uchun, } I_1 + I_3 - I_5 = 0 \quad b \text{ tugun uchun,}$$

$$-I_3 + I_4 - I_6 = 0 \quad c \text{ tugun uchun.}$$

3. Zanjir konturlarini aylanib chiqish yo'nalishi tanlanadi. Bunda tanlangan yo'nalish bo'yicha tuzilgan tenglamalar o'zaro bog'liq bo'lmasligi lozim. Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra mustaqil konturlar uchun tenglamalar tuziladi:

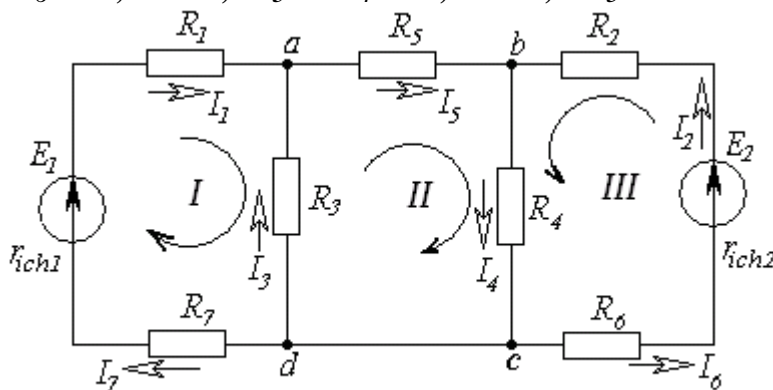
$$R_1 I_1 + R_5 I_5 - R_2 I_2 = E_1 - E_2 \quad abda \text{ kontur uchun,}$$

$$-R_5 I_5 - R_3 I_3 - R_4 I_4 = 0 \quad d b c d \text{ kontur uchun,}$$

$$R_2 I_2 + R_4 I_4 + R_6 I_6 = E_2 \quad a d c a \text{ kontur uchun.}$$

Bu tenglamalarda konturlarni aylanib chiqish yo'nalishi bilan mos keladigan EYuK va toklar ishorasi musbat, aylanib chiqish yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lgan EYuK va toklar ishorasi esa manfiy ishora bilan yoziladi. Bu misoldan ko'rinib turibdiki, tuzilgan tenglamalar soni zanjirdagi noma'lum toklar yoki toklari aniqlanishi kerak bo'lgan shoxobchalar soniga tengdir. Olti noma'lum tokli oltita tenglamalardan iborat sistema yuqorida ko'rilayotgan zanjirning matematik modelidir. Agar hisoblash natijasida qandaydir tokning ishorasi manfiy chiqsa, u holda bu tokning haqiqiy yo'nalishi dastlab tanlangan yo'nalishga nisbatan qarama-qarshi bo'ladi.

Masala: Kirxgof qonunlaridan foydalanib 1.25-rasmda keltirilgan elektr zanjir shoxobchalaridan o'tuvchi toklarni aniqlang. $R_1 = 0,3 \text{ Om}; R_7 = 0,3 \text{ Om}; R_2 = R_6 = 0,4 \text{ Om}; R_3 = R_4 = 0,4 \text{ Om}; R_5 = 6 \text{ Om}; E_1 = 110 \text{ V}; E_2 = 48 \text{ V}.$



EYuK manbalarining ichki qarshiligi $r_{ich1} = 0,1 \text{ Om}, r_{ich2} = 0,2 \text{ Om}.$

Yechish. Berilgan sxemada tugunlar soni $T=3$ (c va d nuqtalar potentsiallari bir xil). Noma'lum toklar yo'nalishlarini ixtiyoriy tanlaymiz. Sxemada beshta shoxobcha bo'lgani uchun

shuncha tokni hisoblash zarur. Demak, beshta tenglama tuzib, ularni birgalikda yechish kerak.

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha tenglamalar soni $T-1=3-1=2.$

a tugun uchun:

b tugun uchun:

$$I_1 + I_3 - I_5 = 0$$

$$I_2 + I_5 - I_4 = 0$$

I, II va III - konturlar uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida qolgan 3 ta tenglamani tuzamiz. Ma'lumki, konturlarni aylanib chiqish yo'nalishi ixtiyoriy tarzda tanlanadi.

I - kontur uchun:

$$E_1 = (r_{ich1} + R_1 + R_7)I_1 - R_3I_3,$$

III - kontur uchun:

$$E_2 = (r_{ich2} + R_2 + R_6)I_2 + R_4I_4,$$

nihojat II - kontur uchun:

$$0 = R_3I_3 + R_5I_5 + R_4I_4,$$

Chunki II - kontur passiv kontur, u faqat passiv elementlar - R_3 , R_4 va R_5 rezistorlardan tarkib topgan. Unda EYuK manbai yo'q.

Tenglamalar sistemasini yechish natijasida $I_3 = -45A$ aniqlanadi. Manfiy ishora I_3 tokning haqiqiy yo'nalishi dastlabki tanlangan yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalganligini ko'rsatadi.

$$I_4 = 30A, I_1 = 50A, I_2 = 25A, I_5 = 5A.$$

Zanjirning cd qismi uchun tokning yo'nalishini ixtiyoriy ravishda c tugundan d tugunga yo'nalgan deb qabul qilaylik. Bu qism uchun $R_{cd} = 0$.

Kirxgof 1-qonuniga binoan:

$$I_4 = I_{cd} + I_6.$$

$$I_{cd} = I_4 - I_6 = 25 - 30 = -5A.$$

Manfiy ishora I_{cd} tokning haqiqiy yo'nalishi dastlabki qabul qilingan yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

Ma'ruza №5

Chiziqli elektr zanjir sxemalarini ekvivalent o'zgartirish.

Reja:

1. Ketma-ket ulangan elementlardan iborat zanjirni ekvivalent o'zgartirish.
2. Parallel ulangan elementlardan iborat zanjirlarni ekvivalent o'zgartirish.
3. Aralash ulangan elementlardan iborat zanjirlarni ekvivalent o'zgartirish

Chiziqli elektr zanjir sxemalarini ekvivalent o'zgartirish

Elektr zanjirlarni tahlil qilishda ko'p hollarda uni soddalashtirish zarur bo'ladi. Buning uchun sxemaning ayrim qismlarini yanada sodda ekvivalent zanjir bilan almashtirish lozim bo'ladi. Agar elektr zanjir sxemasini o'zaro almashtirganda zanjir elementlaridagi tok va kuchlanishlarning qiymatlari o'zgarmasa, u holda ular o'zaro ekvivalent bo'ladi.

Elektr zanjirning ayrim qismlarini unga ekvivalent bo'lgan qismlar bilan almashtirish ekvivalent o'zgartirish deb ataladi.

Agar elektr zanjirining ikkita qismi har qanday tashqi ta'sirda ham ekvivalentlik xususiyatini saqlab qolsa, u holda zanjirning bunday qismlari mutlaq ekvivalent qismlar deyiladi.

Elektr zanjirlarini ekvivalent o'zgartirish tegishli elektr muvozanat tenglamalari sistemasini ekvivalent o'zgartirishga asoslangan. Amalda esa elektr zanjirlarini o'zgartirish elektr muvozanat tenglamalarini tuzmasdan aniq qoidalar asosida bevosita sxemalar yordamida bajariladi.

Ketma-ket ulangan elementlardan iborat zanjirni ekvivalent o'zgartirish

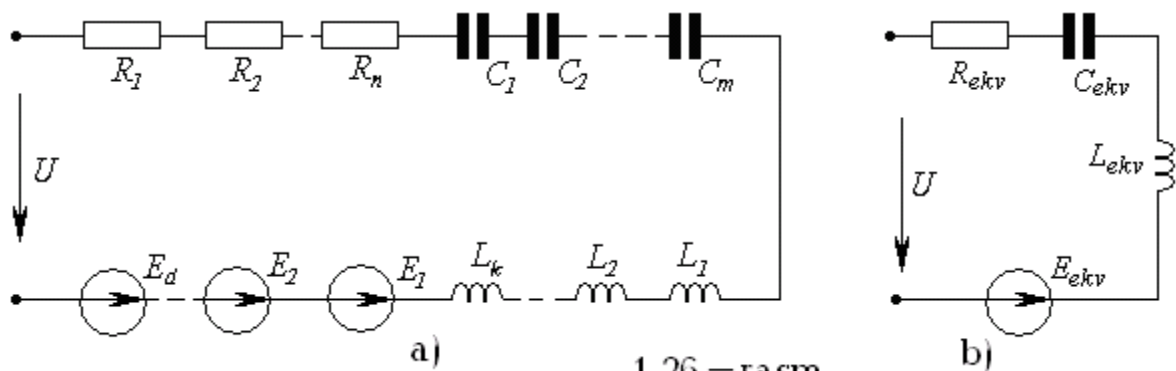
1.26-rasm, a da keltirilgan sxemada n ta rezistor, m ta kondensator, k ta induktivlik va d ta EYuK manbalari o'zaro ketma-ket tutashgan va U kuchlanishli manbaga ulangan.

Zanjirning barcha elementlaridan bir xil tok o'tganligi sababli shu berk kontur uchun Kirxgofning 2-qonuniga asosan quyidagi elektr muvozanat tenglamasini yozish mumkin:

$$\begin{aligned} (R_1 + \dots + R_n)i + \frac{1}{C_1} \int_0^t idt + \dots + \frac{1}{C_n} \int_0^t idt + L_1 \left(\frac{di}{dt} \right) + \dots + L_k \left(\frac{di}{dt} \right) = \\ = U - (E_1 + \dots + E_d) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Bir xil hadlarni umumlashtirib (1.2) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$R_{ekv}i + \left(\frac{1}{C_{ekv}} \right) \int_0^t idt + L_{ekv} \left(\frac{di}{dt} \right) = U - E_{ekv}, \quad (1.3)$$



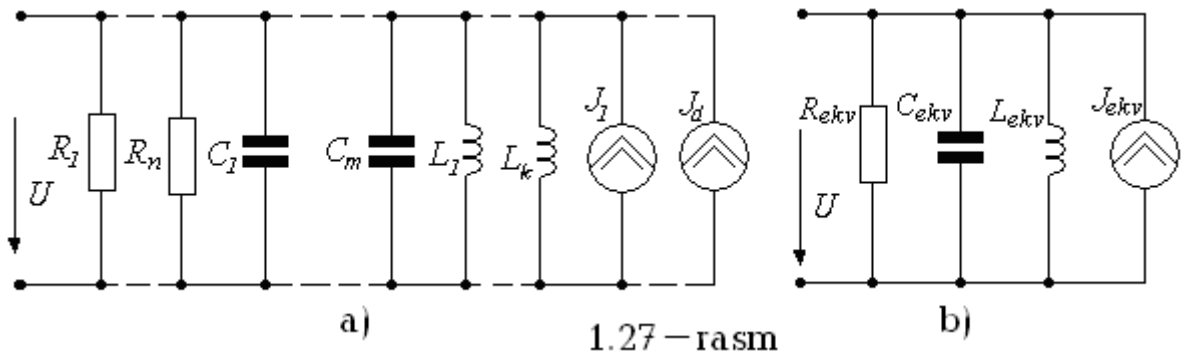
1.26 - rasm

bunda $R_{ekv} = \sum_{i=1}^n R_i$; $\frac{1}{C_{ekv}} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{C_i}$; $L_{ekv} = \sum_{i=1}^k L_i$; $E_{ekv} = \sum_{i=1}^d E_i$.

(1.3) tenglama o'zgartirilgan sxema (1.26-rasm, b) ning tenglamasidir. Shunday qilib, zanjirning bir xil elementli qismlarini ekvivalent yagona mos elementlar, ya'ni ekvivalent rezistiv R_{ekv} , induktiv L_{ekv} , sig'im C_{ekv} va E_{ekv} elementlari bilan almashtirsak, uning bir xil turdagi elementlardan tarkib topgan qismlaridagi tok va kuchlanish o'zgarmaydi. Bunda EYuK manbalari va kuchlanishlarning algebraik yig'indisi olinadi. Konturni tanlangan aylanib chiqish yo'nalishiga qarab EyuK larning ishoralari manfiy yoki musbat bo'ladi. Kondensatorlar o'zaro ketma-ket ulanganda umumiy C_{ekv} ning teskari qiymati ketma-ket ulangan kondensatorlar sig'imlarining teskari qiymatlari yig'indisiga teng va C_{ekv} hamma vaqt har bir ketma-ket ulangan sig'im qiymatidan ham kichik bo'ladi. Agar bir xil sig'imli m ta kondensator ketma-ket ulangan bo'lsa, C_{ekv} har bir kondensator sig'imidan m marta kam bo'ladi.

Parallel ulangan elementlardan iborat zanjirlarni ekvivalent o'zgartirish

1.27-rasm, a da keltirilgan elektr zanjir sxemasida n ta rezistor, m ta kondensator, k ta induktivlik va d ta tok manbalari o'zaro parallel ulangan. Bu zanjir umumlashgan ikki tugunli zanjir deyiladi.



Zanjirning barcha elementlari bir xil kuchlanishga ega. Shuning uchun zanjirning elektr muvozanat tenglamasi Kirxgofning 1- qonuniga asosan tuziladi:

$$i = \frac{1}{R_1} u + \frac{1}{R_2} u + \dots + \frac{1}{R_n} u + C_1 \frac{du}{dt} + C_2 \frac{du}{dt} + \dots + C_m \frac{du}{dt} + \frac{1}{L_1} \int_{-\infty}^t u dt + \frac{1}{L_2} \int_{-\infty}^t u dt + \dots + \frac{1}{L_k} \int_{-\infty}^t u dt - (J_1 + J_2 + \dots + J_d).$$

Bir xil hadlarni keltirib quyidagicha yozish mumkin:

$$i = \frac{1}{R_{ekv}} u + C_{ekv} \frac{du}{dt} + \frac{1}{L_{ekv}} \int_{-\infty}^t u dt - J_{ekv}, \quad (1.4)$$

bu yerda

$$\frac{1}{R_{ekv}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}; \quad C_{ekv} = \sum_{i=1}^m C_i; \quad \frac{1}{L_{ekv}} = \sum_{i=1}^k \frac{1}{L_i}; \quad J_{ekv} = \sum_{i=1}^d J_i.$$

(1.4) tenglamaga 1.27-rasm, b dagi o'zgartirilgan ekvivalent sxema mos keladi. Har bir guruhda parallel ulangan bir xil turdagi elementlarni ekvivalent element bilan almashtirsak, ularning parametrlari R_{ekv} , C_{ekv} , L_{ekv} , J_{ekv} bo'ladi va ular (1.4) ifodalar yordamida aniqlanadi. Umumlashgan ikki tugunli zanjirda (1.27-rasm) kirish kuchlanishi va tok qiymatlari o'zgarmay qoladi. O'zaro parallel ulangan kondensatorlar sig'imlari uchun C_{ekv} va tok manbalarining ekvivalent qiymati J_{ekv} o'zaro parallel ulangan elementlar parametrlarining yig'indisiga teng. Bu yerda tok manbalari toklarining yig'indisi algebraik yig'indi bo'lib, undagi qo'shiluvchilarning ishoralari toklarning yo'nalishiga qarab olinadi, ya'ni tenglama qaysi tugunga nisbatan tuzilgan bo'lsa, o'sha tugunga nisbatan tok manbalarining yo'nalishi e'tiborga olinadi. Agar bir xil sig'imli kondensatorlar o'zaro parallel ulangan bo'lsa, u holda $C_{\text{эКВ}} = \sum mC$ bo'ladi. Parallel ulangan rezistorlar va induktivliklar ekvivalent qiymatlarining teskari qiymati alohida har bir element uchun teskari olingan qiymatlarining yig'indisiga teng. R_{ekv} va L_{ekv} qiymatlari har bir elementning qiymatlaridan ham kam bo'ladi. Bir xil qarshilik va induktivlikka ega bo'lgan elementlar o'zaro parallel ulanganda, ularning ekvivalent parametrlari: $R_{ekv} = R/n$ va $L_{\text{эКВ}} = L/k$ bo'ladi.

Aralash ulangan elementlardan iborat zanjirlarni ekvivalent o'zgartirish

Aralash ulangan zanjirda parallel yoki ketma-ket ulangan elementlar bitta ekvivalent ikki qutblik bilan almashtiriladi. Bunda ekvivalent o'tkazuvchanlik parallel ulangan elementlar o'tkazuvchanliklarining yig'indisiga teng bo'ladi.

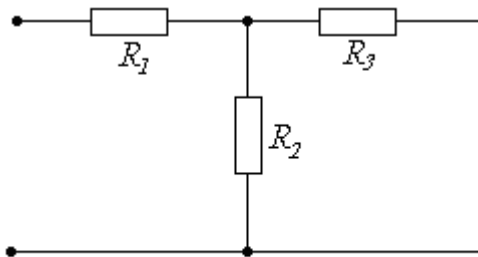
Bir xil turdagi ketma-ket ulangan elementlarni bitta ekvivalent ikki qutblik bilan almashtirib, uning umumiy qarshiligi ketma-ket ulangan qarshiliklarning yig'indisiga teng deb olinadi. Elementlari aralash ulangan sxemalarga zanjirsimon yoki narvonsimon zanjirlar kiradi. Ularning kirish qarshiligi yoki kirish o'tkazuvchanligi uzluksiz zanjirsimon kasr bilan ifodalanishi mumkin:

$$a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \frac{1}{\vdots + \frac{1}{a_{n-1} + \frac{1}{a_n}}}}},$$

bu yerda $a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n$ koeffitsiyentlar zanjirsimon kasrning elementlari deb ataladi. Kasr elementlarining soni n chegarali zanjirsimon kasr bo'lishi mumkin. Oddiy narvonsimon zanjir (1.28- rasm) umumiy qarshiligini aniqlaymiz.

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = R_1 + \frac{1}{\left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right)}.$$

Bu formuladagi R_2 qarshilikni $G_2=1/R_2$ o'tkazuvchanlik bilan almashtiramiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:



1.28 – rasm

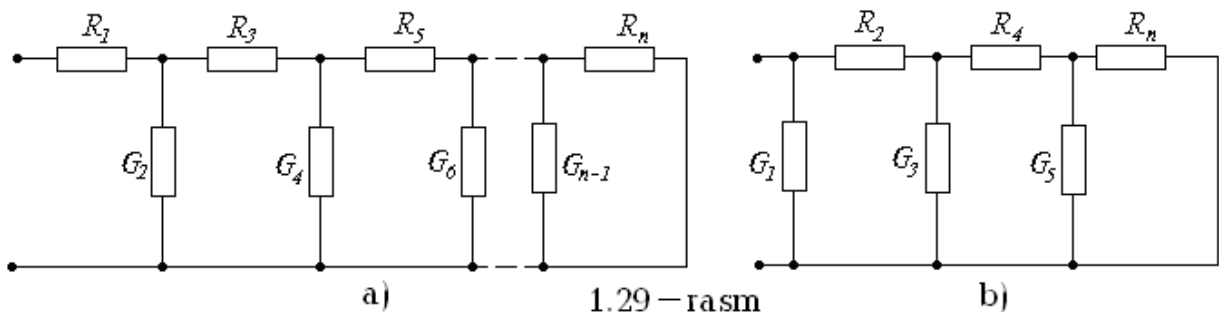
$$R = R_1 + \frac{1}{G_2 + \left(\frac{1}{R_3}\right)}$$

Shunday qilib, ko'rilayotgan zanjirning kirish qarshiligi zanjirsimon kasr bilan tasvirlanadi, bunda a_1, a_2, a_3 lar tegishli R_1, R_2, R_3 lardir.

Xuddi shunday o'zgartirishlar ishlatib narvonsimon zanjirning kirish qarshiligini zanjirsimon kasr ko'rinishda ifodalaymiz (1.29-rasm, a):

$$R = R_1 + \frac{1}{G_2 + \frac{1}{R_3 + \frac{1}{G_4 + \frac{1}{R_5 + \frac{1}{G_6 + \frac{1}{R_{n-1} + \frac{1}{G_n}}}}}}}$$

Narvonsimon zanjir shaxobchalarining tashkil etuvchilari ($R_1, R_3 \dots R_n$) va ikki qutblik ko'ndalang shaxobchalariga kiruvchi ($G_2, G_4, G_6, \dots, G_{n-1}$) lardir. Agar narvonsimon zanjirlarning ko'ndalang shaxobchasi to'g'ridan-to'g'ri tashqi qismlarga ulansa (1.29-rasm, b), unda zanjirsimon kasr kirish o'tkazuvchanlik ko'rinishida yoziladi:



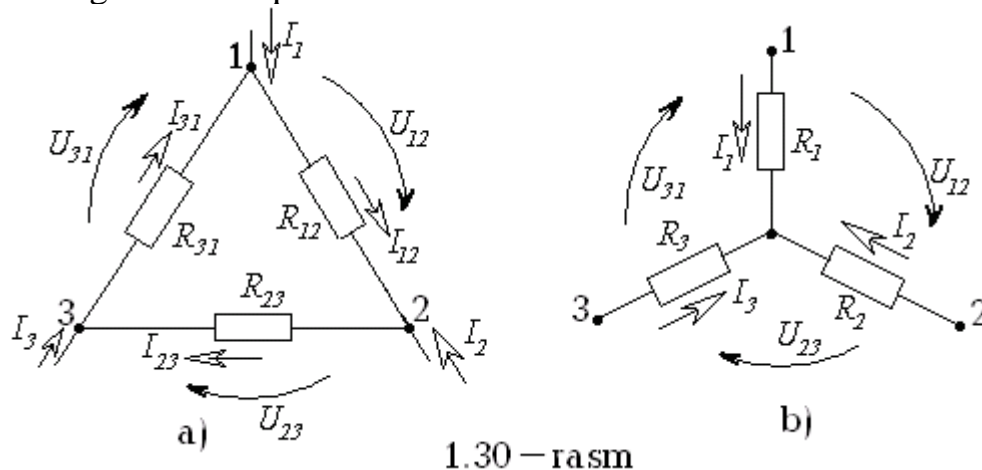
1.29 – rasm

$$G = G_1 + \frac{1}{R_2 + \frac{1}{G_3 + \frac{1}{\vdots + \frac{1}{R_{2n-2} + \frac{1}{G_{2n-1} + \frac{1}{R_{2n}}}}}}}$$

Ma'ruza №6

Qarshiliklar uchburchagini qarshiliklar yulduziga va aksincha ekvivalent o'zgartirishlar.

Uchburchakni ekvivalent yulduzga o'zgartirish zanjirning uchburchak sxemasi bo'yicha ulangan qismini yulduz sxemada ulangan qism bilan almashtirish bo'lib, bu holda zanjirning qolgan qismlarida tok va kuchlanish o'zgarmay qoladi. 1.30-rasmda passiv ideal ikki qutbliklarning uchburchak va yulduz ulangan sxemalari keltirilgan. Bu ikkita elektr zanjiri bo'laklarining o'zaro ekvivalentlik shartlarini aniqlaymiz. Ta'rifga asosan, agar sxemalarni almashtirganda tugunlardagi I_1, I_2, I_3 toklar va shu tugunlararo U_{12}, U_{23}, U_{31} kuchlanishlar o'zgarmay qolsa, u holda bu zanjirning bo'laklari o'zaro ekvivalent bo'ladi. Uchta kuchlanishlardan faqat ikkitasi o'zaro bog'liq bo'lgani uchun uchinchisini kuchlanishlarning muvozanat tenglamasiga ko'ra aniqlash mumkin.



1.30 – rasm

Uchburchak sxema qarshiliklarini yulduz sxema qarshiliklariga ekvivalentlash uchun birinchi zanjir qismalari orasidagi uchta kuchlanishdan har qanday ikkitasi ikkinchi zanjir mos qismalari orasidagi kuchlanishga teng deb olinadi (bu holda tashqi qismlarga keluvchi toklar qiymati bir xil qoladi). Uchburchak tomonlari R_{12} , R_{23} , R_{31} qarshiliklaridagi toklarni tugunga keluvchi I_1 , I_2 , I_3 toklar orqali aniqlaymiz. Kirxgof qonunlariga asosan zanjirga tegishli quyidagi elektr muvozanat tenglamalari sistemasini tuzamiz:

$$I_1 + I_{31} - I_{12} = 0, \quad I_2 + I_{12} - I_{23} = 0, \quad R_{12}I_{12} + R_{23}I_{23} + R_{31}I_{31} = 0.$$

Bu tenglamalarni I_{12} , I_{23} , I_{31} toklarga nisbatan yechamiz.

$$\begin{aligned} I_{12} &= (R_{31}I_1 - R_{23}I_2) / (R_{12} + R_{23} + R_{31}), \\ I_{23} &= (R_{12}I_2 - R_{31}I_3) / (R_{12} + R_{23} + R_{31}), \\ I_{31} &= (R_{23}I_3 - R_{12}I_1) / (R_{12} + R_{23} + R_{31}). \end{aligned} \quad (1.5)$$

(1.5) tenglamalardan foydalanib, uchburchak sxema kuchlanishlarini topamiz:

$$U_{12} = R_{12}I_{12} = R_{12}(R_{31}I_1 - R_{23}I_2) / (R_{12} + R_{23} + R_{31}),$$

$$U_{23} = R_{23}I_{23} = R_{23}(R_{12}I_2 - R_{31}I_3) / (R_{12} + R_{23} + R_{31}).$$

Yulduz sxemasiga (1.30, b-rasm) tegishli kuchlanishlar

$$U_{12} = R_1I_1 - R_2I_2$$

$$U_{23} = R_2I_2 - R_3I_3 \text{ bo'ladi.}$$

Endi U_{12} va U_{23} kuchlanishlarni o'zaro tenglashtirib, tashqi o'tkazgich simlar orasidagi munosabatlarni aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}I_1 - \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}I_2 &= R_1I_1 - R_2I_2, \\ \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}I_2 - \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}I_3 &= R_2I_2 - R_3I_3. \end{aligned} \quad (1.6)$$

(1.6) tenglamalar tashqi o'tkazgich simlardagi har qanday toklarda bajarilishi shart. Bu tenglamalarda avval $I_2 = 0$, keyin esa $I_3 = 0$ deb olib, qarshiliklar orasidagi bog'lanish formulasini topamiz. Bu holda zanjirning bo'laklari o'zaro ekvivalent bo'ladi:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \\ R_3 &= \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Berilgan R_{12} , R_{23} , R_{31} qarshiliklar bo'yicha yulduz sxema uchun R_1 , R_2 , R_3 qarshiliklarni hisoblaymiz. Buning uchun qarshiliklar uchburchagini unga ekvivalent qarshiliklar yulduziga o'zgartiramiz. 1.30-rasmdan ko'rinib turibdiki,

bunday o'zgartirishda zanjirdagi R_{12} , R_{23} , R_{31} qarshiliklardan iborat kontur o'rniga yangi yulduz sxema qarshiliklari R_1 , R_2 , R_3 lar birlashtirilgan tugun paydo bo'ladi.

(1.7) tenglamalar sistemasini R_{12} , R_{23} , R_{31} qarshiliklariga nisbatan yechib, yulduz sxema qarshiliklarini ekvivalent uchburchak sxema qarshiliklari orqali ifodalarini aniqlaymiz:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}, R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}, R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}. \quad (1.8)$$

Yulduzni uchburchakka o'zgartirish sxemasida tugunlar soni kamayadi, ammo zanjirda yangi R_{12} , R_{23} , R_{31} qarshiliklardan tuzilgan kontur paydo bo'ladi. (1.8) tenglamalardagi qarshiliklarni o'tkazuvchanliklar bilan almashtiramiz. O'zgartirishlarni bajarib, uchburchak tomonlarini belgilovchi elementlar o'tkazuvchanliklarini aniqlaymiz:

$$G_{12} = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2 + G_3}, G_{23} = \frac{G_2 G_3}{G_1 + G_2 + G_3}, G_{31} = \frac{G_3 G_1}{G_1 + G_2 + G_3}. \quad (1.9)$$

O'tkazuvchanliklarni aniqlash formulalari (1.9) yulduz sxema qarshiliklarini aniqlash formulalarining (1.7) strukturasi bilan bir xildir. Xuddi shunday yulduz sxema nurlarining o'tkazuvchanliklari (G_1 , G_2 , G_3) ni aniqlash struktura jihatidan (1.8) tenglamalarga o'xshaydi. (1.9) tenglamalarga asoslanib n nurli yulduzni n tomonli ko'pburchakka o'zgartirish tenglamasini yozamiz:

$$G_{kl} = G_k G_l / G_1 + G_2 + \dots + G_N.$$

G_{kl} - n tomonli ko'pburchak bir tomonining o'tkazuvchanligi, ya'ni k va l tugunlarni birlashtiruvchi tomonning o'tkazuvchanligi, G_1 , G_2 ... G_n -yulduz nurlarini tashkil etuvchi elementlarning o'tkazuvchanligi.

n tomonli ko'pburchakni n nurli yulduzga aylantirish umumiy holda mumkin emas.

Yuqorida keltirilgan o'zgartirishlar ko'p hollarda zanjir tahlilini ancha soddalashtiradi, xususiyl hollarda esa bu o'zgartirishlar murakkab zanjir bo'laklarini soddalashtirishga olib keladi.

Ma'ruza №7. Ma'ruza №8.

Murakkab elektr zanjirlarini hisoblash

Reja:

1. EYuK va tok manbaiga ega bo'lgan parallel shoxobchalarni ekvivalent o'zgartirish
2. Proporsional kattaliklar usuli.
3. Kontur toklar usuli.
4. Tugun potentsiallar usuli.

5. Ikki tugun usuli.
6. Ustma-ustlash prinsipi va uni elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash.

EYuK va tok manbaiga ega bo'lgan parallel shoxobchalarni ekvivalent o'zgartirish.

Murakkab elektr zanjirlarini hisoblashda EYuK, tok manbai va qarshiliklari bo'lgan bir nechta parallel ulangan shoxobchalarni bitta ekvivalent shoxobcha bilan almashtirish jiddiy yangiliklarga olib keladi. Agar tok I ning har qanday qiymatida a, b qismlardagi kuchlanish U_{ab} ikkala sxemada bir xilda qolsa, u holda 1.31-rasm, b da keltirilgan zanjir 1.31 a-rasmda tasvirlangan zanjirga ekvivalent bo'ladi. R_{ekv} va E_{ekv} qanday qiymatlarga teng bo'lishini bilish uchun ikkala sxema uchun tenglamalar tuzamiz:

$$I_1 + I_2 + I_3 + J_r + J_s = I_{ekv},$$

$$I_1 = (E_1 - U_{ab}) / R_1 = (E_1 - U_{ab}) G_1,$$

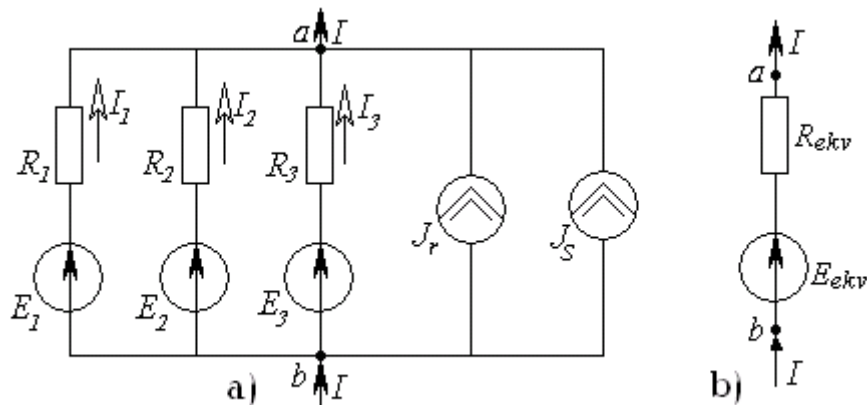
$$I_2 = (E_2 - U_{ab}) / R_2 = (E_2 - U_{ab}) G_2$$

.....

$$I_n = (E_n - U_{ab}) G_n.$$

Demak,

$$I = \sum_{k=1}^m I_k = \sum_{k=1}^n G_k E_k + \sum_{k=1}^q I_k - U_{ab} \sum_{k=1}^n G_k, \tag{1.10}$$



1.31 - rasm

bu yerda m -zanjirdagi parallel shoxobchalarning umumiy soni, n -EYuK manbali shoxobchalar soni, q -tok manbai ulangan shoxobchalar soni.

1.31-rasm, b uchun quyidagi tenglamalarni yozamiz:

$$I = E_{ekv} G_{ekv} - U_{ab} G_{ekv}. \tag{1.11}$$

1.31-rasm, a va b lardagi toklarning tengligi I tok va U_{ab} kuchlanishning har qanday qiymatlarida bajarilishi kerak, bu faqat (1.10) tenglamadagi U_{ab} ning

koeffitsiyenti (1.11) tenglamadagi U_{ab} ning koeffitsiyentiga teng bo'lsa bajariladi, ya'ni,

$$G_{ekv} = \sum_{k=1}^n G_k. \quad (1.12)$$

Agar (1.10) va (1.11) tenglamalardagi U_{ab} ga tegishli hadlar va toklar mos ravishda o'zaro teng bo'lsa, unda ekvivalentlik shartidan:

$$\sum_{k=1}^n G_k E_k + \sum_{k=1}^q J_{TM} = G_{ekv} E_{ekv} \text{ bo'ladi.} \quad (1.13)$$

(1.13) ifodadan E_{ekv} hisoblanadi:

$$E_{ekv} = \frac{\sum_{k=1}^n G_k E_k + \sum_{k=1}^q J_{TM}}{\sum_{k=1}^n G_k}. \quad (1.14)$$

(1.12) formula orqali ekvivalent o'tkazuvchanlik G_{ekv} ni aniqlash va u orqali R_{ekv} ni (1.31-rasm, b) hisoblash mumkin.

(1.14) formuladan quyidagilar kelib chiqadi: agar qaysi bir shoxobchada EYuK bo'lmasa, u holda bu shoxobchanning o'tkazuvchanligi (1.14) formulaning maxrajida bo'ladi, agar biror shoxobchada EYuK manbaining yo'nalishi 1.31-rasm, a da ko'rsatilgandan teskari bo'lsa, u holda shu EYuK ga tegishli had (1.14) formula suratiga manfiy ishora bilan kiradi.

1.31-rasm, a va b dagi shaxobchalar o'zaro ekvivalentdir.

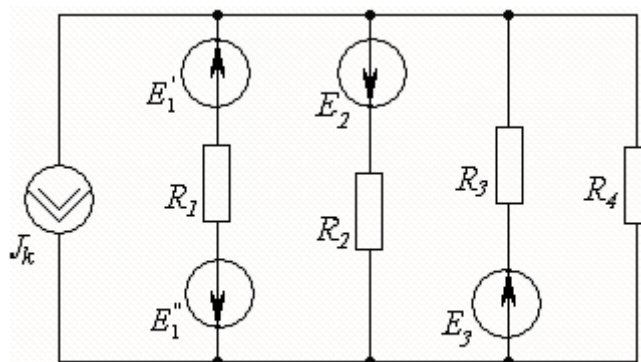
Masala: 1.32-rasmda keltirgan zanjirni ekvivalent shoxobcha bilan almashtiring.

$$E_1' = 12 \text{ V}; E_1'' = 24 \text{ V}; E_2 = 36 \text{ V}; E_3 = 48 \text{ V};$$

Berilgan: $R_1 = 2 \text{ Om}; R_2 = 4 \text{ Om}; R_3 = 10 \text{ Om}; R_4 = 5 \text{ Om}; J_k = 6 \text{ A}.$

Yechish. 1. O'tkazuvchanliklarni aniqlaymiz:

$$G_1 = 0,5 \text{ Sm}; G_2 = 0,25 \text{ Sm}; G_3 = 0,1 \text{ Sm}; G_4 = 0,2 \text{ Sm}.$$



1.32 – rasm

2. Ekvivalent rezistor qarshiligi:

$$R_{ekv} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n G_k} = \frac{1}{0,5 + 0,25 + 0,1 + 0,2} = 0,95 \text{ Om} \text{ bo'ladi.}$$

3. Ekvivalent EYuK esa

$$E_{ekv} = \frac{\sum_{k=1}^n G_k E_k - J_{TM}}{\sum G_k} = \frac{(12 - 24) \cdot 0,5 - 36 \cdot 0,25 + 48 \cdot 1 - 6}{1,05} = \frac{27}{1,05} = 25,7 \text{ V}$$

Javob: $R_{ekv} = 0,95 \text{ Om}$, $E_{\text{yuk}} = 25,7 \text{ V}$.

Proporsional kattaliklar usuli

Proporsional kattaliklar usulini bitta manbadan ta'minlanayotgan va qarshiliklari o'zaro aralash ulangan zanjirni hisoblashda qo'llash maqsadga muvofiq.

Hisoblash ketma-ketligi quyidagicha:

1) manbadan eng uzoqda joylashgan shoxobchadagi tokka ixtiyoriy, masalan $I \text{ A}$ qiymat beramiz;

2) tanlangan shoxobchadagi tok qiymatidan foydalanib qolgan barcha shoxobchalardagi tok va kuchlanishlarni hisoblab topamiz;

3) qayta hisoblash koeffitsiyentini topamiz. U manba EYuK ini uni qismalaridagi hisoblab topilgan kuchlanishga bo'lgan nisbatiga teng;

4) barcha shoxobchalardagi hisoblab topilgan toklar va kuchlanishlarni qayta hisoblash koeffitsiyentiga ko'paytirib tok va kuchlanishlarning haqiqiy qiymatlarini topamiz.

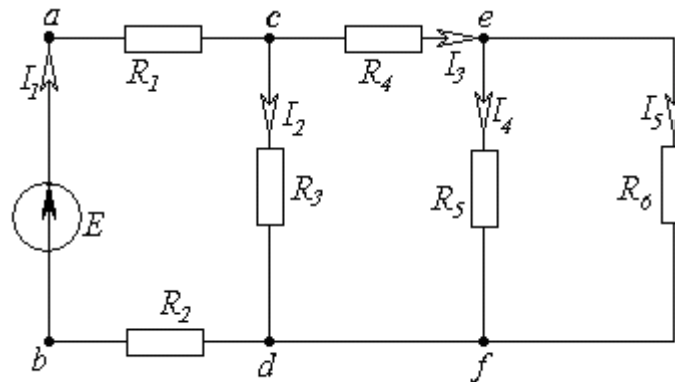
Masala: 1.33-rasmda keltirilgan zanjir shoxobchalaridagi toklar proporsional kattaliklar usuli yordamida topilsin. $R_1 = R_2 = 3 \text{ Om}$; $R_3 = 26 \text{ Om}$; $R_4 = 6 \text{ Om}$; $R_5 = 4 \text{ Om}$; $R_6 = 8 \text{ Om}$; $E = 200 \text{ V}$.

Yechish. $I'_5 = 1 \text{ A}$ deb qabul qilamiz. Shunga ko'ra boshqa shoxobchalardagi toklar va kuchlanishlarni hisoblaymiz.

$$U_{ed} = R_6 I'_5 = 1 \cdot 8 = 8 \text{ V}, I'_4 = U_{ed} / R_5 = 8 / 4 = 2 \text{ A}, I'_3 = I'_5 + I'_4 = 1 + 2 = 3 \text{ A},$$

$$U_{cd} = U_{ed} + R_4 I'_3 = 8 + 3 \cdot 6 = 26 \text{ V}, I'_2 = U_{cd} / R_3 = 26 / 26 = 1 \text{ A},$$

$$I'_1 = I'_2 + I'_3 = 1 + 3 = 4 \text{ A}, U_{ab} = U_{cd} + I'_1 (R_1 + R_2) = 26 + 4(3 + 3) = 50 \text{ V}.$$



1.33 – rasm

Qayta hisoblash koeffitsiyenti:

$$k = E / U_{ab} = 200 / 50 = 4.$$

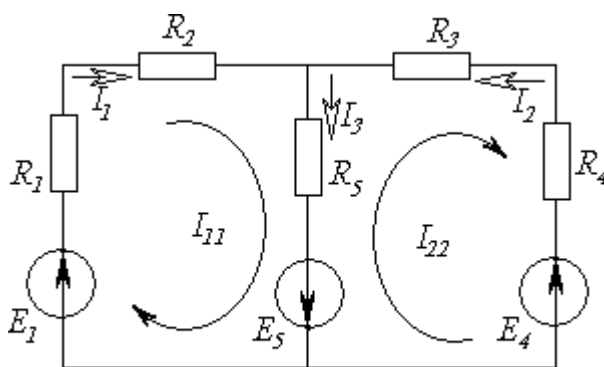
Demak, haqiqiy toklarning qiymatlari:

$$I_1 = kI_1' = 4 \cdot 4 = 16 \text{ A}, \quad I_2 = 4 \cdot 1 = 4 \text{ A}, \quad I_3 = 4 \cdot 3 = 12 \text{ A},$$

$$I_4 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ A}, \quad I_5 = 4 \cdot 1 = 4 \text{ A}.$$

Kontur toklar usuli

Bu usulda o'zaro bog'liq bo'lmagan (mustaqil) konturdan yagona kontur toki o'tadi deb faraz qilinadi va shoxobchalar toki shu kontur toklari orqali aniqlanadi. Kontur toklar usuli-Kirxgofning 2-qonuniga asoslanadi. Tenglamalar shu kontur toklariga nisbatan tuziladi. Tenglamalar sistemasi yechilib, noma'lum kontur toklar, ular orqali esa shoxobchalardagi haqiqiy toklar aniqlanadi. Shunday qilib, kontur toklar usuli asosida tuzilgan tenglamalarda noma'lumlar soni o'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar soniga teng va zanjir bu usulda hisoblanganda Kirxgof tenglamalari usuliga nisbatan tenglamalar soni va ularni yechishga sarf bo'ladigan



1.34 – rasm

vaqt kam bo'ladi. Kontur toklar usuli ko'pincha murakkab zanjirdagi mustaqil konturlar soni tugunlar sonidan kam bo'lganda qo'llaniladi.

1.34-rasmda keltirgan sxema uchun tenglamalarni tuzamiz. Bu sxemada ikkita bog'liq bo'lmagan kontur mavjud. Bu konturlardan o'tadigan kontur toklar orqali shoxobchalardagi toklarni aniqlash mumkin.

Faraz qilaylik, sxemaning chap konturida soat mili harakati yo'nalishida I_{11} , o'ngdagi konturda esa shu yo'nalishda I_{22} kontur toklari o'tmoqda. Har bir kontur uchun Kirxgofning 2-qonuniga asoslanib tenglamalar tuzamiz. Bunda R_5 qarshilikli shoxobchadan ikkala kontur

toklarning ayirmasi (yoki yig'indisi) o'tishi mumkin. Bunday shoxobcha yondosh shoxobcha deyiladi.

Yondosh shoxobchalardagi haqiqiy toklarni aniqlash uchun kontur toklar yo'nalishi albatta e'tiborga olinishi kerak. Konturlarni aylanib chiqish yo'nalishini ham soat mili bo'yicha olamiz. 1-kontur uchun:

$$(R_1 + R_2)I_{11} + R_5(I_{11} - I_{22}) = E_1 + E_5 \text{ yoki}$$

$$(R_1 + R_2 + R_5)I_{11} - R_5I_{22} = E_1 + E_5. \quad (1.15)$$

2-kontur uchun:

$$\begin{aligned} R_5(I_{22} - I_{11}) + (R_3 + R_4)I_{22} &= -E_4 - E_5 \text{ yoki} \\ -R_5I_{11} + (R_3 + R_4 + R_5)I_{22} &= -E_4 - E_5. \end{aligned} \quad (1.16)$$

(1.15) tenglamada I_{11} oldidagi koeffitsiyent birinchi konturga tegishli xususiy qarshiliklar yig'indisidir, uni R_{11} bilan belgilaymiz, I_{22} oldidagi koeffitsiyent esa konturlar orasidagi o'zaro qarshilik, uni R_{12} bilan belgilaymiz. (1.16) tenglamada esa I_{11} oldidagi koeffitsiyentni R_{21} , I_{22} oldidagi koeffitsiyentni esa R_{22} bilan belgilaymiz. R_{11} , R_{22} - tegishli konturlarning xususiy qarshiliklari, $R_{12} = R_{21}$ lar esa- konturlararo o'zaro qarshiliklar deyiladi. (1.15) va (1.16) tenglamalar o'ng tomonini mos ravishda E_{11} va E_{22} bilan belgilaymiz, bunda E_{11} , E_{22} -mos ravishda birinchi va ikkinchi konturdagi EYuK larning algebraik yig'indisi. Bunda EYuK yo'nalishi konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, *musbat* ishora bilan, aks holda esa *manfiy* ishora bilan olinadi. Bu holda yuqoridagi tenglamalarni quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} = E_{11}, \quad R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} = E_{22},$$

bu yerda

$$R_{11} = R_1 + R_2 + R_5, \quad R_{22} = R_3 + R_4 + R_5, \quad R_{12} = R_{21} = -R_5,$$

$$E_{11} = E_1 + E_5, \quad E_{22} = -E_4 - E_5.$$

Agar sxemada mustaqil konturlar soni ikkitadan ko'p, masalan uchta bo'lsa, u holda tenglamalar sistemasi quyidagi shaklda yoziladi:

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} = E_{11},$$

$$R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} = E_{22},$$

$$R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} = E_{33}.$$

yoki matritsa ko'rinishida $[R][I] = [E]$, bunda

$$[R] = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}; \quad [I] = \begin{vmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \end{vmatrix}; \quad [E] = \begin{vmatrix} E_{11} \\ E_{22} \\ E_{33} \end{vmatrix}.$$

Har xil belgili qarshiliklar ishoralari bir xil bo'lishi uchun kontur toklarning yo'nalishi bir xil yo'nalishda: faqat soat mili harakati yoki unga teskari yo'nalishda

qabul qilinishi lozim. Tenglamalar sistemasi yechimida qaysi bir kontur toki manfiy ishorali chiqsa, shu kontur tokining haqiqiy yo'nalishi dastlab qabul qilinganiga teskari bo'ladi. Konturlararo qarshilikdan ikkita yondosh kontur toklari o'tadi.

Shoxobchadagi tok qiymati shu shoxobchadan o'tadigan kontur toklar bilan aniqlanadi. Masalan, R_5 shoxobchasidan $I_{11} - I_{22}$ ayirma toki o'tadi, bu ayirma tok shoxobchadagi haqiqiy tokdir. Agar elektr zanjirida n o'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar bo'lsa, unda n ta mustaqil tenglamalar sistemasi tuziladi. Bunda n ta tenglamalar sistemasining umumiy yechimi quyidagicha bo'ladi:

$$I_{kk} = \frac{\Delta_{k1}}{\Delta} E_{11} + \frac{\Delta_{k2}}{\Delta} E_{22} + \frac{\Delta_{k3}}{\Delta} E_{33} + \dots + \frac{\Delta_{kn}}{\Delta} E_{nn}$$

bu tenglamada

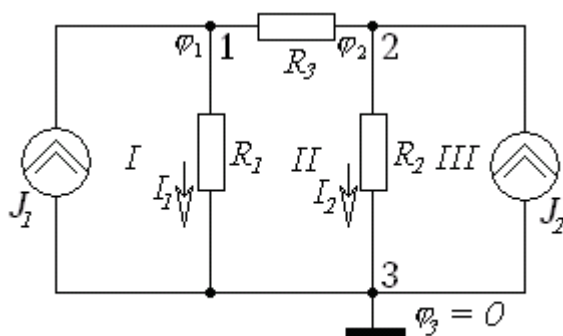
$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \text{-sistemaning bosh determinanti,}$$

Δ_{km} – algebraik to'ldiruvchi bo'lib, uni hisoblashda Δ determinantdan k -ustun va m -qatorni o'chirib, $(-1)^{k+m}$ ga ko'paytirib olinadi.

Agar bosh aniqlovchining chap burchagi yuqorisidan o'ng burchagi pastiga diagonal o'tkazsak, u determinantni ikki qismga bo'ladi. Bu determinantning bosh diagonalga nisbatan *simmetriklik xususiyatidir*. Shu simmetriyaga asoslanib, $\Delta_{km} = \Delta_{mk}$ tenglikni yozish mumkin.

Tugun potentsiallar usuli

Bu usulga ko'ra Kirxgofning 1-qonuniga asoslanib elektr zanjir tugunlaridagi potentsiallar zanjirning *tayanch* tuguniga nisbatan aniqlanadi. *Bunda tayanch tugun potentsiali nolga teng* deb qabul qilinadi. Ma'lumki, har qanday shaxobchadagi kuchlanish shu shaxobcha ulangan tugunlar potentsiallarining ayirmasiga teng



1.35 – rasm

bo'lib, bu kuchlanishni shu shaxobcha o'tkazuvchanligiga ko'paytmasi esa shaxobcha tokiga teng bo'ladi. Shunday qilib, tugun potentsiallarini aniqlab har bir shaxobchadagi tok qiymatini topishimiz mumkin.

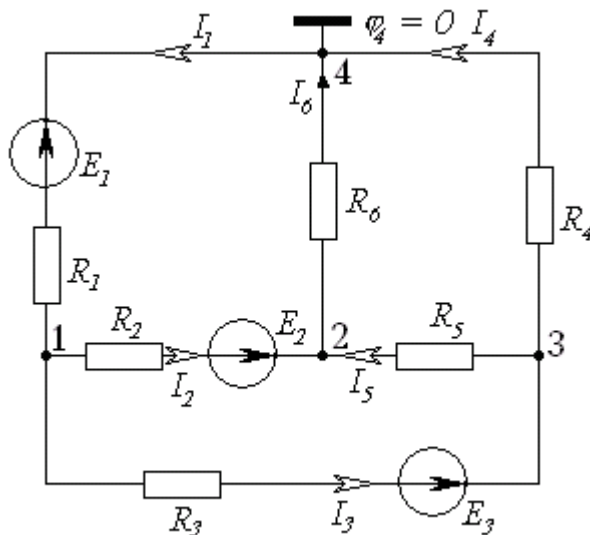
Ushbu usul noma'lum toklarni topishda tugun potentsiallarini aniqlashga asoslanganligi uchun *tugun potentsiallar usuli* deb ataladi. 1.35-rasmda keltirilgan

Δ_{iK} - algebraik to'ldiruvchi.

Agar elektr sxemada EYuK manbalari berilgan bo'lsa, u holda ular ekvivalent tok manbai bilan almashtiriladi, ya'ni EYuK ni o'zi ulangan shoxobcha o'tkazuvchanligiga ko'paytirib yoziladi. Agar zanjirning biror shoxobchasiga ideal EYuK manbai ulangan bo'lsa (bunday manbaning o'tkazuvchanligi cheksiz katta), u holda shu shoxobchaga ulangan tugun ma'lum potensialga ega deb qabul qilinadi va tenglamalar sistemasida tenglamaning o'ng tomoniga o'tkaziladi. Shuni ta'kidlash joizki, agar Kirxgofning 1-qonuni bo'yicha tuzilgan tenglamalar soni ikkinchi qonuni asosida tuzilgan tenglamalar sonidan kam bo'lsa, tugun potentsiallar usuli kontur toklar usulidan afzal bo'ladi. Agar berilgan elektr zanjir q ta tugun va p ta shoxobchaga ega bo'lsa va $q - 1 < p - q + 1$ yoki $2(q-1) < p$ shart bajarilsa, u holda *tugun potentsiallar usuli afzal* bo'ladi.

Zanjirni tugun potentsiallar usuli yordamida hisoblash tartibi quyidagicha:

- 1) shoxobchalardagi toklarga ixtiyoriy yo'nalish beriladi;
- 2) istalgan bitta tugunning potentsiali nolga teng deb qabul qilinadi;
- 3) zanjirning qolgan tugunlari potentsiallari uchun tenglamalar sistemasini tuziladi;



1.36 - rasm

- 4) tenglamalar sistemasini yechib tugunlar potentsiallari topiladi;
- 5) Om qonuni yordamida shoxobchalardagi noma'lum toklar topiladi.

Masala: 1.36-rasmda keltirilgan zanjir shoxobchalaridagi toklar tugun potentsiallar usuli yordamida topilsin.

$E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$, $E_3 = 18 \text{ V}$,
 $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Om}$, $R_4 = R_5 = R_6 = 2 \text{ Om}$.

Yechish. Shoxobchalardagi toklar yo'nalishini ixtiyoriy tanlab olamiz va 4-tugun potentsialini nolga tenglaymiz.

Keyin boshqa tugunlar potentsiallari uchun quyidagi tenglamalar sistemasini tuzamiz:

$$\begin{aligned} \varphi_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - \varphi_2 \frac{1}{R_2} - \varphi_3 \frac{1}{R_3} &= -E_1 \frac{1}{R_1} - E_2 \frac{1}{R_2} - E_3 \frac{1}{R_3}, \\ -\varphi_1 \left(\frac{1}{R_2} \right) + \varphi_2 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) - \varphi_3 \frac{1}{R_5} &= E_2 \frac{1}{R_2}, \\ -\varphi_1 \frac{1}{R_3} - \varphi_2 \frac{1}{R_5} + \varphi_3 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) &= E_3 \frac{1}{R_3}. \end{aligned}$$

Hosil bo'lgan sistemani shoxobchalarning qarshiligi va ulardagi EYuK qiymatlarini hisobga olgan holda yechib, tugunlar potentsiallarini topamiz:

$$\varphi_1 = -9V; \quad \varphi_2 = 3V; \quad \varphi_3 = 6V.$$

Shoxobchalardagi toklarni Om qonuni asosida aniqlaymiz:

$$I_1 = (\varphi_4 - \varphi_1 - E_1) \frac{1}{R_1} = (-\varphi_1 - E_1) \frac{1}{R_1} = (9 - 6) \cdot \frac{1}{2} = 1,5A,$$

$$I_2 = (\varphi_1 - \varphi_2 + E_2) \frac{1}{R_2} = (-9 - 3 + 12) \cdot \frac{1}{2} = 0,$$

$$I_3 = (\varphi_1 - \varphi_3 + E_3) \frac{1}{R_3} = (-9 - 6 + 18) \cdot \frac{1}{2} = 1,5A,$$

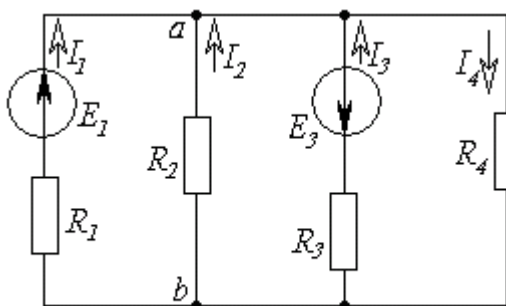
$$I_4 = (\varphi_3 - \varphi_4) \frac{1}{R_4} = (6 - 0) \frac{1}{6} = 1A,$$

$$I_5 = (\varphi_3 - \varphi_2) \frac{1}{R_5} = (6 - 3) \frac{1}{6} = 0,5A,$$

$$I_6 = (\varphi_2 - \varphi_4) \frac{1}{R_6} = (3 - 0) \frac{1}{6} = 0,5A.$$

Ikki tugun usuli

Ba'zi hollarda zanjirda faqat ikkita tugun bo'lib, konturlar soni ko'p bo'ladi (1.37-rasm). Bunday zanjirlarni hisoblash uchun eng qulay bo'lgan usul-tugun potentsiallar usulining xususiy holi-ikkita tugun usulidan foydalaniladi. Bunda tenglamalar soni $T - l = 2 - l = l$ tani tashkil etadi.



1.37 - rasm

"b" nuqtani tayanch tugun deb olib, uni shartli yerga ulaymiz. Bunda faqat "a" nuqtani potentsialini aniqlasak, masalani yechish uchun yetarli bo'ladi. Buning uchun parallel ulangan shoxobchalarni bitta ekvivalent manba bilan almashtiramiz. Berilgan sxema uchun a va b tugunlar orasidagi kuchlanish:

$$U_{ab} = \frac{\sum E_k G_k + \sum I_k}{\sum G_n}.$$

U_{ab} kuchlanishni hisoblaganimizdan keyin har bir shoxobchadagi tokni Om qonuniga binoan topamiz:

$$I_n = G_n (E - U_{ab}),$$

bunda n -parallel shoxobchalar soni.

Masala: 1.37-rasmda berilgan elektr zanjiridagi toklarni ikki tugun usuli yordamida aniqlang va quvvatlar balansini tekshiring. $E_1 = 110 \text{ V}$, $E_2 = 48 \text{ V}$, $R_1 = 2 \text{ Om}$, $R_2 = 4 \text{ Om}$, $R_3 = 2 \text{ Om}$, $R_4 = 10 \text{ Om}$.

Yechish.

$$U_{ab} = \frac{G_1 E_1 - G_3 E_3}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} = \frac{0,5 \cdot 110 - 0,5 \cdot 48}{0,5 + 0,25 + 0,5 + 0,1} = \frac{31}{1,35} = 22,96 \text{ V},$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{110 - 22,96}{2} = \frac{87,04}{2} = 43,52 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{0 - 22,96}{4} = -5,74 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{-E_3 - U_{ab}}{R_3} = \frac{-48 - 22,96}{2} = \frac{-70,96}{2} = -35,48 \text{ A},$$

$$I_4 = \frac{E_4 + U_{ab}}{R_4} = \frac{0 + 22,96}{10} = 2,3 \text{ A}.$$

Quvvatlar balansini tekshirish uchun iste'molchi va manba quvvatlarini hisoblaymiz:

$$P_{ist} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 = 2 \cdot (43,52)^2 + 4 \cdot (-5,74)^2 + 2 \cdot (-35,48)^2 + 10 \cdot (-2,29)^2 = 6489,87 \approx 6490 \text{ Vt},$$

$$P_M = E_1 I_1 - E_3 I_3 = 110 \cdot 43,52 - 48(-35,48) = 6490,2 \text{ Vt}.$$

Demak, $P_{manba} \approx P_{ist}$.

Ustma-ustlash prinsipi va uni elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash

Ustma-ustlash teoremasi: "Chiziqli elektr zanjirlarida o'zaro bog'liq bo'lmagan bir nechta manbalarning umumiy ta'siri alohida olingan har bir manba ta'siri natijalarining algebraik yig'indisiga teng".

Ma'lumki, kontur toklar usuliga binoan elektr zanjirida EYuK manbai ta'sirida shoxobchalardan o'tuvchi kontur toklar kontur EYuK larining chiziqli funksiyasidir. Matematik ko'rinishda bu quyidagi tenglik bilan ifodalanadi:

$$I_k = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n \Delta_{ik} E_{ii} \quad (1.17)$$

(1.17) tenglamaning fizik ma'nosi shundan iboratki, murakkab chiziqli elektr zanjirining har bir shoxobchasidagi tok alohida olingan har bir EYuK manbaining ta'siridan hosil bo'lgan toklarning algebraik yig'indisiga teng.

Bu prinsip *superpozitsiya* (ustma-ustlash) prinsipi deyiladi. Ushbu prinsipga asosan kontur yoki shoxobchadagi toklarni aniqlash usuli *ustma-ustlash usuli* deb ataladi.

Murakkab elektr zanjirni ustma-ustlash usulida hisoblash quyidagi ketma-ketlikda bajariladi:

a) har bir EYuK manbai ta'siridan shoxobchalarda hosil bo'lgan xususiy toklar aniqlanadi, bunda fikran sxemada yagona EYuK manbai qoldirilib, boshqa EYuK lar olib tashlanadi va ularning ichki qarshiliklari zanjirga EYuK lar o'rniga ulangan deb qabul qilinadi;

b) shoxobchalardagi haqiqiy toklar esa alohida hisoblangan xususiy toklarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

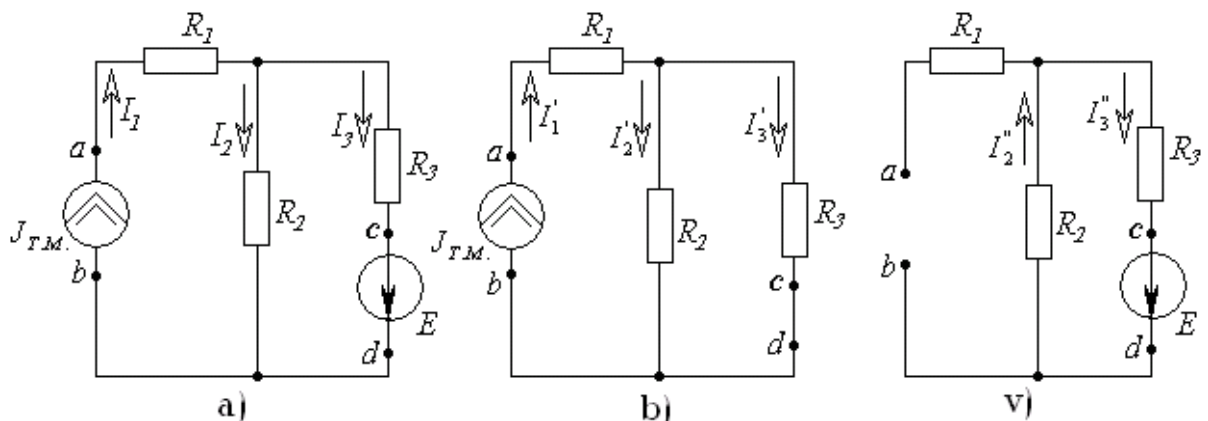
Agar chiziqli zanjirda tok manbalari ulangan bo'lsa, tugunlardagi potentsiallar yoki shoxobchalardagi kuchlanishlar har bir tok manbai toklarining chiziqli funksiyasi bo'ladi. Ular matematik ko'rinishda quyidagi formula bilan ifodalandi:

$$\varphi_k(U_k) = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^{q-1} I_i \Delta_{ik} \quad (1.18)$$

(1.18) formulaning fizik ma'nosi: chiziqli elektr zanjirda har bir tugunning potentsiali shu tugunda alohida har bir tok manbaining ta'siridan hosil bo'lgan potentsiallarning algebraik yig'indisiga tengdir. Ustma-ustlash usuliga binoan har bir tugun potentsialini aniqlashda fikran bitta tok manbai qoldirilib, qolganlari sxemadan chiqariladi, ularning o'rniga esa tok manbalarining ichki o'tkazuvchanliklari ulangan deb qaraladi (ideal tok manbaida $G_{ich} = 0$ bo'lganligi sababli shoxobcha uzoq qoldiriladi).

Agar murakkab zanjirga bir vaqtda EYuK va tok manbalari ulangan bo'lsa, bunda ham ustma-ustlash usulini qo'llash mumkin.

Masala: 1.38-rasmdagi sxema uchun ustma-ustlash usuli yordamida shoxobchalardagi toklarni aniqlang va quvvatlar balansini tekshiring. Berilgan: $R_1 = 2 \text{ Om}$, $R_2 = 4 \text{ Om}$, $R_3 = 6 \text{ Om}$, $I_{TM} = 5 \text{ A}$, $E = 24 \text{ V}$.



1.38 – rasm

Yechish: a) shoxobchalardagi toklar yo'nalishini ixtiyoriy belgilaymiz, EYuK manbaini sxemadan chiqarib tashlab c va d nuqtalarni birlashtiramiz. EYuK manbaining ichki qarshiligi $r_{ich} = 0$ (1.38-rasm, b). Shu sxema uchun shoxobchalarda tok manbai ta'siridan hosil bo'lgan xususiy toklarni aniqlaymiz:

$$I_1' = J_{TM} = 5A, I_2' = I_1' \frac{R_2 R_3}{(R_2 + R_3)R_2} = 3A, I_3' = I_1' \frac{R_2 R_3}{(R_2 + R_3)R_3} = 2A.$$

Endi EYuK manbai ta'siridan zanjir shoxobchalaridagi xususiy toklarni aniqlaymiz. Bunda tok manbai sxemadan olib tashlangan va a va b nuqtalar orasi uzilgan, chunki tok manbaining ichki o'tkazuvchanligi $G_{ich} = 0$ ga teng (1.38-rasm, v). Demak, 1.38-rasm, v uchun:

$$I_1'' = 0; \quad I_2'' = I_3'' = E / (R_2 + R_3) = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ A}.$$

b) ustma-ustlash prinsipidan foydalanib har bir shoxobchadagi haqiqiy toklarni aniqlaymiz:

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 5 + 0 = 5 \text{ A}, \quad I_2 = I_2' - I_2'' = 3 - 2,4 = 0,6 \text{ A},$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 2 + 2,4 = 4,4 \text{ A}.$$

a nuqtaning potentsiali:

$$\varphi_a = \varphi_b + R_2 I_2 + R_1 I_1, \quad U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = R_2 I_2 + R_1 I_1 = 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 5 = 12,4 \text{ V}.$$

Tok manbai quvvati:

$$P_{ab} = U_{ab} J_{TM} = 12,4 \cdot 5 = 62,0 \text{ Vt}.$$

EYuK manbai quvvati esa

$$EI_3 = 20 \cdot 4,4 = 88 \text{ Vt}.$$

Quvvatlar balansi:

$$P_{ist} = P_{manba} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 = U_{ab} J_{TM} + EI_3.$$

yoki

$$P_{ist} = 2 \cdot 25 + 4 \cdot 0,36 + 6 \cdot 19,36 = 50 + 1,44 + 116,16 = 167,6 \text{ Vt},$$

$$P_{manba} = U_{ab} J_{TM} + EI_3 = 12,4 \cdot 5 + 24 \cdot 4,4 = 62 + 105,6 = 167,6 \text{ Vt}.$$

Masala: 1.39-rasmda keltirilgan zanjir shoxobchalaridagi toklar ustma-ustlash usulida aniqlansin. $E = 5 \text{ V}$, $J = 1 \text{ A}$, $R_1 = R_2 = 2 \text{ Om}$, $R_3 = R_4 = 3 \text{ Om}$.

Yechish: toklarni aniqlash uchun ikkita alohida zanjir toklarini hisoblash kerak (1.39-b va v rasmlar).

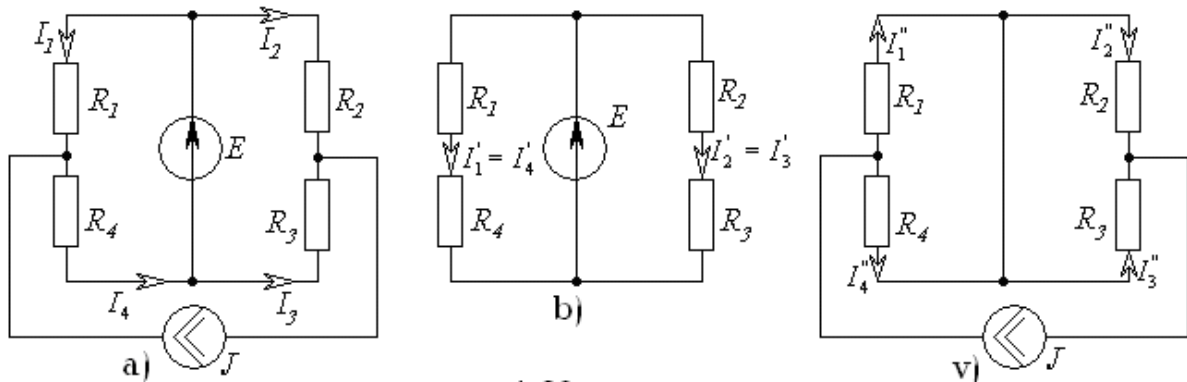
$$I_1^1 = I_4^1 = E / (R_1 + R_4) = 5 / (2 + 3) = 1 \text{ A},$$

$$I_2^1 = I_3^1 = E / (R_2 + R_3) = 5 / (3 + 2) = 1 \text{ A}.$$

EYuK manbai tufayli R_1 va R_4 , R_2 va R_3 qarshiliklar parallel ulangan, shu sababli J tok manбайдan shoxobchalarda hosil bo'lgan qisman toklar R_1 va R_4 yoki R_2 va R_3 lar orqali hisoblanadi:

$$I_1'' = J \frac{R_4}{R_1 + R_4} = 1 \cdot \frac{3}{3 + 2} = 0,6 \text{ A}, \quad I_4'' = J \frac{R_1}{R_1 + R_4} = 1 \cdot \frac{2}{5} = 0,4 \text{ A},$$

$$I_2'' = J \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 1 \cdot \frac{2}{2+3} = 0,4 \text{ A}, I_3'' = J \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 1 \cdot \frac{3}{2+3} = 0,6 \text{ A}.$$



1.39 – rasm

Berilgan sxema shoxobchalaridagi toklar alohida ajratilgan sxemalar mos shoxobchalaridagi toklarning algebraik yig'indisiga teng:

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 1 - 0,6 = 0,4 \text{ A}; \quad I_4 = I_4' + I_4'' = 1 + 0,4 = 1,4 \text{ A};$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 1 + 0,4 = 1,4 \text{ A}; \quad I_3 = -I_3' + I_3'' = -1 + 0,6 = -0,4 \text{ A}.$$

Ma'ruza №9.

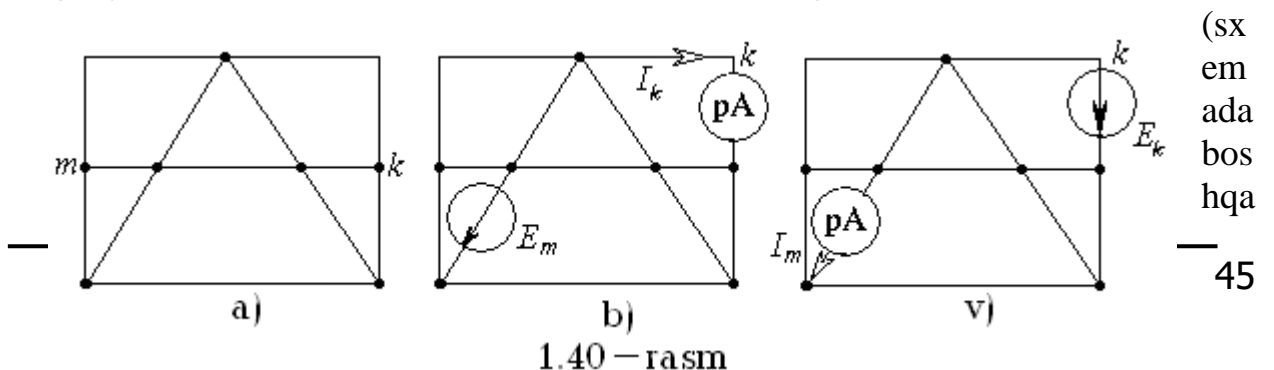
O'zarolik xususiyati va uni tarmoqlangan elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash

Reja:

1. O'zarolik xususiyati va uni tarmoqlangan elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash
2. Aktiv ikki qutblik haqida teorema va uni murakkab elektr zanjirlarni hisoblashda qo'llash. Ekvivalent generator usuli
3. Asosiy topologik tushunchalar va ularni elektr zanjirlarni hisoblashda qo'llash

O'zarolik xususiyati va uni tarmoqlangan elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash

1.40-rasmda passiv elektr zanjirning sxemasi keltirilgan. Sxemada rezistor bor ikkita shoxobchani ajratib, birinchi shoxobchani m , ikkinchisini esa k deb belgilaymiz (1.40-rasm, a). Endi m shoxobchasiga EYuK E_m ni kiritamiz



1.40 – rasm

(sxemada bos hqa

EYuK lar yo'q).

Konturlarni shunday belgilaymizki, unda k shoxobcha faqat k konturda, m shoxobcha esa m konturda bo'lsin. U holda EYuK E_m ta'sirida k va m shoxobchalardan o'tuvchi toklar quyidagicha aniqlanadi:

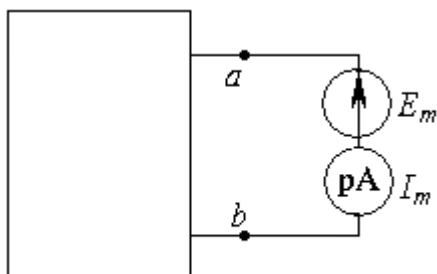
$$I_m = E_m G_{mm}, \quad I_k = E_m G_{km}.$$

G_{mm} – m shoxobchani kirish o'tkazuvchanligi. Agar EYuK $E_m=1$ V (birlik EYuK) bo'lsa, u holda G_{mm} qiymati m shoxobchadagi tokka teng bo'ladi. G_{km} - k va m shoxobchalarning o'zaro o'tkazuvchanligi. Agar m shoxobchaga $E_m=1$ V birlik EYuK manbai ulansa, G_{km} ning qiymati k shoxobchadagi tokka teng bo'ladi. Kirish va o'zaro o'tkazuvchanliklar chiziqli elektr zanjirlarining umumiy xususiyatlarini aniqlash va zanjirni ustma-ustlash usuli yordamida hisoblashda foydalaniladi. Kirish va o'zaro o'tkazuvchanliklarni hisoblash yoki tajriba orqali aniqlash mumkin. Berilgan sxema uchun kontur toklar usulidan foydalanib tenglamalar tuziladi. Bunda m va k shoxobchalarning har biri o'z konturiga kiradi. Shu konturlarning kirish va o'zaro o'tkazuvchanliklari bosh aniqlovchi va unga tegishli algebraik to'ldiruvchilar yordamida hisoblanadi:

$$G_{mm} = \Delta_{mm} / \Delta, \quad G_{km} = \Delta_{km} / \Delta. \quad (1.19)$$

(1.19) formulada G_{km} -musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. Agar EYuK E_m m konturga ulanganda k shoxobchada hosil bo'lgan tok yo'nalishi k konturda dastlab ixtiyoriy qabul qilingan I_k kontur tokning yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, u holda G_{km} musbat ishora, aks holda esa manfiy ishora bilan olinadi.

G_{mm} va G_{km} larni tajriba yo'li bilan aniqlashda sxemaning m shoxobchadagi EYuK ta'sirida k shoxobchadagi tokni o'lchash uchun ampermetr ulanadi (1.40-rasm, b). k shoxobchadagi tokni EYuK E_m ga nisbati G_{km} o'tkazuvchanlikka teng bo'ladi. Kirish o'tkazuvchanlik G_{mm} ni aniqlash uchun m shoxobchadagi I_m tokni o'lchash kerak va uni shoxobchaga ulangan EYuK G_{mm} ga bo'lish kerak (1.40-rasm, v):



1.41 – rasm

$$G_{mm} = I_m / E_m.$$

m -shoxobchani ajratib, sxemani qolgan qismini (ya'ni EYuKi yo'q qismini) to'rtburchak ichiga joylashtiramiz (1.41-rasm).

To'rtburchak ichiga olingan sxema ab qismlariga nisbatan ma'lum qarshilikka ega va u sxemaning kirish qarshiligi deb ataladi. Ko'rilayotgan misolda

m shoxobchani ab qismlariga nisbatan kirish qarshiligi

$$R_{kir} = \frac{E_m}{I_m} = \frac{1}{G_{mm}}.$$

Shunday qilib, m shoxobchani kirish qarshiligi shu shoxobcha o'tkazuvchanligining teskari qiymatidir. Bu qarshilikni m konturning umumiy

qarshiligi bilan, masalan kontur toklar usulidagi konturning xususiyligini qarshiligi bilan almashtirish mumkin emas.

Teorema: har qanday chiziqli elektr zanjirida m shoxobchadagi EYuK E_m ta'siridan k shoxobchada hosil bo'ladigan tok $I_k = G_{mk} E_m$ ifoda bilan aniqlanadi va bu tok m shoxobchadagi I_m tokka teng bo'ladi. Agar shu tokni sababchisi EYuK E_k qiymati jihatidan EYuK E_m ga teng va k shoxobchada bo'lsa, u holda $I_m = G_{mk} E_k$.

O'zarolik teoremasini isbot qilish uchun 1.40-rasm, a ga e'tibor beramiz. Sxemadan k va m shoxobchalarni ajratamiz. m -shoxobchaga EYuK E_m ni, k -shoxobchaga esa ampermetr pA ni ulab, tok I_k ni o'lchaymiz (1.40 - rasm, b). k va m shoxobchalar faqat mos ravishda tegishli k va m konturlarga kiradi, deb qaraymiz. U holda kontur toklar usuliga ko'ra $I_k = E_m (\Delta_{km} / \Delta)$ bo'ladi.

Keyin EYuK bilan ampermetr o'rnini almashtiramiz, ya'ni EYuKni m shoxobchaga o'tkazamiz va uni endi E_k deb olamiz, ampermetrni esa, shoxobchadan m shoxobchaga ko'chiramiz (1.40-rasm, v). Bu holda tok

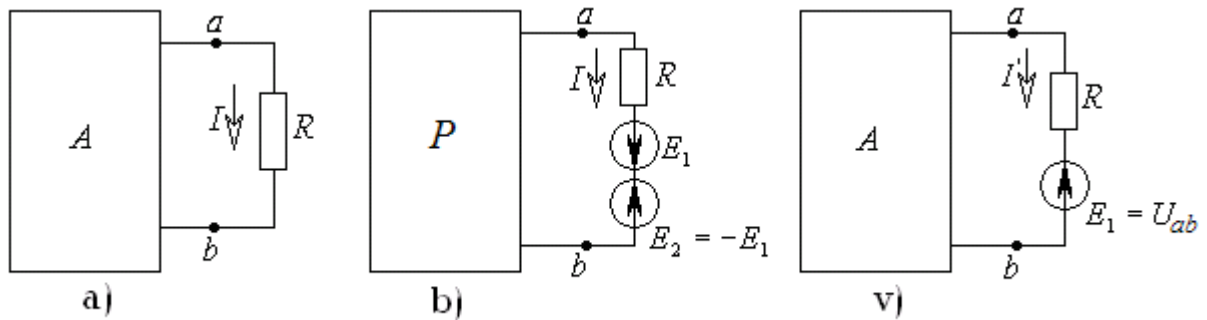
$$I_{mm} = E_k (\Delta_{mk} / \Delta), E_k = E_m, \Delta_{mk} = \Delta_{km}$$

bo'lganligi uchun sistema determinanti Δ asosiy diagonaliga nisbatan simmetrik bo'ladi. Shuning uchun 1.40-rasm, b dagi tok I_k , 1.40-rasm, v dagi I_m tokka teng bo'ladi. O'zarolik teoremasi amalda ishlatilganda asosiy e'tiborni EYuK va tok yo'nalishlarining o'zaro to'g'ri kelishiga qaratish zarur, ya'ni k shoxobchadagi EYuK E_k (1.40 -rasm, v) va kontur tok I_k (1.40-rasm, b) bir xil yo'nalishda bo'lishi lozim.

Aktiv ikki qutblik haqida teorema va uni murakkab elektr zanjirlarni hisoblashda qo'llash. Ekvivalent generator usuli

Elektr zanjirlar nazariyasida ikki qutblik tushunchasi keng qo'llaniladi. Har qanday elektr sxemada fikran biror shoxobchani ajratib olib sxemaning qolgan elementlarini tartibli ravishda to'rtburchak ichiga joylashtirish mumkin. To'rtburchak ichiga olingan sxema ajratilgan shoxobchaga nisbatan *ekvivalent ikki qutblik* deb ataladi. Demak, ikki qutblik-bu elektr zanjir sxemasining umumiy nomi bo'lib, u o'zining ikki qismlari (qutblari) bilan ajratilgan shoxobchaga ulanadi.

Agar ikki qutblikda EYuK yoki tok manbai bo'lsa, u holda bunday ikki qutblik *aktiv ikki qutblik deb ataladi* va to'rtburchak ichiga A harfi yoziladi (1.42-rasm, a).



1.42 – rasm

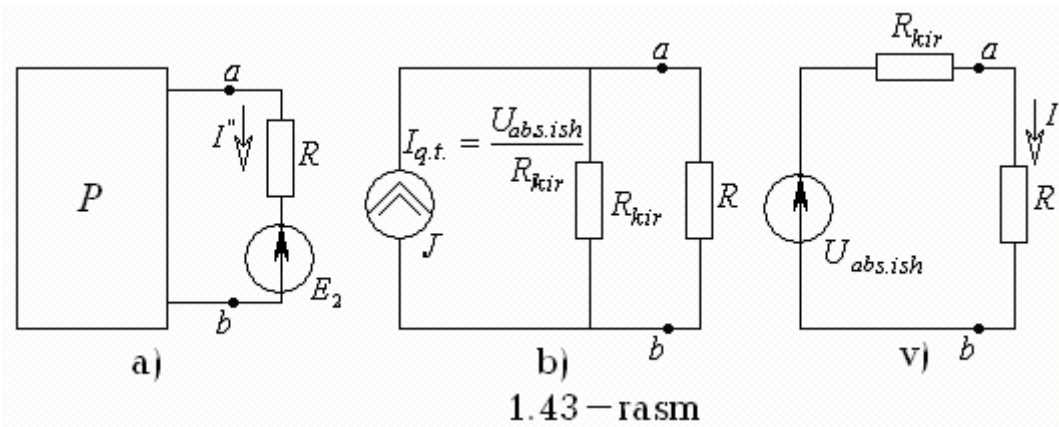
Agar ikki qutblikda EYuK yoki tok manbalari bo'lmasa yoki ular o'zaro kompensatsiyalangan bo'lsa, u holda bunday ikki qutblik *passiv ikki qutblik deb ataladi va to'rtburchak ichiga P harfi yoziladi*.

Ajratilgan shoxobchaga nisbatan ikki qutblikli elektr zanjirni hisoblashda ikki qutblikni ekvivalent generator bilan almashtirib, uning EYuKi ajratilgan shoxobchani qismalaridagi salt rejimdagi kuchlanishga, ichki qarshiligi esa ikki qutblikning kirish qarshiligiga teng qilib olinadi. Masalan, berilgan zanjirning *ab* shoxobchasidagi tok aniqlanishi kerak bo'lsin (1.42-rasm, a). Buning uchun zanjirning qolgan qismini fikran to'rtburchak ichiga olib hamda sxemadagi EYuK va qarshiliklarni ekvivalent parametrlar bilan almashtiramiz. Agar *ab* shoxobchaga ikkita qiymati bir xil va o'zaro teskari yo'nalgan E_1 va E_2 EYuK manbalarini ulasak, u holda shu shoxobchadan o'tayotgan tok qiymati o'zgarmaydi (1.42-rasm, b). Superpozitsiya prinsipiga asosan shoxobcha tokini ikkita I' va I'' toklar yig'indisidan iborat deb qaraymiz. Tok I' EYuK E_1 manbai orqali o'tadi. Shu sababdan I' va I'' toklarni aniqlashda 1.42 – v va 1.43 – a rasmlardan foydalanamiz.

Passiv ikki qutblik sxemasida barcha EYuK manbalari olib tashlanadi, ammo bu manbalar ichki qarshiliklari sxemada qoldiriladi. EYuK E_1 kuchlanish U_{ab} ga teskari yo'nalgan. Zanjirning EYuK manbai bo'lgan shoxobchasi uchun Om qonuniga asosan:

$$I' = U_{ab} - E_1 / R .$$

Endi E_1 EYuK qiymatini o'zgartirib tok I' ifodasini nolga tenglab olamiz. Zanjir *ab* shoxobchasida tokni nolga tenglash, shu shoxobchani uzish bilan ekvivalent. *Passiv ikki qutblikning bunday rejimi salt ish rejimi deyiladi*. Salt ish rejimida *ab* qismalardagi kuchlanishni $U_{ab.s.ish}$ deb belgilaymiz. Agar E_1 EYuKni $U_{ab.s.ish}$ ga teng qilib olsak, unda $I' = 0$ bo'ladi. Umumiy tok $I = I' + I''$, bizda esa



1.43 – rasm

$I' = 0$, shuning uchun $I = I''$. Tok I'' sxemaga asosan (1.43-rasm, v) quyidagicha aniqlanadi:

$$I'' = \frac{E_2}{R + R_{kir}} = \frac{U_{ab.s.ish}}{R + R_{kir}} = I. \quad (1.20)$$

Bu ifodada R_{kir} ikki qutblikning ab qismalariga nisbatan kirish qarshiligidir.

(1.20) tenglamaga 1.43-rasm, v dagi ekvivalent sxema mos keladi. Bunday EYuK li ikki qutblikni $E = U_{ab.s.ish}$ va qarshiligi R_{kir} ga teng bo'lgan ekvivalent generator bilan almashtirish mumkin. Shuning uchun bu usul *ekvivalent generator usuli* deb ataladi. Ba'zi adabiyotlarda bu usul aktiv ikki qutblik yoki salt ish va qisqa tutashish usuli deb ham nomlangan.

Bu usulda tokni aniqlash quyidagi ketma-ketlikda bajariladi:

a) elektr zanjir sxemasidan ab shoxobchasini fikran uzib uning ab qismalaridagi kuchlanish aniqlanadi;

b) ab qismalariga nisbatan ichki EYuK manbalari qisqa tutashtirilgan holda kirish qarshiligi R_{kir} hisoblanadi;

v) shoxobchadan o'tayotgan tok quyidagi formula yordamida topiladi:

$$I = U_{ab.s.ish} / (R + R_{kir}). \quad (1.21)$$

Agar ab shoxobchadagi qarshilikni nolga tenglasak ($R_{ab} = 0$), u holda sxemada qisqa tutashish rejimi bo'ladi va shoxobchadan o'tuvchi tok qisqa tutashish toki bo'ladi ($I_{q.t}$). (1.21) formulada $R=0$ bo'lganida

$$I_{q.t} = U_{ab.s.ish} / R_{kir} \text{ yoki } R_{kir} = U_{ab.s.ish} / I_{q.t} \quad (1.22)$$

topiladi.

(1.22) formuladan ko'rinib turibdiki, $U_{ab.s.ish}$ va R_{kir} larni aniqlash uchun oddiy tajriba usulidan foydalanish mumkin.

Buning uchun ab qismalaridagi salt ish rejimidagi kuchlanish $U_{ab.s.ish}$ o'lchanadi va zanjir qisqa tutashish rejimiga o'tkazilib, shoxobchadagi qisqa tutashish toki $I_{q.t}$ aniqlanadi, keyin R_{kir} hisoblanadi:

$$R_{kir} = U_{ab.s.ish} / I_{q.t}.$$

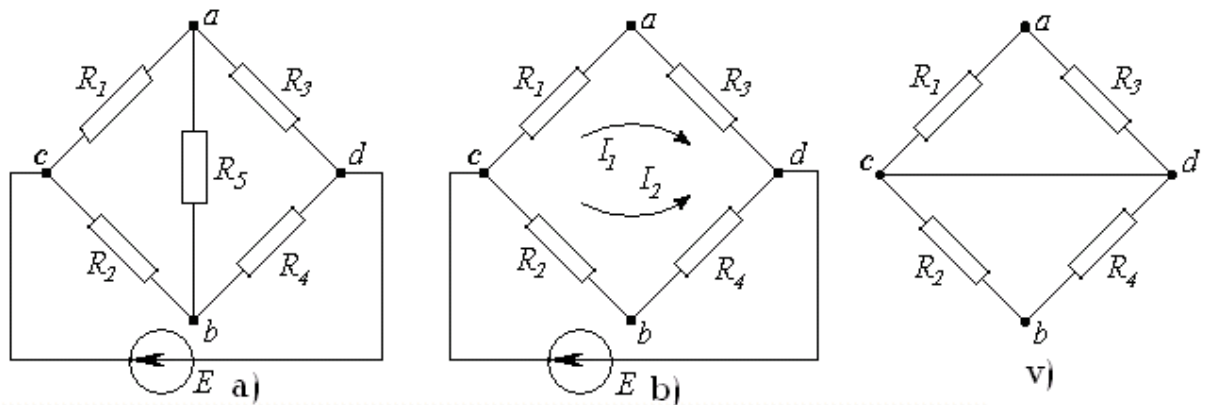
Masala: 1.44-rasm, a da keltirilgan ko'prik sxemaning ab diagonalidagi tokni ekvivalent generator usuli yordamida aniqlang.

Berilgan: $R_1 = R_4 = 1 \text{ Om}$, $R_2 = 4 \text{ Om}$, $R_3 = 2 \text{ Om}$, $R_5 = 2 \text{ Om}$, $E_1 = 10 \text{ V}$.

Yechish: ab shoxobchani uzamiz (1.44-rasm, b) va salt ish rejimi uchun U_{ab} kuchlanishni aniqlaymiz:

$$\varphi_a = \varphi_b + R_2 I_2 - R_1 I_1 = \varphi_b + \frac{R_2 E}{R_2 + R_4} - \frac{R_1 E}{R_1 + R_3}$$

$$U_{ab.s.ish} = \varphi_a - \varphi_b = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \right) E = \left(\frac{4}{4+1} - \frac{1}{1+2} \right) 10 \approx 4,67 \text{ V}.$$



1.44 – rasm

ab qismalariga nisbatan EYuK manbai qisqa tutashtirilgan holdagi kirish qarshiligini aniqlaymiz (1.44-rasm, v). Bu holda sxemadagi c va d nuqtalar o'zaro qisqa tutashtirilgan. Shuni hisobga olsak:

$$R_{kir} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} = \frac{1 \cdot 2}{1+2} + \frac{4 \cdot 1}{4+1} \approx 1,47 \text{ Om}.$$

ab shoxobchadagi tok esa

$$I = \frac{U_{ab.s.ish}}{R_5 + R_{kir}} = \frac{4,67}{2 + 1,47} = \frac{4,67}{3,47} = 1,39 \text{ A}.$$

Masala: berilgan zanjirdagi (1.45-rasm, a) I_5 tok ekvivalent generator usulida aniqlansin.

$E_1 = 50 \text{ V}$; $E_2 = 80 \text{ V}$; $E_3 = 100 \text{ V}$; $R_4 = 20 \text{ Om}$; $R_1 = 10 \text{ Om}$;

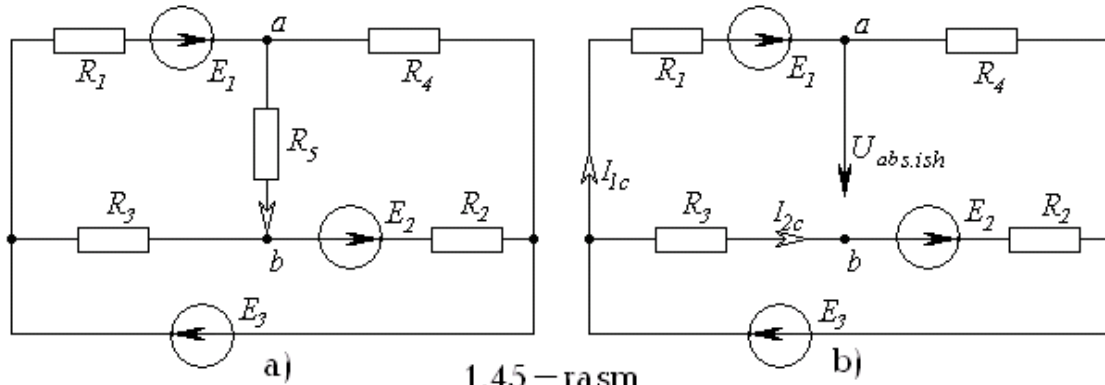
$R_2 = 20 \text{ Om}$; $R_3 = 40 \text{ Om}$; $R_5 = 20 \text{ Om}$.

Yechish: Tokni aniqlash kerak bo'lgan shoxobchani uzamiz va uzilish nuqtalari ab orasidagi $U_{ab.s.ish}$ kuchlanishni aniqlaymiz. Hosil bo'lgan sxema 1.45-rasm b da keltirilgan.

Kirxgofning ikkinchi qonunidan:

$$E_3 + E_1 = (R_4 + R_1)I_{1s.ish}, \quad E_3 + E_2 = (R_3 + R_2)I_{2s.ish}$$

1.45-rasm, b dagi zanjir shoxobchalaridagi toklarni aniqlaymiz:



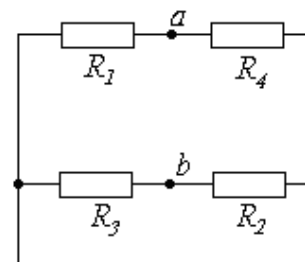
1.45 – rasm

$$I_{1s.ish.} = \frac{(E_3 + E_1)}{(R_4 + R_1)} = \frac{100 + 50}{20 + 10} = 5 \text{ A}, \quad I_{2s.ish.} = \frac{(E_3 + E_2)}{(R_3 + R_2)} = \frac{(100 + 80)}{(40 + 20)} = 3 \text{ A}.$$

2. Salt ish kuchlanishi:

$$U_{ab.s.ish.} = \varphi_a - \varphi_b = E_1 - R_1 I_{1s.ish.} + R_3 I_{2s.ish.} = 50 - 10 \cdot 5 + 40 \cdot 3 = 120 \text{ V}.$$

Uzilgan nuqtalarga nisbatan butun zanjirning kirish qarshiligini aniqlaymiz. Bunda uchala EYuK manbalarini fikran qisqa tutashtiramiz (1.46-rasm).



1.46 – rasm

$$R_{kir} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20} + \frac{20 \cdot 40}{20 + 40} = 20 \text{ Om}.$$

3. Izlanayotgan tokni hisoblaymiz:

$$I_5 = \frac{U_{ab.s.ish.}}{R_{kir} + R_5} = \frac{120}{20 + 20} = 3 \text{ A}.$$

Asosiy topologik tushunchalar va ularni elektr zanjirlarni hisoblashda qo'llash

Elektr zanjirlarini hisoblashda izlanayotgan elektr kattaliklar va ularning nisbatlarini aniqlash uchun umumiy holda Kirxgof qonunlari asosida tuzilgan tenglamalar sistemasini yechish zarurligi avvalgi paragraflarda ko'rsatilgan edi.

Agar elektr sxemasi Sh ta shaxobcha va T ta tugunga ega bo'lib, shoxobchalardagi qarshiliklar qiymatlari, kuchlanish va tok manbalari qiymatlari va yo'nalishlari berilgan bo'lsa, shoxobchalardagi toklarni hisoblash uchun dastlab Kirxgofning 1-qonuniga asoslanib $y = T - I$ ta tugunlar uchun tenglamalar tuziladi, so'ngra Kirxgofning 2-qonuni bo'yicha o'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar uchun tenglamalar soni

$$K = Sh - Sh_{T,M} - (T - 1)$$

asosida aniqlanadi va tenglamalar tuziladi.

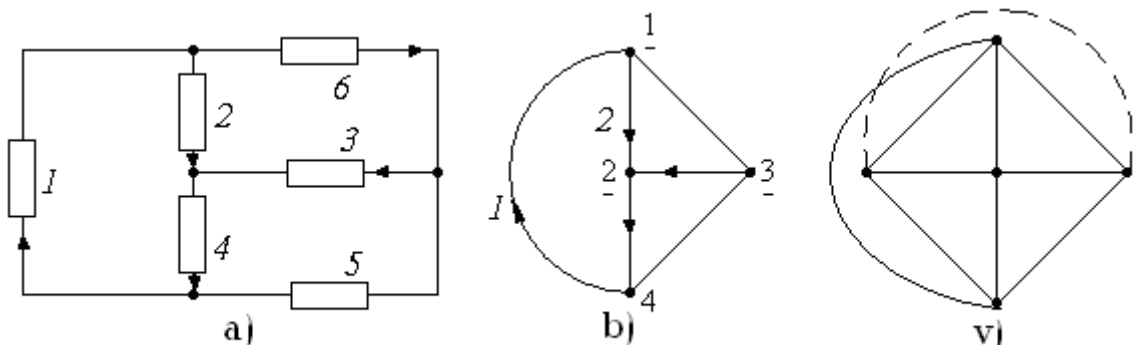
Demak, tenglamalar soni shoxobchalar soni Sh ga teng bo'ladi. O'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar soni K ni aniqlashda va tenglamalar tuzishda elektr zanjiri sxemasini *graf shaklida* ifodalash elektr zanjirlarini hisoblashda ma'lum qulayliklar yaratadi.

Elektr zanjiri shoxobchalarini o'zaro birlashtirishni chizmada ifodalovchi geometrik struktura *sxema grafi* deb ataladi. *Graf - elektr zanjiri sxemasidagi barcha axborotni o'zida mujassamlashtiruvchi geometrik tuzilmadan iborat chizmadir.* Bu chizmada elektr zanjiri shoxobchalari kesma bilan, tugunlar esa nuqta bilan, kuchlanish manbai qisqa tutashgan shoxobcha, tok manbai uzilgan shoxobcha yordamida ko'rsatiladi. Shunday qilib, graf bu ikki xil elementlar tizimidir. Bunday tizimda tugunlar-graf cho'qqisi-nuqta bilan belgilanadi. Shoxobcha-graf qirrası-kesma bilan ko'rsatiladi. Bu kesma ikkita tugunni o'zaro birlashtiradi. Elektr zanjiri grafi har xil ko'rinishda bo'lishi mumkin:

- a) planar-yassi graf,
- b) noplanar-fazoviy graf.

Planar graf chizma tekislikligida o'zaro kesishmagan shoxobchalar - kesmalar bilan tasvirlanadi (1.47 -rasm, a, b).

Noplanar grafni chizma tekislikligida o'zaro kesishmagan shoxobchalar bilan tasvirlab bo'lmaydi. Unda o'zaro kesishgan kesmalar ham bo'ladi. (1.47 -rasm, v).



1.47 – rasm

Agar grafning har qanday qismi tayanch (asosiy) graf elementlaridan tashkil topgan bo'lsa, uning bu qismi-*qismaniy graf (podgraf)* deyiladi. Qismaniy graf asosiy grafning ba'zi shoxobchalarini (kesmalarini) olib tashlash natijasida hosil bo'ladi. Qismaniy grafning muhim qismi graf yo'li deb ataladi. U uzluksiz shoxobchalar ketma-ketligidan iborat bo'lib, ikkita tanlangan tugunni bog'lovchisi sifatida oraliqdagi tugunlardan faqat bir marta o'tadi.

Agar berilgan grafda ikki tugun orasida kamida bitta - yagona graf yo'li bo'lsa, bunday graf *bog'langan graf deb* ataladi. Elektr zanjirlarida bog'langan graf elementlari o'zaro ulangan zanjirni tasvirlaydi. Kirxgof qonunlari asosida berilgan zanjirning elektr holati tenglamalarini tuzishda zanjir shoxobchalaridagi tok yo'nalishi graf kesmalarida belgilanadi. Natijada zanjir shoxobchalari yo'naltirilgan grafi hosil bo'lib, bunday graf *yo'naltirilgan graf* deyiladi.

Demak, grafdagi yo'nalishlar elektr zanjiri shoxobchalaridagi toklar yo'nalishlarini ko'rsatadi.

Barcha tugunlarni o'z ichiga olgan grafning qismi berk kontursiz bo'lsa, *uni graf daraxti deb* ataladi.

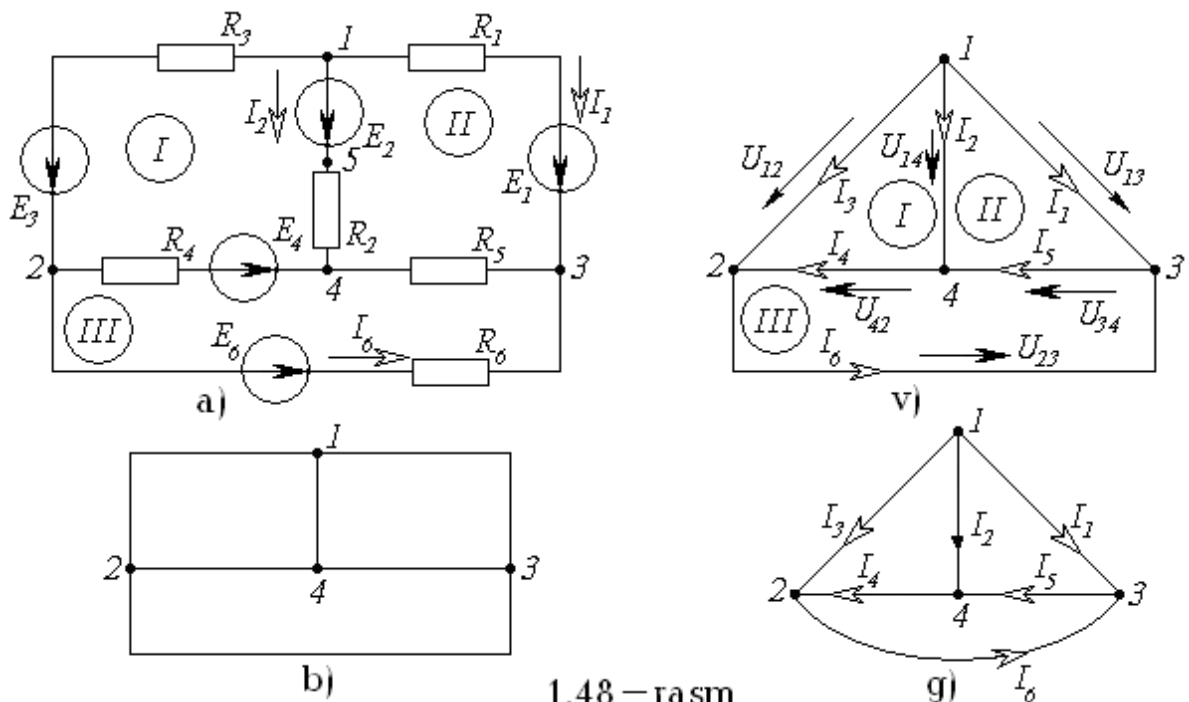
Graf daraxtining shoxobchalari-kesmalari elektr zanjiri sxemasidagi tugunlar sonidan bittaga kam bo'ladi, ya'ni $(T-1)$ ga teng.

Graf daraxtining tarkibiga kirmagan shoxobchalar vatarlar yoki *graf daraxtining asosiy shoxobchalari deyiladi*.

Graf daraxti asosiy shoxobchalarining yig'indisi *daraxt to'ldiruvchisi* deb ataladi.

Shunday qilib, elektr zanjirining grafi Sh ta shoxobchaga, graf daraxti $(T-1)$ shoxobchaga ega bo'lib, daraxtning asosiy shoxobchalari soni $[Sh-(T-1)]$ ga teng. Bu esa o'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar soniga tengdir.

Endi misol tariqasida quyidagi elektr zanjiri sxemasi (1.48-rasm, a) va uning grafini keltiramiz.



1.48 – rasm

1.48-rasm, a dagi sxema grafini har xil ko'rinishda tasvirlash mumkin (1.48-rasm, b da yo'naltirilmagan graf va 1.48-rasm, v, g, larda yo'naltirilgan graflar keltirilgan).

Yo'naltirilgan graf (1.48-rasm, v) uchun Kirxgof qonunlari bo'yicha quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0, \quad I_6 - I_3 - I_4 = 0, \quad I_5 - I_1 - I_6 = 0,$$

$$U_{14} + U_{42} - U_{12} = 0, \quad U_{13} - U_{23} - U_{12} = 0, \quad U_{23} + U_{34} + U_{42} = 0.$$

So'nggi tenglamalardagi kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{12} = -E_3 + R_3 I_3, \quad U_{23} = -E_6 + R_6 I_6,$$

$$U_{13} = -E_1 + R_1 I_1, \quad U_{34} = R_5 I_5,$$

$$U_{14} = -E_2 + R_2 I_2, \quad U_{42} = E_2 + R_4 I_4.$$

Ma'ruza №10.

Bir fazali sinusoidal tok chiziqli elektr zanjirlari

Reja:

1. Sinusoidal tok va kuchlanishlarning amplitudasi, chastotasi va fazasi.
2. Sinusoidal EYuK ni hosil qilish.
3. Sinusoidal tok, EYuK va kuchlanish ta'sir etuvchi (effektiv) va o'rtacha qiymatlari

Amaliy elektrotexnikada asosiy rolni o'zgaruvchan tok o'ynaydi. Hozirgi vaqtga kelib deyarli barcha elektr energiya o'zgaruvchan tok elektr energiyasi ko'rinishida ishlab chiqariladi. O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka nisbatan asosiy avzalligi-uni uzatishda kuchlanishni oson va kam isrof bilan o'zgartirish imkoniyatidir. Bundan tashqari, o'zgaruvchan tok generatorlari va motorlari o'zgarmas tok mashinalariga nisbatan tuzilishi sodda, ishlashda ishonchli va narxi arzon.

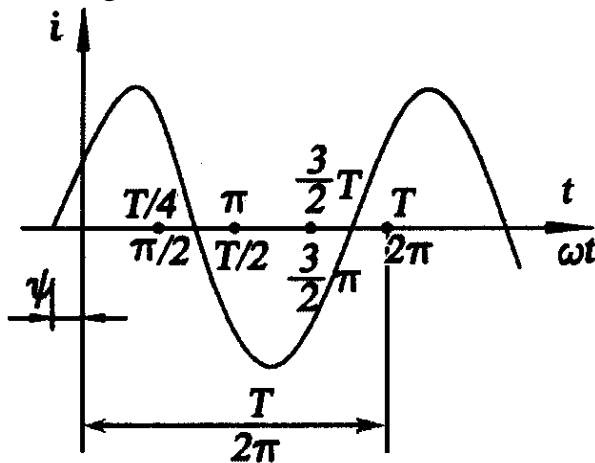
Sinusoidal tok va kuchlanishlarning amplitudasi, chastotasi va fazasi

Yo'nalishi va kattaligi davriy ravishda o'zgarib turuvchi EYuK, tok va kuchlanish o'zgaruvchan EYuK, tok va kuchlanish deyiladi. Vaqt bo'yicha sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaruvchan EYuK, tok va kuchlanish sinusoidal EYuK, tok va kuchlanish deb ataladi. Sinusoidal tok quyidagicha ifodalanadi:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

bunda i - tokning oniy qiymati, [A], I_m - tokning maksimal (amplituda) qiymati, [A], ω - burchak chastota, [rad/s], ψ_i - boshlang'ich faza – faza ($\omega t + \psi_i$) ning

$t = 0$ vaqtdagi qiymati, [grad], 2.1- rasmda sinusoidal tokning to'liqin diagrammasi keltirilgan.



2.1 - rasm

Davr T -bu muayyan vaqt oralig'i bo'lib, tokning o'zgarishi takrorlanadi, ya'ni to'liq bitta to'liqin o'zgarishi kuzatiladi. *Bir sekunddagi davrlar soni chastota f deb ataladi* : $f = 1/T$,[Gs].
 $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ -o'zgaruvchan tokning burchak chastotasi.

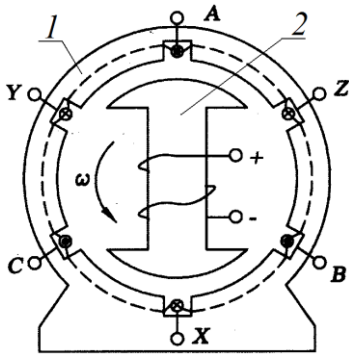
Sinusning argumenti, ya'ni $(\omega t + \psi_i)$ kattalik faza deb ataladi.

Faza tebranishning oniy t vaqtdagi holatini tasvirlaydi. Elektrotexnik

qurilmalar uchun kuchlanishning chastotasi standartlashtirilgan. Yevropada va mustaqil davlatlar hamdo'stligi hududlarida 50 Gs, AQSh va Yaponiyada esa 60 Gs qilib olingan. Sanoatda maxsus maqsadlar uchun turli xil chastotali o'zgaruvchan toklardan keng foydalaniladi. Masalan, tezyurar yuritmalarda chastotasi 200-400 Gs, elektron qurilmalarda-500 Gs - 50 MGs va h.k. Radiotexnika, televideniya $3 \cdot 10^{10}$ Gs gacha va sanoat elektronikasining ko'p qurilmalarida nisbatan kichik miqdordagi energiyani elektromagnit to'liqinlar vositasida simsiz uzatish uchun yuqori chastotali o'zgaruvchan toklar zarur. *Har qanday sinusoidal o'zgaruvchan funksiya uchta kattalik bilan aniqlanadi: amplituda qiymati, burchak chastotasi va boshlang'ich fazasi.* Past chastotali sinusoidal EYuK va toklar sinxron generatorlar yordamida hosil qilinadi. Yuqori chastotali sinusoidal EYuK va toklar esa yarim o'tkazgichli generatorlar yordamida olinadi.

Sinusoidal EYuK ni hosil qilish

O'zgaruvchan tokning eng ko'p tarqalgan manbalaridan biri mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi sinxron generatordir. Sinxron generatorda sinusoidal EYuK olish uchun doimiy magnit maydonida ramka ko'rinishdagi chulg'am o'zgarmas burchak tezligida aylantiriladi. O'zgaruvchan tok generatorlari ikki asosiy qismdan iborat (2.2-rasm). Qo'zg'almas qism - stator 1 va aylanuvchi qism-rotor 2 dir. Ularning birida (ko'pincha rotorda) doimiy elektromagnit joylashtiriladi va uning chulg'amlari o'zgarmas tok manbaidan ta'minlanadi.



2.2-rasm

Silindrsimon statorning ichki yuzasidagi pazlarda joylashgan chulg'amlarda rotorning aylanishi natijasida $e = Blv$ EYuK paydo bo'ladi, bu yerda B -o'tkazgich simga ta'sir etuvchi magnit maydonining induksiyasi, l -o'tkazgich simning uzunligi, v - aylanuvchi magnit maydonining chiziqli tezligi. Agar l va v kattaliklarni o'zgarimas deb olsak, u holda chulg'amlardagi EYuK $e(t)$ ning o'zgarish qonuni magnit induksiyasi B ning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuni bilan aniqlanadi.

EYuK egri chizig'ining shakli sinusoidaga yaqin bo'lishi uchun generatorning rotorida joylashtirilgan qutb boshmog'i chetidagi havo oralig'i uning markaziga nisbatan 1,5 ... 2 marta kattalashtiriladi. Shu sababdan, magnit induksiyaning o'zgarish qonuni stator bilan rotor oralig'ida sinusoidal bo'ladi, qutb boshmoqlarining o'rtasida magnit induksiyasi maksimal bo'lib, qutb boshmoqlarining chetiga qarab kamayib boradi. Agar juft magnit qutblari soni p va rotorning bir minutdagi aylanishlar soni n bo'lsa, u holda o'zgaruvchan EYuK ning chastotasi:

$$f = \frac{pn}{60}.$$

Elektrotexnikada o'zgaruvchan tokning keng qo'llanishi elektr energiyani markazlashgan holda ishlab chiqarish va uni uzoq masofalarga uzatish masalasi yechilganidan keyin boshlandi.

Energiyani uzatish va taqsimlash iqtisodiy tarafdin hamda xavfsizlik nuqtai nazaridan uzatish uchun yuqori kuchlanishni va taqsimlash uchun esa nisbatan past kuchlanishni talab etadi. O'zgaruvchan tok kuchlanishini o'zgartirish nihoyatda sodda statik apparat-transformator yordamida bajariladi.

Agar bir xil chastotali bir necha sinusoidal funksiyalar (masalan, EYuK va tok) sinusoidalarning boshlanishlari mos kelmasa, u holda bu sinusoidal faza jihatidan bir biriga nisbatan siljigan deyiladi. Faza siljishi tok va EYuK boshlang'ich fazalarining ayirmasi bilan o'lchanadi, ya'ni $\varphi = \psi_i - \psi_e$.

Agar bir xil chastotali sinusoidal funksiyalar boshlang'ich fazalari bir xil bo'lsa, u holda sinusoidal faza jihatidan mos tushadi. Agar fazalar ayirmasi $\pm \pi/2$ ga teng bo'lsa, u holda sinusoidal bir biriga nisbatan kvadraturada deyiladi.

Sinusoidal tok, EYuK va kuchlanish ta'sir etuvchi (effektiv) va o'rtacha qiymatlari

Sinusoidal o'zgaruvchan kattalikning juda keng ishlatiladigan qiymati bu uning ta'sir etuvchi qiymatidir. U effektiv yoki o'rtacha kvadratik qiymati deb ham ataladi. Tokning ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2(\omega t + \psi_i) dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2 \cdot T} \int_0^T [1 - \cos(2\omega t + 2\psi_i)] dt} =$$

$$= \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} (T - 0)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m.$$

Demak, sinusoidal tokning ta'sir etuvchi qiymati davr mobaynidagi o'rta kvadratik qiymatiga teng va u tok maksimal qiymatining 70,7 foizini tashkil etadi.

EYuK va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari mos ravishda

$$E = E_m / \sqrt{2}, \quad U = U_m / \sqrt{2} \quad \text{ga teng.}$$

Rezistordan bir xil vaqtda o'tgan sinusoidal va o'zgarmas toklar energiyasining issiqlik energiyasiga aylanish natijasini taqqoslab ko'ramiz. Rezistordan sinusoidal tok o'tganda bir davr ichida ajralayotgan issiqlik miqdori:

$$Q = \int_0^T ri^2 dt = rI_m^2 \frac{T}{2}.$$

Shu vaqt ichida o'zgarmas tok ta'sirida ajralib chiqqan issiqlik miqdori:

$$Q = rI^2 T.$$

Ularni o'zaro tenglab, quyidagini hosil qilamiz:

$$rI_m^2 (T/2) = rI^2 T \quad \text{yoki} \quad I = I_m / \sqrt{2}.$$

Shunday qilib, sinusoidal tokning ta'sir etuvchi qiymati miqdor jihatdan o'zgarmas tokning shunday qiymatiga tengki, unda sinusoidal va o'zgarmas toklar teng vaqt mobaynida rezistordan o'tganda undan ajralib chiqqan issiqlik miqdorlari o'zaro teng bo'ladi. Ko'pchilik (elektromagnit, ferrodinamik, elektrodinamik, issiqlik va h.k. sistemali) o'lchash asboblari sinusoidal kattalikning ta'sir etuvchi (effektiv) qiymatini o'lchaydi.

Sinusoidal kattalikning amplituda qiymatini ossillograflarda o'lchash yoki ta'sir etuvchi qiymat orqali hisoblab topish mumkin.

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rta qiymati deb, uning yarim davr ichidagi o'rtacha qiymati tushuniladi. Demak, sinusoidal tokning o'rtacha qiymati:

$$I_{o'rta} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m,$$

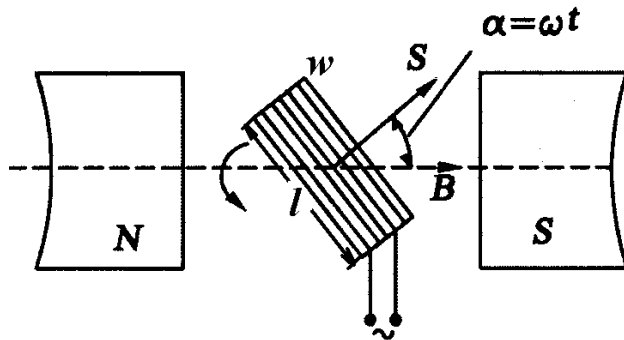
ya'ni sinusoidal tokning o'rtacha qiymati amplituda qiymatning $2/\pi = 0,63$ qismini tashkil qiladi. Sinusoidal EYuK va kuchlanishlar uchun ham xuddi shunday tengliklar o'rinli:

$$E_{o'rta} = \frac{2}{\pi} E_m, \quad U_{o'rta} = \frac{2}{\pi} U_m.$$

Sinusoidal tokning o'rtacha qiymatini magnitoelektrik asbobga ketma-ket yarim o'tkazgichli diod ulab o'lchash mumkin.

1-masala: magnit induksiyasi $B = 0,8 \text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda uzunligi $l = 0,25 \text{ m}$ eni $d=0,2 \text{ m}$ mis simdan yasalgan ramka $\omega=314 \text{ 1/s}$ burchak tezlik bilan aylanmoqda (2.3- rasm).

Ramkadagi mis sim o'ramlar soni $w=25$. Ramkada induksiyalangan EYuK ni ramkaning burchak tezligiga bog'liqligini aniqlang.



Yechish. Ko'rilayotgan ramka bir xil sharoitda turgan 25 ta kvadratsimon konturlardan iborat. Binobarin, bitta konturda induksiyalanayotgan EYuKni aniqlab, keyin uni w ga

2.3-rasm

ko'paytirish kifoya.

Ramka konturida induksiyalanadigan EYuK ni $e_k = -d\Phi/dt$ formula asosida aniqlaymiz. Buning uchun vaqt bo'yicha magnit oqim o'zgarishini bilish lozim. Ramkaning boshlang'ich holatida (2.3-rasm) konturni maksimal magnit oqim Φ kesib o'tadi, ixtiyoriy boshqa holatda esa $\Phi = \Phi_m \cos \alpha = \Phi_m \cos \omega t$.

Binobarin, bir o'ramdagi EYuK:

$$e_k = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt} = - \Phi_m \omega (-\sin \omega t) = \Phi_m \omega \sin \omega t.$$

Ramkadagi w o'ramlar uchun esa

$$e = w e_k = - w \frac{d\Phi}{dt} = w \Phi_m \omega \sin \alpha.$$

Bu tenglamaga qiymatlarni qo'yib, $e = f(\omega)$ ni topamiz

$$e = w \omega B_m l d \sin \omega t = 314 \cdot 25 \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,2 = 310,8 \sin \omega t \text{ V}.$$

Sinusoidal tok zanjirlarining tahlilida amplituda va shakl koeffitsiyentlaridan keng foydalaniladi.

Amplituda koeffitsiyenti davriy o'zgaruvchi funksiyaning amplitudasini uning ta'sir etuvchi qiymatiga nisbati bilan aniqlanadi. Sinusoidal tok uchun:

$$k_\alpha = \frac{I_m}{I} = \sqrt{2}.$$

Shakl koeffitsiyenti davriy o'zgaruvchan funksiyaning ta'sir etuvchi qiymatini uning o'rtacha qiymatiga nisbati bilan aniqlanadi. Sinusoidal tok uchun:

$$k_{III} = \frac{I}{I_{o'rtava}} = \frac{I_m \sqrt{2}}{(2/\pi) I_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11.$$

Shunday qilib, agar so'z davriy o'zgaruvchan kuchlanish va toklar to'g'risida ketsa, u holda odatda ularning ta'sir etuvchi qiymatlari tushuniladi.

Elektrotexnika qurilmalarida juda kichik va katta tok va kuchlanishlar uchraydi. Radiopriyomnik kirishidagi kuchlanish bir necha mikrovolt atrofida bo'ladi. Elektr uzatish liniya simlari orasidagi kuchlanish 500, 750 va 1150 kV

larga yetadi. Tranzistorlardagi toklar 1 mA dan ancha kichik, metallurgiyadagi elektr pechlarda esa tok bir necha yuz kA larga yetadi.

2-masala: $i = 310\sin(314t + \psi_i)$ A tokning $t = 0$ dagi oniy qiymati $i(0) = 269$ A ga teng, ψ_i ning qiymatini toping. Agar shu tok elektromagnit ampermetr bilan o'lchansa, u holda asbob nechani ko'rsatadi?

Yechish. $t = 0$ da tokning ifodasi $i(0) = 310\sin\psi_i = 269,0$ A. Bundan,

$$\psi_i = \arcsin \frac{269}{310} = 60^\circ.$$

Elektromagnit sistemali ampermetr tokning ta'sir etuvchi qiymatini ko'rsatadi, ya'ni: $I = I_m / \sqrt{2} = 310 / \sqrt{2} = 220$ A.

3-masala: ikki juft qutbga ega generator $n = 1500$ ayl/min tezlik bilan aylanmoqda. O'zgaruvchan tok chastotasini aniqlang.

Yechish. $f = \frac{pn}{60} = \frac{2 \cdot 1500}{60} = 50$ Gs.

4-masala: Chorvoq GES turbogeneratorlari 250 ayl/min tezlik bilan aylanadi. Chastota $f=50$ Gs bo'lganda generatorlarning juft qutblar sonini aniqlang.

Yechish. $p = 60f/n = 60 \cdot 50/250 = 12$.

Ma'ruza №11.

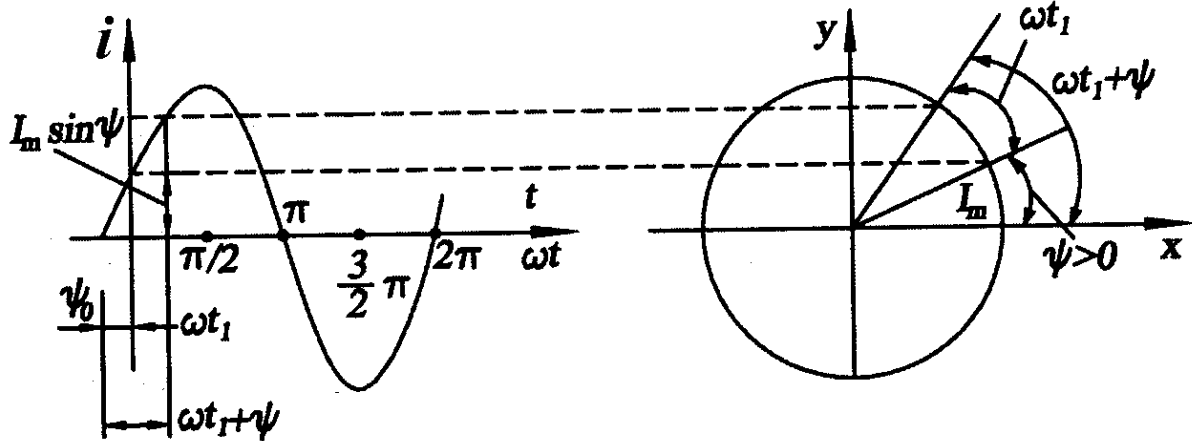
Sinusoidal kattaliklarni vektorlar bilan tasvirlash

Reja:

1. Sinusoidal kattaliklarni vektorlar bilan tasvirlash.
2. Sinusoidal tok zanjirlarida rezistor, induktiv g'altak va kondensator.
3. Rezistiv elementli sinusoidal tok zanjiri

Sinusoidal kattaliklarni vektorlar bilan tasvirlash

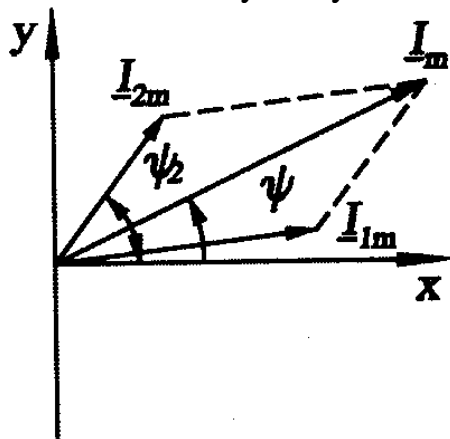
Matematika kursidan ma'lumki, ωt argumentli sinusoidal funksiya soat mili harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda ωt radianga buriluvchi birlik radiusni ordinata o'qidagi proyeksiyasi bilan aniqlanadi. Sinusoidal tok i ga soat mili harakatiga teskari yo'nalishda $\omega = const$ burchak tezlik bilan uzluksiz aylanuvchi I_m radiusli vektor mos keladi. Sinusoidani dekart koordinatalar sistemasida aylanuvchi vektor bilan tasvirlash mumkin (2.4-rasm). $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$ tokni aylanuvchi vektor ko'rinishda tasvirlash uchun uzunligi I_m ga teng bo'lgan vektor absissa o'qiga nisbatan ψ burchak (ψ burchak musbat qiymatga ega bo'lsa, absissa o'qidan soat mili harakatiga teskari yo'nalishda olinadi, manfiy qiymatga ega



2.4-rasm

bo'lsa-aksincha) ostida qo'yiladi va u koordinata boshiga nisbatan soat mili harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda ω burchak tezlik bilan aylanib turadi. I_m vektorning istalgan $t=t_1$ vaqtdagi ordinata o'qiga proyeksiyasi sinusoidal tokning shu vaqtdagi oniy qiymatiga teng bo'ladi, ya'ni $i(t_1) = I_m \sin(\omega t_1 + \psi)$.

Sinusoidal funktsiyani aylanuvchi vektor ko'rinishida tasvirlash uchun



2.5-rasm

uni xy tekisligida $t = 0$ vaqt uchun tasvirlash kifoya (2.4- rasm).

Sinusoidal kattaliklarni qo'shish yoki ayirishda ularning vektor tasvirlaridan foydalanilsa, amallarni bajarish ancha osonlashadi.

Masalan, $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ va

$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$ toklarni qo'shib

ko'ramiz. 2.5-rasmda i_1 va i_2 toklar I_1 va I_2 vektorlar ko'rinishida tasvirlangan. Natijaviy

tok $i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t + \psi)$. Amalda

ko'pincha oniy tokni emas, balki uning ta'sir etuvchi qiymatini bilish zarur bo'ladi. Shuning uchun ham amplituda vektorlari emas, balki ta'sir etuvchi tok vektorlari qo'shiladi.

Sinusoidal tok zanjirlarida rezistor, induktiv g'altak va kondensator

O'zgarmas tok zanjirlaridan farqli o'laroq, sinusoidal tok zanjirlarida rezistordan tashqari induktiv g'altak va kondensator kabi elementlardan keng foydalaniladi. Sinusoidal tok zanjirlarida energiyani issiqlik energiyasiga aylantiruvchi elementlar *aktiv qarshiliklar* deb ataladi. Elektr zanjirlarining energiya davriy ravishda elektr yoki magnit maydoni energiyasi ko'rinishida

to'planib turuvchi elementlari reaktiv elementlar, ularni o'zgaruvchan tokka ko'rsatadigan qarshiliklari esa *reaktiv qarshiliklar* deb ataladi. Induktiv g'altak va kondensator zanjirning reaktiv elementlari hisoblanadi. Ushbu elementlardan tashkil topgan sinusoidal tok zanjirlarini hisoblashdan oldin bu elementlarda tok va kuchlanishlar o'rtasidagi munosabatlarni o'rganib chiqamiz.

Rezistiv elementli sinusoidal tok zanjiri

Rezistiv elementdan tarkib topgan oddiy elektr zanjir sxemasi 2.6-rasmda keltirilgan. Sxemada r -rezistor. Sinusoidal kuchlanish $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ ta'sirida rezistor r dan o'tuvchi tok i Om qonuniga binoan:

$$i = \frac{u}{r} = (U_m / r) \sin(\omega t + \psi_i) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i), \text{ ifoda bilan aniqlanadi, bu yerda } I_m = U_m / r; \psi_u = \psi_i.$$

2.6-rasm, b da kuchlanish va tok oniy qiymatlarining to'lqin diagrammasi keltirilgan. Demak, rezistiv elementli elektr zanjirdagi tok shakli sinusoidal bo'lib, uning chastotasi va boshlang'ich fazasi manba kuchlanishi chastotasi va boshlang'ich fazasi bilan bir xil bo'ladi. Kuchlanish va tokning o'zaro faza siljish burchagi $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$ ga teng (2.6 - rasm, v).

Rezistiv elementli zanjir uchun Ohm qonuni kuchlanish va tokning ta'sir etuvchi qiymatlari orqali quyidagicha yoziladi:

$$I = U / r.$$

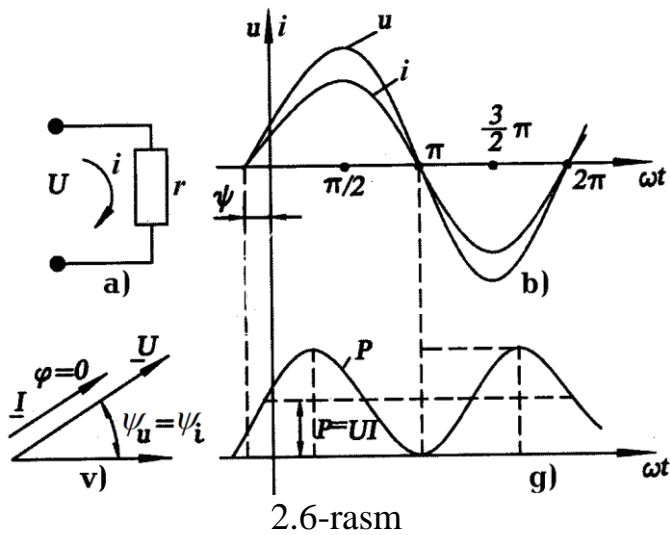
Ushbu zanjir uchun oniy quvvat quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$p = ui = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u) = U_m I_m \left[\frac{1 - \cos 2(\omega t + \psi_u)}{2} \right] = UI - UI \cos 2(\omega t + \psi_u).$$

Quvvatning T davrdagi o'rta qiymati:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} UI \int_0^T dt - \frac{1}{T} UI \int_0^T \cos 2(\omega t + \psi_u) dt = UI = rI^2 = U^2 / r.$$

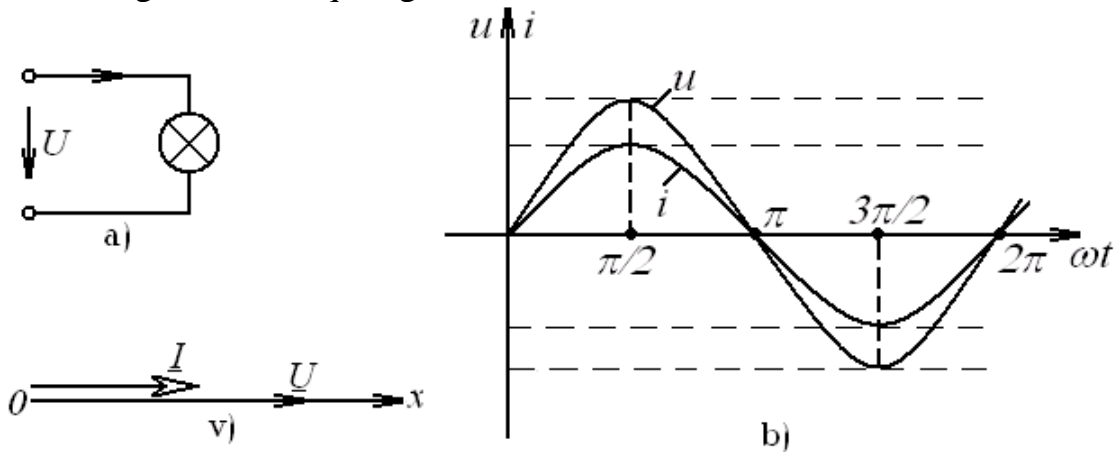
Oniy quvvatning o'zgarish grafigi 2.6-rasm, g da keltirilgan.



2.6-rasm

Rezistorda oniy quvvat noldan $2P = 2UI$ qiymat oralig'ida o'zgarishi rasmdan ko'rinib turibdi. Demak, rezistiv elementli zanjirda manba quvvati rezistorda issiqlikka aylanib, to'la isrof bo'ladi. Ma'lumki, o'tkazgichning qarshiligi o'zgaruvchan tokda o'zgarmas tokka nisbatan kattaroq bo'ladi. Bunga sirt effekti, uyurmaviy toklar va o'tkazgich atrofiga sochilgan elektromagnit maydon energiyasi sabab bo'ladi.

Masala: quvvati $P = 100 \text{ Vt}$ li cho'g'lanma lampa kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$ va chastotasi $f = 50 \text{ Gs}$ bo'lgan manbaga ulangan (2.7-rasm, a). Zanjirdan o'tuvchi tokni toping. Kuchlanish va tok oniy qiymatlari ifodasini yozing, ularni grafiklarini va vektor diagrammasini quring.



2.7 - rasm

Yechish. Cho'g'lanma lampa aktiv qarshilik bo'lganligi uchun $P = UI$ ifodadan $I = P/U = 100/220 = 0,45 \text{ A}$.

Kuchlanish va tok oniy qiymatlari quyidagicha yoziladi:

$$u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \psi_u) = U_m \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 220 \sin \omega t = 310,2 \sin \omega t,$$

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \psi_i) = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 0,45 \sin \omega t = 0,63 \sin \omega t,$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - 0 = 0,$$

bunda $U_m = \sqrt{2} \cdot 220 = 310,2 \text{ V}$, $I_m = \sqrt{2} \cdot 0,45 = 0,63 \text{ A}$.

Burchak chastotasi $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{1}{s}$,

Davri $T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ s}$.

Sinusoidal kuchlanish va tokning grafiklarini qurish uchun mashtab tanlaymiz:

$$m_u = 100 \text{ V/sm} \quad m_i = 0,3 \text{ A/sm} \quad m_{\omega t} = 60 \text{ grad/sm.}$$

$u(\omega t)$, $i(\omega t)$ funksiyalar grafiklarini hamda U va I vektor diagrammasini quramiz (2.7-rasm, b, v).

Ma'ruza №12.

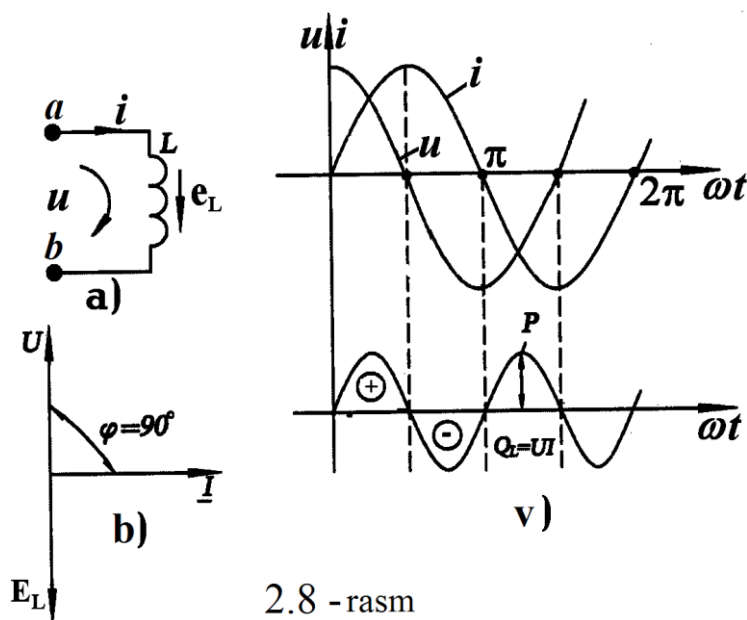
Induktiv elementli elektr zanjirda sinusoidal tok. Induktiv qarshilik.

Reja:

1. Induktiv elementli elektr zanjirda sinusoidal tok. Induktiv qarshilik.
2. Rezistor va induktiv g'altakdan iborat zanjir
3. Sig'im elementli elektr zanjirdagi sinusoidal tok. Sig'im qarshiligi.
4. Rezistor va kondensatordan iborat zanjir

Induktiv elementli elektr zanjirda sinusoidal tok. Induktiv qarshilik

Amalda har qanday induktiv g'altak aktiv qarshilik r va induktivlik L ga ega. Induktiv g'altak sxemada ko'pincha ketma-ket ulangan rezistor (aktiv qarshilik) va



2.8 - rasm

induktiv elementlari bilan tavsiflanadi. Sxemada faqat induktiv element L ni ajratib olamiz va $r=0$ deb hisoblab, ideal induktiv g'altakdagi jarayonni tahlil qilamiz.

Agar induktiv elementdan $i = I_m \sin \omega t$ tok o'tsa, unda o'zinduksiya hodisasiga asosan EYuK hosil bo'ladi (2.8 - rasm):

$$e_L = -L(di/dt) = -\omega LI_m \cos \omega t = -\omega LI_m \sin(\omega t + 90^\circ) = -E_m \sin(\omega t + 90^\circ).$$

2.8-rasm, a da EYuK e_L ning musbat yo'nalishi strelka bilan ko'rsatilgan; uning yo'nalishi i tokning musbat yo'nalishi bilan bir xildir. a va b nuqtalar potentsiallari farqini aniq-laymiz. b nuqtadan a nuqta tomon siljigani-mizda o'zinduksiya EYuK

e_L ning yo'nalishiga qarama-qarshi harakat qilamiz, shuning uchun $\varphi_a = \varphi_b - e_L$, bundan $u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -e_L = L(di/dt)$.

Kuchlanish U_{ab} ning yo'nalishi tokning musbat yo'nalishi bilan bir xil. Induktivlikdagi kuchlanish:

$$u_{ab} = u_L = -e_L = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ).$$

Bu ifodadan $U_m = \omega L I_m$.

ωL ko'paytma x_L deb belgilanadi va induktiv qarshilik deb ataladi, ya'ni: $x_L = \omega L$,

uning o'lchami $[x_L] = [\omega] \cdot [L] = [(1/c) \cdot OM \cdot c] = [OM]$.

Shunday qilib, induktivlik o'zgaruvchan tokka $x_L = \omega L$ ga teng bo'lgan qarshilikni ko'rsatadi. U chastotaga to'g'ri proporsional, ya'ni chastota ω oshsa, x_L ko'payadi va aksincha.

Induktiv g'altakda kuchlanish vektori tok vektoriga nisbatan faza jihatidan 90° oldinda yuradi (2.8-rasm, b). O'zinduksiya EYuKning vektori kuchlanishga nisbatan teskari yo'nalgan.

2.8-rasm, v da i , u , p lar oniy qiymatlarining grafigi keltirilgan. Oniy quvvat:

$$p = ui = U_m \cos \omega t \cdot I_m \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t.$$

Uning grafigi noldan o'tadi, chunki kuchlanish yoki tok noldan o'tganda $p=0$. Davrning birinchi choragida, u va i lar musbat bo'lganda p ham musbatdir.

Absissa o'qi va oniy quvvat p egri chizig'i bilan chegaralangan yuza vaqt birligidagi energiya - quvvatdir. Bunda manbadan qabul qilingan energiya magnit maydonini hosil qiladi, ya'ni magnit maydoni energiyasiga aylanadi. Davrning ikkinchi choragida esa, tok zanjirda maksimumdan nolgacha kamayadi, bu holda magnit maydonining energiyasi manbaga qaytariladi, oniy quvvat esa, manfiy. Davrning uchinchi choragida manbadan yana energiya qabul qilinadi va magnit maydoni hosil bo'ladi, keyingi chorakda esa, manbaga qaytariladi va hokazo, ya'ni energiya davriy ravishda induktiv elementda magnit maydonini hosil qiladi yoki induktiv element energiyani orqaga - manbaga qaytaradi. *Iste'molchi bilan manba o'rtasida bir turdan ikkinchi turga o'tib sarf bo'lmaydigan va manbaga qaytariladigan energiya reaktiv energiya deb ataladi.* Uning quvvatini esa, ko'rib chiqilayotgan zanjir uchun induktiv xarakterdagi reaktiv quvvat deyiladi:

$$Q_L = UI = I^2 x_L [\text{var}].$$

Reaktiv quvvat aktiv quvvatdan farqli ravishda Var - volt amper reaktivlarda o'lchanadi.

Rezistor va induktiv g'altakdan iborat zanjir

O'zgaruvchan tok ta'siridagi real induktiv g'altak aktiv va induktiv qarshilikdan iborat. Induktiv g'altakning ekvivalent sxemasi 2.9-rasm, a da keltirilgan.

altakdan $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ tok o'tmoqda deb, faraz qilaylik. Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan oniy qiymatlar uchun:

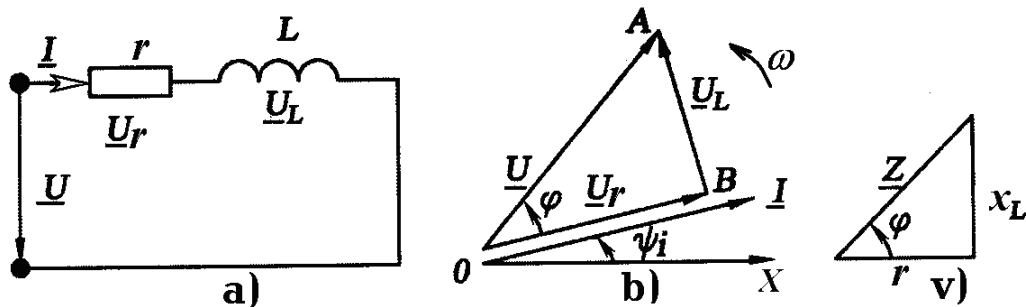
$$u = u_r + u_L = ir + L di / dt, \quad (2.1)$$

bunda, u_r -induktiv g'altakning aktiv qarshiligidagi kuchlanish:

$$u_r = ir = I_m r \sin \omega t,$$

u_L -induktiv qarshilikdagi kuchlanish:

$$\begin{aligned} u_L &= L \frac{di}{dt} = L \frac{d[I_m \sin(\omega t + \psi_i)]}{dt} = \omega L I_m \cos(\omega t + \psi_i) = \\ &= U_{Lm} \sin(\omega t + \psi_i + 90^\circ). \end{aligned}$$



2.9 - rasm

Kuchlanishlarning ta'sir etuvchi qiymatlari uchun (2.1) ni quyidagicha yozish mumkin: $\underline{U} = \underline{U}_r + \underline{U}_L$.

Tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini (2.9-rasm, b) quyidagi ketma-ketlikda quramiz. (x, y) koordinata tekisligida I tok vektorini tasvirlaymiz. Undan keyin aktiv qarshilikdagi kuchlanish \underline{U}_r vektorini quramiz. Bu vektor tok bilan bir xil fazada bo'ladi. \underline{U}_L kuchlanish vektorini tok vektoridan 90° ga ilgarilaydi. Shu vektorlarning yig'indisi manba kuchlanishi vektorini beradi va bu vektor tok vektoriga nisbatan φ burchakka ilgarilaydi. Diagrammaga ko'ra:

$$U^2 = U_r^2 + U_L^2 = I^2 r^2 + I^2 x_L^2, \text{ bundan, } I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_L^2}} = \frac{U}{z},$$

bunda $z = \sqrt{r^2 + x_L^2}$ - zanjirning to'la qarshiligi.

2.9-rasm, b da keltirilgan vektor diagrammadagi OAB uchburchak kuchlanishlar uchburchagi deb ataladi.

Tok fazasi bilan bir xil bo'lgan kuchlanishning tashkil etuvchisi uning *aktiv tashkil etuvchisi* deyiladi:

$$U_a = U_r = U \cos \varphi = Ir.$$

Tok vektoriga perpendikulyar bo'lgan kuchlanishning tashkil etuvchisi kuchlanishning *reaktiv tashkil etuvchisi* deyiladi:

$$U_r = U_L = U \sin \varphi = I x_L.$$

Agar kuchlanishlar uchburchagi tomonlarini tokning ta'sir etuvchi qiymatiga bo'linsa, u holda qarshiliklar uchburchagi hosil bo'ladi (2.9-rasm, v). Qarshiliklar uchburchagidagi fazalar siljishi va zanjir parametrlari orasidagi munosabatlarni hosil qilamiz:

$$r = z \cos \varphi, \quad x_L = z \sin \varphi, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{x_L}{r}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{x_L}{r}.$$

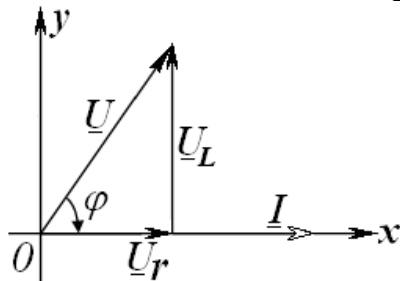
Masala: kuchlanishi 220 V bo'lgan sanoat tarmog'iga aktiv qarshiligi 6 Om va induktivligi 50 mGn bo'lgan induktiv g'altak ulangan (2.9-rasm, a). G'altakdan o'tuvchi tokning oniy qiymati ifodasini yozing. Induktiv g'altak uchun qarshiliklar uchburchagini, tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini quring.

Yechish. G'altakning induktiv qarshiligi ($f=50$ Gs):

$$x_L = \omega L = 314 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 15,7 \text{ Om}.$$

G'altakning to'la qarshiligi:

$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{6^2 + 15,1^2} = 16,1 \text{ Om}$. Qarshiliklar uchburchagining katetlari ma'lum masshtabda r va x_L , gipotenuzasi esa z ga teng (2.9-rasm, v).



2.10-rasm

Zanjirdagi tok:

$$I = U/Z = 220/16,1 = 13,1 \text{ A}.$$

G'altakning aktiv qarshiligidagi kuchlanish:

$$U_r = I r = 13,1 \cdot 6 = 78,6 \text{ V},$$

induktiv qarshiligidagi kuchlanish esa

$$U_L = I x_L = 13,1 \cdot 15,7 = 205 \text{ V}.$$

Vektor diagrammani qurish uchun absissa o'qining

musbat yo'nalishi

bo'yicha ma'lum masshtabda ($m_u = 55 \text{ V/cm}$; $m_i = 3 \text{ A/cm}$;) uzunligi 4,33 sm ga teng tok vektorini quramiz (2.10-rasm). Shu vektorning boshlanish nuqtasidan unga parallel ravishda belgilangan masshtabda U_r kuchlanish vektorini quramiz. U_L kuchlanish vektori U_r vektorining oxiridan tok vektoriga nisbatan 90° ilgarilagan ravishda quriladi. U_r vektorining boshi bilan U_L vektorining oxirini birlashtirib U kuchlanish vektorini hosil qilamiz. I tok va U kuchlanish vektorlari orasidagi burchakni o'lchab $\varphi = -69^\circ$ ni topamiz.

$$\text{Shunday qilib, } i = 13,1 \sqrt{2} \sin(314 - 69^\circ) \text{ A}.$$

Sig'im elementli elektr zanjirdagi sinusoidal tok. Sig'im qarshiligi

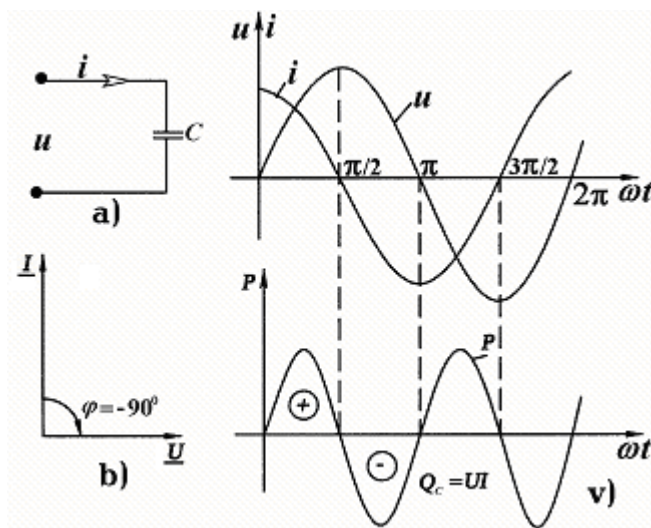
Agar kondensatorga berilgan kuchlanish vaqt bo'yicha o'zgarmasa, unda kondensator qoplamalaridan birida yig'ilgan zaryad $q = CU$, ikkinchisidagi esa $q = -CU$ bo'ladi, bu yerda C - kondensatorning sig'imi. Zaryadlar miqdori o'zgarmas bo'lib, kondensatordan tok o'tmaydi, chunki $i = dq/dt = 0$.

Agar kondensatorga berilgan kuchlanish vaqt bo'yicha sinusoidal o'zgarsa, ya'ni $u = U_m \sin \omega t$ bo'lsa, u holda undagi zaryad q ham sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi: $q = Cu = CU_m \sin \omega t$ va kondensator davriy ravishda zaryadlanadi va zaryadsizlanadi. Kondensatorning davriy zaryadlanishi esa zanjirdan mos ravishda davriy tok o'tishiga sabab bo'ladi:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(CU_m \sin \omega t) = \omega C U_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Kondensatorda tokning musbat yo'nalishi kuchlanishning musbat yo'nalishi bilan bir xil (2.11-rasm, a).

Kondensatordan o'tayotgan tok faza jihatdan kuchlanishga nisbatan 90° oldinda bo'ladi (2.11-rasm, b). Tokning amplituda qiymati kuchlanish amplitudasining sig'im qarshiligiga nisbati bilan aniqlanadi:



2.11-rasm

$$I_m = \frac{U_m}{x_C} = \frac{U_m}{1/\omega C} = \omega C U_m,$$

bu yerda,

$$x_C = \frac{1}{\omega C} \left[\frac{1}{(1/C) \text{kl/V}} \right] = \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right] = [\text{Om}]$$

- sig'im qarshiligi.

Sig'im qarshiligi chastotaga teskari proporsionaldir, ya'ni chastota oshsa, sig'im qarshiligi kamayadi va aksincha. i , u , p lar oniy qiymatlarining grafigi 2.11-rasm, v da keltirilgan.

Zanjirdagi oniy quvvat

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin \omega t I_m \cos \omega t = \\ &= \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t. \end{aligned}$$

Davrning birinchi choragida kondensator manbadan energiyani qabul qilib o'zida elektr maydoni hosil qiladi. Davrning ikkinchi choragida kuchlanish kondensatorda maksimumdan nolgacha kamayadi va yig'ilgan elektr maydoni energiyasi orqaga-manbaga qaytariladi. Oniy quvvat bu vaqtda manfiy. Davrning uchinchi choragida energiya yana elektr maydon energiyasi ko'rinishida kondensatorda yig'iladi va keyingi choragida esa, orqaga-manbaga qaytadi va hokazo.

Agar $i = C \frac{du_C}{dt}$ tenglamani integrallasak, u holda quyidagini hosil qilamiz:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt.$$

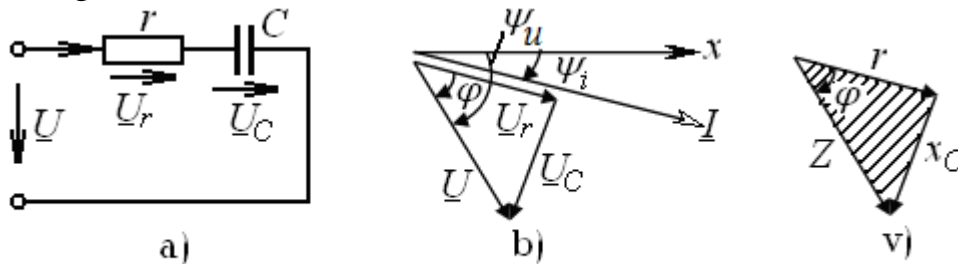
Bu tenglama yordamida kondensator kuchlanishini undan o'tayotgan tok orqali aniqlash mumkin.

Rezistor va kondensatordan iborat zanjir

R va C elementlari ketma-ket ulangan zanjirda (2.12-rasm, a) kirish kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra $\underline{U} = \underline{U}_r + \underline{U}_C$ ga teng.

Zanjirdan o'tadigan tok $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ va $\psi_i < 0$ deb vektor diagrammani quramiz. Tok vektorini absissa o'qiga nisbatan ψ_i burchak ostida manfiy, ya'ni soat strelkasi harakati yo'nalishida quramiz (2.12-rasm, b).

Rezistordagi \underline{U}_r kuchlanish vektori \underline{I} tok



2.12 - rasm

vektori bilan faza bo'yicha mos tushadi, kondensatordagi kuchlanish vektori \underline{U}_C , \underline{U}_r vektoridan 90° ga orqada qoladi. Ikkita vektorning yig'indisi manba kuchlanishi \underline{U} vektorini hosil qiladi. Bu vektor diagrammadan:

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_C^2}} = \frac{U}{z}, \quad \text{bu yerda } z = \sqrt{r^2 + x_C^2} \text{ -zanjirning to'la qarshiligi.}$$

Qarshiliklar uchburchagi 2.12-rasm, v da keltirilgan.

Zanjir elementlaridagi kuchlanishlarning oniy qiymatlari:

$$u_r = I_m r \sin(\omega t + \psi_i) = U_{mr} \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$u_C = I_m x_C \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ) = U_{mC} \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ),$$

$$u = I_m z \sin(\omega t + \psi_i + \varphi) = U_m \sin(\omega t + \psi_i + \varphi).$$

Ma'ruza №13.**Rezistor, induktiv g'altak va kondensator ulangan sinusoidal tok zanjiri**

Reja:

1. Rezistor, induktiv g'altak va kondensator ketma-ket ulangan sinusoidal tok zanjiri.
2. Rezistor, induktiv g'altak va kondensator parallel ulangan sinusoidal tok zanjiri.
3. Sinusoidal tok zanjirida quvvat

Rezistor, induktiv g'altak va kondensator ketma-ket ulangan sinusoidal tok zanjiri

r , L va C elementlari ketma-ket ulangan zanjir (2.13-rasm, a) dan $i = I_m \sin \omega t$ sinusoidal tok o'tganda uning elementlarida pasaygan sinusoidal kuchlanishlarning algebraik yig'indisiga teng bo'lgan kuchlanish hosil bo'ladi. Kirxgofning 2-qonuniga ko'ra:

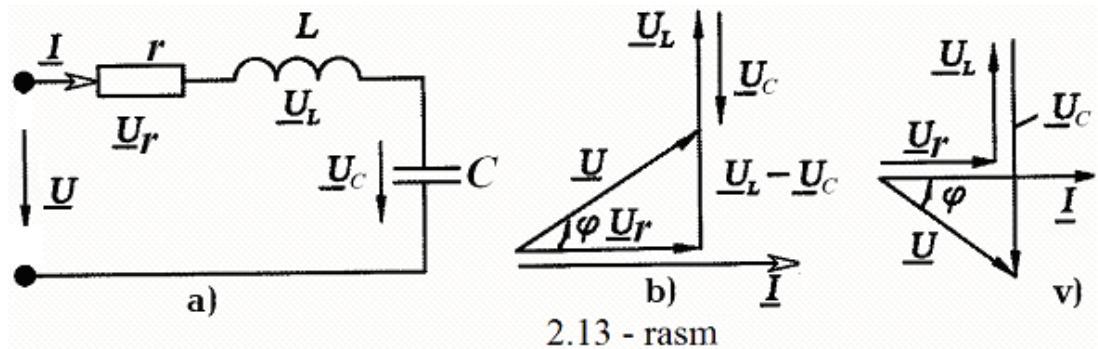
$$u = u_r + u_L + u_C \text{ yoki } \underline{U} = \underline{U}_r + \underline{U}_L + \underline{U}_C.$$

r qarshilikdagi kuchlanish faza jihatdan tok bilan mos, L induktivlikdagi kuchlanish tokdan 90° oldinda, C sig'imdagi kuchlanish esa tokdan 90° orqada bo'ladi (2.13-rasm, b). Om qonunidan foydalanib quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} u &= ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = rI_m \sin \omega t + \omega LI_m \cos \omega t - \frac{I_m}{\omega C} \cos \omega t = \\ &= rI_m \sin \omega t + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) I_m \cos \omega t = rI_m \sin \omega t + xI_m \cos \omega t. \end{aligned}$$

Bu tenglama kuchlanishlar oniy qiymatlari uchun Kirxgofning 2-qonunining *trigonometrik shakli deb* ataladi. Undagi $x = x_L - x_C = \omega L - 1/\omega C$ kattalik

zanjirning *reaktiv qarshiligi* deb ataladi. $x_L > x_C$ bo'lganda, $x > 0$ va $\varphi > 0$ bo'lib (2.13-rasm, b), zanjir induktiv xarakterga, $x_L < x_C$ bo'lganda esa, $x < 0$ va $\varphi < 0$ bo'lib (2.13-rasm, v), zanjir *sig'im xarakterga*, $x_L = x_C$ bo'lganda



$x = 0$ va $\varphi = 0$ bo'lib, zanjir *aktiv xarakterga* ega bo'ladi.

Yuqoridagi tenglamadan U_m va φ larni topish uchun quyidagi trigonometrik munosabatdan foydalanamiz:

$$m \sin \alpha \pm n \cos \alpha = \sqrt{m^2 + n^2} \sin(\alpha \pm \varphi), \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{n}{m}.$$

Bu munosabatlarni va qarshiliklar uchburchagini hisobga olib:

$$U_m = \sqrt{r^2 + x^2} I_m, \quad \operatorname{tg} \varphi = x/r = (x_L - x_C)/r.$$

Tok va kuchlanishlarning ta'sir etuvchi qiymatlari uchun:

$$U = \sqrt{r^2 + x^2} I = zI, \quad \text{bundan} \quad I = U / \sqrt{r^2 + x^2} \text{ bu yerda}$$

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} - \text{zanjirning to'la qarshiligi.}$$

Ko'rilayotgan zanjir uchun tok va kuchlanishlar vektor diagrammasini quramiz (2.13-rasm, b). Uni tok vektori \underline{I} ni qurishdan boshlaymiz. r elementdagi kuchlanish vektori \underline{U}_r tok \underline{I} bilan faza jihatdan mos, L elementdagi kuchlanish vektori \underline{U}_L tok \underline{I} dan 90° ga oldinda, C elementdagi kuchlanish vektori \underline{U}_C tok \underline{I} vektoridan 90° ga orqada bo'ladi. \underline{U} kuchlanish vektori Kirxgofning 2-qonuniga ko'ra \underline{U}_r , \underline{U}_L va \underline{U}_C vektorlarning yig'indisi ko'rinishi quriladi. Tok bilan zanjir qismalaridagi kuchlanish vektorlari orasidagi faza siljish burchagi $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x}{r}$ ga teng bo'ladi.

Rezistor, induktiv g'altak va kondensator parallel ulangan sinusoidal tok zanjiri

r , L va C elementlari parallel ulangan zanjir (2.14-rasm, a) $u = U_m \sin \omega t$ sinusoidal kuchlanish manbaiga ulansa, undan o'tadigan sinusoidal tok

Kirxgofning 1-qonuniga ko'ra zanjir har bir elementidan o'tayotgan toklarning algebraik yig'indisiga teng:

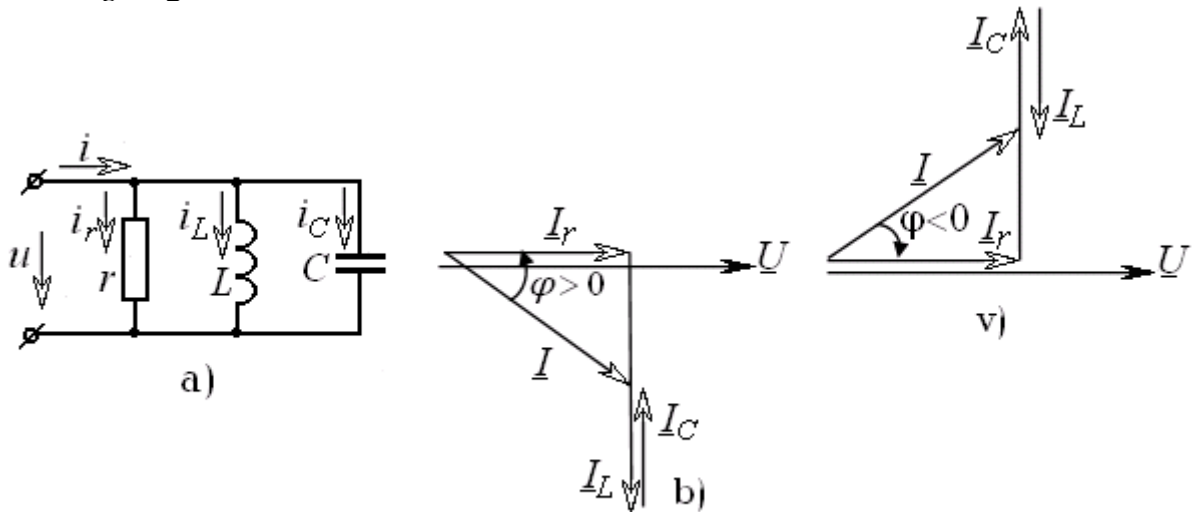
$$i = i_r + i_L + i_C.$$

r qarshilikdagi tok i_r kuchlanish bilan faza jihatdan mos, induktivlikdagi tok i_L 90° ga orqada, sig'imdagi tok i_C 90° ga oldinda bo'ladi. Zanjirdagi umumiy tok:

$$\begin{aligned} I_m \sin(\omega t - \varphi) &= \frac{1}{r} U_m \sin \omega t - \frac{1}{\omega L} U_m \cos \omega t + \omega C U_m \cos \omega t = \\ &= U_m \left[\frac{1}{r} \sin \omega t - \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \cos \omega t \right] = U_m [g \sin \omega t - b \cos \omega t]. \end{aligned}$$

Oxirgi tenglama toklar oniy qiymatlari uchun Kirxgof 1- qonunining trigonometrik shakli hisoblanadi.

$b = b_L - b_C = (1/\omega L) - \omega C$ -zanjirning reaktiv o'tkazuvchanligi deb ataladi. $b_L > b_C$ bo'lganda, $b > 0$ va $\varphi > 0$ bo'lib (2.14-rasm, b), zanjir induktiv xarakterga, $b_L < b_C$ bo'lganda, $b < 0$ va $\varphi < 0$ bo'lib (2.14-rasm, v), zanjir sig'im xarakterga, $b_L = b_C$ bo'lganda esa $b = 0$ va $\varphi = 0$ bo'lib, zanjir aktiv xarakterga ega bo'ladi.



2.14 - rasm

I_m va φ quyidagi munosabatlar yordamida aniqlanadi:

$$I_m = \sqrt{g^2 + b^2} U_m = y U_m, \quad \operatorname{tg} \varphi = b / g,$$

bu yerda $y = \sqrt{g^2 + b^2}$ -zanjirning to'la o'tkazuvchanligi.

Toklar va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi quyidagi formula yordamida topiladi:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{(1/\omega L - \omega C)}{g} = \operatorname{arctg} \frac{b}{g}.$$

Ko'rilayotgan zanjir uchun toklar va kuchlanish vektor diagrammasini quramiz (2.14-rasm, b). Uni kuchlanish vektori \underline{U} ni qurishdan boshlaymiz. r elementdagi tok vektori \underline{I}_r kuchlanish vektori bilan mos, L elementdagi tok vektori undan 90° ga orqada, C elementdagi tok vektori esa \underline{U} dan 90° ga oldinda bo'ladi. Umumiy tok vektori \underline{I} uchala elementlardagi tok vektorlarining geometrik yig'indisiga teng bo'ladi.

Sinusoidal tok zanjirida quvvat

Sinusoidal tok zanjirining r , L va C kabi ayrim elementlaridagi energetik munosabatlar avvalgi paragraflarda ko'rib chiqildi. Endi umumiy holat, ya'ni zanjirdagi kuchlanish $u = U_m \sin \omega t$ va tok $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ ga teng bo'lgan holat uchun energetik munosabatlarni ko'rib chiqamiz.

Zanjirdagi oniy quvvatni aniqlaymiz:

$$p = ui = U_m I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) = UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

Oniy quvvat ikkita: doimiy ($UI \cos \varphi$) va ikkilangan chastota bilan o'zgaruvchi kosinusoidal ($UI \cos(2\omega t - \varphi)$) tashkil etuvchilardan iborat. Induktiv xarakterli $\varphi > 0$ zanjirdagi tok, kuchlanish va quvvat oniy qiymatlarning grafigi 2.15-rasm, a da keltirilgan.

Davrning kuchlanish va tok ishoralari bir xil bo'lgan qismlarida oniy quvvat musbat, energiya manbadan iste'mol qilinadi: bir qismi rezistorda iste'mol qilinadi, qolgan qismi esa g'altak magnit maydoniga to'planadi. Davrning kuchlanish va tok ishoralari har xil bo'lgan qismlarida oniy quvvat manfiy, energiya qisman iste'molchidan manbaga qaytariladi. Rezistorda iste'mol qilinayotgan aktiv quvvat oniy quvvatning bir davr mobaynidagi o'rtacha qiymatiga teng:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = UI \cos \varphi. \quad (2.2)$$

$\cos \varphi$ ko'paytma *quvvat koeffitsiyenti* deb ataladi. (2.2) ifodadan ko'rinib turibdiki, zanjirning aktiv quvvati kuchlanish, tok ta'sir etuvchi qiymatlari va quvvat koeffitsiyentlarining o'zaro ko'paytmasiga teng.

Zanjirdagi tok va kuchlanishlar orasidagi faza siljish burchagi φ qancha nolga yaqin bo'lsa, $\cos \varphi$ shuncha birga yaqin bo'ladi. Bunda U va I larning berilgan qiymatlarida $\cos \varphi$ qancha katta bo'lsa, shuncha ko'p aktiv quvvat manbadan iste'molchiga uzatiladi.

Aktiv quvvatni quyidagicha ifodalash mumkin:

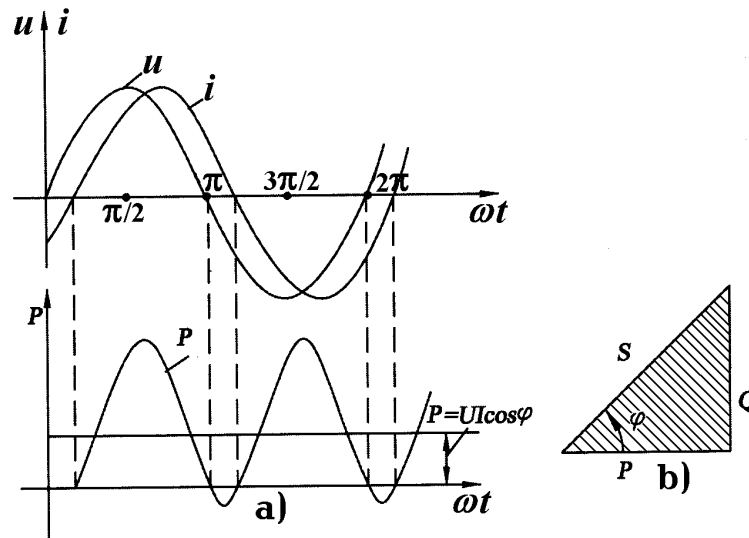
$$P = zI^2 \cos \varphi = rI^2, \quad P = yU^2 \cos \varphi = gU^2.$$

Kuchlanish va tokning berilgan qiymatlarida aktiv quvvatning maksimal qiymati zanjirning to'la quvvati deb ataladi:

$$S = UI \quad [V \cdot A].$$

Aktiv quvvat ifoda-sidan:

$$\cos \varphi = P / S.$$



2.15-rasm

Elektr zanjirini hisoblashda va amaliyotda reaktiv quvvat tushunchasidan foydalaniladi:

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 x = U^2 b \text{ [VAR]}.$$

Reaktiv quvvat manba bilan iste'molchi o'rtasidagi energiya almanishuvi tezligini tavsiflaydi va reaktiv tok iste'molini o'lchovi hisoblanadi. Zanjir induktiv xarakterga ega ($\varphi > 0$) bo'lganda reaktiv quvvat musbat, sig'im xarakterga ega ($\varphi < 0$) bo'lganda esa manfiy bo'ladi. Aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar o'zaro quyidagicha bog'langan (2.15-rasm, b):

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad \sin \varphi = \frac{Q}{S}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}.$$

Ma'ruza №14.

Sinusoidal tok zanjirlarini kompleks usulida hisoblash

Reja:

1. Sinusoidal kattaliklarni kompleks tekislikda vektorlar bilan tasvirlash.
2. Om va Kirxgof qonunlarining kompleks shakli.
3. Kompleks quvvat. Sinusoidal tok zanjirlarida quvvatlar balansi.
4. Sinusoidal tok zanjirlarini kompleks usulida hisoblash

Sinusoidal tok zanjirlarini kompleks usulda hisoblashni amerikalik olim I. Shteynmets 1894 yilda ishlab chiqqan. Bu usul bilan hisoblashning asosida sinusoidal tok zanjiri uchun tuzilgan differensial tenglamalarni algebraik tenglamalar bilan almashlash yotadi. Bunda tok va kuchlanishlarning oniy

qiymatlari ularning kompleks tasvirlari bilan almashtiriladi, ya'ni vaqt funksiyasidagi integro-differensial tenglamalardan kompleks shaklda yozilgan va vaqt kattaligi istisno qilingan algebraik tenglamalar hosil qilinadi. Bu esa, tabiiyki zanjirlarni hisoblashni ancha soddalashtiradi.

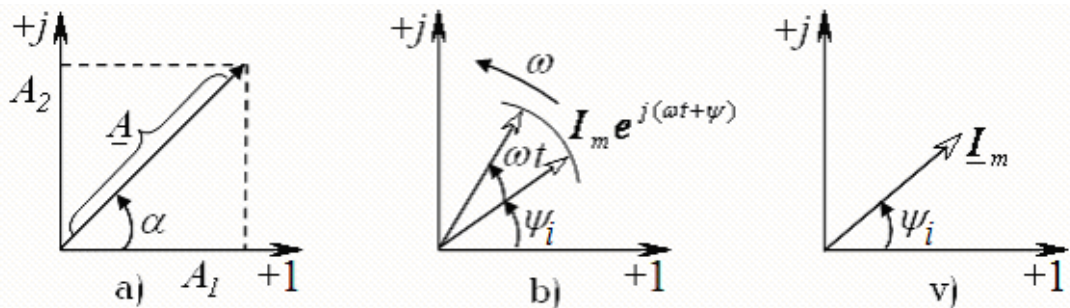
Sinusoidal kattaliklarni kompleks tekislikda vektorlar bilan tasvirlash

Ma'lumki har qanday kompleks son haqiqiy va mavhum qismlardan iborat. 2.16-rasmda kompleks tekislik keltirilgan. Abssissa o'qi *haqiqiy sonlar o'qi*, ordinata o'qi esa *mavhum sonlar o'qi* hisoblanadi. Kompleks tekislikda haqiqiy sonlar o'qi $+1$ belgi bilan, mavhum sonlar o'qi esa $+j$ ($j = \sqrt{-1}$) bilan belgilanadi. Agar kompleks tekislikda absissa o'qiga kompleks sonning haqiqiy qismini, ordinata o'qiga esa mavhum qismini joylashtirsak, u holda kompleks son tekislikda bir nuqtani ifodalaydi. Eyler formulasiga binoan $e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$.

Kompleks son $e^{j\alpha}$ kompleks tekislikda vektor ko'rinishda tasvirlanadi, uning amplitudasi I ga teng va α burchakning musbat yo'nalishi haqiqiy sonlar o'qi ($+1$) ga nisbatan soat miliga teskari yo'nalishda hisoblanadi. $e^{j\alpha}$ funksiyaning moduli birga teng:

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

$e^{j\alpha}$ funksiya vektorining haqiqiy o'qqa proyeksiyasi $\cos \varphi$ ga teng, mavhum o'qqa proyeksiyasi esa $\sin \varphi$ ga teng. Agar funksiya o'rniga $I_m e^{j\alpha}$ funksiyasini olsak, u holda $I e^{j\alpha} = I \cos \alpha + j I \sin \alpha$ (2.3) ifoda hosil bo'ladi.



2.16 - rasm

Kompleks tekislikda bu funksiyaning ($+1$) o'qiga nisbatan burchagi α ga teng, faqat vektorning uzunligi I_m marta kattadir. (2.3) formuladagi α burchak qiymati har xil bo'lishi mumkin. Masalan, $\alpha = \omega t + \psi_i$ (2.16-rasm, b), ya'ni α burchak t vaqtga proporsional o'zgarsa, u holda

$$\underline{I}_m = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

$I_m \cos(\omega t + \psi_i)$ tashkil etuvchi $I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ ifodaning haqiqiy (Re) qismi bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\operatorname{Re}[I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}] = I_m \cos(\omega t + \psi_i).$$

$I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ tashkil etuvchi $I_m e^{j\alpha}$ ifodaning mavhum Im qismi bo'lib, u quyidagicha yoziladi:

$$\operatorname{Im}[I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}] = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Shunday qilib, sinusoidal tokni $i = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ ko'rinishda yozish mumkin.

Bu aylanuvchi vektor $\underline{I}_m = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ ni $+j$ o'qiga proyeksiyasidir. Kompleks tekislikda sinusoidal kattaliklarni vektor tasvirlarini $\omega t = 0$ dagi holatini tasvirlash qabul qilingan. Bu holda $\underline{I}_m = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ vektor $\omega t = 0$ bo'lganda quyidagicha ifodalanadi:

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

\underline{I}_m -kompleks tok, uning moduli I_m ga, argumenti esa vektorni haqiqiy sonlar o'qiga nisbatan hosil qilgan burchagi (boshlang'ich faza ψ_i) ga teng bo'ladi (2.16-rasm, v).

Om va Kirxgof qonunlarining kompleks shakli

Om va Kirxgof qonunlarining kompleks shaklini hosil qilish uchun r , L va C elementlari ketma-ket ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz (2.13-rasm).

Bu zanjir uchun:

$$u_r + u_L + u_C = u \text{ yoki } ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = u,$$

bu yerda

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$u_r = rI_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$u_L = \omega LI_m \sin(\omega t + \psi_i + 90^\circ),$$

$$u_C = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ).$$

Yuqoridagi tenglamalarni kompleks shaklda yozamiz.

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

$$\underline{U}_{rm} = rI_m e^{j\psi_i} = r\underline{I}_m,$$

$$\begin{aligned}\underline{U}_{Lm} &= \omega L I_m e^{j(\psi_i + 90^\circ)} = \omega L I_m e^{j\psi_i} e^{j90^\circ} = \\ &= \omega L I_m e^{j\psi_i} (\cos 90^\circ + j \sin 90^\circ) = j\omega L I_m e^{j\psi_i} = j\omega L \underline{I}_m, \\ \underline{U}_{Cm} &= \frac{1}{\omega C} I_m e^{j(\psi_i - 90^\circ)} = \frac{1}{\omega C} I_m e^{j\psi_i} e^{-j90^\circ} = -j \frac{1}{\omega C} \underline{I}_m.\end{aligned}$$

Ushbu hosil qilingan tenglamalardan ko'rinib turibdiki, sinusoidal kattaliklarni kompleks sonlar bilan almashtirishda *differensiallash amali $j\omega$ bilan, integrallash amali esa $1/j\omega$ bilan almashtiriladi.*

Ko'rilayotgan zanjir uchun Kirxgof qonuning kompleks shakli quyidagicha yoziladi:

$$\underline{U}_{rm} + \underline{U}_{Lm} + \underline{U}_{Cm} = \underline{U}_m \text{ yoki } r \underline{I}_m + j\omega L \underline{I}_m - j \frac{1}{\omega C} \underline{I}_m = \underline{U}_m$$

bundan

$$\underline{I}_m = \frac{\underline{U}_m}{r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{\underline{U}_m}{\underline{Z}} \text{ yoki ta'sir etuvchi qiymatlar uchun } \underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}.$$

Oxirgi tenglik Om qonunining kompleks shakli deb ataladi. Demak, sinusoidal tok zanjiridagi kompleks tok unga berilgan kompleks kuchlanishga to'g'ri proporsional, zanjirning to'la kompleks qarshiligiga esa teskari proporsionaldir.

$$\underline{Z} = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = r + jx = z \cos \varphi + jz \sin \varphi = \sqrt{r^2 + x^2} \cdot e^{j\varphi} = ze^{j\varphi}.$$

zanjirning kompleks qarshiligi deb ataladi. Bunda kompleks qarshilikning haqiqiy qismi-aktiv qarshilik, mavhum qismi-reaktiv qarshilikka teng bo'ladi.

To'la kompleks qarshilikka teskari bo'lgan kattalik to'la *kompleks o'tkazuvchanlik* deb ataladi:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{ze^{\pm j\varphi}} = ye^{\mp j\varphi} = y \cos \varphi \mp jy \sin \varphi = g \mp jb,$$

bunda $y = \sqrt{g^2 + b^2}$, $\varphi = \arctg \frac{b}{g}$ - mos ravishda to'la kompleks o'tkazuvchanlikning *moduli va argumenti*.

Sinusoidal tok zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari kompleks tok va kuchlanishlar orqali quyidagicha ifodalanadi:

Zanjirning istalgan tugunidagi kompleks toklarning algebraik yig'indisi nolga teng (Kirxgofning 1-qonuni):

$$\sum_{\kappa=1}^n \underline{I}_\kappa = 0.$$

Zanjirning istalgan berk konturida kompleks EYuK larning algebraik yig'indisi shu kontur kompleks qarshiliklaridagi kompleks kuchlanishlar pasayishlarining algebraik yig'indisiga teng (Kirxgofning 2-qonuni):

$$\sum_{\kappa=1}^n \underline{E}_{\kappa} = \sum_{q=1}^m \underline{I}_{-q} \underline{Z}_{-q}.$$

Kompleks quvvat

To'la quvvatni kompleks ko'rinishda yozish uchun kompleks kuchlanishni qo'shma kompleks tokka ko'paytiramiz:

$$\tilde{S} = \underline{U} \underline{I}^* = UI e^{\pm j\varphi} = UI \cos \varphi \pm jUI \sin \varphi = P \pm jQ.$$

bunda \underline{I}^* -qo'shma kompleks tok. Masalan, agar $\underline{I} = I_m e^{-j\varphi}$ bo'lsa, u holda bu tokning qo'shmasi $\underline{I}^* = I_m e^{+j\varphi}$ ga teng bo'ladi. \tilde{S} -kompleks to'la quvvat deb ataladi. Uning haqiqiy qismi aktiv quvvatga, mavhum qismi esa reaktiv quvvatga teng, ya'ni:

$$P = \operatorname{Re} \left| \underline{U} \underline{I}^* \right| = \operatorname{Re} \left| \tilde{S} \right|; \quad Q = \operatorname{Im} \left| \underline{U} \underline{I}^* \right| = \operatorname{Im} \left| \tilde{S} \right|.$$

Masala: agar tok va kuchlanishning oniy qiymat ifodalari mos ravishda $i = 141 \sin (314t + 60^\circ) \text{ A}$, $u = 7,07 \sin (314t + 30^\circ) \text{ B}$ ko'rinishida berilgan bo'lsa, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar aniqlansin.

Yechish. Tok va kuchlanishning kompleks ta'sir etuvchi qiymatlarini yozib olamiz:

$$\underline{U} = \frac{141}{\sqrt{2}} e^{j60^\circ} = 100 e^{j60^\circ} \text{ V}; \quad \underline{I} = \frac{7,07}{\sqrt{2}} e^{j30^\circ} = 5 e^{j30^\circ} \text{ A}.$$

Kompleks to'la quvvat:

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \underline{U} \underline{I}^* = 100 e^{j60^\circ} \cdot 5 e^{-j30^\circ} = 500 e^{j30^\circ} = 500 \cos 30^\circ + j500 \sin 30^\circ = \\ &= 433 + j250 \text{ V} \cdot \text{A}. \end{aligned}$$

$$\text{Shunday qilib, } S = 500 \text{ V} \cdot \text{A}, \quad P = 433 \text{ Vt}, \quad Q = 250 \text{ VAR}.$$

Sinusoidal tok zanjirlarida quvvatlar balansi

Energiya saqlanish qonunidan ma'lumki, har qanday zanjirda aktiv quvvatlar balansi saqlanadi: manbalar uzatayotgan aktiv quvvatlar yig'indisi iste'molchilar qabul qilayotgan aktiv quvvatlar yig'indisiga teng:

$\sum_{k=1}^m P_{km} = \sum_{k=1}^n I_k^2 r_k$, bu yerda m -manbalar soni, n -iste'molchilar soni.

Zanjirdagi manbalar uzatayotgan reaktiv quvvatlar yig'indisi sxemadagi induktiv g'altak va kondensatorlar iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatlarning algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum_{k=1}^m Q_{km} = \sum_{k=1}^n I_k^2 x_k.$$

Kompleks quvvatlar balansi:

$$\sum_{k=1}^m \tilde{S}_{km} = \sum_{k=1}^n \tilde{S}_k.$$

Zanjir elementlarining kompleks qarshiliklari yig'indisi teng bo'lsada, ular modullarining yig'indisi umumiy holda teng bo'lmasligi mumkin. Shuning uchun to'la quvvatlar balansi har doim ham saqlanmasligi mumkin, ya'ni:

$$\sum_{k=1}^m \underline{S}_{km} \neq \sum_{k=1}^n \underline{S}_k.$$

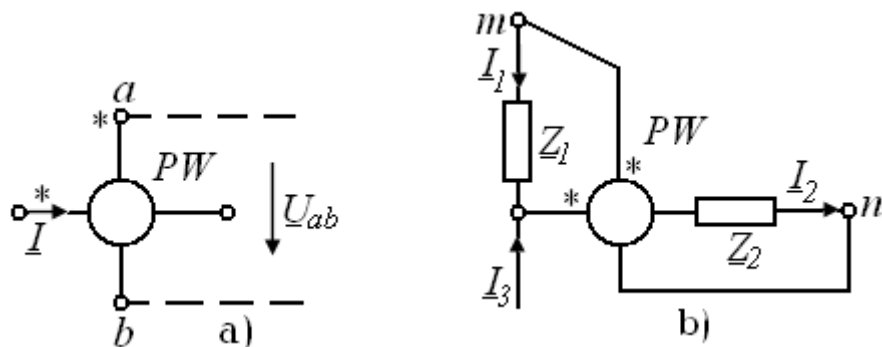
Bir fazali sinusoidal tok zanjirlarida aktiv quvvatni o'lchash uchun elektrodinamik yoki ferrodinamik vattmetrlar qo'llaniladi (2.17-rasm, a). Bunda vattmetrning belgilangan I^* tok va U^* kuchlanish qismlari (generator qismlari) manba qismlariga ulanadi.

Sinusoidal tok zanjirida reaktiv quvvatni o'lchash uchun tok va kuchlanish vektorlari orasidagi faza siljish burchagi 90° ga farq qilishi kerak. Bunda vattmetr strelkasining burchagi:

$$\alpha = S_p UI \cos(\pi/2 - \varphi) = S_p UI \sin \varphi.$$

$\varphi = 90^\circ$ li burchak asbobning parallel qismiga qo'shimcha rezistor va g'altakdan iborat zanjirni ulash bilan hosil qilinadi. Shuni aytib o'tish joizki, bir fazali zanjirlarda reaktiv quvvat faqat laboratoriya tadqiqotlarida o'lchanadi.

To'la quvvatni hisoblash uchun tok I va kuchlanish U ni ampermetr va voltmetr yordamida o'lchangan qiymatlari ko'paytiriladi: $S = UI$.



2.17 – rasm

Masala: 2.17-rasm, b da keltirilgan vattmetr ko'rsatkichini aniqlang. Quyidagilar berilgan:

$$\underline{I}_1 = 10e^{j37^0} \text{ A}, \underline{I}_3 = 8e^{-j15^0} \text{ A}, \underline{Z}_1 = 2 \text{ Om}, \underline{Z}_2 = 1,8e^{-j44^0} \text{ Om}.$$

Yechish. Vattmetr orqali o'tadigan tok quyidagiga teng:

$$\begin{aligned} \underline{I}_2 &= \underline{I}_1 + \underline{I}_3 = 8e^{-j15^0} + 10e^{j37^0} = 8\cos 15^0 - j8\sin 15^0 + \\ &+ 10\cos 37^0 + j10\sin 37^0 = 16,2e^{j14^0} \text{ A}. \end{aligned}$$

Vattmetr parallel g'altagidagi kuchlanish:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{mn} &= \underline{I}_1 \underline{Z}_1 + \underline{I}_2 \underline{Z}_2 = 10e^{j37^0} \cdot 2 + 16,2e^{j14^0} \cdot 1,8e^{-j44^0} = \\ &= 41 - j2,5 = 41,03e^{-j3,5^0} \text{ V}. \end{aligned}$$

Vattmetr ko'rsatkichi:

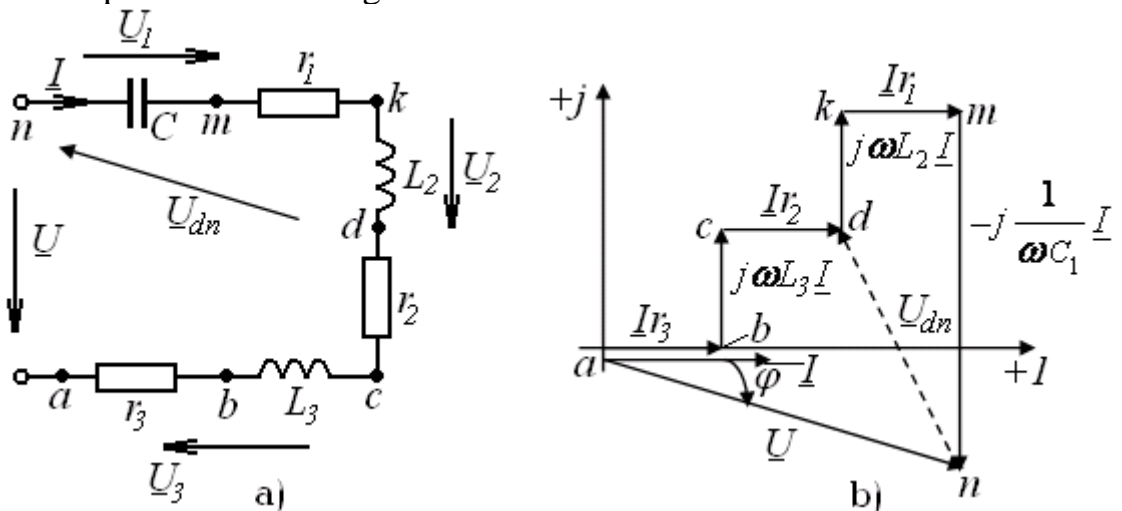
$$\begin{aligned} P &= \operatorname{Re} \left| \underline{U}_{mn} \underline{I}_2^* \right| = \operatorname{Re} \left| 41,03e^{-j3,5^0} \cdot 16,2e^{-j14^0} \right| = \operatorname{Re} \left| 665e^{-j17,5^0} \right| = \\ &= 665 \cos 17,5^0 = 634 \text{ Vt}. \end{aligned}$$

Sinusoidal tok zanjirlarini kompleks usulida hisoblash

Sinusoidal tok zanjirlarini hisoblashda o'zgarmas tok zanjirlarini hisoblashda qo'llanilgan barcha usullardan foydalaniladi. Bunda tuzilgan tenglamalardagi tok, kuchlanish, EYuK va qarshiliklar kompleks shaklda yoziladi. Sinusoidal tok zanjirini hisoblashdagi o'ziga xos xususiyatlarni aniqroq tasavvur qilish uchun ayrim zanjirlarni kompleks usulda hisoblashni ko'rib chiqamiz.

1. Shoxobchalanmagan zanjirni hisoblash. Kuchlanishlarning topografik vektor diagrammasi.

2.18-rasm, a da keltirilgan zanjirni ko'rib chiqamiz. Manba kuchlanishi va iste'molchilar parametrlari berilgan.



2.18-rasm

Zanjirning to'la qarshiligi:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 = r_1 - jx_{C1} + r_2 + jx_{L2} + r_3 + jx_{L3} = r + jx = ze^{j\varphi},$$

bu yerda $r = r_1 + r_2 + r_3$, $x = -x_{C1} + x_{L2} + x_{L3}$, $\varphi = \arctg \frac{x}{r}$.

Om qonuni asosida zanjirdagi tok va uning elementlaridagi kuchlanishlarni topamiz:

$$\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}, \quad \underline{U}_1 = \underline{I}\underline{Z}_1 = \underline{I}(r_1 - jx_{C1}), \quad \underline{U}_2 = \underline{I}\underline{Z}_2 = \underline{I}(r_2 + jx_{L2}),$$

$$\underline{U}_3 = \underline{I}\underline{Z}_3 = \underline{I}(r_3 + jx_{L3}).$$

Zanjirning to'la, aktiv va reaktiv quvvatlari:

$$\tilde{S} = \underline{U} \underline{I}^* = P + jQ = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3 = \underline{U}_1 \underline{I}^* + \underline{U}_2 \underline{I}^* + \underline{U}_3 \underline{I}^*,$$

$$P = \operatorname{Re}|\tilde{S}| = \sum_{k=1}^n I^2 r_k = \sum_{k=1}^n P_k = P_1 + P_2 + P_3,$$

$$Q = \operatorname{Im}|\tilde{S}| = \sum_{k=1}^n I^2 x_k = \sum_{k=1}^n Q_k = -Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Zanjirdagi jarayonlarni grafik tasvirlash uchun kuchlanishlar vektor diagrammasi qurilgan (2.18-rasm, b).

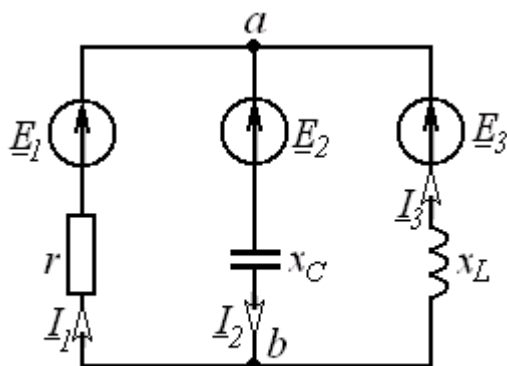
Bu diagrammada istalgan vektor parallel ravishda ko'chirilishi mumkin. Kirxgofning 2-qonuni asosida vektor diagramma qurilganda vektorlar ixtiyoriy ketma-ketlikda qurilishi mumkin.

Kuchlanishlar topografik vektor diagrammasi deb shunday vektor diagrammaga aytiladiki, unda kuchlanishlar vektorlari zanjir elementlarining o'zaro ulanish ketma-ketligi bo'yicha quriladi. Bunda kuchlanishlar vektor diagrammalari topologiyasi zanjir topologiyasi bilan bir xil bo'ladi, ya'ni vektorlarning o'zaro ulangan nuqtasiga zanjirning shu vektorlar xarakterlayotgan elementlarining ulangan nuqtasi mos keladi.

Topografik diagramma zanjirning istalgan nuqtalari orasida kuchlanishni osongina aniqlash imkonini beradi. Masalan, 2.18-rasm, b dagi vektor diagrammada \underline{U}_{dn} kuchlanish n nuqtadan d nuqtaga yo'nalgan vektor ko'rinishda ko'rsatilgan.

Masala: Agar elektr zanjirda (2.19-rasm) $\underline{E}_1 = 120V$;

$\underline{E}_2 = 120e^{-j120^\circ} V$; $\underline{E}_3 = 120e^{-j240^\circ} V$; $r = x_L = x_C = 10 \text{ Om}$ bo'lsa, shoxobchalardagi toklar aniqlansin.



2.19 - rasm

Yechish. Ushbu zanjirni ikki tugun usuli yordamida hisoblash osonroq. Buning uchun shoxobchalarning kompleks o'tkazuvchanliklarini aniqlaymiz:

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{r} = 0,1 \text{ CM};$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{-jx_C} = j0,1 \text{ CM};$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{jx_L} = -j0,1 \text{ CM}.$$

Ikki tugun orasidagi kompleks kuchlanishni topamiz:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{ab} &= \frac{\underline{E}_1 \underline{Y}_1 + \underline{E}_2 \underline{Y}_2 + \underline{E}_3 \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \\ &= \frac{120 \cdot 0,1 + 120 e^{-j120^\circ} \cdot j0,1 + 120 e^{-j240^\circ} (-j0,1)}{0,1 + j0,1 - j0,1} = 328 \text{ V}. \end{aligned}$$

Om qonuni bo'yicha shaxobchalardagi toklar:

$$\underline{I}_1 = (\underline{E}_1 - \underline{U}_{ab}) \underline{Y}_1 = (120 - 328) \cdot 0,1 = -20,8 \text{ A},$$

$$\underline{I}_2 = (-\underline{E}_2 + \underline{U}_{ab}) \underline{Y}_2 = (-120 e^{-j120^\circ} + 328) \cdot j0,1 = -40 e^{j105^\circ} \text{ A},$$

$$\underline{I}_3 = (\underline{E}_3 - \underline{U}_{ab}) \underline{Y}_3 = (120 e^{-j240^\circ} - 328) \cdot (-j0,1) = -40 e^{j75^\circ} \text{ A}.$$

Ma'ruza №15.

Elektr zanjirlarida rezonans. Elektrotexnik qurilmalarning quvvat ko'effitsiyenti va uning mohiyati

Reja:

1. Kuchlanishlar rezonansi.
2. Toklar rezonansi.
3. Elektrotexnik qurilmalarning quvvat ko'effitsiyenti va uning mohiyati
4. Quvvat ko'effitsiyentini oshirish usullari va hisoblash asoslari.

Elektr zanjirlarida rezonans

Elektr zanjirlarida reaktiv qarshiliklar musbat, manfiy va nolga teng bo'lishi mumkin. Zanjirda induktiv va sig'im elementlar bo'lganda zanjirning kirish reaktiv qarshiligi nolga teng bo'lishi mumkin. Bunda zanjir aktiv xarakterga ega bo'lib tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi nolga teng bo'ladi. *Elektr zanjirlaridagi bu hodisa rezonans deb ataladi.*

r , L va C elementlari ketma-ket (parallel) ulangan sinusoidal tok zanjirining xususiy chastotasi $\omega = 1/\sqrt{LC}$ manba kuchlanishining chastotasi $\omega = 2\pi f$ ga

teng bo'lganda $x_L = x_C$, ($b_L = b_C$) va $|U_L| = |U_C|$, ($|I_L| = |I_C|$) bo'lib, reaktiv elementlardagi kuchlanish (tok)lar modul jihatdan bir-biriga teng hamda manba kuchlanishi (tok)dan bir necha marta ortib ketadi. *Elektr zanjirlaridagi bu rejim kuchlanishlar (toklar) rezonansi deb ataladi.* Bu rejimda zanjirning reaktiv quvvati nolga teng bo'ladi. *Rezonans yuzaga keladigan chastota rezonans chastotasi deb ataladi.*

Elektr zanjirlarida rezonans rejimlaridan elektrotexnikada, radiotexnikada va elektr o'zgartgichlarda keng foydalaniladi. Ayrim hollarda esa, zanjirda rezonans hodisasi yuzaga kelishi noqulayliklarni tug'diradi (masalan, uzatish liniyalarida va transformatorlarda kuchlanish va toklarni keskin ortib ketishi o'lchash asboblari hamda izolyatsiyani ishdan chiqishiga olib keladi).

Kuchlanishlar rezonansi

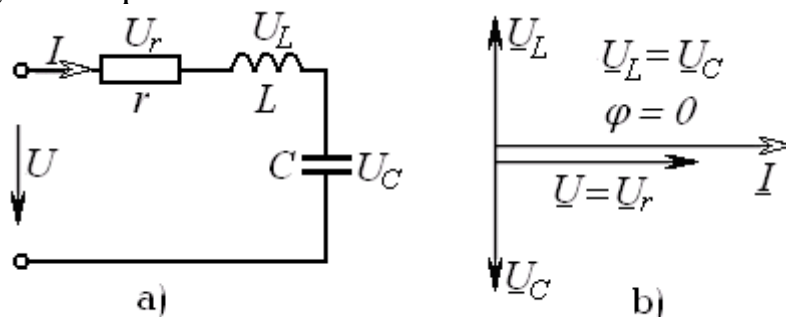
r , L va C elementlari ketma-ket ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz (2.20-rasm, a). Zanjirning kompleks qarshiligi:

$$\underline{Z} = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right).$$

Kuchlanishlar rezonansi shartiga ko'ra:

$X = \omega L - 1/\omega C = 0$ yoki $\omega L = 1/\omega C$, bunda $\omega_r = 1/\sqrt{LC}$ - rezonans chastotasi.

Kuchlanishlar rezonansi rejimi uchun tok va kuchlanishlar vektor diagrammasi 2.20-rasm, b da keltirilgan. Unda reaktiv elementlardagi kuchlanishlarning modul qiymatlari teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi. Rezonans shartidan ko'rinib turibdiki, zanjirda bu rejimni hosil qilish uchun manba chastotasini rostlab yoki zanjir xususiy chastotasini L yoki C ni o'zgartirish (rostlash) hisobiga hosil qilish mumkin.



2.20 - rasm

Rezonans rejimida zanjirning to'la qarshiligi minimal bo'lib, aktiv qarshilikka teng bo'ladi:

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = r.$$

Zanjirdagi tok bu paytda maksimal qiymatga erishadi:

$$I = U / z = U / r.$$

r qarshilikdagi kuchlanish pasayishi manba kuchlanishiga teng bo'ladi:

$$U_r = Ir = U.$$

Rezonans rejimidagi induktiv yoki sig'im qarshilik rezonans zanjir (kontur)ining to'lqin qarshiligi deb ataladi:

$$\rho = \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Agar zanjirda $\rho \gg r$ shart bajarilsa, u holda reaktiv elementlardagi kuchlanishlar manba kuchlanishidan ko'p marta ortiq bo'ladi.

U_{Lr} yoki U_{Cr} ni U dan necha marta katta bo'lishi konturning aslliligi bilan tavsiflanadi:

$$Q = \frac{U_{Lr}}{U} = \frac{U_{Cr}}{U} = \frac{I_r \omega_r L}{I_r r} = \frac{\omega_r L}{r} = \frac{\rho}{r}.$$

$$d = 1/Q = r/\rho \text{ -zanjir (kontur) ning so'nishi.}$$

Rezonans rejimida zanjirdagi energetik munosabatlar ham o'ziga xos ayrim xususiyatlarga ega. Zanjirdagi tok $i = I_m \sin \omega_r t$ bo'lsa, kondensatordagi kuchlanish $U_c = \frac{1}{C} \int i dt = U_{sm} \cos \omega_r t$ bo'ladi.

Zanjir elektr va magnit maydonlaridagi energiya:

$$\begin{aligned} W &= \frac{Li^2}{2} + \frac{Cu_c^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega_r t + \frac{CU_{cm}^2}{2} \cos^2 \omega_r t = \\ &= \frac{LI_m^2}{2} + \frac{CU_{cm}^2}{2} = const. \end{aligned}$$

$$U_{cm} = \frac{1}{\omega_r C} I_m = \sqrt{\frac{L}{C}} I_m \text{ bo'lganligi uchun } \frac{CU_{cm}^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Oxirgi ifodadan ko'rinadiki, zanjirdagi elektr va magnit maydonlari energiyalarining yig'indisi vaqt bo'yicha o'zgarmaydi. Energiya induktiv g'altak bilan kondensatorda navbatma navbat to'planib turadi. Aktiv qarshilikda sarf bo'layotgan energiyani manbadan kelayotgan energiya qoplab turadi.

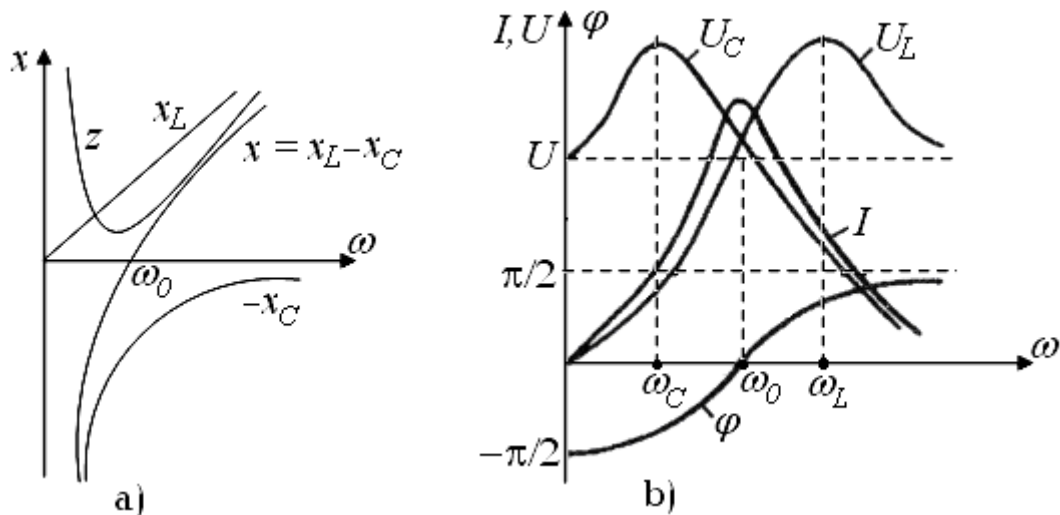
r , L va C elementlar ketma-ket ulangan zanjir (kontur) chastota tavsiflarini o'rganib chiqamiz. Manba kuchlanishi amplitudasi bo'lib, chastotasining oraliqda o'zgarishi zanjirning quyidagi parametrlarini o'zgarishiga olib keladi:

$$x_L = \omega L, \quad x_C = 1/\omega C, \quad x = x_L(\omega) - x_C(\omega),$$

$$Z = \sqrt{r^2 + [x_L(\omega) - x_C(\omega)]^2}, \quad \varphi = \arctg[x(\omega)/r].$$

2.21-rasm, a da $x_L = (\omega)$, $x_C = (\omega)$, $x(\omega)$, $Z(\omega)$ va b da $I(\omega)$, $U_L(\omega)$, $U_C(\omega)$, $\varphi(\omega)$ grafiklari keltirilgan. $\omega=0$ bo'lganda $I(0)=0$, chunki

kondensator o'zgarimas tokni o'tkazmaydi. Barcha kuchlanish kondensatorida pasayadi. Chastota $0 < \omega < \omega_r$ diapazonda o'zgaranda x_L qarshilik oshadi, x_C esa kamayadi, Z qarshilik ham kamayadi. Bu diapazonda reaktiv qarshilik sig'im xarakterga ega bo'ladi. Shuning uchun ham faza siljish burchagi $-90^\circ < \varphi < 0$ oraliqda o'zgaradi. Chastota $\omega_r < \omega < \infty$ diapazonda o'zgaranda, $Z(\omega)$ va $x(\omega)$ lar 0 dan ∞ gacha ortib boradi. Zanjir induktiv xarakterga ega bo'ladi. Tok esa maksimal qiymatdan 0 gacha kamayadi. $U_L(\omega)$ kuchlanish manba kuchlanish U gacha kamayadi $U_C(\omega)$ esa 0 gacha kamayadi.



2.21-rasm

Chastota $\omega = \omega_p$ bo'lganda grafiklarda aks ettirilgandek $Z(\omega_r) = Z_{\min} = r$, $x_r = x_L - x_C = 0$, $\varphi = 0$, $I_{(\omega_r)} = I_{\max} = U/r$ ga teng bo'ladi. $U_L(\omega_r)$ va $U_C(\omega_r)$ esa maksimal qiymatga yaqin qiymatga erishadi. Zanjir bu paytda aktiv xarakterga ega bo'ladi.

$U_L(\omega_r)$ va $U_C(\omega_p)$ grafiklaridan ko'rinib turibdiki, reaktiv elementlardagi kuchlanishlarning maksimal qiymatlari rezonans chastotasidan farq qilgan chastotalarga to'g'ri keladi. $U_L(\omega)$ kuchlanish $\omega_L > \omega_r$ da, $U_C(\omega)$ kuchlanish esa $\omega_L < \omega_r$ da maksimumga erishadi. Funktsiyalarni ekstremumlarini topish sharti $dU_L/d\omega = 0$ va $dU_C/d\omega = 0$ dan:

$$\omega_L = \omega_r \sqrt{\frac{2}{2-d^2}}, \quad \omega_C = \omega_r \sqrt{\frac{2-d^2}{2}}.$$

Toklar rezonansi

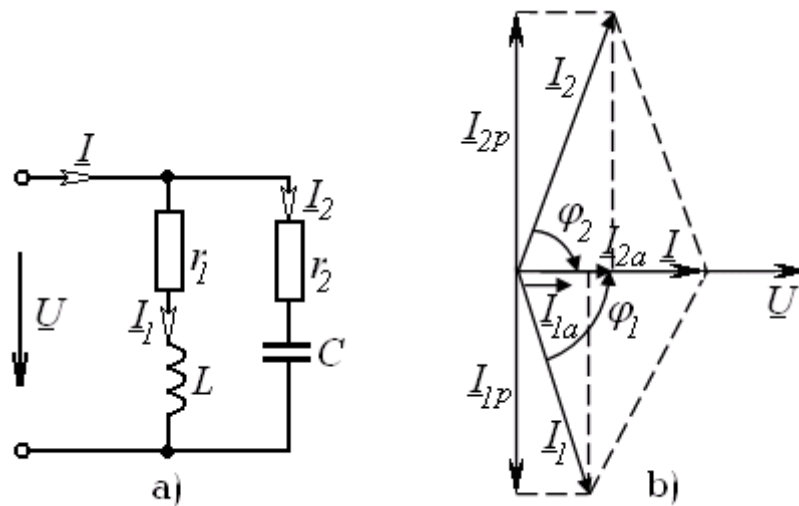
Reaktiv elementlar o'zaro parallel ulangan zanjir (2.23-rasm, a) da ma'lum shartlar bajarilganda toklar rezonansi yuz berishi mumkin.

Rezonans rejimida manba toki va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi nolga teng bo'ladi, reaktiv o'tkazuvchanlik esa $b = b_L - b_C = 0$ yoki $b_L = b_C$ bo'ladi.

Rezonans rejimi uchun qurilgan vektor diagrammadan ko'rinib turibdiki (2.23-rasm, b), reaktiv elementlardagi toklar modul qiymatlari jihatdan o'zaro teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi. Bunda $|I_L| = |I_C|$ toklar manba tokidan bir necha marotaba ortib ketishi mumkin. *Shuning uchun ham bu zanjirdagi rezonans toklar rezonansi deb ataladi.*

Zanjir reaktiv o'tkazuvchanligining nolga tenglik shartidan:

$$\frac{\omega_r L}{r_1^2 + (\omega_r L)^2} = \frac{1/\omega_r C}{r_2^2 + (1/\omega_r C)^2}, \text{ bundan } \omega_r = \sqrt{1/LC} \sqrt{\frac{(L/C) - r_1^2}{(L/C) - r_2^2}}.$$



2.23 - rasm

Ko'rilayotgan zanjirda rezonans rejimi hosil bo'lish uchun oxirgi tenglamaning ildiz osti ifodasi doim musbat bo'lishi lozim. $r_1 = r_2$ bo'lgan hol uchun $\omega_r = 1/\sqrt{LC}$ bo'ladi. $r_1 = r_2 = \sqrt{L/C}$ hol uchun $\omega_r = 0/0$ bo'ladi. Bu holatda zanjirda ixtiyoriy chastotada rezonans yuz beradi. Zanjirning kirish qarshiligi $Z = Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2) = r$ ga teng bo'ladi.

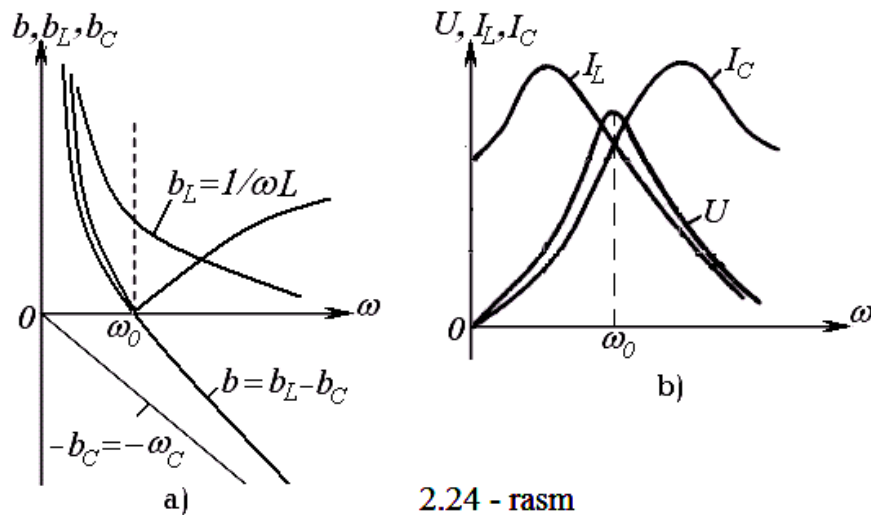
Ideallashtirilgan holat $r_1 = r_2 = 0$ uchun zanjirning kirish qarshiligi cheksiz katta qiymatga teng bo'lib, tok nolga teng. Energiya manbadan zanjirga uzatilmaydi va kondensator va induktiv g'altak maydonlarida davriy ravishda almashinib to'planib turadi.

$$\omega_r C = 1/\omega_r L = \sqrt{C/L} = \gamma \text{ -zanjirning to'lqin o'tkazuvchanligi deb ataladi.}$$

Induktiv g'altak yoki kondensatordagi tokning manba tokidan necha marta katta ekanligini ko'rsatuvchi kattalik zanjir (kontur) ning aslligi deb ataladi:

$$Q = \frac{I_C r}{I} = \frac{I_L r}{I} = \frac{\omega_r C U}{g U} = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\gamma}{g}.$$

Toklar rezonansida ham kuchlanishlar rezonansidagiga o'xshash energetik jarayonlar yuz beradi. $g \neq 0$ bo'lgan zanjirda $P_L = -P_C$ bo'lib, energiya g'altak bilan kondensator maydonlarida davriy to'planib turadi. Qarshilikda sarf bo'layotgan energiyani manbadan kelayotgan energiya qoplab turadi. 2.24-rasm, a da $b_L(\omega)$, $b_C(\omega)$, $b(\omega)$, 2.24-rasm, b da esa $I_L(\omega)$, $I_C(\omega)$, $U(\omega)$ larning grafiklari keltirilgan. Bu kattaliklar va zanjir parametrlarining chastota $0 \leq \omega \leq \omega_r$ va $\omega_r < \omega < \infty$ diapazonlardagi o'zgarishlari xuddi kuchlanishlar rezonansidagi o'zgarishlariga o'xshash bo'ladi.



2.24 - rasm

Elektrotexnik qurilmalarning quvvat koeffitsiyenti va uning mohiyati. Quvvat koeffitsiyentini oshirish usullari va hisoblash asoslari

Elektr energiya iste'molchilari amalda asosan aktiv-induktiv xarakterli bo'ladi va yuklama tokining fazasi manba kuchlanishi fazasidan orqada qoladi.

Yuklama quvvat koeffitsiyentining kamayishi yuklamadan o'tuvchi tokni oshiradi, chunki

$$I = P / U \cos \varphi.$$

Sinusoidal tok generatorlari ma'lum bir $S_{nom} = U_{nom} I_{nom}$ quvvatga mo'ljallangan bo'ladi, ya'ni U_{nom} nominal kuchlanishda ular faqat belgilangan nominal I_{nom} tokdan oshmagan yuklamaga ulanishi mumkin.

Shu sababli yuklamaning quvvat koeffitsiyenti past bo'lganda generator toki belgilangan nominal qiymatdan oshmasligi uchun uning aktiv quvvatini kamaytirish kerak bo'ladi. Bunday hollarda generator tok bo'yicha to'la yuklangan bo'lsa-da aktiv quvvat bo'yicha to'la yuklanmagan bo'ladi.

Generator va birlamchi motordan iborat elektr manbaining umumiy foydali ish koeffitsiyenti har bir uskunaning foydali ish koeffitsiyentiga bog'liq bo'lib, birlamchi motorning ishi asosan generatorning aktiv quvvatiga bog'liq. Shu sababli generatorni aktiv quvvat bilan to'la yuklanmasligi birlamchi motorni va umuman

energetik qurilmaning foydalanish koeffitsiyenti pasayishiga olib keladi. Bundan tashqari uzatish liniyasidagi quvvat isrofi katta bo'ladi:

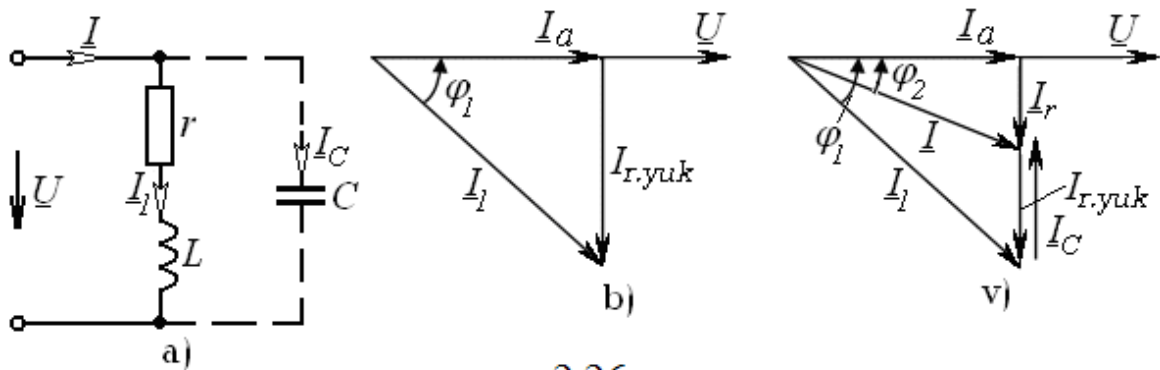
$$\Delta P = r_l I^2 = \frac{r_l P^2}{U^2 \cos^2 \varphi}, \text{ bu yerda } r_l \text{ -uzatish liniyasining aktiv qarshiligi.}$$

Ifodadan ko'rinib turibdiki, yuklamaning quvvat koeffitsiyenti qancha kam bo'lsa, quvvat isrofi shuncha ko'p bo'ladi. Binobarin, yuklamaning quvvat koeffitsiyenti qancha kam bo'lsa, uzatish liniyasidagi quvvat isrofi shuncha ko'p bo'ladi. Quvvat koeffitsiyenti manba quvvati qanday foydalanilayotganligini bildiradi.

Elektr uskunaning quvvat koeffitsiyentini oshirishning uchta usuli mavjud:

1. Induktiv xarakterli yuklamaga kondensator batareyalarini parallel ulash.
2. Induktiv xarakterli yuklamaga kondensatorni ketma-ket ulash.
3. Elektr tarmog'iga sinxron motor ulash.

Quyida birinchi usulga binoan qo'llaniladigan kondensatorlar batareyasi sig'imini hisoblash uslubini ko'rib chiqamiz. 2.26-rasmdagi vektor diagrammadan I tok bilan U kuchlanish orasidagi kerakli burchak siljishini olish uchun sig'im shoxobchadagi I_C tok yuklamaning kompensatsiya qilishdan avvalgi reaktiv tashkil etuvchi $I_{r.yuk}$ tokidan kompensatsiya qilingandan keyingi I_r toklarning ayirmasi teng bo'lishi kerak: $I_C = I_{r.yuk} - I_r$.



2.26 - rasm

Bu ifodadagi toklarni yuklama tokining aktiv tashkil etuvchisi I_a orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_{r.yuk} = I_a \operatorname{tg} \varphi_{yuk} \text{ va } I_r = I_a \operatorname{tg} \varphi.$$

Natijada quyidagilarni yozish mumkin:

$$I_C = I_a (\operatorname{tg} \varphi_{yuk} - \operatorname{tg} \varphi). \text{ Bu ifodada kondensator uchun } I_C = U \omega C \text{ ekanligi}$$

va I_a tokni quvvat va kuchlanish orqali ifodalab, ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$U \omega C = (P/U) (\operatorname{tg} \varphi_{yuk} - \operatorname{tg} \varphi).$$

Oxirgi ifodadan kondensator batareyasining sig'imini topamiz:

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi_{yuk} - \operatorname{tg} \varphi)}{\omega U^2}.$$

Odatda kondensator batareyalari yordamida $\cos \varphi(0,92 - 0,96)$ gacha oshiriladi. Quvvat koeffitsiyentini bundan katta bo'lishi texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlarga ko'ra maqsadga muvofiq emas.

Ma'ruza №16.

Induktiv bog'langan zanjirlar. O'zaro bog'lanish koeffitsiyenti

Reja:

1. Umumiy ma'lumotlar.
2. O'zaro induksiya EYuK.
3. Ketma-ket va parallel ulangan o'zaro induktiv bog'langan zanjirlar
4. O'zaro induktiv bog'langan zanjirlarni hisoblash.

Umumiy ma'lumotlar

Agar elektr zanjirning bir elementidagi tokning o'zgarishi zanjirning boshqa elementida EYuK paydo bo'lishiga sabab bo'lsa, u holda bu elementlar *o'zaro induktiv bog'langan*, paydo bo'ladigan EYuK esa *o'zaro induksiya EYuK deyiladi*.

Ikki elementning induktiv bog'lanish darajasi bog'lanish koeffitsiyenti yordamida tavsiflanadi:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}},$$

bu ifodada M -zanjir elementlarining o'zaro induktivligi, L_1 va L_2 -zanjir elementlarining xususiy induktivliklari.

Induktiv bog'lanish koeffitsiyenti har doim birdan kichik bo'lishligini ko'rib chiqamiz.

Nisbatan katta o'lchamli ikkita induktiv g'altak berilgan bo'lsin (2.27-rasm). G'altaklarning har bir o'rami bir xil magnit oqimi bilan ilashgan bo'lsin. 2.27-rasm, a da birinchi g'altakdan i_1 tok o'tgan holat uchun magnit maydonining tasviri ko'rsatilgan. Birinchi g'altak o'ramlari o'zinduksiya magnit oqimi Φ_{11} , ikkinchi g'altak o'ramlari esa o'zaro induksiya magnit oqimi Φ_{12} , bilan ilashgan. Birinchi va ikkinchi g'altaklarning o'zinduksiya va o'zaro induksiya ilashish magnit oqimlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\psi_{11} = w_1 \Phi_{11}, \quad \psi_{21} = w_2 \Phi_{21},$$

bunda w_1 va w_2 - g'altaklardagi o'ramlar soni.

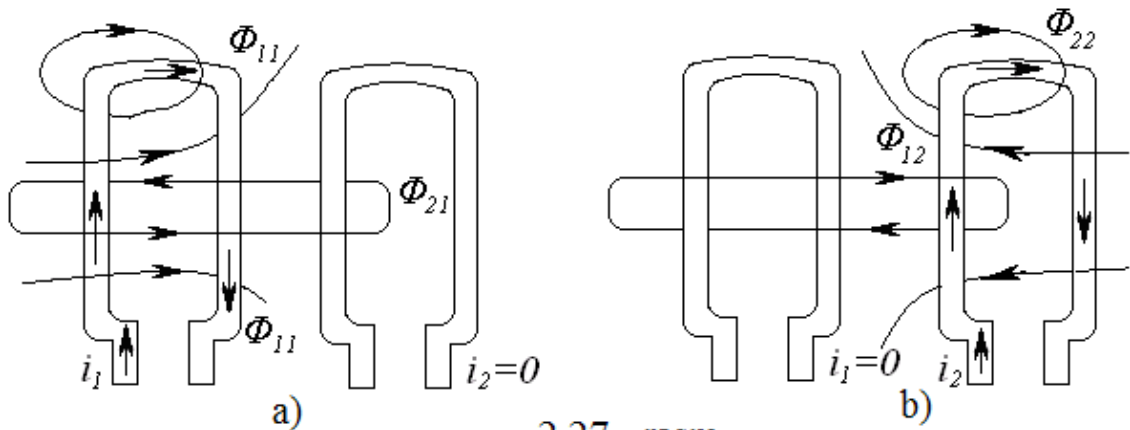
O'zaro induksiya oqimlari (Φ_{21} va Φ_{12}) va ilashish oqimlari (ψ_{21} va ψ_{12}) indeksidagi birinchi raqam oqimning qaysi kontur bilan ilashayotganligini, ikkinchisi esa shu oqimni hosil qilgan tok qaysi konturga tegishligini bildiradi.

Ta'rif bo'yicha birinchi g'altakning induktivligi va g'altaklarning o'zaro induktivligi quyidagilarga teng:

$$L_1 = \frac{\psi_{11}}{i_1} = \frac{w_1 \Phi_{11}}{i_1},$$

$$M = M_{21} = \left| \frac{\psi_{21}}{i_1} \right| = \left| \frac{w_2 \Phi_{21}}{i_1} \right|.$$

G'altakdan o'tadigan tok va o'zinduksiya magnet oqimining musbat yo'nalishlarini o'ng vint qoidasiga ko'ra tanlaymiz, shuning uchun $i_1 > 0$ bo'ladi va ψ_{11}/i_1 nisbat har doim musbat qiymatga ega. O'zaro induksiya oqimining musbat yo'nalishi esa ixtiyoriy va shuning uchun ψ_{21}/i_1 nisbat (musbat yoki manfiy) ishorali bo'lishi mumkin.



2.27 - rasm

2.27-rasm, b da faqat ikkinchi g'altakdan i_2 tok o'tayotgan holat uchun magnet maydonining tasviri berilgan. Ta'rif bo'yicha

$$L_2 = \frac{\psi_{22}}{i_2} = \frac{w_2 \Phi_{22}}{i_2}, \quad M = M_{12} = \left| \frac{\psi_{12}}{i_2} \right| = \left| \frac{w_1 \Phi_{12}}{i_2} \right|.$$

Amalda ikki g'altakning o'ramlari bir xil bo'lmagan (bir-biridan farq qiladigan) magnet oqimlar bilan ilashadi, shuning uchun har doim $k < 1$ bo'ladi.

O'zaro induktiv bog'lanish koeffitsiyenti qiymatini g'altaklarni bir-biriga nisbatan siljitish bilan o'zgartirish mumkin. G'altaklari bir-biriga nisbatan siljishi mumkin bo'lgan asbob variometr deb ataladi.

O'zaro induksiya EYuK

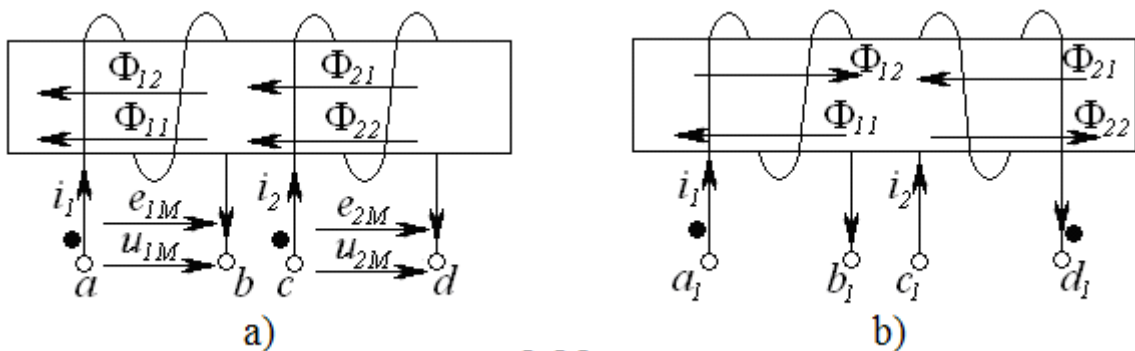
Induktiv bog'langan elementlardan biridagi tok o'zgarsa, boshqa elementda o'zaro induksiya EYuKi paydo bo'ladi. O'zaro induksiya (elektromagnit induksiya qonuni) tufayli paydo bo'ladigan EYuK va kuchlanishning absolyut qiymati mos ravishda quyidagilarga teng:

$$|u_{1M}| = |e_{1M}| = \left| \frac{d\psi_{12}}{dt} \right| = \left| M \frac{di_2}{dt} \right|, \quad |u_{2M}| = |e_{2M}| = \left| \frac{d\psi_{21}}{dt} \right| = \left| M \frac{di_1}{dt} \right|.$$

Bu kattaliklar ishoralarini aniqlash uchun o'zaro bog'langan zanjir elementlarining bir xil nomlangan qismlarini topish kerak. Bunda quyidagi qoida o'rinlidir:

"Agar qismlarga nisbatan bir xil yo'nalishda o'tadigan tokdan har bir elementda hosil bo'ladigan o'zinduksiya va o'zaro induksiya magnet oqimlari qo'shilsa, u holda bu qismlar induktiv bog'langan ikkita elementning bir xil nomlangan qismlari deyiladi".

Bu qoida asosida 2.28-rasm, a da keltirilgan g'altaklar qismlari belgilangan. i_1 tok a qismadan b qismaga yo'nalgan bo'lsa va i_2 tok c qismadan d qismaga yo'nalgan bo'lsa, o'zinduksiya magnet oqimi Φ_{11} (Φ_{22}) va o'zaro induksiya magnet oqimi Φ_{12} (Φ_{21}) bilan qo'shiladi. Shuning uchun a qisma bilan c qisma bir xil nomlangan bo'ladi, xuddi shunday b qisma d qisma bilan bir xil nomlangan bo'ladi.



2.28 - rasm

2.28-rasm, b dagi g'altaklar uchun a_1 va d_1 hamda b_1 va c_1 bir xil nomlangan qismlar bo'ladi.

Avvalgi holdan farqli joyi shundaki, 2-g'altakning o'ralish yo'nalishi 1-g'altakning o'ralish yo'nalishiga qarama-qarshidir.

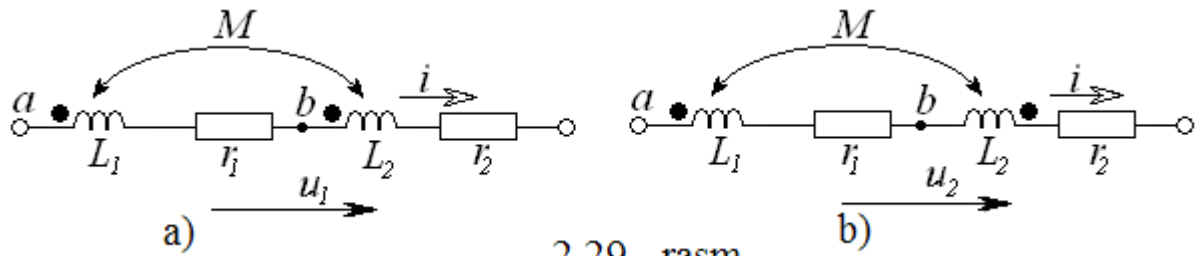
Bir xil nomlangan ikkita juft qismlardan biri maxsus belgilar: nuqta yoki yulduzcha bilan belgilanadi.

Ketma-ket va parallel ulangan o'zaro induktiv bog'langan zanjirlar

1. Induktiv bog'langan g'altaklarni o'zaro ketma-ket ulanishi.

Bunday ulanish ikki xil bo'lishi mumkin: mos yoki qarama-qarshi ulanish. Mos ulangan g'altaklarda toklar bir xil nomli qismlarga nisbatan bir xil yo'nalgan bo'ladi (2.29-rasm, a). Qarama-qarshi ulangan g'altaklarda toklarning yo'nalishi bir xil nomlangan qismlarga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (2.29-rasm, b).

Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan ikkita induktiv g'altaklarning o'zaro mos ulangan zanjiri uchun elektr muvozanat tenglamasini tuzamiz. Tokning musbat yo'nalishi va konturning aylanib chiqish yo'nalishi bir xil deb faraz qilaylik. Induktiv bog'langan elementlari bo'lgan elektr zanjirlarni bevosita hisoblash uchun zanjirlarni hisoblashning avval ko'rib o'tilgan barcha usullari ishlatiladi, faqat tugun potentsiallar usulini qo'llash uchun ba'zi bir qo'shimcha qoidalardan foydalanishga to'g'ri keladi.



2.29 - rasm

O'zaro bog'langan ikkita induktiv g'altak ketma-ket va induktiv jihatdan mos ulanganda uning differensial tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$u = r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} + r_2 i + L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}.$$

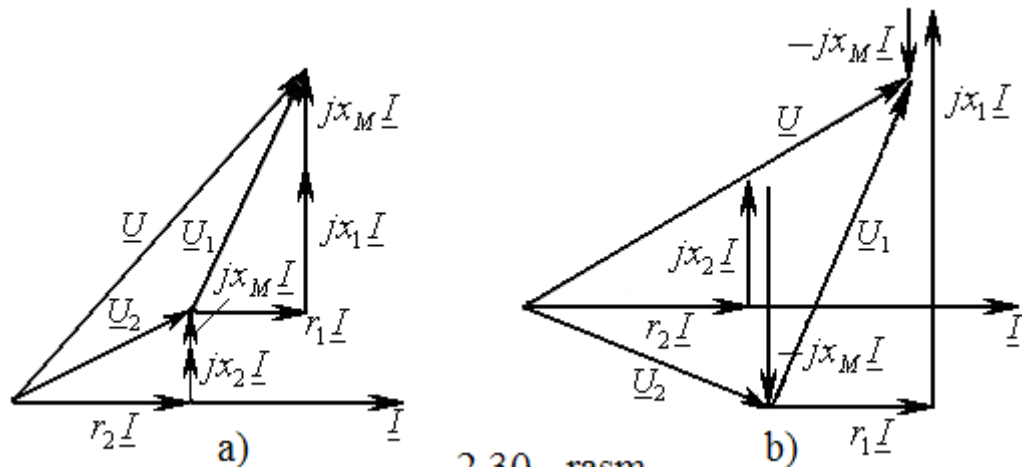
Kompleks shaklda esa:

$$\underline{U} = r_1 \underline{I} + j\omega L_1 \underline{I} + j\omega M \underline{I} + j\omega L_2 \underline{I} + r_2 \underline{I} + j\omega M \underline{I} = \underline{Z}_{mos} \underline{I}, \text{ bunda}$$

$$\underline{Z}_{mos} = r_1 + r_2 + j(\omega L_1 + \omega L_2 + 2\omega M) = r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2 + 2x_M),$$

bu yerda $x_M = \omega M$ -o'zaro induktiv qarshilik.

Mos ulangan zanjir uchun vektorlar diagrammasi 2.30-rasm, a da keltirilgan.



2.30 - rasm

G'altaklar ketma-ket va o'zaro qarama-qarshi ulanganda elektr muvozanat tenglamasi differensial shaklda quyidagicha yoziladi:

$$u = r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} + r_2 i + L_2 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt},$$

kompleks shaklda esa:

$$\underline{U} = r_1 \underline{I} + j\omega L_1 \underline{I} - j\omega M \underline{I} + r_2 \underline{I} + j\omega L_2 \underline{I} - j\omega M \underline{I} = \underline{Z}_{q.q} \underline{I},$$

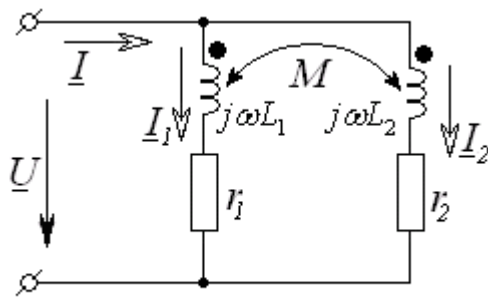
$$\underline{Z}_{q.q} = r_1 + r_2 + j(\omega L_1 + \omega L_2 - 2\omega M) = r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2 - 2x_M).$$

Ketma-ket va induktiv jihatdan qarama-qarshi ulangan zanjir uchun vektorlar diagrammasi 2.30-rasm, b da keltirilgan.

Induktiv bog'langan g'altaklar o'zaro mos ulanganda ularning to'la qarshiligi ular o'zaro qarama-qarshi ulangandagiga nisbatan katta bo'ladi. Bu xususiyatdan o'zaro induktiv bog'langan g'altaklar bir xil nomlangan qismlarini aniqlashda foydalaniladi.

2. Induktiv bog'langan g'altaklarni o'zaro parallel ulanishi

Ikkita o'zaro induktiv bog'langan g'altaklarni parallel ulanishi (2.31-rasm)ni tahlil qilish uchun Kirxgofning 1- va 2-qonunlariga asoslanib differensial va kompleks shakllarda muvozanat tenglamalarini tuzamiz:



2.31 - rasm

$$i = i_1 + i_2,$$

$$u = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt},$$

$$u = r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt},$$

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2,$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{U} &= r_1 \underline{I}_1 + jx_1 \underline{I}_1 \pm jx_M \underline{I}_2, & \underline{U} &= \underline{Z}_1 \underline{I}_1 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_2 \\ \underline{U} &= r_2 \underline{I}_2 + jx_2 \underline{I}_2 \pm jx_M \underline{I}_1. & \text{yoki} & \underline{U} &= \underline{Z}_2 \underline{I}_2 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_1 \end{aligned} \right\},$$

bunda $\underline{Z}_1 = r_1 + jx_1$, $\underline{Z}_2 = r_2 + jx_2$, $\underline{Z}_M = \pm jx_M$.

Agar o'zinduksiya va o'zaro induksiya magnit oqimlari yo'nalishlari mos tushsa, u holda x_M "musbat", aks holda, esa- "manfiy" ishora bilan olinadi. So'ngi tenglamalar sistemasini I_1 va I_2 toklarga nisbatan yechib, quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\underline{I}_1 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_2 \mp \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}, \quad \underline{I}_2 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_1 \mp \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}.$$

Umumiy tok \underline{I} esa:

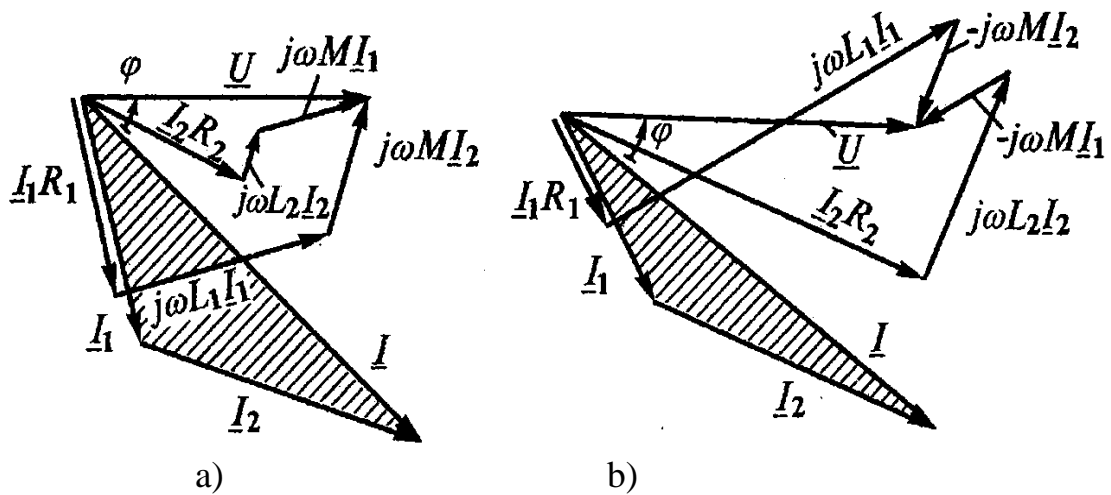
$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \mp 2\underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}.$$

Zanjirning kirish qarshiligi:

$$\underline{Z}_{kir} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \mp 2\underline{Z}_M}.$$

Agar $r_1 = r_2 = 0$ bo'lsa, u holda:

$$\underline{L}_1 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_2 \mp M}, \quad \underline{L}_2 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 \mp M}, \quad \underline{L} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M}.$$



2.32-rasm

2.32-rasmda o'zaro parallel ulangan va induktiv bog'langan ikkita g'altak vektor diagrammalari qurilgan: a)-mos; b)- qarama-qarshi ulangan zanjirlar uchun.

Vektor diagrammalarni qurishda manba kuchlanishi vektori \underline{U} ning boshlang'ich fazasi nolga teng deb olingan.

O'zaro induktiv bog'langan zanjirlarni hisoblash

Tarmoqlangan induktiv bog'langan zanjirlarni Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari asosida yoki kontur toklar usulida hisoblash mumkin. Tugun potentsiallar usulini bevosita qo'llab bo'lmaydi, chunki bir shoxobchadagi tok nafaqat shu shoxobchadagi EYuK va shoxobcha ulangan tugunlarning potentsiallariga, balki boshqa induktiv bog'langan shoxobchalardagi toklar o'zgarishiga ham bog'liqdir. Ekvivalent generator usulini esa, faqat ikki qutblikka tegishli bo'lmagan shoxobcha ikki qutblik tarkibiga kiradigan boshqa shoxobcha bilan induktiv bog'lanmagan elektr zanjirlarida qo'llash mumkin.

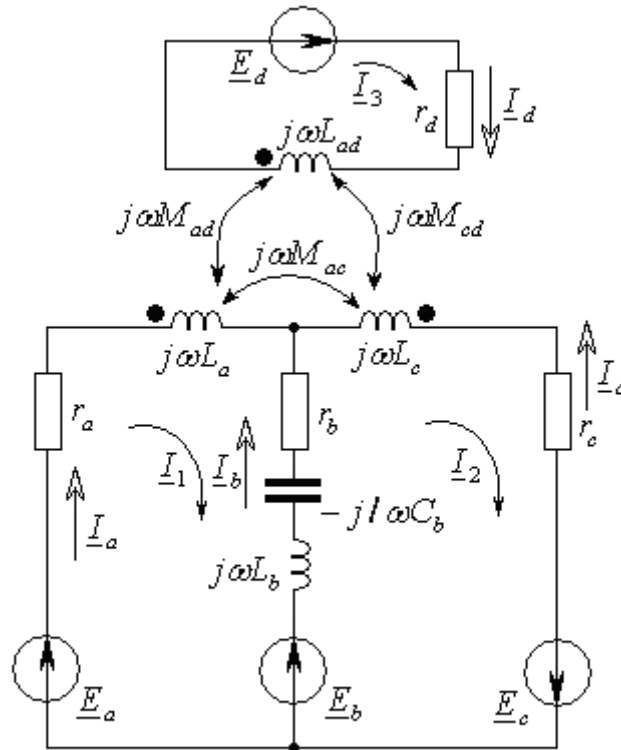
Hisoblash usullarini chegaralaydigan hollardan ozod bo'lish uchun ba'zi bir hollarda induktiv bog'lanishni bartaraf etadigan ekvivalent sxemalariga o'tish zarur bo'ladi.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra tenglama tuzishda o'zaro induksiya EYuKi mos kuchlanish kabi hisobga olinadi. k elementdagi kompleks $\pm j\omega M_{ks} \underline{I}_s$ kuchlanish ishorasi k elementini aylanib chiqishda s -elementdagi tokning musbat yo'nalishini ham nazarda tutib belgilanadi. Agar bir xil nomlangan qismalarga nisbatan aylanib chiqish yo'nalishi bir xil bo'lsa, u holda $j\omega M_{ks} \underline{I}_s$ ishorasi "musbat", aks holda esa-"manfiy" bo'ladi.

Misol tariqasida 2.33-rasmda keltirilgan zanjir uchun Kirxgof qonunlari asosida tenglamalar tuzamiz. Tenglamalardagi kuchlanishlar ifodalarini konturdagi elementlarning joylashish tartibiga ko'ra yozamiz:

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0,$$

$$\left. \begin{aligned} r_a \underline{I}_a + j\omega L_a \underline{I}_a + j\omega M_{ac} \underline{I}_c - j\omega M_{ad} \underline{I}_d - r_b \underline{I}_b + \frac{j\underline{I}_b}{\omega C_b} - j\omega L_b \underline{I}_b &= \underline{E}_a - \underline{E}_b, \\ j\omega L_b \underline{I}_b + \frac{j\underline{I}_b}{\omega C_b} + r_b \underline{I}_b - j\omega L_c \underline{I}_c + j\omega M_{ac} \underline{I}_a - j\omega M_{cd} \underline{I}_d - r_c \underline{I}_c &= \underline{E}_b + \underline{E}_c, \\ r_d \underline{I}_d + j\omega L_d \underline{I}_d - j\omega M_{ad} \underline{I}_a + j\omega M_{cd} \underline{I}_c &= \underline{E}_d. \end{aligned} \right\}$$



2.33 - rasm

Kirxgofning 2-qonuniga asosan tuzilgan kontur toklar tenglamalari sistemasini ham keltiramiz:

$$\left[r_a + r_b + j \left(\omega L_a + \omega L_b - \frac{1}{\omega C_b} \right) \right] I_1 - \left[r_b - j \left(\omega L_b - \frac{1}{\omega C_b} \right) \right] \times$$

$$\times I_2 - j\omega M_{ad} I_3 = \underline{E}_a - \underline{E}_b;$$

$$- \left[r_b - j \left(\omega L_b - \frac{1}{\omega C_b} \right) \right] I_1 + \left[r_b + r_c + j \left(\omega L_b + \omega L_c - \frac{1}{\omega C_b} \right) \right] \times$$

$$\times I_2 - j\omega M_{cd} I_3 = \underline{E}_b + \underline{E}_c;$$

$$- j\omega M_{ab} I_1 - j\omega M_{cd} I_2 + (r_a + \omega L_d) I_3 = \underline{E}_d;$$

Bu tenglamalarni quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \underline{Z}_{11} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{13} \underline{I}_3 &= \underline{E}_1 \\ \underline{Z}_{21} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{22} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{23} \underline{I}_3 &= \underline{E}_2 \\ \underline{Z}_{31} \underline{I}_1 + \underline{Z}_{32} \underline{I}_2 + \underline{Z}_{33} \underline{I}_3 &= \underline{E}_3 \end{aligned} \right\}$$

Bunda \underline{Z}_{11} , \underline{Z}_{22} va \underline{Z}_{33} -birinchi, ikkinchi va uchinchi konturlarning xususiy kompleks qarshiliklari, $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21}$; $\underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{32}$ va $\underline{Z}_{31} = \underline{Z}_{13}$ -1 va 2, 2 va 3, 3 va 1 qo'shni konturlarning o'zaro kompleks qarshiliklari; E_1 , E_2 , E_3 ,-birinchi, ikkinchi va uchinchi konturlarning kompleks EYuK lari.

Misol uchun:

$$\underline{Z}_{11} = r_a + r_b + j \left(\omega L_a + \omega L_b - \frac{1}{\omega C_b} \right),$$

$$\underline{Z}_{12} = - \left[r_b - j \left(\omega L_b - \frac{1}{\omega C_b} \right) \right],$$

$$\underline{Z}_{13} = -j\omega M_{ad}; \quad \underline{E}_1 = \underline{E}_a - \underline{E}_b.$$

Induktiv bog'langan zanjirlar uchun ham o'zarolik xossasi o'rinlidir. Bu holat o'zgarmas tok zanjirlari uchun o'zarolik xossasining qo'llanishi kabi tushuntiriladi.

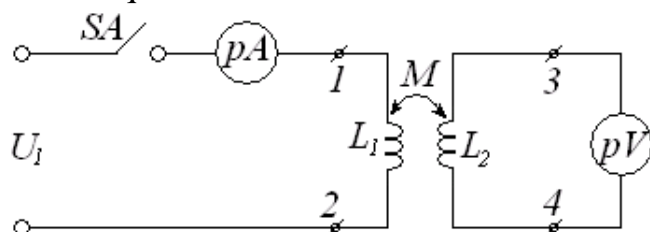
Ma'ruza №17.

Ikki konturli o'zaro induktiv bog'langan zanjirda bir xil nomlangan qismlarni va o'zaro induktivlikni aniqlash usullari

Reja:

1. Induktiv bog'langan zanjirlarning ekvivalent sxemalari.
2. Induktiv bog'langan zanjirlarda energiya uzatish.
3. Induktiv bog'langan konturlarda rezonans. O'zaksiz transformatorlar.
4. Transformatorlarni almashlash sxemasi va vektor diagrammasi.

Induktiv bog'langan g'altaklar bir xil nomlangan qismlarini aniqlash generator, transformator, elektr motor va bir qator radiotexnik hamda elektr o'lchash qurilmalarini normal ishlatish uchun zarur bo'ladi.



2.36 - rasm

Ikki o'zaro induktiv bog'langan g'altaklar bir xil nomli qismlarini tajribada aniqlash juda oson. Buning uchun 2.36-rasmdagi sxemaga binoan o'zgarmas tok manbaining "+" belgili qismasini birinchi g'altakning 1 belgili qismasiga, 2

belgisi qismasini esa, manbaning "-" ishorali qismasiga ulanadi. Noli o'rtada joylashgan o'zgarmas tok voltmetri ikkinchi induktiv g'altakka ulanadi. Agar kalit SA ulanganda voltmetr mili (strelkasi) musbat yo'nalishga, ya'ni o'ngga burilsa, u holda ikkinchi induktiv g'altakning bir xil nomli qismasi 3 bo'ladi. Agar voltmetr strelkasi manfiy yo'nalishga, ya'ni chapga burilsa, u holda bir xil nomli qisma 4 bo'ladi.

a) o'zaro induktivlikni aniqlashning birinchi usuli

Salt ish rejimida ikkinchi induktiv g'altakning qismalarida hosil bo'lgan U_2 kuchlanishni birinchi g'altak chulg'amidan o'tayotgan I_1 tokka nisbatini olib, undan o'zaro induktiv qarshilik x_M ni va o'zaro induktivlik M ni hisoblash mumkin.

$x_M = U_2 / I_1$; $x_M = \omega M$ va bundan $M = x_M / \omega$. Yoki birinchi induktiv g'altak cho'lg'amida hosil bo'lgan kuchlanish U_1 ni ikkinchi g'altakdan o'tayotgan I_2 tok qiymatiga bo'lib, o'zaro induktiv qarshilik x_M va o'zaro induktivlik M ni aniqlash mumkin: $x_M = U_1 / I_2$; $x_M = \omega M$; $M = x_M / \omega$.

b) o'zaro induktivlikni aniqlashning ikkinchi usuli

Buning uchun 2.37-rasmda keltirilgan sxemani yig'amiz va U kuchlanish, I tok va P aktiv quvvatlarni o'zaro induktiv bog'langan ikkita g'altak ketma-ket va mos hamda ketma-ket va qarama-qarshi ulangan holatlarida o'lchaymiz. O'lchash natijalari asosida quyidagilarni hisoblaymiz:

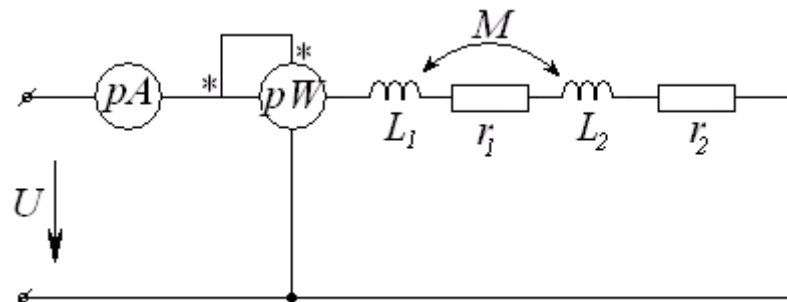
$$\cos \varphi_{mos} = \frac{P_{mos}}{UI_{mos}}; \cos \varphi_{q.q.} = \frac{P_{q.q.}}{UI_{q.q.}},$$

$$z_{mos} = \frac{U}{I_{mos}} = \sqrt{r_{mos}^2 + x_{mos}^2} = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2(L_1 + L_2 + 2M)^2},$$

$$r_{mos} = r_1 + r_2 = z_{mos} \cos \varphi_{mos}; x_{mos} = \omega(L_1 + L_2 + 2M) = z_{mos} \sin \varphi_{mos},$$

$$z_{q.q.} = \frac{U}{I_{q.q.}} = \sqrt{r_{q.q.}^2 + x_{q.q.}^2} = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2(L_1 + L_2 - 2M)^2},$$

$$r_{q.q.} = r_1 + r_2 = z_{q.q.} \cos \varphi_{q.q.}; x_{q.q.} = \omega(L_1 + L_2 - 2M) = z_{q.q.} \sin \varphi_{q.q.}$$



2.37 - rasm

Bu ifodalarda mos indeksi-g'altaklar o'zaro induktiv jihatdan mos, q.q. - indeksi esa, g'altaklar o'zaro qarama-qarshi ulashga taalluqli. O'zaro induktivlik quyidagicha hisoblanadi: $M = (x_{mos} - x_{q.q.}) / 4\omega$.

Bog'lanish koeffitsiyenti esa $k = M / \sqrt{L_1 L_2}$ ga teng bo'ladi.

Induktiv bog'langan zanjirlarning ekvivalent sxemalari

Induktiv bog'langan zanjirlarni tahlil etish va hisoblash birmuncha qiyinchiliklar tug'diradi. Bu ishni soddalashtirish maqsadida induktiv bog'langan zanjirlarni ekvivalent almashtirish usuli qo'llaniladi.

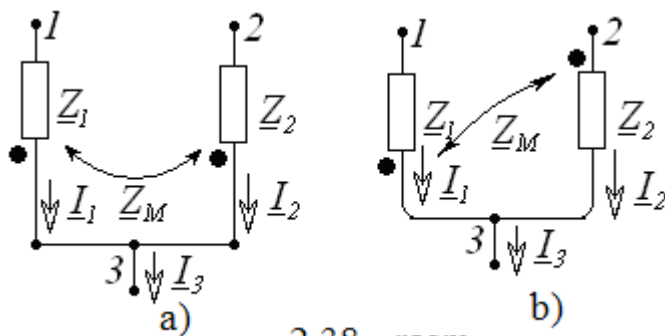
2.38-rasm, a da keltirilgan o'zaro induktiv bog'langan zanjirni induktiv bog'lanmagan zanjirga almashtirishni tahlil qilaylik. Bunda bo'lishi mumkin bo'lgan ikki holatni ko'rib chiqamiz:

1. Elementlarning bir xil nomlangan qismlari umumiy tugunga ulangan sxema (2.38-rasm, a).

2. Elementlarning har xil nomlangan qismlari umumiy tugunga ulangan sxema (2.38-rasm, b).

Agar 3- tugunda faqat uchta shoxobcha ulangan bo'lsa, u holda sxemaga qo'shimcha shoxobcha kiritish shart emas.

1, 3 va 2, 3 qismlar orasidagi kuchlanishlar uchun quyidagi ifodalarni yozish mumkin:



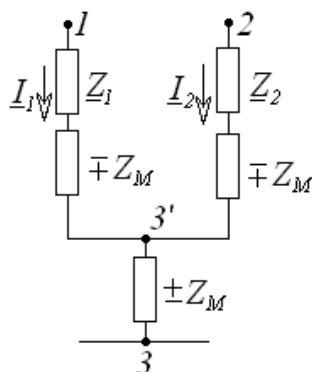
2.38 - rasm

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_{13} &= \underline{Z}_1 \underline{I}_1 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_2, \\ \underline{U}_{23} &= \underline{Z}_2 \underline{I}_2 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_1. \end{aligned} \right\}$$

Ushbu tenglamalardagi "+" ishora bir xil nomlangan qismlar ulangan birinchi holatga, "-" ishora esa har xil nomlangan qismlar ulangan ikkinchi holatga mos keladi. Ishoralarning bunday tartibini keyingi ifodalar uchun ham

qo'llaymiz.

$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 - \underline{I}_3 = 0$ ifodadan foydalanib sistemaning birinchi tenglamasidagi



2.39 - rasm

\underline{I}_2 tokni, ikkinchi tenglamasidan esa \underline{I}_1 tokni istisno qilib, quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_{13} &= (\underline{Z}_1 \mp \underline{Z}_M) \underline{I}_1 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_3, \\ \underline{U}_{23} &= (\underline{Z}_2 \mp \underline{Z}_M) \underline{I}_2 \pm \underline{Z}_M \underline{I}_3. \end{aligned} \right\}$$

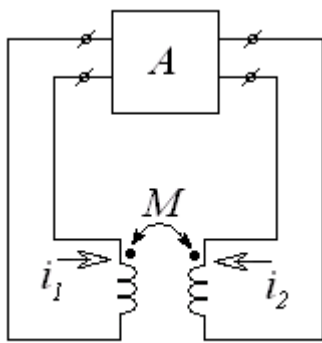
Bundan tashqari quyidagini hosil qilish mumkin:

$$\underline{U}_{12} = (\underline{Z}_1 \mp \underline{Z}_M) \underline{I}_1 - (\underline{Z}_2 \mp \underline{Z}_M) \underline{I}_2.$$

Yuqorida keltirilgan oxirgi uchta tenglama 2.39-rasmdagi sxema uchun o'rinli va shuning uchun ham bu

sxema induktiv bog'lanmagan ekvivalent sxema bo'ladi. Demak, zanjirdagi induktiv bog'lanishni istisno etish uchun \underline{Z}_1 va \underline{Z}_2 qarshilikli shoxobchalarga $\mp \underline{Z}_M$ qo'shimcha qarshiliklar kiritib, 3'-3 tugunlar orasiga esa $\mp \underline{Z}_M$ qarshilikli element kiritish kerak bo'ladi. \underline{Z}_M qarshilik oldidagi "-" ishora bir xil nomlangan qismalar umumiy tugunga ulangan holatga to'g'ri keladi. Induktiv bog'langan elementlar uch qirrali yulduz yoki uchburchak usulida ulangan bo'lsa, yuqorida bayon etilgan ekvivalent almashlash usulidan foydalanib, induktiv bog'lanishi bo'lmagan sxemaga o'tish mumkin. To'rt qirrali yulduz usulida ulangan sxemalarni ekvivalent almashlash birmuncha murakkab, chunki almashlash natijasida induktiv bog'langan elementlar umumiy tuguni bo'lmagan shoxobchalarda joylashgan bo'lib qoladi.

Induktiv bog'langan zanjirlarda energiya uzatish



2.40 - rasm

Ikkita o'zaro induktiv bog'langan elementlarda o'zaro energiya uzatilishini ko'rib chiqamiz. Buning uchun induktiv bog'langan elementlardan tashqari zanjirning qolgan qismini aktiv to'rtqutblik sifatida qaraymiz (2.40-rasm).

Har bir davr mobaynida i_1 va i_2 toklarning o'zgarishi natijasida induktiv bog'langan elementlar magnit maydoni orqali berilayotgan energiya to'rtqutblikka qayta uzatiladi.

Agar i_1 va i_2 toklar orasidagi faza siljish burchagi bir-biriga nisbatan 0 va π oralig'ida bo'lsa, u holda magnit maydonini hosil qilishga sarflanayotgan energiya, maydondan qaytayotgan energiyaga nisbatan ko'proq bo'ladi va aksincha, boshqa elementdan magnit maydoniga berilayotgan energiya maydondan chiqayotgan energiyadan kam bo'ladi. Natijada energiya bir elementdan boshqa elementga uzatilib turadi.

Quyidagi toklar ma'lum bo'lsin: $\underline{I}_1 = I_1 e^{j\psi_1}$ va $\underline{I}_2 = I_2 e^{j\psi_2}$.

O'zaro induksiya ta'sirida birinchi va ikkinchi elementlarda ajraladigan kompleks quvvatlar ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{S}_{1M} &= \underline{U}_{1M} \underline{I}_{-1}^* = j\omega M I_2 I_1 e^{j(\psi_2 - \psi_1)} = \\ &= \omega M I_2 I_1 \sin(\psi_2 - \psi_1) + j\omega M I_2 I_1 \cos(\psi_2 - \psi_1), \\ \tilde{S}_{1M} &= \underline{U}_{2M} \underline{I}_{-2}^* = -j\omega M \underline{I}_{-1} \underline{I}_{-2}^* = -S_{-1M}^* \end{aligned} \right\}$$

bundan

$$P_{1M} = -P_{2M} = \omega M I_2 I_1 \sin(\psi_1 - \psi_2).$$

Sxemada ko'rsatilgan tok va kuchlanishlarning musbat yo'nalishida quvvatlarning musbat qiymati aktiv to'rtqutblikdan elementlarga berilayotgan

energiyaga mos keladi, quvvatlarning manfiy qiymati esa, elementdan to'rtqutblikka uzatiladigan energiyaga mos keladi.

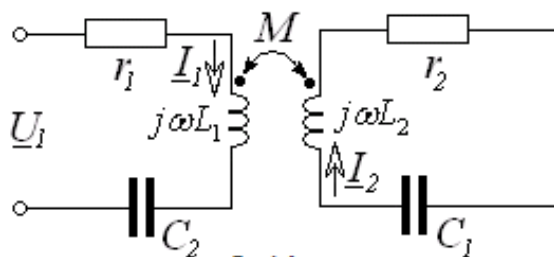
Lekin o'zaro induksiya ta'sirida paydo bo'ladigan va ikkala elementga berilayotgan aktiv quvvat nolga teng, ya'ni $P_{1M} + P_{2M} = 0$ bo'ladi.

Agar $\pi > \psi_1 - \psi_2 > 0$ bo'lsa, u holda $P_{1M} > 0$, $P_{2M} < 0$, ya'ni fizik nuqtai nazardan, energiya to'rtqutblikdan olinib birinchi elementdan ikkinchi element orqali yana to'rtqutblikka qayta uzatiladi. Agar $2\pi > \psi_1 - \psi_2 > \pi$ bo'lsa, u holda $P_{2M} > 0$ va $P_{1M} < 0$ bo'ladi. Bu holda energiya ikkinchi elementdan birinchi element orqali to'rtqutblikka qayta uzatiladi.

Induktiv bog'langan konturlarda rezonans

Amaliyotda radiotexnik va elektron qurilmalarda, konturlari o'zaro induktiv yoki sig'im bog'langan zanjirlar keng qo'llaniladi.

Induktiv bog'langan va reaktiv elementlari o'zaro ketma-ket ulangan zanjirdagi rezonans hodisalarini ko'rib chiqamiz (2.41-rasm).



2.41 - rasm

Zanjir rejimi ikkita tenglama bilan aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} (r_1 + jx_1)I_1 - j\omega M I_2 &= U_1 \\ (r_2 + jx_2)I_2 - j\omega M I_1 &= 0, \end{aligned} \right\}$$

bu yerda $x_1 = \omega L_1 - 1/\omega C_1$,

$$x_2 = \omega L_2 - 1/\omega C_2.$$

Agar konturlarning xususiy burchak chastotalari $\omega_1 = \omega_2 = 1/\sqrt{LC} = \omega_0$ va har bir konturning reaktiv qarshiligi $x=0$ bo'lsa, u holda har bir kontur rezonansga sozlangan bo'ladi. Bunday holat *to'la rezonans* deyiladi. Tenglamadan quyidagini keltirib chiqarish mumkin:

$$I_{1rez} = \frac{r_1 U_1}{(r_1^2 + \omega_0^2 M^2)}.$$

Zanjir rezonansga sozlanganligi uchun bu tokning fazasi U_1 kuchlanishning fazasi bilan bir xil bo'ladi.

Ikkinchi konturdagi tok esa

$$I_{2rez} = j\omega_0 \frac{M I_{1pez}}{r_2} = j\omega_0 \left(\frac{M \eta}{r_2^2 + \omega_0^2 M^2} \right) \frac{U_1}{r_2}.$$

Har qanday boshqa chastotada I_2 tok uchun quyidagini hosil qilish mumkin:

$$I_2 = \frac{j\omega M U_1}{[(r_2 + jx_2)^2 + (\omega^2 M^2)]}.$$

Nisbiy birlikda

$$\begin{aligned} \frac{I_2}{I_{2rez}} &= \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{r_2^2 + \omega_0^2 M^2}{(r_2 + x_2)^2 + \omega^2 M^2} = \omega^* \cdot \frac{1 + \omega_0^2 M^2 / r_2^2}{(1 + x_2 / r_2)^2 + \omega^2 M^2 / r_2^2} = \\ &= \omega^* \cdot \frac{1 + (kQ)^2}{(1 + \xi)^2 + (kQ)^2}, \end{aligned}$$

chunki

$$\frac{\omega_0 M}{r_2} = \frac{\omega_0 L}{r_2} \cdot \frac{M}{L} = kQ,$$

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0} - \text{nisbiy chastota,}$$

Q - har bir konturning asllik koeffitsiyenti,

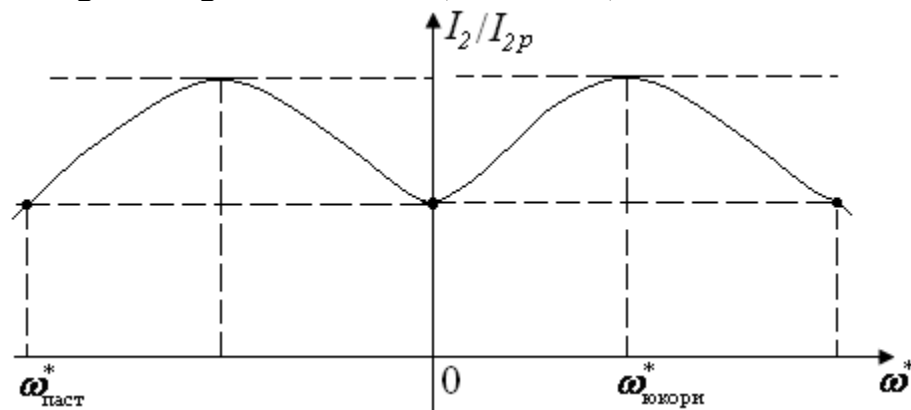
$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} - \text{bog'lanish koeffitsiyenti va}$$

$$\frac{x}{r} = \frac{\omega L - 1 / \omega C}{r} = \frac{\omega^* \omega_0 L - 1 / \omega^* \omega_0 C}{r} = Q \left(\frac{\omega^* - 1}{\omega^*} \right) = \xi - \text{konturning}$$

umumlashgan nosozligi.

Zanjirning rezonans xarakteristikasini qurishda $\omega / \omega_0 = 1$ deb, Q ni hisoblashda esa, $\omega L = \omega_0 L$ deb qabul qilish mumkin.

Konturlar kuchli bog'langan, ya'ni $kQ > 1$ bo'lsa, ikkita maksimumga ega bo'lgan rezonans egri chizig'i hosil bo'ladi (2.42- rasm).



2.42-rasm

Ushbu zanjirning signalni o'tkazish kengligi $(\omega_{yukori}^* - \omega_{past}^*)$, oddiy bir konturli L va C elementlar ketma-ket ulangan zanjirning o'tkazish qobiliyatidan

3,1 marta katta bo'ladi. $kQ < 1$ bo'lganda $\frac{I_2}{I_{2rez}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^4 / 4}}$ va $\xi = \pm \sqrt{2}$

bo'ladi. Bu holda ham o'zaro induktiv bog'langan ikki konturli zanjirning o'tkazish qobiliyati bir konturli zanjirnikidan katta bo'ladi.

Shunday qilib, I_{2rez} tok qiymati konturlarning bog'lanish koeffitsiyentiga bog'liq.

Tokning eng katta qiymati esa $\omega_0 M = r$ shart bajarilganda $I_{2r \max} = U_1 / 2r$ ga teng bo'ladi.

Konturlarda xususiy rezonans rejimini o'rnatish uchun har bir kontur parametrlarini-kondensator sig'imini yoki g'altak induktivligini o'zgartirish mumkin.

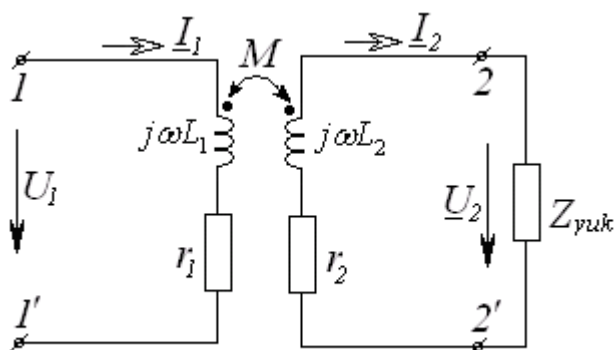
"Murakkab rezonans" esa, bog'lanish koeffitsiyenti va kontur parametrlarini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

O'zaksiz transformatorlar. Transformatorlarni almashlash sxemasi va vektor diagrammasi

O'zaksiz transformatorlar radiotexnikada va o'lchash texnikasida keni qo'llaniladi. Umumiy holda transformator statik elektromagnit qurilma bo'lib, unda elektr energiya zanjirning bir qismidan ikkinchi qismiga o'zaro induktiv bog'lanish yordamida uzatiladi. Transformatorlar induktiv bog'langan bir necha chulg'am (g'altak) lardan iborat bo'lib, ularning induktivligini oshirish va sochilgan magnit oqimlarini kamaytirish maqsadida chulg'amlar umumiy ferromagnit o'zakka joylashtiriladi. Transformator chulg'amlaridan biri energiya manbaiga ulanadi, qolgan chulg'amlariga esa, iste'molchilar ulanadi. Energiya manbaiga ulangan chulg'amni *birlamchi*, qolganlarini esa *ikkilamchi chulg'amlar* deb ataladi. Transformator chulg'amlari bir-biridan elektr izolyasiyalangan bo'lishi kerak. Magnit materiallarining xossalari magnit maydonning kuchlanganligiga bog'liq bo'lganligi uchun, ular shu magnit maydonni hosil qiluvchi toklarga ham bog'liq bo'ladi. Shuning uchun o'zakli transformator umumiy holda noxiziq xarakteristikali qurilmadir. Undagi jarayonlar noxiziq differensial tenglamalar bilan ifodalanadi. Ferromagnit o'zaksiz (havoli) transformatorlarda elektromagnit jarayonlar chiziqli differensial tenglamalar bilan ifodalanadi, shu sababdan bunday transformatorlar *chiziqli transformatorlar* deb ataladi (2.43-rasm).

Ikki chulg'amli chiziqli transformatorni o'zaro induktiv bog'langan ikkita g'altak ko'rinishida qarash mumkin. Transformator chulg'amlaridagi energiya isrofini r_1 va r_2 rezistiv qarshiliklar bilan hisobga olinadi. Induktiv bog'langan zanjir tenglamasidan foydalanib sxemasi 2.43-rasmda keltirilgan ideal zanjir uchun

kuchlanishlar muvozanat tenglamasini tuzamiz:



2.43 - rasm

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ -u_2 &= r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \right\}$$

Tok va kuchlanishlarning kompleks ifodasiga o'tamiz:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= (r_1 + j\omega L_1)\underline{I}_1 - j\omega M \underline{I}_2 \\ -\underline{U}_2 &= [(r_2 + j\omega L_2)]\underline{I}_2 - j\omega M \underline{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Agar tahlil qilinayotgan ikki chulg'amli chiziqli transformatorida ikkilamchi chulg'am toki $\underline{I}_2 = 0$ bo'lsa, u holda transformatorning bu holati uning *salt ish rejimi* deyiladi. Bu rejim uchun birlamchi chulg'am toki \underline{I}_1 ni aniqlaymiz:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{r_1 + j\omega L_1} = \underline{I}_{10}.$$

Transformatorning salt ish rejimida manbadan qabul qilayotgan toki \underline{I}_{10} *magnitlovchi tok deb ataladi*.

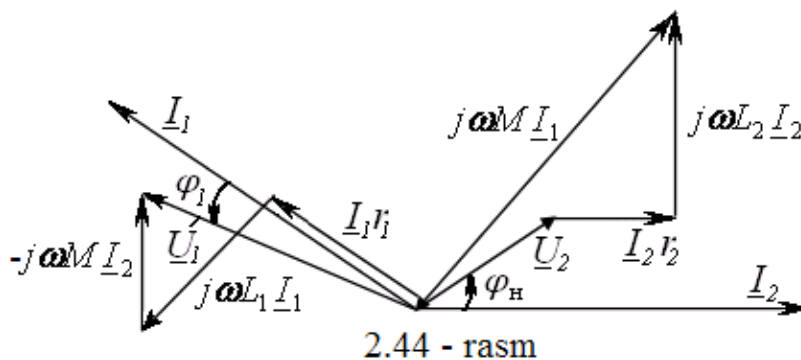
(2.3) tenglamalar sistemasini \underline{U}_1 kuchlanish va \underline{I}_1 tokka nisbatan yechamiz:

$$\underline{U}_1 = \left[\frac{r_1 + j\omega L_1}{j\omega M} + \frac{(r_1 + j\omega L_1)(r_2 + j\omega L_2) + \omega^2 M^2}{j\omega M \underline{Z}_{\text{yok}}} \right] \underline{U}_2,$$

$$\underline{I}_1 = \frac{r_2 + j\omega L_2 + \underline{Z}_{\text{yok}}}{j\omega M} \underline{I}_2.$$

Chiziqli transformatorida \underline{U}_1 kuchlanish va birlamchi chulg'am toki \underline{I}_1 , ikkilamchi chulg'am \underline{U}_2 kuchlanishi va toki \underline{I}_2 ga mos ravishda proporsional bo'lib, proporsionallik koeffitsiyenti ikkala tenglamada ham iste'molchi qarshiligi $\underline{Z}_{\text{yok}} = \underline{U}_2 / \underline{I}_2$ ga bog'liq bo'ladi.

Ferromagnit o'zaksiz transformator vektor diagrammasini quramiz (2.44-rasm).



2.44 - rasm

Bunda iste'molchi $\underline{Z}_{\text{yok}} = \underline{Z}_{\text{yok}} e^{j\varphi_{\text{yok}}}$ ni induktiv xarakterga ega deb faraz qilamiz. Tok \underline{I}_2 ni $+I$ absissa yarim o'qi bo'yicha yo'naltiramiz. Iste'molchidagi kuchlanish $\underline{U}_{\text{yok}}$ tok \underline{I}_2 ga nisbatan

φ_H burchakka oldinda, $r_2 \underline{I}_2$ esa kuchlanishi faza jihatidan tok \underline{I}_2 bilan bir xil bo'ladi. Vektor $j\omega L_2 \underline{I}_2$ esa, tok \underline{I}_2 ga nisbatan 90° oldinda bo'ladi, (2.3) tenglamaga asosan vector $j\omega M \underline{I}_2$ ni shunday o'tkazamizki, unda ikkilamchi zanjir kuchlanishlar vektorlarining yig'indisi nolga teng bo'lsin. \underline{I}_1 tok vektori kuchlanish $j\omega M \underline{I}_1$ vektoridan 90° orqada qoladi. Vektor $r_1 \underline{I}_1$ faza jihatidan \underline{I}_1

tok vektori bilan mos tushadi, vector $j\omega L_1 \underline{I}_1$ esa vektor \underline{I}_1 dan 90° oldinda bo'ladi. $j\omega M \underline{I}_2$ vektori \underline{I}_2 vektorga nisbatan 90° oldinda bo'ladi. Unda $\underline{U}_1 = r_1 \underline{I}_1 + j\omega L_1 \underline{I}_1 + (-j\omega M \underline{I}_2)$.

Elektr zanjirlar nazariyasida "mukammal" va "ideal" transformator tushunchalari katta ahamiyatga ega.

Mukammal transformator deb bog'lanish koeffitsiyenti birga ($k = 1$) teng bo'lgan ideal to'rtqutblikka aytiladi. Demak, bunday transformatorlarda sochilgan magnit oqimlari bo'lmaydi.

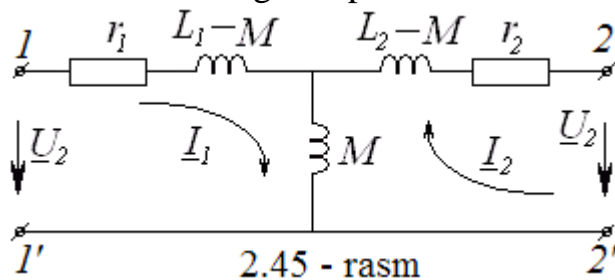
Agar yuqoridagi ifodalarda $r_1 = r_2 = 0$ va $M = \sqrt{L_1 L_2}$ bo'lsa, u holda birlamchi chulg'amdagi tok va kuchlanish mukammal transformator uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$\underline{U}_1 = \left(\sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \right) \underline{U}_2, \underline{I}_1 = \left[\left(\sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \right) + \left(\sqrt{\frac{Z_{yuk}}{j\omega L_1}} \right) \left(\sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \right) \right] \underline{I}_2, n = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{L_2}{M} = \frac{M}{L_1},$$

bu yerda *n-transformatsiya koeffitsiyenti deb* ataladi. Transformatsiya koeffitsiyenti o'ramlar soni orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$n = w_1 / w_2, U_1 = n U_2, \underline{I}_1 = (\underline{I}_2 / n + \underline{I}_{10}) \text{ bo'ladi.}$$

Mukammal transformatorning magnitlovchi toki $\underline{I}_{10} = \underline{U}_1 / j\omega L_1$ ga teng bo'ladi, chunki unda $r_1 = 0$. Birlamchi cho'lg'am kuchlanishining ikkilamchi chulg'am kuchlanishiga nisbati transformatsiya koeffitsiyentiga teng, ya'ni $n = U_1 / U_2$ va u iste'molchi qarshiligiga bog'liq emas. Mukammal transformatorning kompleks almashlash sxemasi 2.45-rasmda keltirilgan.



Agar mukammal transformatorning magnitlovchi toki nolga teng bo'lsa, u holda bunday transformator *ideal transformator* deb ataladi.

$\underline{I}_{10} = U / \omega L_1$ ifodadan ko'rinib turibdiki, agar mukammal transformatorlarda $L_1 = \infty$ bo'lsa, u

holda uning magnitlovchi toki nolga teng bo'ladi.

Demak, ideal transformator tenglamalarini quyidagicha yozish mumkin $U_1 = n U_2$.

Oniy qiymatlar uchun esa: $i_1 = i_2 / n, u_1 = n u_2$ bo'ladi.

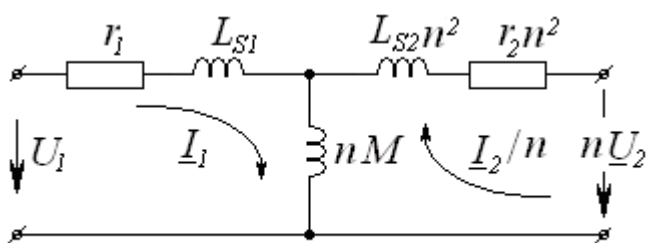
Agar ideal transformator 2-2' qismlariga $Z_{yuk} = \underline{U}_2 / \underline{I}_2$ kompleks qarshilikli istemolchi ulangan bo'lsa, u holda transformatorning 1-1' qismlari tomonidan kirish qarshiligi $Z_{kir.} = \underline{U}_1 / \underline{I}_1 = \underline{U}_2 n^2 / \underline{I}_2 = n^2 Z_{yuk}$ bo'ladi.

Shunday qilib, iste'molchi qarshiligi qanday xarakterda bo'lsa, transformatorning kirish qarshiligi shunday xarakterda bo'ladi, ammo uning moduli n^2 marta farq qiladi. Transformatorlarning qarshiliklar "modulini" o'zgartirish xususiyati radiotexnika qurilmalarida keng qo'llaniladi. Manba qarshiligini iste'molchi qarshiligi bilan moslashda real transformatorida ideal transformatorga qaraganda quvvat isrofi yuzaga keladi, ba'zi hollarda esa transformatorning cho'lg'amlarida sig'im qarshiliklar paydo bo'lib, induktivligi chegara qiymatga ega bo'ladi va sochilgan magnit maydonlar nolga teng bo'lmaydi. Bunday holat yuqori chastotada sodir bo'ladi. Demak, bunday holatni real transformatorlarda hisobga olish kerak bo'ladi.

Agar kuchlanishlar muvozanati tenglamalari (2.3) ning birinчисiga $j\omega M I_1$ ni, ikkinчисiga esa $j\omega M I_2$ ni qo'shib va ayirsak, u holda quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= [r_1 + j\omega(L_1 - M) + j\omega M] \underline{I}_1 - j\omega M \underline{I}_2 \\ -\underline{U}_2 &= [r_2 + j\omega(L_2 - M) + j\omega M] \underline{I}_2 - j\omega M \underline{I}_1 \end{aligned} \right\}.$$

Bu tenglamalar tegishli konturlarning tenglamasi bo'lib, 2.45-rasmda keltirilgan sxemaga taalluqli va uni ferromagnit o'zaksiz transformatorning almashlash sxemasi sifatida qarashimiz mumkin. Sxemaga kiruvchi $L_1 - M$ va $L_2 - M$ kattaliklar faqat birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'ramlar soni bir-biriga teng ($w_1 = w_2$) bo'lganda, ma'lum fizik ma'noga ega ekanligi rasmdan ko'rinib turibdi. Sochilgan induktivliklar L_{S1} va L_{S2} transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlariga tegishli bo'ladi. Agar birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'ramlar soni teng bo'lmasa, u holda transformatorning keltirilgan almashlash sxemasidan foydalaniladi. Bunday sxema 2.46 - rasmda ko'rsatilgan.



2.46 - rasm

Ikkilamchi chulg'amning kuchlanishi U_2 va toki I_2 birlamchi chulg'amga keltiriladi va tegishli kattaliklar bilan almashtiriladi: U_2 kuchlanish n ga ko'paytiriladi, toki esa n ga bo'linadi. Unda tenglamalar

sistemi quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= (r_1 + j\omega L_1) \underline{I}_1 - j\omega \frac{nM}{n} \underline{I}_2; \\ -n\underline{U}_2 &= n^2(r_2 + j\omega L_2) \underline{I}_2 / n - j\omega nM \underline{I}_1. \end{aligned}$$

Bularni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\underline{U}_1 = [r_1 + j\omega(L_1 - nM)] \underline{I}_1 + j\omega nM \underline{I}_1 - j\omega nM \frac{\underline{I}_2}{n},$$

$$-n\underline{U}_2 = n^2[r_2 + j\omega(L_2 - M/n)]\frac{\underline{I}_2}{n} + j\omega nM\frac{\underline{I}_2}{n} - j\omega nM\underline{I}_1.$$

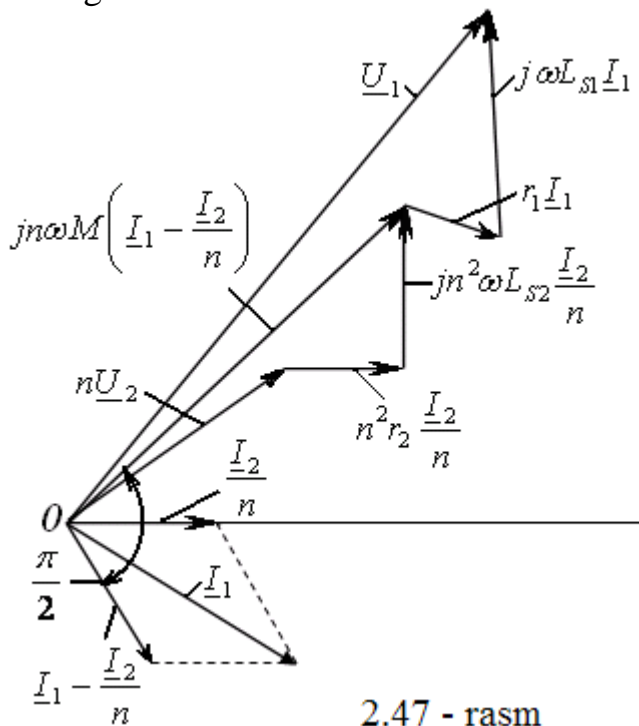
Bu tenglamalar transformatorning keltirilgan almashlash sxemasining konturlari tenglamasini tashkil etadi (2.46- rasm). Transformatorning birlamchi chulg'amga keltirilgan almashlash sxemasi quyidagi qismlardan iborat: birlamchi cho'lg'amning r_1 -aktiv qarshiligi va L_{S1} -sochilgan induktivligi; ko'ndalang shoxobcha induktivligi- $(w_1 / w_2)M$ (bu shoxobcha magnitlovchi shoxobcha deb ataladi). Birlamchi chulg'amga keltirilgan parametrlar r_2 va L_{S2} larni n^2 ga bo'lish bilan aniqlanadi. ωL_{S1} va ωL_{S2} lar transformator birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining sochilgan induktiv qarshiliklari, $n\omega M$ esa magnitlovchi shoxobcha induktiv qarshiligi hisoblanadi.

Magnitlovchi kuch transformatorning umumiy magnit oqimini aniqlaydi va u birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda toklar qarama-qarshi yo'nalgan bo'lganda quyidagicha aniqlanadi:

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = \left(i_1 - \frac{w_2}{w_1} i_2 \right) w_1 = \left(i_1 - \frac{i_2}{n} \right) w_1.$$

$(i_1 - i_2/n)$ toklar va ularga mos $(\underline{I}_1 - \underline{I}_2/n)$ kompleks toklar birlamchi chulg'amga keltirilgan sxemada magnitlovchi shoxobchadan o'tadi va transformatorning *magnitlovchi toki deb ataladi*.

2.46-rasmda keltirilgan sxema uchun vektorlar diagrammasi 2.47-rasmda keltirilgan.



2.47 - rasm

Vektor diagrammani qu-rishda ikkilamchi chulg'am kuchlanishi va toki birlamchi chulg'amga keltirilgan parametrlariga mos qilib olinadi. Keltirilgan aktiv qarshilik $n^2 r_2$ va sochilgan induktiv qarshilik $n^2 \omega L_{S2}$ lardagi kuchlanishlar tushuvi geometrik qo'shiladi, keltirilgan ikkilamchi kuchlanish nU_2 bilan bu chulg'amda hosil bo'lgan kuchlanish-larning geometrik yig'indisi magnitlovchi tokni magnitlash shoxobchasida hosil qilgan kuchlanish tushuviga $j\omega nM(\underline{I}_1 - \underline{I}_2/n)$ teng bo'ladi;

bu holda magnitlovchi tok undan hosil bo'lgan kuchlanish tushuvidan 90° orqada bo'ladi. Birlamchi tok ikkilamchi keltirilgan tok bilan magnitlovchi tokni geometrik yig'indisiga teng, ya'ni:

$$(\underline{I}_1 - \underline{I}_2 / n) + \underline{I}_2 / n = \underline{I}_1.$$

Birlamchi chulg'amning aktiv qarshiligidagi va sochilgan induktiv qarshiligidagi kuchlanishlar tushuvi geometrik qo'shiladi va magnitlovchi shoxobcha kuchlanishi bilan birlamchi kuchlanishni hosil qiladi.

Ma'ruza №18.

To'rtqutbliklar

Reja:

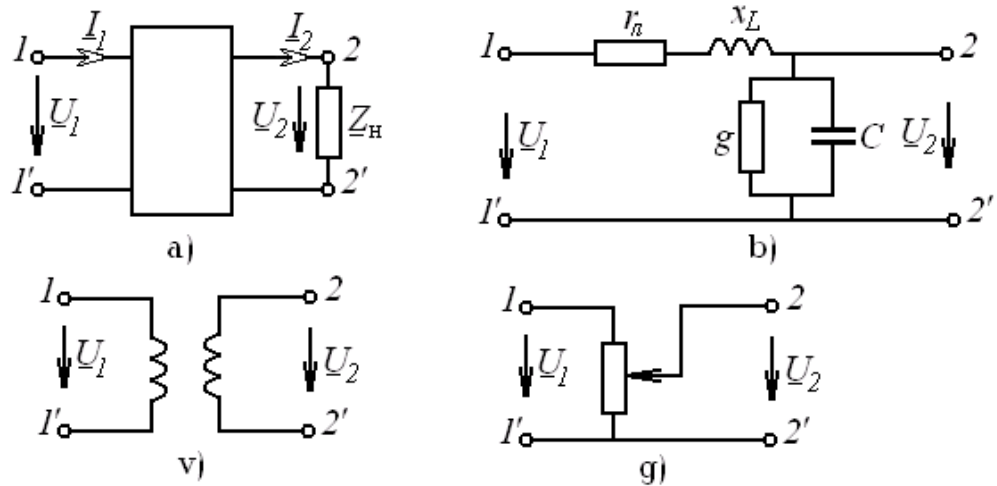
1. To'rtqutblikning *T*-simon almashlash sxemasi.
2. To'rtqutblikning *II*-simon almashlash sxemasi.
3. To'rtqutblik koeffitsiyentlarini tajriba yordamida aniqlash.
4. To'rtqutblikning salt ishlash va qisqa tutashishi. Istalgan yuklama uchun to'rtqutblikning kirish qarshiligi.

Umumiy ma'lumotlar

Ikkita kirish va ikkita chiqish qismlariga ega bo'lgan zanjirning qismi to'rtqutblik deb ataladi. Bunda to'rtqutblikning energiya manbaiga ulanadigan qismlari kirish, yuklama ulanadigan qismlari esa chiqish qismlari hisoblanadi.

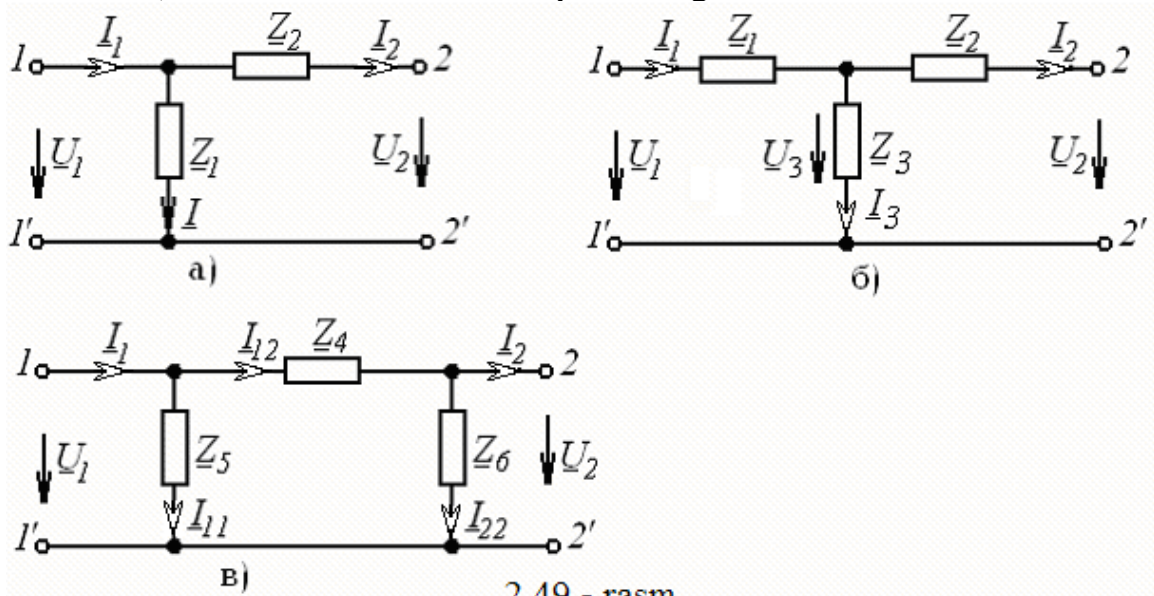
Elektr sxemalarda to'rtqutblik 1-1' kirish va 2-2' qismlari bo'lgan to'g'ri to'rtburchak ko'rinishda belgilanadi (2.48-rasm, a).

Elektr energiyani uzatish liniyasi (2.48-rasm, b), transformator (2.48-rasm, v), rostlanuvchi rezistor (2.48-rasm, g), to'g'rilagich qurilmasi, ko'prik sxemalari, elektr filtrlar, kuchaytirgichlar va boshqa ko'pgina qurilmalar to'rtqutblik sifatida qaralishi mumkin. Agar to'rtqutblik ichida energiya manbai mavjud bo'lsa, u holda u



2.48-rasm

aktiv, aks holda esa *passiv* deb ataladi hamda to'g'ri to'rtburchak ichiga mos ravishda A va P harfini yozish bilan farqlanadi. Agar to'rtqutblik faqat chiziqli elementlardan tashkil topgan bo'lsa, u holda u *chiziqli to'rtqutblik*, tarkibida hech bo'lmaganda bitta nochiziqli elementi bo'lgan to'rtqutblik esa *nochiziqli to'rtqutblik* deb ataladi. Agar to'rtqutblik qismlari o'zaro almashirilganda, ya'ni kirish qismlari yuklamaga, chiqish qismlari energiya manbaiga ulanganda, uning kirish va chiqish toklari o'zgarmasa, u holda bunday to'rtqutbliklar *simmetrik*, aks holda esa *nosimmetrik* deb ataladi. To'rtqutblik elementlarining o'zaro ulanish sxemalariga ko'ra Γ -simon (2.49-rasm, a), T -simon (2.49-rasm, b) va Π -simon (2.49-rasm, v) almashlash sxemali to'rtqutbliklarga bo'linadi.



2.49 - rasm

To'rtqutblikni hisoblash deganda uning umumlashgan parametrlaridan foydalanib kirish va chiqish tok va kuchlanishlarini topish tushuniladi. Ixtiyoriy passiv to'rtqutblikda kirish toki I_1 va kuchlanishi U_2 , uning chiqish toki I_2 va kuchlanishi U_1 quyidagi *ikkita asosiy tenglama* bilan ifodalanadi:

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2, \quad (2.4)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2, \quad (2.5)$$

bu yerda \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} - to'rtqutblikning kompleks koeffitsiyent (doimiy) lari. Bu koeffitsiyentlar to'rtqutblik elementlarining ulanish sxemalariga va elementlarning xarakteriga bog'liq bo'lib, $\underline{A}\underline{B} - \underline{C}\underline{D} = 1$ munosabat bilan aniqlanadi.

To'rtqutblikning yuqorida keltirilgan asosiy tenglamalari asosida uning turli xil almashlash sxemalarini hosil qilish mumkin. Bu sxemalar to'rtqutblik umumiy xossalarini tahlil qilishni osonlashtiradi. Amaliyotda ko'pincha T -simon va Π -simon almashlash sxemalardan keng foydalaniladi.

To'rtqutblikning T -simon almashlash sxemasi

T -simon almashlash sxemasi uchun to'rtqutblik koeffitsiyentlarini aniqlaymiz (2.49-rasm, b). Kirxgof qonunlariga ko'ra:

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1\underline{Z}_1 + \underline{U}_3 = \underline{I}_1\underline{Z}_1 + \underline{I}_2\underline{Z}_2 + \underline{U}_2, \quad (2.6)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{I}_2 + \frac{\underline{U}_3}{\underline{Z}_3} = \underline{I}_2 + \frac{\underline{I}_2\underline{Z}_2 + \underline{U}_2}{\underline{Z}_3}. \quad (2.7)$$

(2.7) ifodani (2.6) tenglamaga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\underline{U}_1 = \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3}\right)\underline{U}_2 + \underline{I}_2\left(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}\right) = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2,$$

bu yerda $\underline{A} = \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3}\right)$, $\underline{B} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}$.

(2.7) tenglamani quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_3}\underline{U}_2 + \underline{I}_2\left(1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}\right) = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2,$$

bu yerda $\underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_3}$, $\underline{D} = 1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}$.

Yuqoridagi ifodalardan ko'rinib turibdiki, \underline{B} koeffitsiyent qarshilik birligida, \underline{C} -o'tkazuvchanlik birligida bo'lib, \underline{A} va \underline{D} koeffitsiyentlar esa o'lchovsiz kattaliklar hisoblanadi. Simmetrik to'rtqutbliklarda $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$ bo'lib, $\underline{A} = \underline{D}$ shart bajariladi.

Agar to'rtqutblik koeffitsiyentlari ma'lum bo'lsa, u holda T -simon almashlash sxema parametrlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{Z}_1 = \frac{\underline{A}-1}{\underline{C}}, \quad \underline{Z}_2 = \frac{\underline{D}-1}{\underline{C}}, \quad \underline{Z}_3 = \frac{1}{\underline{C}}.$$

Oxirgi munosabatlardan quyidagicha xulosa chiqarish mumkin: to'rtqutblik kirish va chiqish qismlari o'zaro almashtirilsa, \underline{B} va \underline{C} koeffitsiyentlar

o'zgarmaydi, ammo tenglamalarda \underline{A} va \underline{D} koeffitsiyentlar o'rni almashib keladi, ya'ni:

$$\underline{U}_2 = \underline{D}\underline{U}_1 + \underline{B}\underline{I}_1, \quad \underline{I}_2 = \underline{C}\underline{U}_1 + \underline{A}\underline{I}_1. \quad (2.8)$$

To'rtqutblikning Π -simon almashlash sxemasi

Π -simon almashlash sxemasi uchun Kirxgof qonunlari asosida quyidagi tenglamalarni yozish mumkin (2.49-rasm, v):

$$\begin{aligned} \underline{I}_{12} &= \underline{I}_{22} + \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_6} + \underline{I}_2, \\ \underline{U}_1 &= \underline{I}_{12}\underline{Z}_4 + \underline{U}_2 = \left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_6} + \underline{I}_2 \right) \underline{Z}_4 + \underline{U}_2 = \\ &= \underline{U}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_6} \right) + \underline{I}_2 \underline{Z}_4 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2, \end{aligned} \quad (2.9)$$

bu yerda $\underline{A} = 1 + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_6}$, $\underline{B} = \underline{Z}_4$.

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_{11} + \underline{I}_{12} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_5} + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_6} + \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_5} \left(1 + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_6} \right) + \underline{I}_2 \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_5} + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_6} + \underline{I}_2 = \\ &= \underline{U}_2 \left(\frac{\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 + \underline{Z}_6}{\underline{Z}_6 \underline{Z}_5} \right) + \underline{I}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_5} \right) = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2. \end{aligned}$$

Oxirgi tenglamadan:

$$\underline{C} = \frac{\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 + \underline{Z}_6}{\underline{Z}_6 \underline{Z}_5} = \frac{1}{\underline{Z}_6} + \frac{1}{\underline{Z}_5} + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_6 \underline{Z}_5}, \quad \underline{D} = 1 + \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_5}.$$

O'z navbatida agar \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} koeffitsiyentlar ma'lum bo'lsa, u holda Π -simon almashlash sxemasi parametrlari quyidagicha topiladi:

$$\underline{Z}_4 = \underline{B}, \quad \underline{Z}_5 = \frac{\underline{B}}{\underline{D} - 1}, \quad \underline{Z}_6 = \frac{\underline{B}}{\underline{A} - 1}.$$

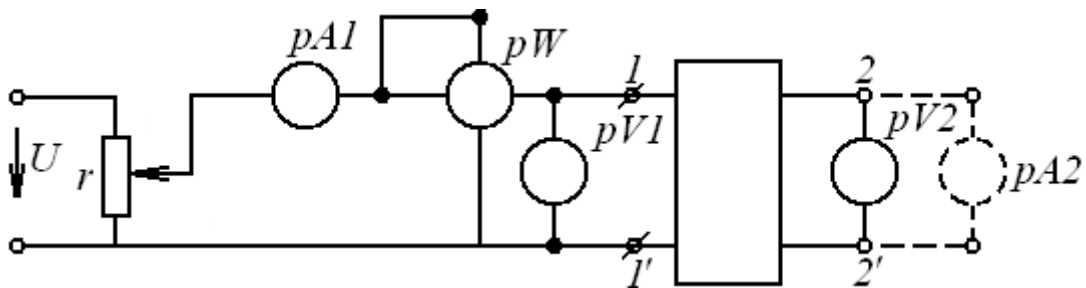
Agar $\underline{Z}_5 = \underline{Z}_6$ shart bajarilsa, unda to'rtqutblik simmetrik bo'lib, $\underline{A} = \underline{D}$ bo'ladi.

To'rtqutblik koeffitsiyentlarini tajriba yordamida aniqlash

Passiv to'rtqutblik kompleks koeffitsiyentlarini tajriba yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun to'rtqutblik parametrlari qiymatlari va elementlarining ulanish sxemasini bilish shart emas.

A, B, C, D koefitsiyentlarni topish formulalarini salt ish va qisqa tutashish tajribalari natijalariga asoslanib hosil qilish mumkin. Tajriba o'tkaziladigan sxema 2.50-rasmda keltirilgan.

1. *To'rtqutblik kirish qismlari manbaga ulangan holat uchun salt ish tajribasi.* Qarshiligi rostlanadigan rezistor R yordamida to'rtqutblik kirishiga U_{2nom} kuchlanishga teng bo'lgan kuchlanish beriladi va o'lchov asboblari yordamida U_{10} , I_{10} va φ_{10} lar aniqlanadi. Salt ish rejimida $I_{20}=0$ bo'lganligi sababli (2.4) va (2.5) tenglamalar quyidagi ko'rinishda yoziladi:



2.50-rasm

$$\underline{U}_{10} = \underline{A} \underline{U}_{2n}, \quad \underline{I}_{10} = \underline{C} \underline{U}_{2n}.$$

$$\underline{Z}_{10} = \frac{\underline{U}_{10}}{\underline{I}_{10}} = \frac{\underline{U}_{10}}{\underline{I}_{10}} \cdot e^{j\varphi_{10}} = \frac{\underline{A} \underline{U}_{2n}}{\underline{C} \underline{U}_{2n}} = \frac{\underline{A}}{\underline{C}}. \quad (2.10)$$

2. *To'rtqutblik kirish qismlari manbaga ulangan holat uchun qisqa tutashish tajribasi.* Bu tajribani o'tkazish uchun to'rtqutblik chiqish qismlariga ampermetr ulab uning kirishiga shunday kuchlanish beramizki, bunda to'rtqutblik chiqishidagi tok I_{2nom} ga teng bo'lsin. O'lchov asboblari yordamida U_{1q} , I_{1q} va φ_{1q} larni topamiz. Qisqa tutashish rejimida $U_{2q}=0$ bo'lganligi sababli (2.4) va (2.5) tenglamalar quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\underline{U}_{1q} = \underline{B} \underline{I}_{1q}, \quad \underline{I}_{1q} = \underline{D} \underline{I}_{2n}, \quad \text{bundan}$$

$$\underline{Z}_{1q} = \frac{\underline{U}_{1q}}{\underline{I}_{1q}} = \frac{\underline{U}_{1q}}{\underline{I}_{1q}} \cdot e^{j\varphi_{1q}} = \frac{\underline{B} \underline{I}_{2n}}{\underline{D} \underline{I}_{2n}} = \frac{\underline{B}}{\underline{D}}. \quad (2.11)$$

3. *To'rtqutblik chiqish qismlari manbaga ulangan holat uchun salt ish tajribasi.* To'rtqutblik 2-2' chiqish qismlariga shunday kuchlanish beramizki,

bunda kirish qismalaridagi kuchlanish U_{Inom} ga teng bo'lsin. O'lchov asboblari yordamida U_{20} , I_{20} va φ_{20} ni yozib olamiz. Salt ish rejimida $I_{10}=0$ bo'lganligi uchun (2.8) tenglamalar quyidagicha yoziladi:

$$\underline{U}_{20} = \underline{D}\underline{U}_{1n}, \quad \underline{I}_{20} = \underline{C}\underline{U}_{1n}.$$

To'rtqutblikning chiqish qismalari tomonidan kirish qarshiligi:

$$\underline{Z}_{20} = \frac{\underline{U}_{20}}{\underline{I}_{20}} = \frac{U_{20}}{I_{20}} \cdot e^{j\varphi_{20}} = \frac{\underline{D}}{\underline{C}} \frac{\underline{U}_{1n}}{\underline{U}_{1n}} = \frac{\underline{D}}{\underline{C}}. \quad (2.12)$$

4. To'rtqutblik chiqish qismalari manbaga ulangan holat uchun qisqa tutashish tajribasi. (2.8) tenglamalar $U_{1q}=0$ bo'lganda $\underline{U}_{2q} = \underline{B}\underline{I}_{1n}$, $\underline{I}_{2q} = \underline{A}\underline{I}_{1n}$.

Kirish qarshiligi:

$$\underline{Z}_{2q} = \frac{\underline{U}_{2q}}{\underline{I}_{2q}} = \frac{U_{2q}}{I_{2q}} \cdot e^{j\varphi_{2q}} = \frac{\underline{B}}{\underline{A}} \frac{\underline{I}_{1n}}{\underline{I}_{1n}} = \frac{\underline{B}}{\underline{A}}. \quad (2.13)$$

(2.10)...(2.13) tenglamalar o'zaro $\underline{Z}_{1q} / \underline{Z}_{10} = \underline{Z}_{2q} / \underline{Z}_{20}$ munosabat bilan bog'langanligini inobatga olsak, unda \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} koeffitsiyentlarni topish mumkin. (2.10)...(2.13) tenglamalarni $\underline{A}\underline{D} - \underline{B}\underline{C} = 1$ tenglama bilan birgalikda yechib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\underline{A} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{10}}{\underline{Z}_{20} - \underline{Z}_{2q}}}, \quad \underline{B} = \underline{A}\underline{Z}_{2q}, \quad \underline{C} = \frac{\underline{A}}{\underline{Z}_{10}}, \quad \underline{D} = \underline{C}\underline{Z}_{20}.$$

Shunday qilib, to'rtqutblikning \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} koeffitsiyentlarini aniqlash uchun yuqorida keltirilgan tajribalardan uchtasini, simmetrik to'rtqutblik uchun esa ikkitasini o'tkazish kifoya.

To'rtqutblikning salt ishlash va qisqa tutashishi

(2.4) va (2.5) tenglamalardan ko'rinib turibdiki, to'rtqutblik kirishidagi kuchlanish ham tok ham ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'lib, ulardan biri U_2 kuchlanishga, ikkinchisi esa I_2 tokka proporsional.

To'rtqutblikning ikkita: *salt ish* va *qisqa tutashish* chegaraviy rejiminlarini ko'rib chiqamiz. Salt ish rejimida to'rtqutblik chiqishidagi kuchlanish uning normal ish rejimidagi nominal kuchlanishga, qisqa tutashish rejimida to'rtqutblik chiqish toki normal ish rejimidagi tokka teng qilib olinadi:

$$\underline{U}_{10} = \underline{A}\underline{U}_2, \quad \underline{U}_{1q} = \underline{B}\underline{I}_2, \quad \underline{I}_{10} = \underline{C}\underline{U}_2, \quad \underline{I}_{1q} = \underline{D}\underline{I}_2. \quad (2.14)$$

(2.14) va (2.8) tenglamalarni o'zaro taqqoslab, \underline{U}_1 kuchlanish va \underline{I}_1 tok salt ish va qisqa tutashish rejimlaridagi mos ravishda kuchlanishlar va toklar yig'indisiga tengligiga ishonch hosil qilish mumkin, ya'ni:

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2 = \underline{U}_{10} + \underline{U}_{1q}, \quad \underline{I}_1 = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2 = \underline{I}_{10} + \underline{I}_{1q}.$$

Shunday qilib, to'rtqutblik kirish qismidagi kuchlanish va tokni salt ish va qisqa tutashish rejimlari natijalarini ustma-ustlab aniqlash mumkin.

Katta quvvatli elektrotexnik qurilmalarni sinovdan o'tkazishda ustma-ustlash prinsipini qo'llash alohida ahamiyatga ega. Chunki salt ish va qisqa tutashish tajribalarini o'tkazishda yuklama rejimidagiga nisbatan ancha kam quvvatli energiya manbaini talab qiladi va bunda elektrotexnik qurilmalarni sinovdan o'tkazishda katta miqdorda elektr energiya tejaladi.

Istalgan yuklama uchun to'rtqutblikning kirish qarshiligi

To'rtqutblik ish rejimini tavsiflashda ko'pincha uning kirish qarshiligi tushunchasidan foydalaniladi. To'rtqutblik kirish kuchlanishi \underline{U}_1 ning kirish toki \underline{I}_1 ga nisbati uning *kirish qarshiligi* deb ataladi. Bunda manba to'rtqutblikning kirish qismlariga ulangan deb hisoblanadi. Demak:

$$\underline{Z}_{kir(1)} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2}{\underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2} = \frac{\underline{A}\underline{Z}_n + \underline{B}}{\underline{C}\underline{Z}_n + \underline{D}}, \quad (2.15)$$

bu yerda $\underline{Z}_n = \underline{U}_2 / \underline{I}_2$.

Xuddi shuningdek, manba to'rtqutblikning chiqish qismlariga ulangandagi kirish qarshiligi quyidagiga teng:

$$\underline{Z}_{kir(2)} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \frac{\underline{D}\underline{U}_1 + \underline{B}\underline{I}_1}{\underline{A}\underline{U}_1 + \underline{C}\underline{I}_1} = \frac{\underline{D}\underline{Z}_n + \underline{B}}{\underline{C}\underline{Z}_n + \underline{A}}. \quad (2.16)$$

(2.15) va (2.16) tenglamalardagi \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} koeffitsiyentlar o'rniga (2.10)...(2.13) ifodalarini qo'yib, amalda ko'p uchraydigan quyidagi munosabatlarni hosil qilishimiz mumkin:

$$\underline{Z}_{kir(1)} = \frac{\underline{A}(\underline{Z}_n + \underline{B}/\underline{A})}{\underline{C}(\underline{Z}_n + \underline{D}/\underline{C})} = \underline{Z}_{10} \frac{\underline{Z}_n + \underline{Z}_{2q}}{\underline{Z}_n + \underline{Z}_{20}},$$

$$\underline{Z}_{kir(2)} = \frac{\underline{D}(\underline{Z}_n + \underline{B}/\underline{D})}{\underline{C}(\underline{Z}_n + \underline{A}/\underline{C})} = \underline{Z}_{20} \frac{\underline{Z}_n + \underline{Z}_{1q}}{\underline{Z}_n + \underline{Z}_{10}}.$$

Ma'ruza №19

Uch fazali zanjirlar. Uch fazali tizimlar. Uch fazali sinxron generator

Elektr energiya asosan uch fazali manbalar, uzatish liniyalari va iste'molchilar yordamida ishlab chiqariladi, uzatiladi va iste'mol qilinadi. Bu holat uch fazali tizimlarni bir fazalilarga nisbatan quyidagi bir qator afzalliklari bilan izohlanadi:

1. Elektr energiya uch fazali toklar sistemasi ko'rinishida uzatilganda bir fazali tok ko'rinishida uzatilgandagiga nisbatan qariyb 50% rangli metall tejaladi;

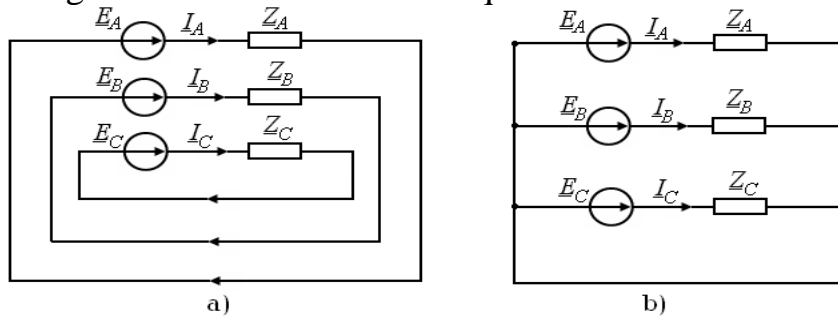
2. Uch fazali toklar sistemasi tuzilishi jihatdan sodda, yaxshi ish xarakteristikalariga ega bo'lgan, ishlashda ishonchli va arzon hamda bir necha 10 Vt dan 100 kVt va undan katta quvvatli motorlar, transformatorlar va boshqa qurilmalarni yaratish imkonini beradi;

3. Uch fazali simmetrik va to'rt simli nosimmetrik sistemada bir-biridan $\sqrt{3}$ ga farq qiluvchi ikkita kuchlanishdan foydalanish mumkin bo'ladi.

Uch fazali zanjirlarni hisoblash bir fazali sinusoidal tok zanjirlarini hisoblashga o'xshash bo'lsa-da, zanjirda boshlang'ich fazalari har xil bo'lgan bir nechta EYuK va toklar ishtirokini hisoblashni ancha murakkablashtiradi.

Uch fazali tizimlar. Uch fazali sinxron generator

Bir xil chastotali va fazalari bo'yicha o'zaro siljigan sinusoidal EYuK lar ta'sirida bo'lgan uchta zanjirlar majmuasi sinusoidal tok uch fazali tizimlari deb ataladi. Agar uch fazali tizimni hosil qiluvchi



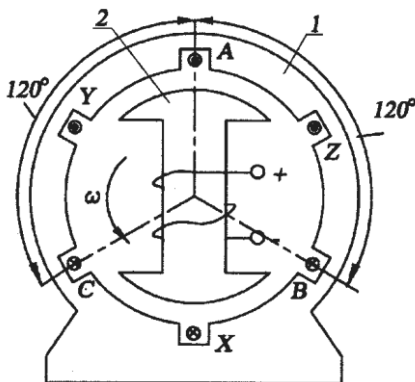
3.1 – rasm

zanjirlar elektr

jihtadan o'zaro ulanmagan bo'lsa, u holda bunday tizim bog'lanmagan uch fazali tizim deb ataladi (3.1 a-rasm). Amaliyotda ko'pincha bog'langan uch fazali tizimlar qo'llaniladi. Bunda toklarni manbaga qaytishi uchun uchta emas, balki ko'pi bilan bitta simdan foydalaniladi (3.1 b-rasm).

Uch fazali tizimlarni birinchi bo'lib mashhur rus olimi M. O. Dolivo-Dobrovolskiy (1862-1919) yaratgan. 1891 yilda bu olim uch fazali tizimlarning barcha zvenolari - generator, transformator va motorlarni ishlab chiqqan.

Uch fazali tok elektr energiyasi uch fazali sinxron generatorlar yordamida ishlab chiqariladi. Bu generator asosan ikkita qismdan - qo'zg'almas stator 1 va aylanuvchan rotor 2 dan iborat bo'ladi (3.2- rasm).



3.2-rasm

Rotor chulg'ami o'zgarmas tok manbaidan ta'minlanadi va ushbu tok rotor va statorni kesib o'tuvchi doimiy magnet oqimini hosil qiladi.

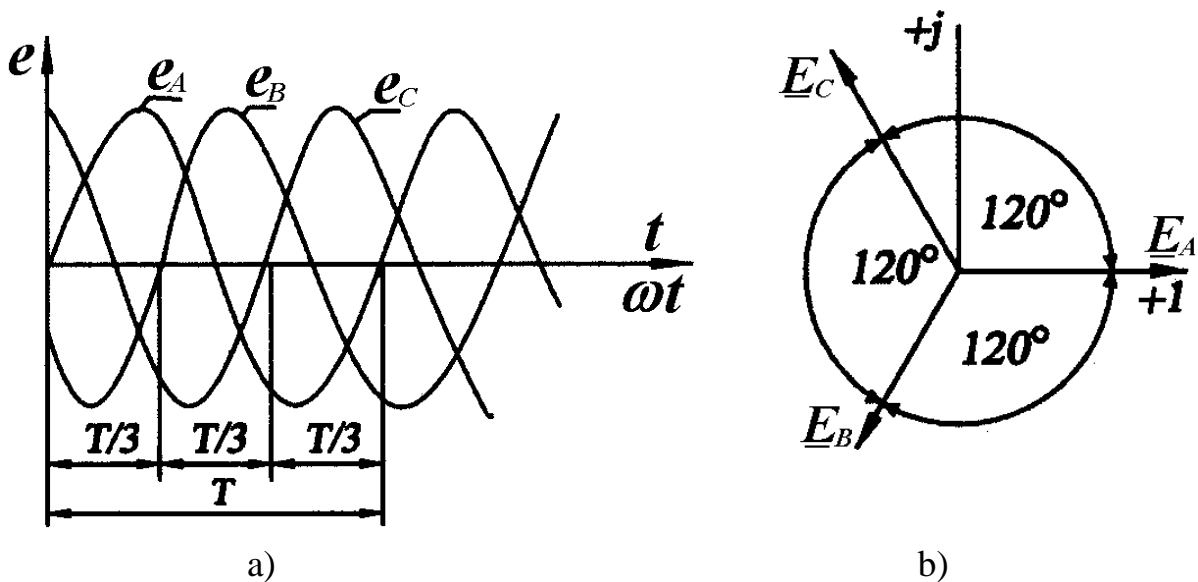
Statorda bir-biridan 120^0 ga siljigan uchta chulg'am joylashtiriladi. 3.2-rasmda bu chulg'amlar statorning uchta diametral qarama-qarshi pazlarida joylashtirilgan holatda ko'rsatilgan. Chulg'amlar boshlari A, B, C, oxirlari esa X, Y, Z harflari bilan belgilanadi.

Elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra bu chulg'amlarda qiymatlari teng va fazalari bo'yicha o'zaro 120^0 (davrning uchdan bir bo'lagi)ga siljigan sinusoidal EYuK lar tizimi hosil bo'ladi, ya'ni

$$\begin{aligned}
 e_A &= E_m \sin \omega t, \\
 e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\
 e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ).
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Hosil bo'lgan EYuK larning vaqtga bog'liqlik grafigi 3.3 a-rasmda, kompleks tekislikdagi tasviri esa 3.3 b-rasmda keltirilgan. EYuK lar kompleks qiymatlarini quyidagicha yozish mumkin:

$$\underline{E}_A = E; \underline{E}_B = Ee^{-j120^\circ}; \underline{E}_C = Ee^{-j240^\circ} = Ee^{j120^\circ}.
 \tag{3.2}$$



3.3-rasm

Bir xil chastotali, amplitudali va fazalari bo'yicha o'zaro 120° ga siljigan sinusoidal EYuK lar tizimi uch fazali simmetrik EYuK lar tizimi deb ataladi. Bu tizimning asosiy xususiyati shundan iboratki, vaqtning istalgan paytida EYuK lar oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi, ya'ni

$$e_A + e_B + e_C = 0.
 \tag{3.3}$$

(3.3) ifodaning to'g'riligiga 3.3 a-rasmdagi EYuK lar oniy qiymatlarini istalgan vaqt uchun algebraik qo'shib yoki $\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$ tenglik orqali ishonch hosil qilish mumkin, ya'ni

$$\begin{aligned}
 \underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C &= E + Ee^{-j120^\circ} + Ee^{j120^\circ} = \\
 &= E \left(1 - 0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} - 0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0.
 \end{aligned}$$

EYuK chastotasi generatordagi qutblar soniga va rotorning aylanish chastotasiga bog'liq, ya'ni

$$f = \frac{pn}{60},$$

bu yerda p - juft qutblar soni, n - rotorning aylanish chastotasi.

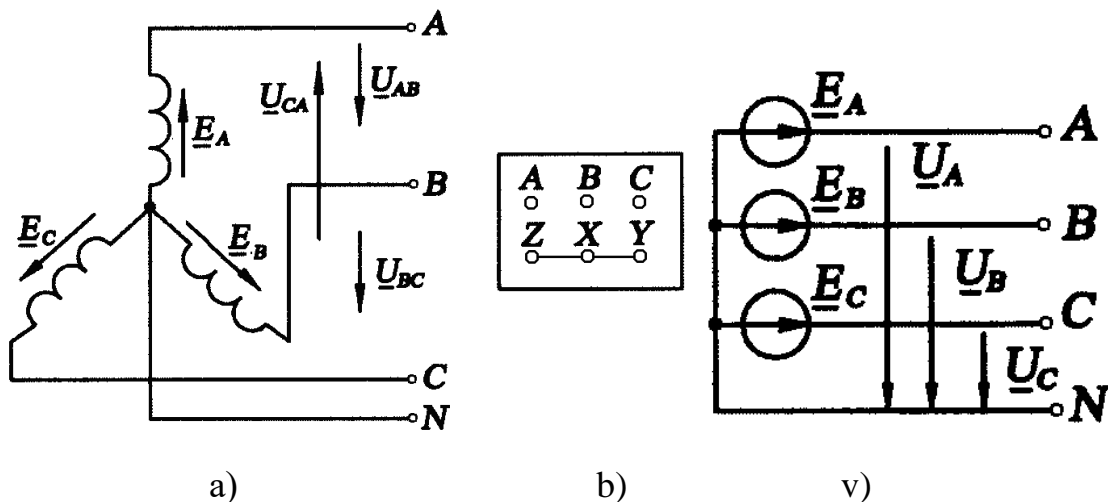
Rotorning konstruktiv tuzilishiga ko'ra sinxron generatorlar ayon va ayon bo'lmagan qutbli generatorlarga bo'linadi.

Ma'ruza №20

Uch fazali zanjirlarning ulanish sxemalari

Uch fazali zanjirlarda generatorlar, motorlar, transformatorlar chulg'amlari va iste'molchilar asosan yulduz va uchburchak sxemalari bo'yicha ulanadi.

Agar generator chulg'amlarining uchlari o'zaro ulansa, u holda yulduz sxema hosil bo'ladi (3.4 a-rasm). Buning uchun elektr mashina va transformatorlar chulg'amlari uchlarini sim bilan ulash yetarli bo'ladi (3.4 b-rasm).



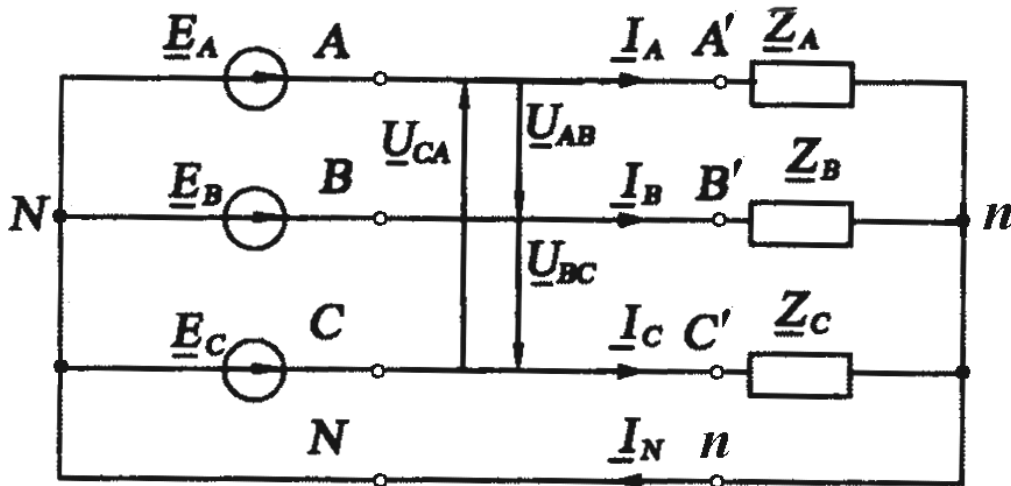
3.4-rasm

Faza chulg'amlarining uchlari o'zaro ulangan umumiy nuqta generator neytral nuqtasi deb ataladi va N harfi bilan belgilanadi. Sxema ko'rinishini soddalashtirish maqsadida generator fazalarini o'zaro 120° burchak ostida emas, balki parallel joylashtiramiz (3.4 v-rasm).

Uch fazali zanjirda yuklama ham yulduz sxemasida ulanishi mumkin. Iste'molchilar fazalari o'zaro ulangan umumiy nuqta iste'molchilar neytral nuqtasi n , uni generator neytral nuqtasi bilan ulab turuvchi Nn sim neytral sim deb ataladi (3.5- rasm). Neytral sim fazalar kuchlanishlarining o'zaro bog'liqsizligini ta'minlaydi.

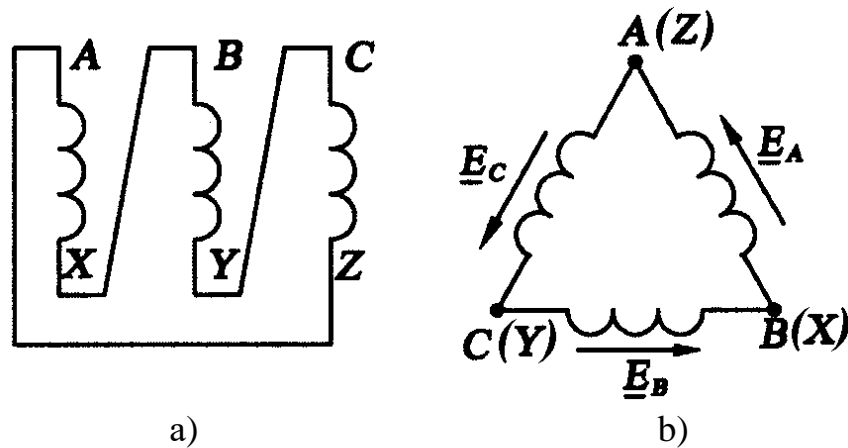
Generator va iste'molchi mos fazalarini ulovchi AA' , BB' , CC' simlar liniya simlari, ulardagi \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C toklar esa liniya toklari deb ataladi. Liniya simlari orasidagi \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} kuchlanishlar liniya kuchlanishlari deb ataladi. Liniya simlaridagi toklarning musbat yo'nalishi generator (manba)dan yuklama (iste'molchi)ga tomon, neytral simdagi tokning musbat yo'nalishi esa yuklamadan generator tomon olinadi. Generator faza chulg'amlaridan yoki iste'molchilardan

o'tayotgan toklar faza toklari deb ataladi. 3.5-rasmdan ko'rinib turganidek, yulduz sxemada liniya toklari faza toklariga teng bo'ladi.



3.5-rasm

Uch fazali generator faza chulg'amlarini uchburchak sxemasi bo'yicha ulash uchun ular o'zaro ketma-ket ulanadi (3.6 a, b- rasm). Uchburchak ulanganda chulg'amlar berk kontur hosil qilsada, konturdagi tok nolga teng, chunki EYuK lar geometrik yig'indisi nolga teng bo'ladi.



3.6-rasm

Uchburchak sxemasida faza kuchlanishi unga mos liniya kuchlanishiga teng, ya'ni $U_\phi = U_\Delta$. Yuklama fazalaridagi I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} toklar faza toklari deb ataladi (3.7 a, b-rasm).

Elektroenergetikada generator chulg'amlari hamda yuklamaning "yulduz-uchburchak", "uchburchak-yulduz", "yulduz-yulduz", "uchburchak-uchburchak" sxemalari keng qo'llaniladi.

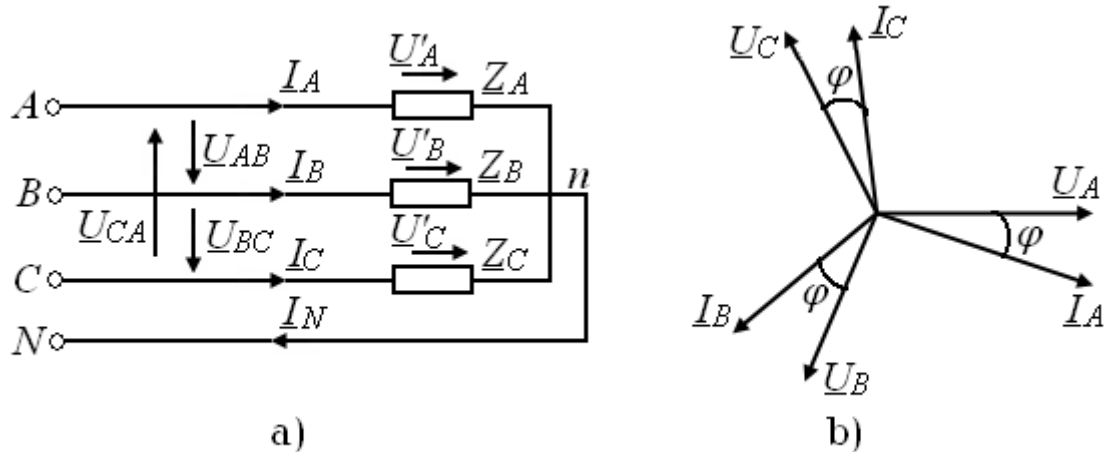
Uch fazali zanjirlarning simmetrik rejimi

Kompleks qarshiliklari o'zaro teng bo'lgan uch fazali yuklama simmetrik kuchlanish (EYuK)lar sistemasidan ta'minlanayotgan uch fazali zanjirning rejimi simmetrik rejim deb ataladi. Bunday zanjir shoxobchalaridan simmetrik toklar o'tadi.

Yuklama yulduz usulda ulangan zanjirda simmetrik rejim

Yulduz usulda ulangan simmetrik zanjirda (3.7 a-rasm)

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = ze^{j\varphi}.$$



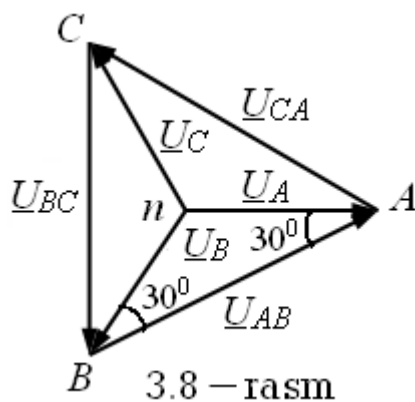
3.7 – rasm

Yuklama qarshiliklari induktiv xarakterga ($\varphi > 0$) ega deb hisoblab, kuchlanishlar va toklar vektor diagrammasini quramiz (3.7 b-rasm). Simmetrik rejimda $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ faza kuchlanishlari simmetrik vektorlar sistemasini hosil qiladi:

$$\underline{U}_A = \underline{U}'_A = U_\varphi, \underline{U}_B = \underline{U}'_B = U_\varphi e^{-j120^\circ}, \underline{U}_C = \underline{U}'_C = U_\varphi e^{j120^\circ}.$$

Har bir fazadagi tok mos faza kuchlanishidan φ burchakka orqada qoladi va toklar ham simmetrik vektorlar sistemasini hosil qiladi (3.7 b-rasm). Kirxgofning

birinchi qonuniga ko'ra $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$, bu yerda \underline{I}_N -neytral simdagi tok. Simmetrik rejimda $\underline{I}_N = 0$, chunki modullari teng va o'zaro 120° ga siljigan vektorlarning yig'indisi nolga teng.



3.8 – rasm

Kuchlanishlar topografik diagrammasi (3.8-rasm) dan ko'rinib turibdiki, liniya kuchlanishlari vektorlari faza kuchlanishlari vektorlari uchlarini birlashtiruvchi vektorlar ko'rinishida bo'ladi. Simmetrik rejimda liniya kuchlanishlarining qiymatlari teng bo'lib, bir-biridan o'zaro 120° ga

siljigan bo'ladi. Topografik diagrammadan:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B, \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C, \underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A,$$

yoki

$$\begin{aligned}\underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_\phi - U_\phi e^{-j120^\circ} = U_\phi (1 - e^{-j120^\circ}) = \\ &= U_\phi \left(1 + 0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = U_\phi \left(\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \sqrt{3} U_\phi \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \right) = \\ &= \sqrt{3} U_\phi e^{j30^\circ}.\end{aligned}$$

Xuddi shunga o'xshash

$$\underline{U}_{BC} = \sqrt{3} \underline{U}_B e^{j30^\circ} = \sqrt{3} U_\phi e^{-j90^\circ},$$

$$\underline{U}_{CA} = \sqrt{3} \underline{U}_C e^{j30^\circ} = \sqrt{3} U_\phi e^{j150^\circ}.$$

Yuqoridagi tengliklardan ko'rinib turibdiki, simmetrik rejimda liniya kuchlanishi faza kuchlanishidan $\sqrt{3}$ marta katta. Buni topografik diagrammadagi teng yonli uchburchak xossasidan foydalanib ham hosil qilishimiz mumkin: AnB

$$\text{uchburchakdan } \cos 30^\circ = \frac{U_{AB}/2}{U_A} = \frac{U_{\mathcal{L}}}{2U_\phi} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{bundan } U_{\mathcal{L}} = \sqrt{3} U_\phi.$$

Diagrammaga ko'ra $\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} + \underline{U}_{CA} = 0$, chunki bu kuchlanishlar har doim yopiq uchburchak hosil qiladi.

$$\text{Demak, yulduz ulangan simmetrik uch fazali zanjirda } U_{\mathcal{L}} = \sqrt{3} U_\phi, \\ I_{\mathcal{L}} = I_\phi.$$

Shuni ta'kidlab o'tish joizki, mamlakatimizda past (1000 B gacha) kuchlanishli zanjirlarda quyidagi nominal liniya va faza kuchlanishlardan foydalaniladi:

$$U_{\mathcal{L}} = 220 \text{ B}, U_\phi = 127 \text{ B}; U_{\mathcal{L}} = 380 \text{ B}, U_\phi = 220 \text{ B}; U_{\mathcal{L}} = 660 \text{ B}, U_\phi = 380 \text{ B}.$$

Yuklama uchburchak usulda ulangan zanjirda simmetrik rejim

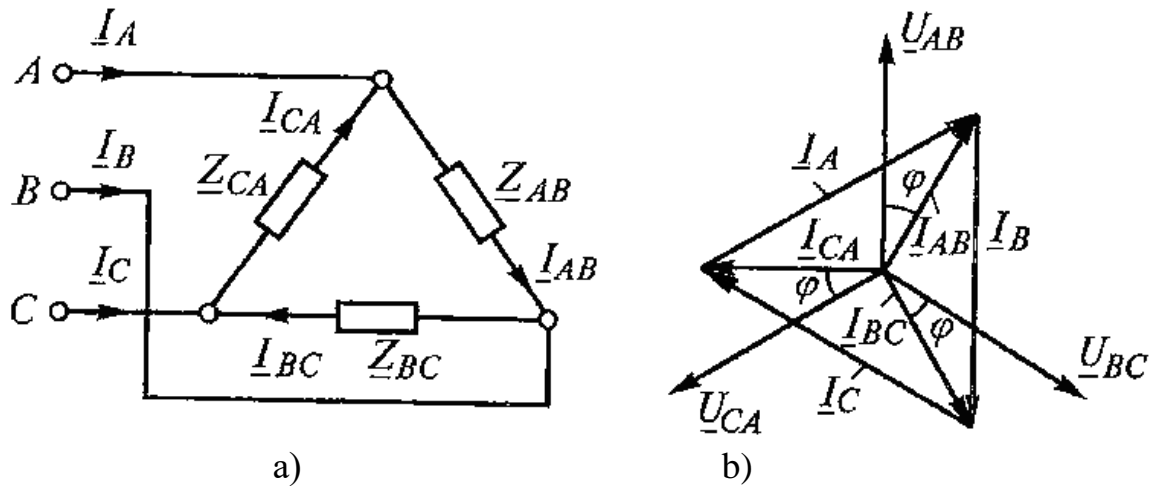
Yuklama uchburchak ulangan uch fazali zanjirda $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = z e^{j\varphi}$ shart bajarilganida va u simmetrik EYuK (kuchlanish) lar sistemasidan ta'minlanganida zanjirda simmetrik rejim yuzaga keladi (3.9 a-rasm). Kuchlanishlar topografik diagrammasi 3.9 b-rasmda keltirilgan. Unga ko'ra kuchlanishlar simmetrik yulduz hosil qiladi.

Kirxgofning birinchi qonuniga ko'ra liniya toklari faza toklari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}, \underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB}, \underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC}.$$

Bundan $\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$ ekanligi kelib chiqadi, ya'ni liniya toklari simmetrik vektorlar sistemasini hosil qiladi. Yuklama induktiv ($\varphi > 0$) xarakterli

bo'lganida faza toki mos faza kuchlanishidan φ burchakka orqada qoladi (3.9 b-rasm).



3.9-rasm

\underline{I}_A liniya tokini faza toklari orqali ifodalaymiz:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA} = I_\phi - I_\phi e^{j120^\circ} = I_\phi (1 - e^{j120^\circ}) = \sqrt{3} I_\phi e^{-j30^\circ}$$

boshqa liniya toklari uchun

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB} = \sqrt{3} I_\phi e^{-j150^\circ}, \underline{I}_C = \sqrt{3} I_\phi e^{j90^\circ}.$$

Shunday qilib, yuklama uchburchak ulangan simmetrik uch fazali zanjirda liniya kuchlanishi faza kuchlanishiga teng bo'lib, liniya toki fazadan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi, ya'ni $U_{\text{L}} = U_\phi$, $I_{\text{L}} = \sqrt{3} I_\phi$.

Ma'ruza №21

Simmetrik uch fazali sistemaning quvvatlari Murakkab uch fazali simmetrik zanjirlarni hisoblash

Ikkinchi bobda ko'rib o'tganimizdek, sinusoidal tok zanjirida oniy quvvat vaqtning funksiyasi bo'lib, quyidagiga teng:

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = UI[\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)].$$

Uch fazali zanjirda simmetrik rejim uchun oniy quvvat fazalar oniy quvvatlarining yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi, ya'ni:

$$\begin{aligned} p &= p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = U_\phi \sqrt{2} \sin \omega t X \\ &+ U_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) + U_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ) \cdot I_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi) + \\ &+ U_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ) \cdot I_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi) = \end{aligned}$$

$$= U_{\Phi} I_{\Phi} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] + U_{\Phi} I_{\Phi} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - 240^{\circ} - \varphi)] + \\ + U_{\Phi} I_{\Phi} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + 240^{\circ} - \varphi)] = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi. \quad (3.4)$$

(3.4) ifodadan ko'rinib turibdiki, simmetrik uch fazali zanjirning oniy qiymati vaqtga bog'liq emas va zanjirning aktiv quvvatiga teng. Bu uch fazali tizimning o'ziga xos xususiyatlaridan biri bo'lib, davr mobaynida generator ta'minlab turgan yuklama (masalan, rotor valining aylantiruvchi momenti) o'z qiymatini o'zgartirishsiz saqlaydi.

Bir davr mobaynida oniy quvvatning qiymati o'zgarmaydigan uch fazali zanjir *muvozanatlashgan zanjir* deb ataladi. Nosimmetrik rejimda esa bu xossa o'z kuchini yo'qotadi.

Uch fazali zanjir aktiv quvvati har bir faza aktiv quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni:

$$P = P_A + P_B + P_C = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi.$$

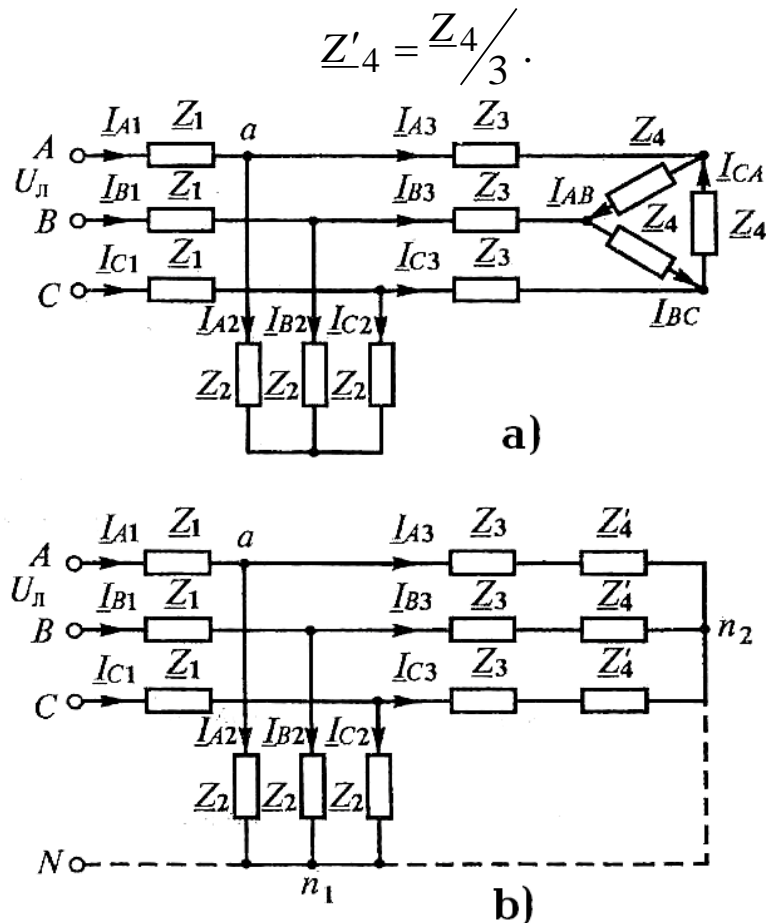
Uch fazali zanjirlarni hisoblashda liniya kuchlanishi va toklaridan foydalanish qulayroq. Yulduz ulangan sxema uchun $U_{\Phi} = U_{\text{Л}} / \sqrt{3}$, $I_{\Phi} = I_{\text{Л}}$, uchburchak ulangan sxema uchun esa $U_{\Phi} = U_{\text{Л}}$, $I_{\Phi} = I_{\text{Л}} / \sqrt{3}$ bo'lganligi sababli ulanish sxemasidan qat'i nazar simmetrik uch fazali zanjirning aktiv quvvati $P = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \cos \varphi$ ifoda bilan aniqlanadi.

Simmetrik uch fazali zanjirning reaktiv va to'la quvvatlari quyidagicha topiladi:

$$Q = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \sin \varphi, \quad S = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}}.$$

Murakkab uch fazali simmetrik zanjirlarni hisoblash

Uch fazali simmetrik zanjirlar fazalaridagi toklar modul jihatdan teng bo'lib, o'zaro 120° ga siljigan bo'ladi. Shuning uchun ham bunday zanjirlarni hisoblashda bitta fazadagi tokni aniqlash kifoya. Hisoblash tartibini 3.10 a-rasmda keltirilgan zanjir misolida ko'rib chiqamiz. Bunda manba kuchlanishlari va zanjir qarshiliklari berilgan bo'lib, har bir fazadagi toklarni topish talab etiladi. Buning uchun birinchi navbatda liniya va faza toklari musbat yo'nalishlarini sxemada belgilaymiz va \underline{Z}_4 qarshilikli uchburchakni unga ekvivalent yulduz bilan almashtiramiz (3.10 b-rasm). Bunda hosil bo'lgan yulduz sxema qarshiligi quyidagiga teng:



3.10-rasm

Zanjir tarkibiga neytral simni fikran kiritamiz. Zanjir neytral nuqtalari potentsiallari bir xil bo'lganligi sababli neytral simdan foydalanish zanjirdagi toklar taqsimlanishiga ta'sir etmaydi. Zanjirdagi bitta faza, masalan, A faza uchun toklarni hisoblaymiz. Bunda qarshiliklarni ekvivalent almashtirish usulidan foydalanamiz. Unga ko'ra

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2(\underline{Z}_3 + \underline{Z}'_4)}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}'_4}, \quad U_A = U_{\text{II}} / \sqrt{3}.$$

A fazadagi kompleks liniya toklari:

$$\underline{I}_{A1} = \frac{U_A}{\underline{Z}}, \quad \underline{I}_{A2} = \frac{U_a}{\underline{Z}_2}, \quad \underline{I}_{A3} = \frac{U_a}{\underline{Z}_3 + \underline{Z}'_4},$$

bu yerda
$$\underline{U}_a = \underline{I}_{A1} \frac{\underline{Z}_2(\underline{Z}_3 + \underline{Z}'_4)}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}'_4}.$$

Boshqa fazalardagi toklar A faza toklariga nisbatan 120° ga siljigan bo'ladi. Masalan, $\underline{I}_{B1} = \underline{I}_{A1} e^{-j120^\circ}$, $\underline{I}_{C1} = \underline{I}_{A1} e^{j120^\circ}$ va h.k.

\underline{Z}_4 qarshilikli uchburchak sxemadagi toklar quyidagicha topiladi:

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{I}_{A3}}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ}, \quad \underline{I}_{BC} = \underline{I}_{AB} e^{-j120^\circ}, \quad \underline{I}_{CA} = \underline{I}_{AB} e^{j120^\circ}.$$

Ma'ruza №22

Nosimmetrik uch fazali zanjirlar

Uch fazali zanjirlarda nosimmetrik rejimlar turli sabablarga ko'ra yuzaga kelishi mumkin: yuklama nosimmetrik bo'lganida, generator faza EYuK lari har xil bo'lganida, nosimmetrik (masalan, ikkita faza o'rtasida, faza bilan neytral sim o'rtasida) qisqa tutashishda, fazaning uzilib qolishi va h.k.

Nosimmetrik uch fazali zanjirlarni hisoblash bir fazali zanjirlarni hisoblashda foydalanilgan usullar yordamida amalga oshiriladi. Quyida har xil nosimmetrik rejim turlarini hisoblash xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Yulduz usulda ulangan neytral simli zanjir

Yuklama qarshiliklari ($\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$) yulduz usulda ulangan to'rt simli ($\underline{Z}_N = 0$) zanjir simmetrik kuchlanishlar sistemasidan ta'minlanayotgan bo'lsin (3.11 a-rasm). Qarshiligi nolga teng bo'lgan neytral simning mavjudligi fazalarning o'zaro bog'liqsizligini ta'minlaydi va shuning uchun $\underline{U}_A = U_\phi$;

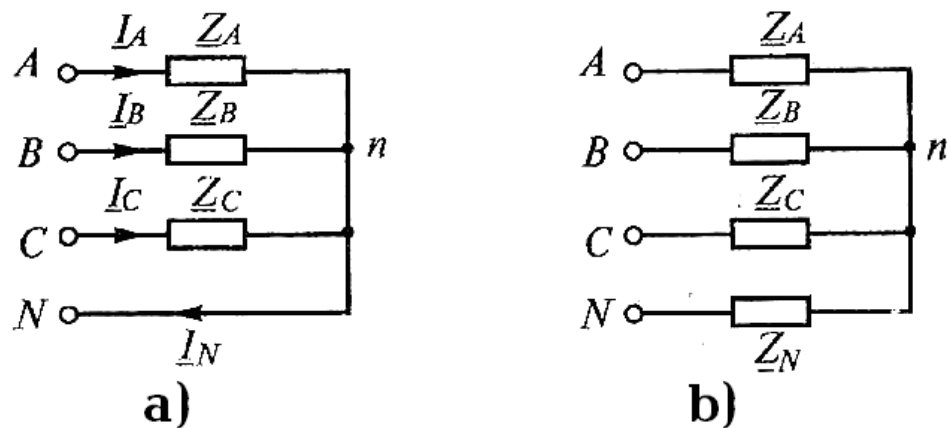
$\underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}$; $\underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ}$ bo'lganda iste'molchilar faza toklari

$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A}$, $\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B}$, $\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}$ tengliklar yordamida, neytral simdagi tok

esa Kirxgof 1-qonuniga ko'ra $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$ formula bilan topiladi.

Shunday qilib, uch fazali zanjirda neytral simning mavjudligi faza kuchlanishlar simmetriyasini ta'minlaydi. Shuning uchun ham iste'molchilar (yoritgich lampalar, maishiy xizmat yuklamalari va boshqalar) to'rt simli tarmoqqa ulanadi.

Agar neytral simning qarshiligini hisobga olish lozim bo'lsa, u holda neytralning siljish kuchlanishi aniqlanadi (3.11 b-rasm):



3.11-rasm

$$\underline{U}_N = \underline{I}_N \underline{Z}_N = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N},$$

bu yerda $\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}$, $\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}$, $\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}$, $\underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}$ - fazalar va neytral sim kompleks o'tkazuvchanliklari.

Quyida generator chulg'amlari va iste'molchi fazalari "yulduz-yulduz" sxemasida ulangan uch fazali zanjirni hisoblash va uning vektor diagrammasini qurish tartibini ko'rib chiqamiz (3.12-rasm). Hisoblash va qurish tartibi quyidagicha:

1. Kompleks tekislikda \underline{E}_A , \underline{E}_B , \underline{E}_C EYuK lar vektorlari quriladi (3.12 b-rasm).

2. Neytralning siljish kuchlanishi \underline{U}_N hisoblanadi va uning vektori diagrammaga joylashtiriladi.

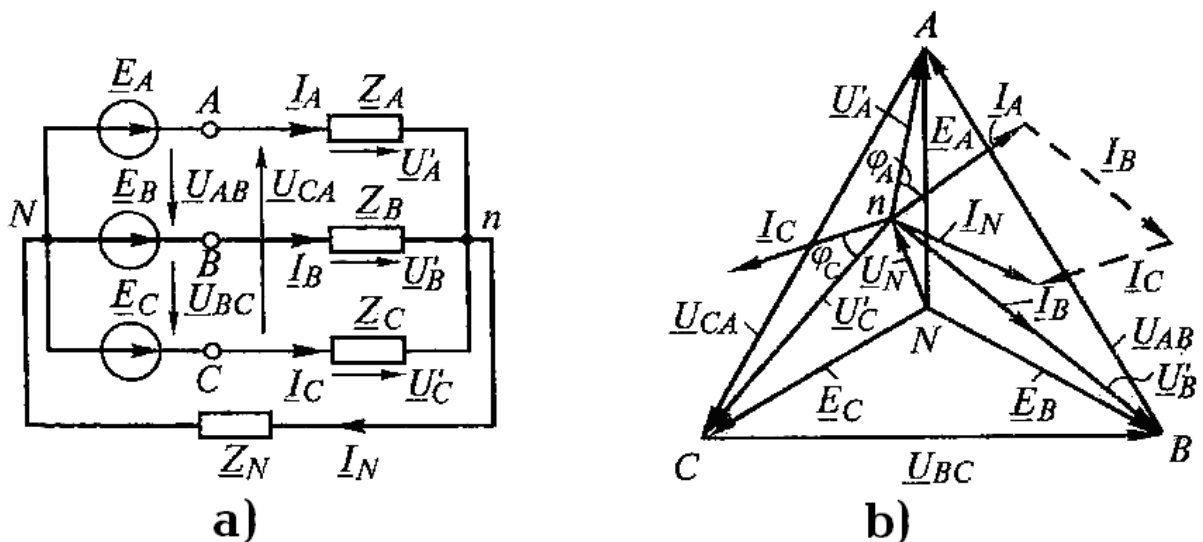
3. Iste'molchilar faza kuchlanishlarini $\underline{U}'_A = \underline{E}_A - \underline{U}_N$, $\underline{U}'_B = \underline{E}_B - \underline{U}_N$, $\underline{U}'_C = \underline{E}_C - \underline{U}_N$ tengliklar orqali aniqlanadi va ularning vektorlari diagrammada aks ettiriladi.

4. Faza toklari Om qonuni asosida quyidagicha topiladi: $\underline{I}_A = \underline{U}'_A \underline{Y}_A$, $\underline{I}_B = \underline{U}'_B \underline{Y}_B$, $\underline{I}_C = \underline{U}'_C \underline{Y}_C$.

5. Faza toklari vektorlari mos faza kuchlanishlaridan φ_A , φ_B va φ_C burchakka siljigan holatda quriladi.

6. Neytral simdagi tok Kirxgof 1-qonuni ($\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$) yoki Om qonuni ($\underline{I}_N = \underline{U}_N \underline{Y}_N$) asosida aniqlanadi va vektor diagrammada aks ettiriladi.

7. Liniya kuchlanishlar vektorlari $\underline{U}_{AB} = \underline{U}'_A - \underline{U}'_B$, $\underline{U}_{BC} = \underline{U}'_B - \underline{U}'_C$, $\underline{U}_{CA} = \underline{U}'_C - \underline{U}'_A$ tengliklar asosida quriladi.



3.12-rasm

Yulduz usulda ulangan neytral simsiz zanjir Yuklamasi uchburchak ulangan zanjir

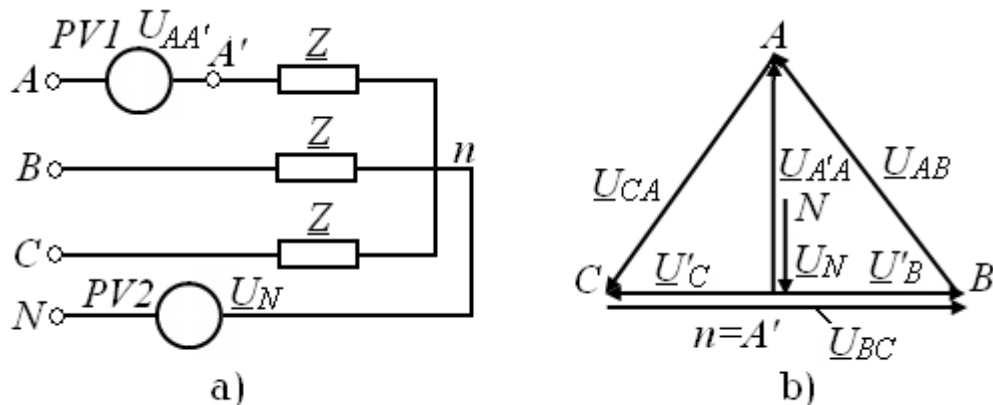
Neytral simsiz yulduz sxemada faza kuchlanishlarining o'zaro bog'liqsizligi ta'minlanmaydi. Bir fazada yuklama qiymatining o'zgarishi boshqa fazalarda tok va kuchlanishlarning o'zgarishiga sabab bo'ladi. Masalan, A fazada liniya simining uzilishi qolgan ikkita faza qarshiliklari o'zaro ketma-ket ulanib, \underline{U}_{BC} liniya kuchlanishi ta'siri ostida qolishiga sabab bo'ladi (3.13 a-rasm). $\underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}$ bo'lganida \underline{Z}_B va \underline{Z}_C qarshiliklarda \underline{U}_{BC} liniya kuchlanishi teng bo'linib pasayadi (3.13 b-rasm). Bunda neytralning siljish kuchlanishi $\underline{U}_N = \underline{U}_{nN} = -\frac{\underline{E}_A}{2}$, A faza simining uzilgan nuqtalari orasidagi kuchlanish esa

$$\underline{U}_{AA'} = \underline{U}_{AN'} = \underline{E}_A - \underline{U}_N = \frac{3}{2}\underline{E}_A \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Oxirgi tenglikni ikki tugun usulini qo'llab aniqlashimiz ham mumkin, ya'ni:

$$\underline{U}_N = \frac{\sum \underline{EY}}{\sum \underline{Y}} = \frac{\underline{E}_A \cdot 0 + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{0 + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\underline{Y}_B (\underline{E}_B + \underline{E}_C)}{2 \underline{Y}_B} = -\frac{\underline{E}_A}{2},$$

$$\underline{U}_{AA'} = \underline{E}_A - \underline{U}_N = \underline{E}_A + \frac{\underline{E}_A}{2} = \frac{3}{2}\underline{E}_A.$$



3.13 – rasm

Shunday qilib, yulduz sxemali simmetrik uch fazali zanjirda bitta liniya simining uzilishi o'sha faza yuklamasidagi kuchlanishni nolgacha, boshqa ikkita

faza yuklamalaridagi kuchlanishlarni $\frac{U_\Phi}{U_{\Pi/2}} = U_\Phi : \frac{\sqrt{3}U_\Phi}{2} = \frac{2}{\sqrt{3}}$ martagacha,

ya'ni 16% gacha kamaytirib yuboradi.

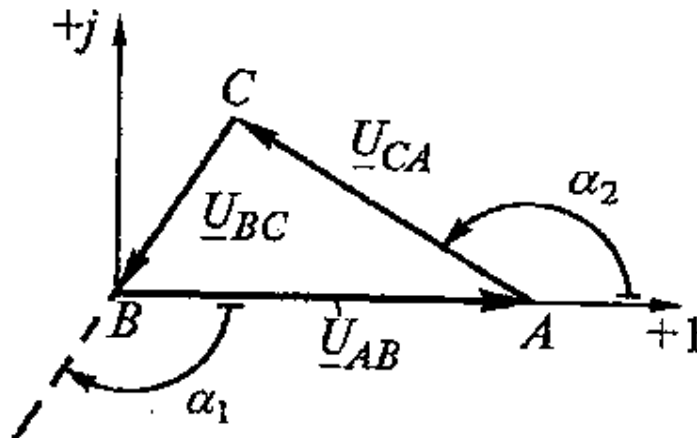
Agar generatorning \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} va \underline{U}_{CA} liniya kuchlanishlari berilgan bo'lsa, u holda iste'molchilar faza kuchlanishlari quyidagi tenglamalar yordamida aniqlanadi:

$$\begin{aligned}\underline{U}'_A &= \frac{\underline{Y}_B \underline{U}_{AB} - \underline{Y}_C \underline{U}_{CA}}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \\ \underline{U}'_B &= \frac{\underline{Y}_C \underline{U}_{BC} - \underline{Y}_A \underline{U}_{AB}}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \\ \underline{U}'_C &= \frac{\underline{Y}_A \underline{U}_{CA} - \underline{Y}_B \underline{U}_{BC}}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.\end{aligned}$$

Bu kuchlanishlardan foydalanib, faza toklar Om qonuni asosida topiladi.

Odatda liniya kuchlanishlarining ta'sir etuvchi qiymatlari beriladi. Bunday hollarda liniya kuchlanishlari uchburchagi 3.14- rasmdagi kabi joylashtirilishi maqsadga muvofiq. Unga ko'ra \underline{U}_{AB} kuchlanish vektori haqiqiy sonlar yarim o'qi bo'ylab joylashtiriladi. Liniya kuchlanishlari kompleks ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$\underline{U}_{AB} = U_{AB}, \underline{U}_{BC} = U_{BC} e^{-j\alpha_1}, \underline{U}_{CA} = U_{CA} e^{j\alpha_2}.$$

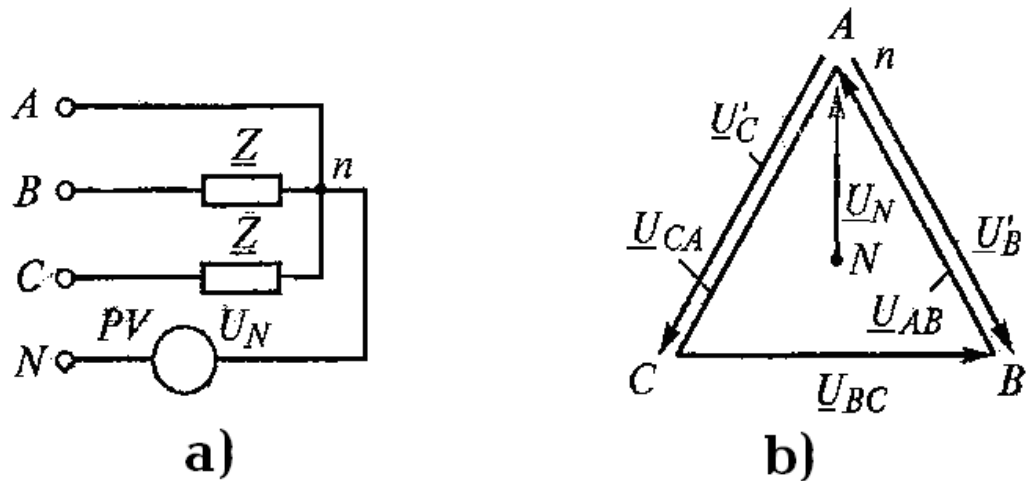


3.14-rasm

A fazada qisqa tutashishdan hosil bo'lgan nosimmetrik rejimda (3.15 a-rasm) A va n nuqtalar potentsiallari teng. Topografik diagrammada bu nuqta teng tomonli uchburchakning A uchida joylashadi (3.15 b-rasm). Bunda n nuqta potentsiali generator tomonidan belgilanadigan A nuqtaga siljiydi. B va A fazalardagi faza kuchlanishlari generator liniya kuchlanishlariga teng bo'ladi:

$$\underline{U}'_B = -\underline{U}_{AB}, \underline{U}'_C = \underline{U}_{CA}, \underline{U}_N = \underline{U}_A.$$

Binobarin, nosimmetrik rejim yulduz ulangan simmetrik uch fazali zanjir yuklamasi bitta fazasining qisqa tutashishi sababli yuzaga kelganida, boshqa fazalardagi kuchlanish $\sqrt{3}$ marta ortadi. Shuning uchun ham yulduz sxemali uch fazali zanjirlarda har doim neytral sim bo'lishi talab etiladi.



3.15-rasm

Yuklamasi uchburchak ulangan zanjir

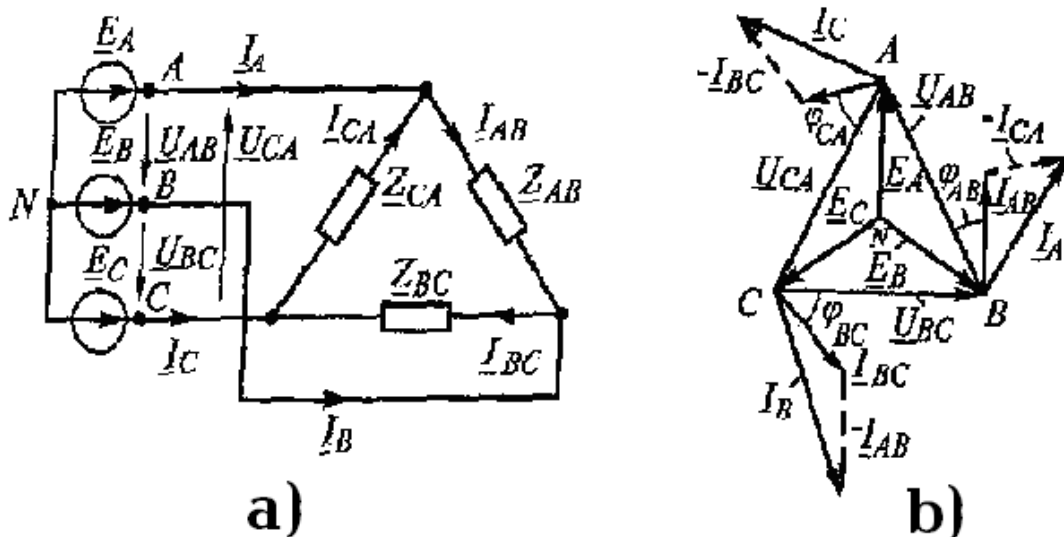
Nosimmetrik ($Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$) yuklamali uch fazali zanjirda faza toklari Om qonuniga binoan aniqlanadi (3.16 a-rasm):

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}, \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}, \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}.$$

Liniya toklari A, B va C tugunlar uchun tuzilgan Kirxgofning 1-qonunidan foydalanib topiladi:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}, \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}, \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Hisoblash natijalarini $I_A + I_B + I_C = 0$ tenglama yordamida tekshirib ko'rish mumkin. Shuni ta'kidlash joizki, nosimmetrik rejimda $I_{\Sigma} \neq \sqrt{3}I_{\Phi}$.



3.16-rasm

Ko'rib chiqilayotgan zanjir uchun diagramma qurish tartibi quyidagicha:

1. Kompleks tekislikda manbaning E_A, E_B va E_C EYuK vektorlari quriladi (3.16-rasm, b).

2. Liniya kuchlanishlari vektorlari $\underline{U}_{AB} = \underline{E}_A - \underline{E}_B$, $\underline{U}_{BC} = \underline{E}_B - \underline{E}_C$, $\underline{U}_{CA} = \underline{E}_C - \underline{E}_A$ munosabatlar asosida quriladi.

3. $\underline{I}_{AB}, \underline{I}_{BC}, \underline{I}_{CA}$ faza toklari mos $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ faza kuchlanishlariga nisbatan diagrammada faza siljish burchaklarini hisobga olgan holda joylashtiriladi.

4. $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ liniya toklari yuqorida Kirxgofning 1-qonuni asosida yozilgan tenglamalar yordamida aniqlanadi.

Ma'ruza №23

Nosimmetrik uch fazali zanjirning quvvati Tarmoqlangan uch fazali zanjirlarni hisoblash

Nosimmetrik uch fazali zanjirda fazalar quvvati o'zaro teng bo'lmaydi. Yulduz sxemada ulangan uch fazali zanjirning kompleks quvvati fazalar kompleks quvvatlarining algebraik yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\underline{S} = \underline{S}_A + \underline{S}_B + \underline{S}_C = \underline{U}_A \overset{*}{I}_{-A} + \underline{U}_B \overset{*}{I}_{-B} + \underline{U}_C \overset{*}{I}_{-C}$$

Zanjirning aktiv va reaktiv quvvatlari:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C .$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C .$$

Yuklama uchburchak sxemada ulangan nosimmetrik uch fazali zanjir quvvati ifodalari yuqorida qayd etilganidek, faza quvvatlarining yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi. Uch fazali zanjirda ham $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ tenglik o'rinli.

Tarmoqlangan uch fazali zanjirlarni hisoblash

Yulduz va uchburchak sxemalarda ulangan hamda liniya qarshiliklari hisobga olinishi kerak bo'lgan bir nechta iste'molchili uch fazali zanjirlarni hisoblashda ekvivalent o'zgartirish usullaridan, xususan, qarshiliklar uchburchagini unga ekvivalent bo'lgan qarshiliklar yulduziga va aksincha o'zgartirishlardan keng foydalaniladi. Bu almashtirishlarga ko'ra:

$$\underline{Z}_A = \frac{\underline{Z}_{AB} \underline{Z}_{CA}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}}, \underline{Z}_B = \frac{\underline{Z}_{BC} \underline{Z}_{AB}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}},$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\underline{Z}_{CA} \underline{Z}_{BC}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}} .$$

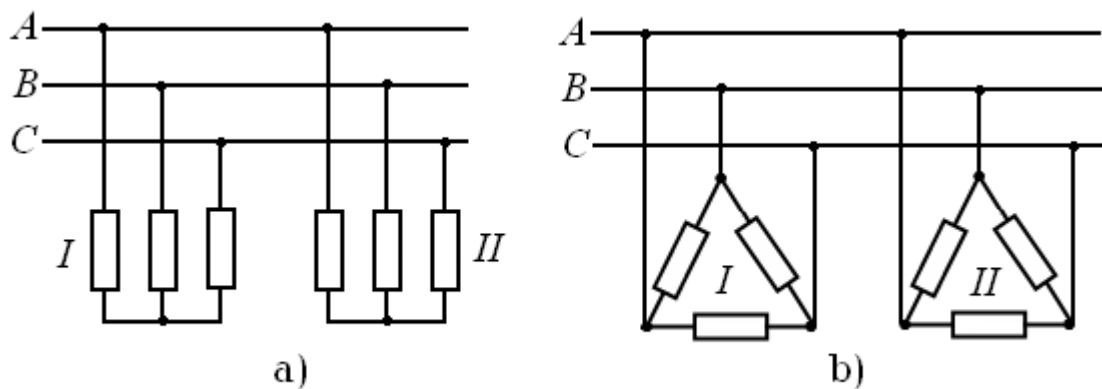
$$\text{Simmetrik yuklamada } Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} .$$

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_A + \underline{Z}_B + \frac{\underline{Z}_A \underline{Z}_B}{\underline{Z}_C}, \quad \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_B + \underline{Z}_C + \frac{\underline{Z}_B \underline{Z}_C}{\underline{Z}_A},$$

$$\underline{Z}_{CA} = \underline{Z}_C + \underline{Z}_A + \frac{\underline{Z}_C \underline{Z}_A}{\underline{Z}_B}. \text{ Simmetrik yuklamada } Z_{\Delta} = 3Z_Y.$$

Yulduz sxemada ulangan bir nechta iste'molchili uch fazali zanjirni hisoblash

Agar ikki yoki undan ortiq uch fazali iste'molchilar yulduz sxemada ulangan nosimmetrik zanjir simmetrik kuchlanishlar sistemasidan ta'minlanayotgan bo'lsa, u holda iste'molchilar faza kuchlanishlari nosimmetrik bo'lib, yulduz sxema neytral nuqtalari orasidagi kuchlanish noldan farq qiladi. Shuning uchun ham iste'molchilar bir xil nomli fazalarini o'zaro parallel ulangan deb bo'lmaydi. Bunday holatda yulduz sxemalari ekvivalent uchburchaklar bilan almashtiriladi (3.17-rasm). Bunday zanjirlarni hisoblash tartibi quyidagicha:



3.17 – rasm

1. Qarshiliklar yulduzlari (3.17-rasm, a) ekvivalent uchburchaklarga (3.17-rasm, b) o'zgartiriladi.

2. Ekvivalent uchburchaklar bir nomli fazalari o'zaro parallel ulanganligi sababli ular o'zaro qo'shib, bitta ekvivalent uchburchak hosil qilinadi.

3. Ekvivalent uchburchak ekvivalent yulduz sxemasiga o'zgartiriladi va 3.3.2, 3.3.3 paragraflarda keltirilgan tartib bo'yicha zanjir hisoblanadi.

Yulduz va uchburchak sxemalarda ulangan uch fazali zanjirni hisoblash

Simmetrik bir nechta yuklamali uch fazali zanjir (3.10- rasm, a) dan farqli ravishda nosimmetrik zanjir (3.18- rasm, a) da $\underline{Z}_{A2} \neq \underline{Z}_{B2} \neq \underline{Z}_{C2}$, $\underline{Z}_{AB} \neq \underline{Z}_{BC} \neq \underline{Z}_{CA}$.

Ko'rib chiqilayotgan zanjirni hisoblash tartibi quyidagicha:

1. Zanjirdagi qarshiliklar uchburchagini unga ekvivalent yulduz bilan almashtiramiz va hosil bo'lgan qarshiliklarga mos liniya qarshiliklari \underline{Z}_3 ni qo'shamiz:

$$\underline{Z}'_{A1} = \underline{Z}_{A2} + \underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_{AB}\underline{Z}_{CA}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}} + \underline{Z}_3,$$

$$\underline{Z}'_{B1} = \underline{Z}_{B2} + \underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_{AB}\underline{Z}_{BC}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}} + \underline{Z}_3,$$

$$\underline{Z}'_{C1} = \underline{Z}_{C2} + \underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_{BC}\underline{Z}_{CA}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}} + \underline{Z}_3.$$

Natijada A_1 , B_1 va C_1 nuqtalarga ulangan ikkita yulduz sxemasini hosil qilamiz (3.18-rasm, b).

2. Qarshiliklar yulduz sxemalarini ekvivalent uchburchaklar bilan almashtirib va mos fazalar qarshiliklarini o'zaro parallel qo'shib bitta uchburchak sxemasini hosil qilamiz (3.18-rasm, v).

3. Hosil qilingan ekvivalent uchburchak sxemani ekvivalent yulduzga o'zgartiramiz va faza qarshiliklariga mos liniya qarshiliklari \underline{Z}_1 ni qo'shamiz (3.18-rasm, g).

4. \underline{I}_{A1} , \underline{I}_{B1} va \underline{I}_{C1} liniya toklarini aniqlaymiz:

$$\underline{I}_{A1} = (\underline{U}_A - \underline{U}_N)\underline{Y}_A, \quad \underline{I}_{B1} = (\underline{U}_B - \underline{U}_N)\underline{Y}_B, \quad \underline{I}_{C1} = (\underline{U}_C - \underline{U}_N)\underline{Y}_C,$$

$$\text{bu yerda } \underline{U}_N = \frac{\underline{U}_A\underline{Y}_A + \underline{U}_B\underline{Y}_B + \underline{U}_C\underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.$$

5. $A - A_1$, $B - B_1$, $C - C_1$ qismalardagi faza va liniya kuchlanishlarini topamiz:

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_A - \underline{I}_{A1}\underline{Z}_1, \quad \underline{U}_{B1} = \underline{U}_B - \underline{I}_{B1}\underline{Z}_1, \quad \underline{U}_{C1} = \underline{U}_C - \underline{I}_{C1}\underline{Z}_1.$$

$$\underline{U}_{A1B1} = \underline{U}_{A1} - \underline{U}_{B1}, \quad \underline{U}_{B1C1} = \underline{U}_{B1} - \underline{U}_{C1}, \quad \underline{U}_{C1A1} = \underline{U}_{C1} - \underline{U}_{A1}.$$

6. Ikkala yulduz sxemalardagi toklarni aniqlaymiz (3.18- rasm, b). Buning uchun 3.3.1 va 3.3.2 paragraflarda keltirilgan formulalardan foydalanamiz. Natijada \underline{I}_{A2} , \underline{I}_{B2} , \underline{I}_{C2} yulduz toklarini va \underline{I}_{A3} , \underline{I}_{B3} , \underline{I}_{C3} liniya toklarini aniqlaymiz. Liniya toklarini A_1, A_2, A_3 tugunlar uchun tuzilgan Kirxgofning 1-qonuni asosida ham topishimiz mumkin:

$$\underline{I}_{A3} = \underline{I}_{A1} - \underline{I}_{A2}, \quad \underline{I}_{B3} = \underline{I}_{B1} - \underline{I}_{B2}, \quad \underline{I}_{C3} = \underline{I}_{C1} - \underline{I}_{C2}.$$

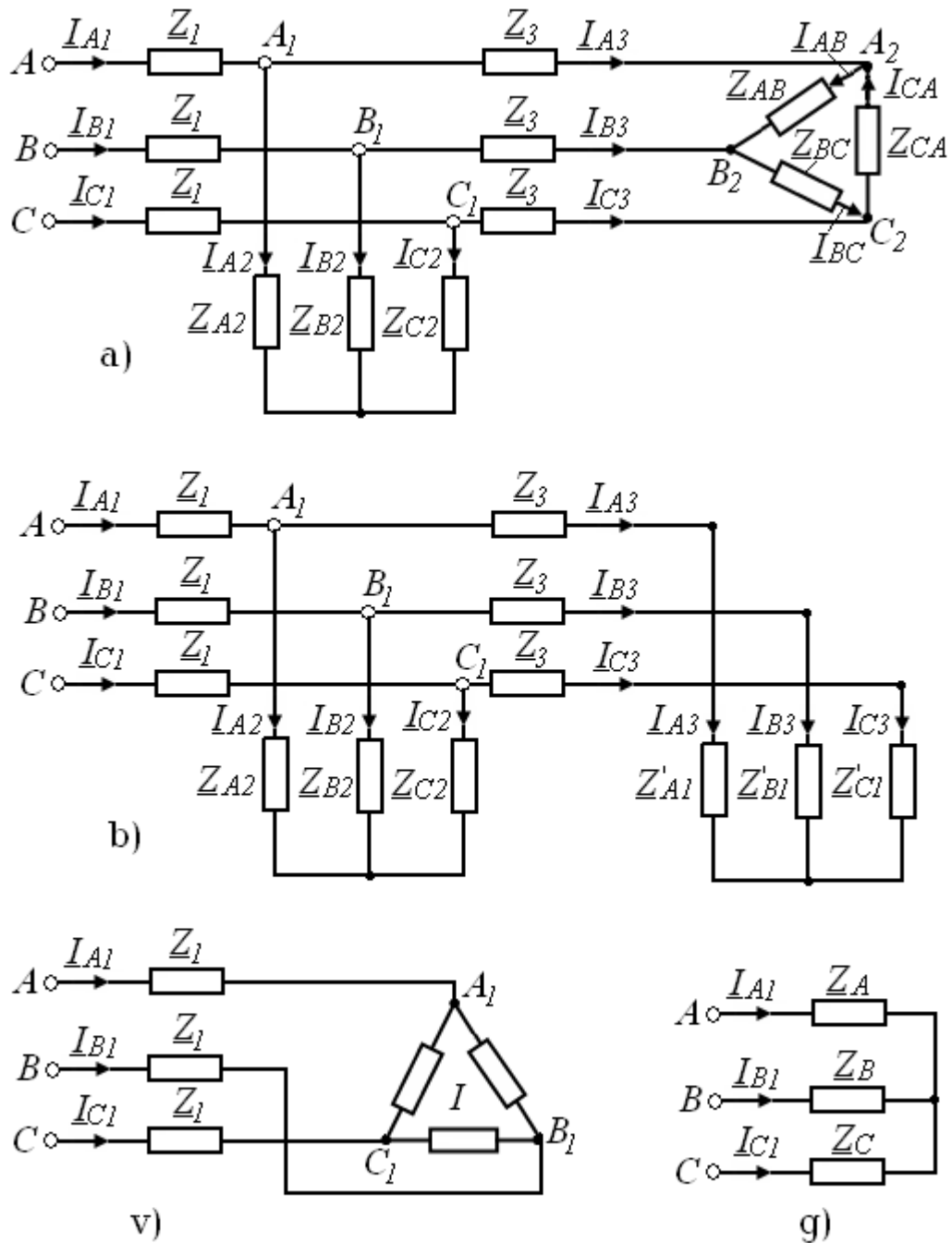
7. A_2, B_2, C_2 qismalardagi faza va liniya kuchlanishlarini aniqlaymiz:

$$\underline{U}_{A2} = \underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A3}\underline{Z}_3, \quad \underline{U}_{B2} = \underline{U}_{B1} - \underline{I}_{B3}\underline{Z}_3, \quad \underline{U}_{C2} = \underline{U}_{C1} - \underline{I}_{C3}\underline{Z}_3,$$

$$\underline{U}_{A2B2} = \underline{U}_{A2} - \underline{U}_{B2}, \quad \underline{U}_{B2C2} = \underline{U}_{B2} - \underline{U}_{C2}, \quad \underline{U}_{C2A2} = \underline{U}_{C2} - \underline{U}_{A2}.$$

8. Dastlabki sxema uchburchagidagi toklarni topamiz:

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{A2B2}}{\underline{Z}_{AB}}, \quad \underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{B2C2}}{\underline{Z}_{BC}}, \quad \underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{C2A2}}{\underline{Z}_{CA}}.$$



3.18 – rasm

Bir va uch fazali iste'molchili uch fazali zanjirlarni hisoblash

Simmetrik uch fazali kuchlanishlar sistemasiga faza qarshiligi Z_1 bo'lgan uch fazali elektr motori va qarshiliklari Z_2 va Z_3 bo'lgan ikkita bir fazali iste'molchilar ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz (3.19-rasm). Bunday zanjirlarni hisoblash tartibi quyidagicha:

1. Iste'molchi (faza)lardagi toklar yo'nalishlarini belgilab olamiz.
2. A fazani birinchi faza deb hisoblab, faza va liniya kuchlanishlarini kompleks shaklda quyidagicha yozib olamiz:

$$\underline{U}_A = U_\Phi, \underline{U}_B = U_A e^{-j120^\circ} = U_\Phi e^{-j120^\circ},$$

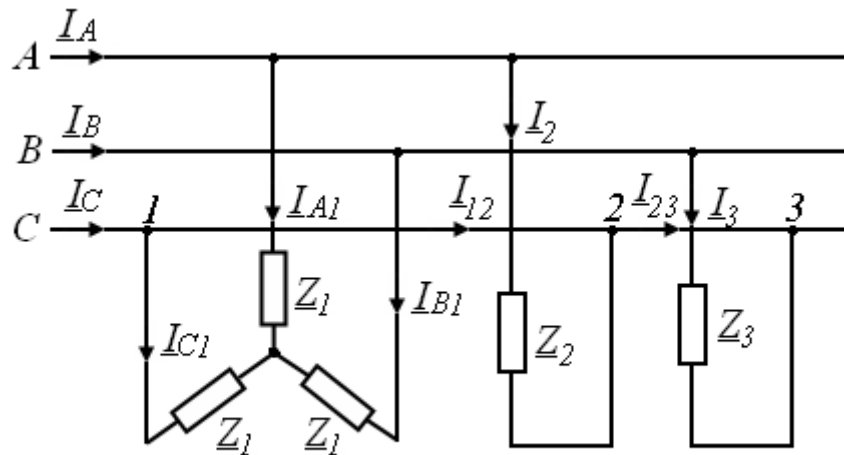
$$\underline{U}_C = U_A e^{j120^\circ} = U_\Phi e^{j120^\circ}.$$

$$\underline{U}_{AB} = \sqrt{3}U_\Phi e^{j30^\circ}, \underline{U}_{BC} = \sqrt{3}U_\Phi e^{-j90^\circ}, \underline{U}_{CA} = \sqrt{3}U_\Phi e^{j150^\circ}.$$

3. Uch fazali iste'molchi (elektr motori) fazalaridagi kompleks toklarni topamiz:

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A}, \quad \underline{I}_{B1} = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B}, \quad \underline{I}_{C1} = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}, \quad \text{chunki simmetrik yuklamada}$$

$$\underline{U}_N = 0.$$



3.19 – rasm

4. Bir fazali iste'molchilardagi kompleks toklarni aniqlaymiz:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{AC}}{\underline{Z}_2}, \quad \underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_3}, \quad \text{bu yerda } \underline{U}_{AC} \text{ vektor 3.8-rasmda keltirilgan}$$

topografik diagrammaga ko'ra quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{U}_{AC} = -U_{CA} = U_\Phi e^{-j30^\circ}.$$

5. Liniya toklari Kirxgofning 1-qonuni asosida quyidagicha topiladi:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_2, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_3, \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{C1} - (\underline{I}_2 + \underline{I}_3),$$

$$\underline{I}_{12} = -\underline{I}_2 - \underline{I}_3 = \underline{I}_C - \underline{I}_{C1}, \quad \underline{I}_{23} = -\underline{I}_3.$$

Ma'ruza №24

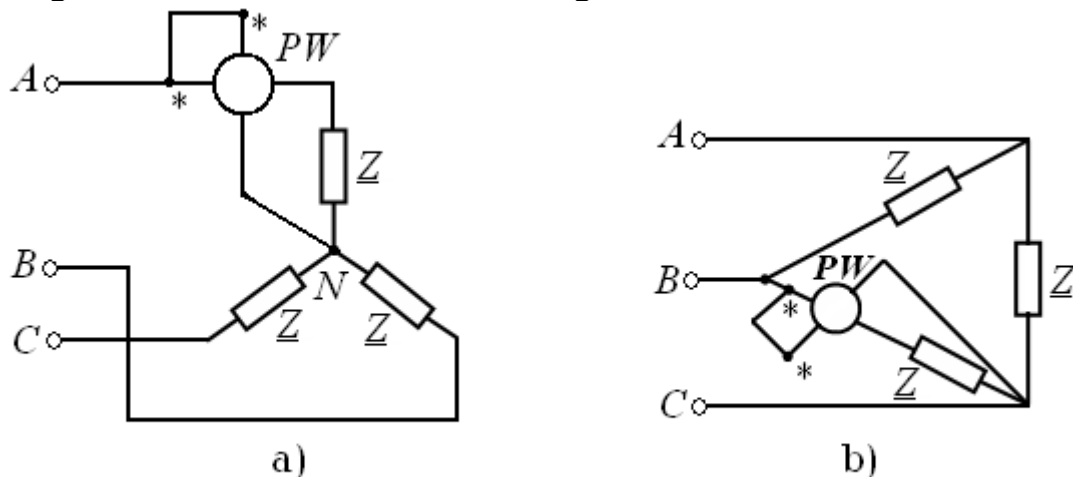
Uch fazali zanjirlarda quvvatni o'lchash

Avval ko'rib o'tganimizdek, aktiv quvvat quyidagi formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$P = U_{AB} I_A \cos(\underline{U}_{AB} \wedge \underline{I}_A), \quad P = \operatorname{Re}|\underline{U}_{AB} \underline{I}_A|,$$
 bu yerda \underline{U}_{AB} - vattmetr ulangan zanjir A va B fazalari orasidagi kompleks kuchlanish, \underline{I}_A - A fazadagi kompleks tok, φ - \underline{U}_{AB} va \underline{I}_A vektorlar orasidagi faza siljish burchagi.

Simmetrik uch fazali zanjirda aktiv quvvatni o'lchash

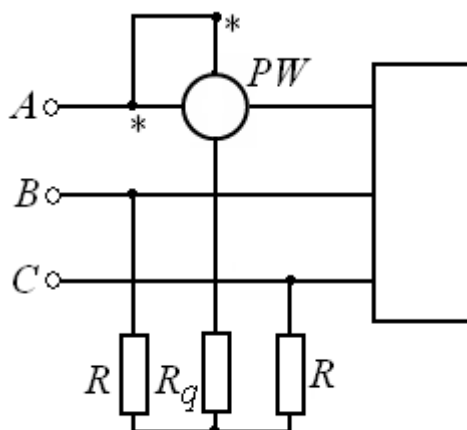
Ma'lumki, simmetrik uch fazali zanjirda faza quvvatlari o'zaro teng, shuning uchun ham zanjir quvvatini aniqlash uchun bitta fazadagi aktiv quvvatni o'lchash kifoya. Zanjirning aktiv quvvati $P = 3P_W = 3P_\phi$ ga teng bo'ladi. 3.20-rasm, a da yulduz ulangan va neytral nuqtasidan foydalanish imkoniyati bo'lgan zanjirning A fazasiga vattmetrni ulash sxemasi keltirilgan.



3.20 – rasm

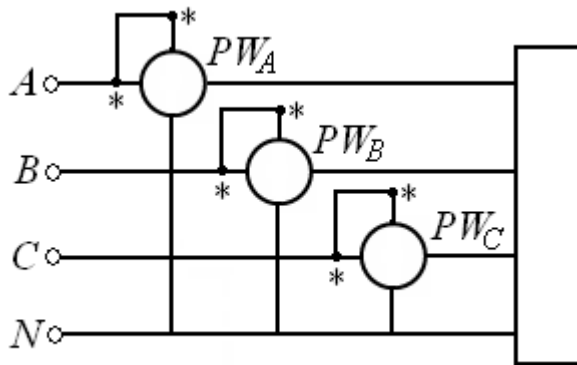
Iste'molchi uchburchak ulanganda vattmetrni ulash sxemasi esa 3.20-rasm, b da ko'rsatilgan.

Agar yulduz ulangan zanjirda neytral nuqtadan foydalanish imkoniyati bo'lmasa, u holda uni sun'iy ravishda hosil qilinadi. Bu nuqta uchta rezistorning yulduz ulanishidan hosil bo'ladi (3.21-rasm). Bunda $R_q + R_w = R$, bu yerda R_w - vattmetr kuchlanish chulg'amining qarshiligi. Zanjirning aktiv quvvati $P = 3P_w$ ifoda bilan aniqlanadi.



3.21 – rasm

Nosimmetrik uch fazali zanjirda aktiv quvvatni o'lchash



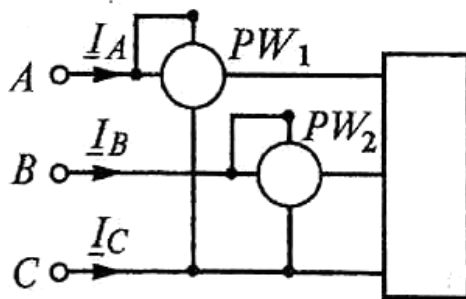
3.22 – rasm

Nosimmetrik uch fazali zanjirlarda fazalar aktiv quvvati o'zaro teng emas. Shuning uchun to'rt simli uch fazali zanjirda har bir fazadagi aktiv quvvatni o'lchash lozim bo'ladi (3.22-rasm).

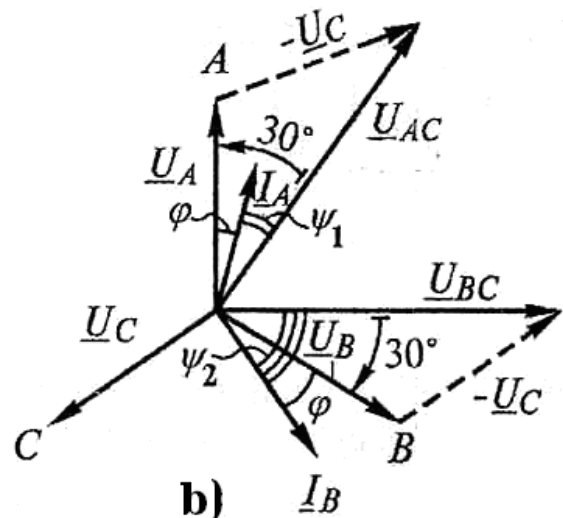
Istalgan xarakterli yuklamada uch fazali zanjirning aktiv quvvati uchala vattmetr ko'rsatishlarining yig'indisiga teng:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C .$$

Uch simli uch fazali zanjirlarda aktiv quvvat ko'pchilik hollarda ikkita vattmetr yordamida o'lchanadi (3.23- rasm, a).



a)



b)

3.23-rasm

Ikkala vattmetr ko'rsatishining yig'indisi zanjir aktiv quvvatiga teng.

Bunga ishonch hosil qilish uchun zanjir oniy quvvatini kuchlanish va toklar oniy qiymatlari orqali ifodalaymiz, ya'ni:

$$p = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C .$$

Uch simli uch fazali zanjirda $i_A + i_B + i_C = 0$. Bundan $i_C = -(i_A + i_B)$. Bu ifodani oniy quvvat formulasiga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$p = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B . \text{ Bundan: } P = P_1 + P_2 = U_{AC} I_A \cos \psi_1 + U_{BC} I_B \cos \psi_2 .$$

Shuni ta'kidlab o'tish joizki, har bir vattmetr ko'rsatishi alohida qaralganda hech bir aniq quvvatni bildirmaydi. Vattmetrlar ko'rsatkichlari kuchlanish va tok orasidagi faza siljish burchagiga bog'liq. Ushbu bog'lanishni simmetrik yuklama uchun tahlil qilib ko'ramiz. Vektor diagrammadan ko'rinib turibdiki,

$\psi_1 = 30^\circ - \varphi$, $\psi_2 = 30^\circ + \varphi$ (3.23-rasm, b). Bu qiymatlarni vattmetr ko'rsatishini ifodalovchi formulalarga qo'yib quyidagilarni hosil qilamiz:

$$P_1 = UI \cos(30^\circ - \varphi_1), P_2 = UI \cos(30^\circ + \varphi_1).$$

Oxirgi tenglamalar tahlili quyidagilarni ko'rsatadi:

- 1) aktiv simmetrik yuklamada $P_1 = P_2$;
- 2) $\varphi = 60^\circ$ da $P_2 = 0$;
- 3) $\varphi = -60^\circ$ da $P_1 = 0$;
- 4) $\varphi = \pm 90^\circ$ (reaktiv yuklama) da $P_1 = -P_2$ yoki $P_1 + P_2 = 0$.

Simmetrik yuklamada ikkita vattmetr ko'rsatishi asosida zanjir reaktiv quvvatini va faza siljish burchagini aniqlash mumkin:

$$P_1 - P_2 = UI(\cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi)) = UI \sin \varphi,$$

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$$

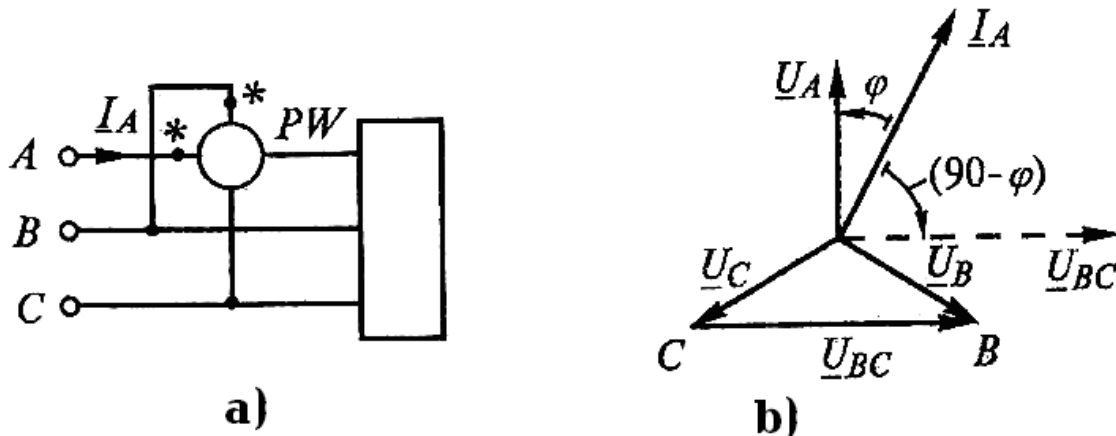
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2}.$$

Reaktiv quvvatni o'lchash

3.24-rasm, a da uch fazali simmetrik zanjir reaktiv quvvatini vattmetr yordamida o'lchash sxemasi keltirilgan. Vattmetrlar ko'rsatkichi \underline{U}_{BC} va \underline{I}_A vektorlarning skalyar ko'paytmasi bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$\begin{aligned} P_W &= U_{BC} I_A \cos(\underline{U}_{BC} \wedge \underline{I}_A) = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi) = \\ &= U_{BC} I_A \sin \varphi. \end{aligned}$$

\underline{U}_{BC} va \underline{I}_A vektorlar orasidagi faza siljish burchagi 3.24- rasm, b dagi vektor diagrammadan aniqlanadi.



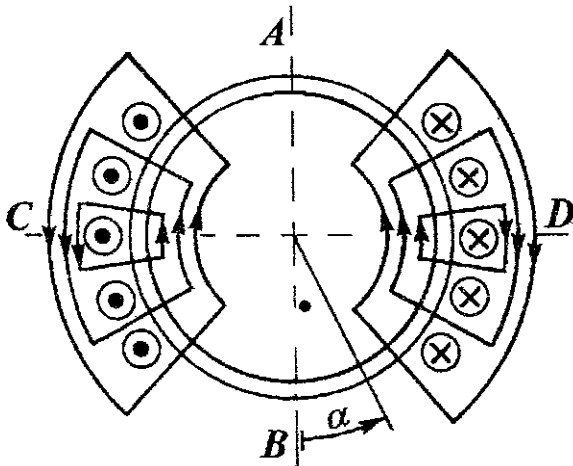
3.24-rasm

$$\text{Zanjirning reaktiv quvvati: } Q = \sqrt{3}U_{BC} I_A \sin \varphi = \sqrt{3}P_W.$$

Ma'ruza №25

Aylanuvchan magnet maydoni Pulsatsiyalanuvchi magnet maydoni

Uch fazali toklar sistemasining asosiy xususiyatlaridan biri- o'zgaruvchan tok elektr motorlarining ishlash prinsipining asosi bo'lgan aylanuvchan magnet maydonini hosil qilishdir. Aylanuvchan magnet maydonini o'rganishga kirishishdan



avval bitta g'altak atrofida hosil bo'ladigan magnet maydoni xususiyatlarini o'rganamiz. Elektr mashina stator pazlariga chulg'am joylashtirilgan bo'lib, undan yo'nalishi 3.25-rasmda ko'rsatilgan tok o'tayotgan bo'lsin. Hosil bo'lgan magnet maydonining induksiyasi tok kattaligiga va chulg'amdagi o'ramlar soniga to'g'ri proporsional bo'ladi. AB liniya

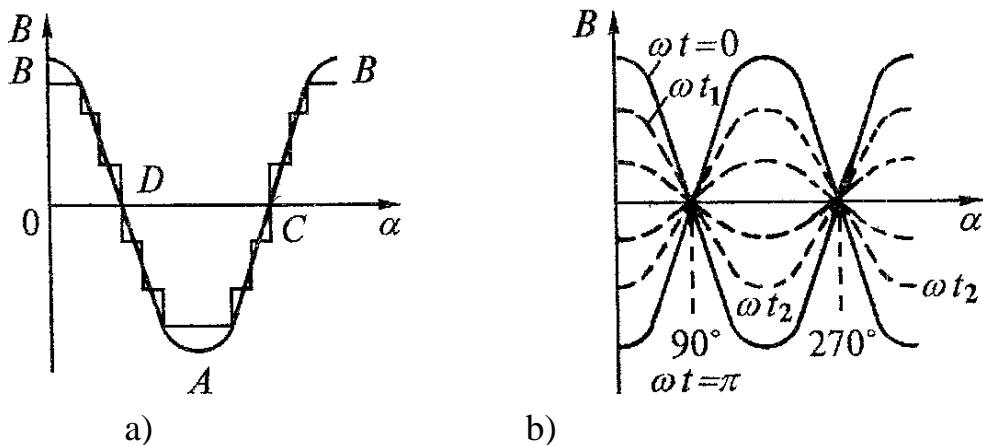
3.25-rasm bo'ylab

induksiyaning qiymati

maksimal, CD liniya bo'ylab esa minimal

bo'ladi.

Halqasimon havo oralig'ida magnet maydoni induksiyasining taqsimlanishi burchak funksiyasi hisoblanadi. Masalan, AB kesimda induksiyaning taqsimlanish qonuniyati zinapoyasimon ko'rinishga ega bo'ladi (3.26-rasm). Induksiyaning asosiy garmonikasi $B = B_0 \cdot \cos \alpha$ ko'rinishida bo'ladi. Induksiya o'zgarishining bunday shakli chulg'amdagi tok o'zgarmas bo'lganida hosil bo'ladi.



3.26-rasm

Agar chulg'amdagi sinusoidal tok o'tkazilsa, u holda uning atrofida sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaruvchi magnet maydoni hosil bo'ladi. $B_0 = B_m \cos \omega t$ bo'lganda $B = B_0 \cos \alpha = B_m \cos \omega t \cos \alpha$ bo'ladi. Bu tenglikdan ko'rinib turibdiki, induksiya vaqt bo'yicha ham fazada ham sinusoidal qonun bilan o'zgaradi (3.26-rasm, b). Vaqtning istalgan paytida $\alpha = 0, 180^0, 360^0$ nuqtalarda

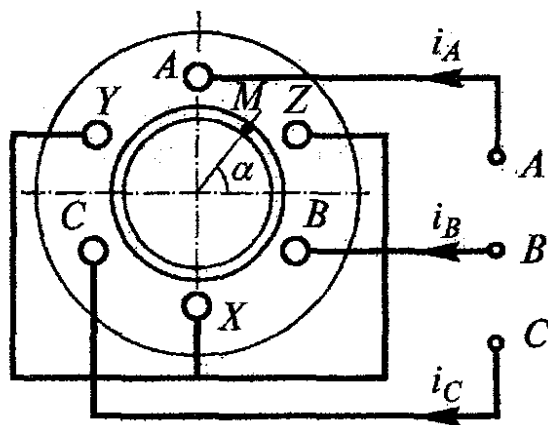
$B = B_m$, $\alpha = 90^0$, 270^0 nuqtalarda esa $B = 0$ bo'ladi. Magnit maydoni induksiyasi maksimal bo'lgan yo'nalish magnit maydonining o'q chizig'i deb ataladi. Bu o'q g'altak o'q chizig'i bilan mos tushadi (3.25-rasmda AB chiziq).

Qiymati vaqt bo'yicha o'zgaradigan, lekin fazoda o'zgarmaydigan maydon pul satsiyalanuvchi maydon deb ataladi. Bunday maydonda induksiyaning maksimal qiymati har doim bir chiziqda bo'ladi.

Shunday qilib, bitta chulg'am yordamida faqat pul satsiyalanuvchi maydon hosil qilish mumkin. Agar elektr mashina statorida uchta chulg'am joylashtirib, ular uch fazali toklar sistemasidan ta'minlansa, u holda uchta pul satsiyalanuvchi maydonning ustma-ustlanishi natijasida aylanuvchan maydon hosil bo'ladi. Endi ana shu maydon xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Aylanuvchan magnit maydonini hosil qilish

Elektr mashina statorida yulduz ulangan va fazoda o'zaro 120^0 siljigan uchta AX, BY, CZ chulg'amlar joylashtirilgan (3.27-rasm) va ushbu chulg'amlarga uch fazali simmetrik kuchlanishlar sistemasini ulangan bo'lib, ularning ta'sirida chulg'amlardan bir-biridan o'zaro 120^0 ga siljigan quyidagi simmetrik toklar sistemasini hosil bo'lgan bo'lsin:



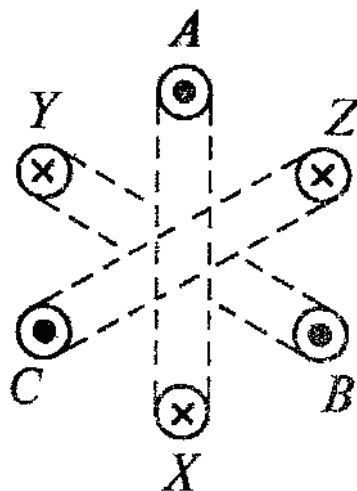
$$i_A = I_m \sin \omega t,$$

$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120^0),$$

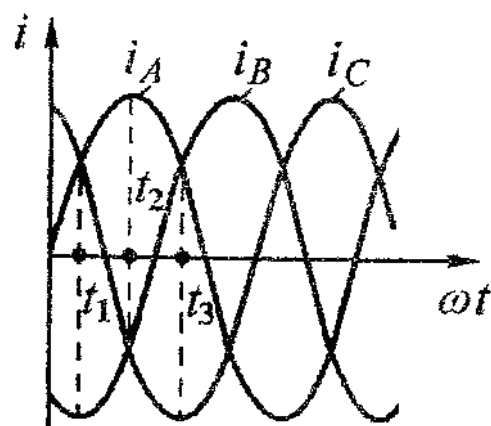
$$i_C = I_m \sin(\omega t + 120^0)$$

Vaqtning turli momentlari uchun natijaviy magnit maydonining shaklini ko'rib chiqamiz. Tokning musbat yo'nalishini chulg'am oxiridan

3.27-rasm
boshiga tomon qabul qilamiz (3.28-rasm, a).



a)



b)

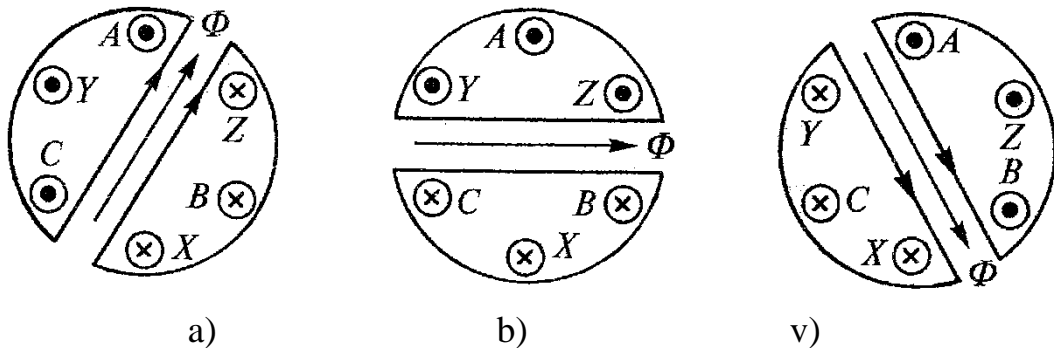
3.28-rasm

$t = t_1$ paytda (3.29-rasm, b) $i_A > 0$, $i_B < 0$, $i_C > 0$. Bu holat uchun magnet maydonining ko'rinishi 3.29-rasm, a da tasvirlangan.

$t = t_2$ paytda $i_A > 0$, $i_B < 0$, $i_C < 0$ bo'lib, unga 3.29-rasm, b dagi ko'rinish mos keladi. Rasmdan ko'rinish turibdiki, natijaviy magnet oqimi (magnet maydonining o'q chizig'i) ma'lum burchakka burilgan.

$t = t_3$ paytda $i_A > 0$, $i_B > 0$, $i_C < 0$ bo'lib, magnet maydonining o'q chizig'i yana ma'lum burchakka buriladi (3.29-rasm, v) va h.k.

Shunday qilib, chulg'amlardagi toklar qiymatlari va yo'nalishlarini vaqt bo'yicha o'zgarishi natijaviy magnet maydonini soat mili harakati bo'yicha burilishiga yoki boshqacha qilib aytganda aylanishiga olib keladi. O'zgaruvchan tokning bitta davri mobaynida magnet maydoni stator o'qi atrofida bir marta to'liq aylanadi. Aylanish yo'nalishi chulg'amlardagi faza toklari ketma-ketligiga bog'liq bo'ladi. Aylanish yo'nalishini o'zgartirish uchun fazalar ketma-ketligini o'zgartirish, ya'ni ikkita faza o'rnini almashtirish kifoya.



3.29-rasm

Natijaviy magnet maydoni induksiyasi vektori joylashishining vaqt bo'yicha va fazoda o'zgarishini ko'rib chiqamiz. 3.27-rasmda keltirilgan elektr mashinasi havo oralig'ining M nuqtasidagi induksiya qiymatini aniqlaymiz. Bu nuqta A faza chulg'ami o'qidan α burchakka, B faza chulg'ami o'qidan $\alpha + 120^0$ burchakka, C fazadan $\alpha - 120^0$ ga siljigan. M nuqtadagi induksiya qiymatini topish uchun ustma-ustlash prinsipidan foydalanamiz:

$$B = B_A + B_B + B_C;$$

bu yerda

$$B_A = B_m \cos \omega t \cos \alpha, \quad B_B = B_m \cos(\omega t - 120^0) \cos(\alpha + 120^0),$$

$$B_C = B_m \cos(\omega t + 120^0) \cos(\alpha - 120^0).$$

$$\cos \omega t \cos \alpha = \frac{1}{2} [\cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha)] \quad \text{ifodani hisobga olib,}$$

quyidagilarni hosil qilamiz:

$$B_A = \frac{1}{2} B_m [\cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha)],$$

$$B_B = \frac{1}{2} B_m [\cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha - 240^0)],$$

$$B_C = \frac{1}{2} B_m [\cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha + 240^0)].$$

Bundan

$$B = B_A + B_B + B_C = \frac{3}{2} B_m \cos(\omega t + \alpha).$$

Oxirgi tenglikdan ko'rinib turibdiki, havo oralig'i nuqtasidagi maydon induksiyasi bir paytning o'zida ham vaqtning, ham shu nuqtaning fazodagi holati funksiyasi hisoblanadi.

Aytaylik, ko'rib chiqilayotgan M nuqta havo oralig'i bo'ylab manfiy, ya'ni soat mili harakati yo'nalishida ω burchak tezlik bilan harakatlanmoqda. Bu holat uchun

$\alpha = -\omega t$ bo'lib, $B = \frac{3}{2} B_m = 1,5 B_m$ bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, natijaviy maydonning o'q chizig'i soat mili harakati yo'nalishida ω burchak tezlik bilan aylanib turadi va o'q chiziqning o'zida uning qiymati ($1,5 B_m$) o'zgarmaydi.

Yuqorida olingan natijalarni tahlil qilib quyidagi xulosalarni hosil qilishimiz mumkin:

1. Fazoda o'zaro siljigan chulg'amlardan toklar o'tganida burchak tezligi tok chastotasiga teng aylanuvchan magnit maydoni hosil bo'ladi. Tok davriga teng bo'lgan vaqtda maydon to'liq bir marta aylanadi.

2. Stator ichki yuzasi bo'ylab maydon induksiyasi sinusoidal (aniqrog'i trapesiyasimon) qonuniyat bo'yicha taqsimlangan bo'ladi. Uning qiymati maydon o'q chizig'i bo'ylab $1,5 B_m$ ga teng va o'zgarmasdir.

3. Pulsatsiyalanuvchi magnit maydonini bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan ikkita aylanuvchan maydonlarga ajratish mumkin. Bunda har bir maydon induksiyasining maksimal qiymati $\frac{1}{2} B_m$ ga teng, chunki

$$B = B_m \cos \omega t \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} B_m [\cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha)].$$

4. Chulg'amlar simmetrik toklar sistemasidan ta'minlanganida aylanuvchan magnit maydonining trayektoriyasi aylana hosil qiladi, chunki moduli $1,5 B_m$ ga teng bo'lgan vektor uchining harakati aylana hosil qiladi. Agar chulg'amlardan nosimmetrik toklar o'tsa, u holda aylanuvchan magnit maydoni harakatining trayektoriyasi elliptik ko'rinishda bo'ladi.

Ma'ruza №26

Uch fazali asinxron motorning ishlash prinsipi

3.27-rasmda ko'rsatilgan elektr mashina stator chulg'amlari uch fazali manbadan ta'minlanganida aylanuvchan magnit maydoni hosil bo'ladi. Rotor qisqa tutashtirilgan yoki 3 ta faza chulg'amlaridan tashkil topgan bo'ladi. Aylanuvchan magnit maydoni rotor chulg'amlarini kesib o'tganida ularda elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra EYuK hosil bo'ladi. Bu EYuK lar ta'sirida rotor chulg'amlaridan toklar o'ta boshlaydi. Statorning aylanuvchan magnit maydoni va rotor toklari atrofida maydonlarning o'zaro ta'siri natijasida rotorni aylanuvchan magnit maydoni yo'nalishida aylantiruvchi moment yuzaga keladi. Rotorning aylanish tezligi (n_2) statorning aylanuvchan magnit maydoni aylanish tezligi n_1 dan biroz kichikroq bo'ladi. Chunki, agar $n_1 = n_2$ bo'lganida, aylanuvchan maydon kuch chiziqlari rotor chulg'amlarini kesib o'tmagan va unda EYuK induksiyalanmagan bo'lar edi. Shuning uchun ham bunday motorlar asinxron motorlar deb ataladi.

Rotor tezligini aylanuvchan maydon tezligidan kichiklik darajasi sirpanish bilan tavsiflanadi:

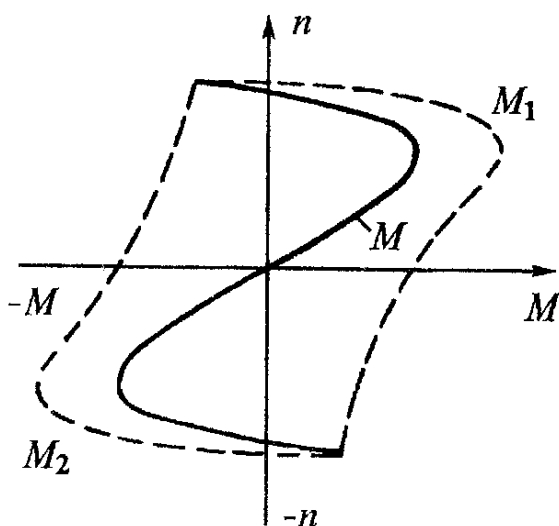
$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Kam quvvatli asinxron motorlarda turg'un rejimda sirpanish $0,1 \div 0,15$ ni, katta quvvatli asinxron motorlarda esa u $0,02 \div 0,05$ ni tashkil etadi.

Asinxron motorlarning tuzilishi, ishlash prinsipi va o'ziga xos xususiyatlari "Elektromexanika" kursida batafsil bayon etiladi.

Bir fazali asinxron motorning ishlash prinsipi

Bir fazali asinxron motor statorida bitta chulg'am, rotorida esa qisqa tutashtirilgan chulg'am joylashtirilgan bo'ladi. Stator chulg'amiga sinusoidal tok berilganida uning atrofida pul satsiyalanuvchi magnit maydoni hosil bo'ladi. Bu



maydonni ikkita aylanuvchi maydon ko'rinishida tasvirlab, uning ta'sirida yuzaga keladigan aylantiruvchi momentni $M = M_1 - M_2$ ko'rinishida yozishimiz mumkin. $M(n)$ bog'lanish 3.30-rasmda keltirilgan. Rotor qo'zg'almas bo'lgan holatda aylanuvchi maydonlar qiymat jihatdan o'zaro teng, lekin bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan aylantiruvchi momentlarni hosil qiladi. Shuning

3.30-rasm

uchun ham bu momentlar ta'sirida rotor harakatga kelmaydi. U harakatga kelishi

uchun momentlardan birining qiymati kattaroq bo'lishi lozim.

Bir fazali elektr motorlarda ishga tushirish momentini hosil qilish uchun qo'shimcha ishga tushirish chulg'amidan foydalaniladi yoki stator zanjiriga faza siljituvchi element, masalan, kondensator ulanadi. Natijada ikkita fazali sistema hosil bo'lib, motorning ishchi havo oralig'ida elliptik trayektoriya bo'ylab aylanuvchan maydon hosil bo'ladi va uning ta'sirida rotor harakatga keladi. Motor ishga tushganidan keyin ishga tushirish chulg'ami zanjirdan ajratiladi.

Simmetrik tashkil etuvchilar usuli

Nosimmetrik uch fazali zanjirlarda tok yoki kuchlanishlarni simmetrik tashkil etuvchilar yig'indisi ko'rinishida ifodalash asosida hisoblash usuli simmetrik tashkil etuvchilar usuli deb ataladi. Ushbu usulning mohiyati quyidagicha:

1. Istalgan uch fazali nosimmetrik kuchlanishlar sistemasi nol, to'g'ri va teskari deb ataluvchi ketma-ketlikli tashkil etuvchilar ko'rinishida ifodalanadi.
2. Kuchlanishning har bir tashkil etuvchisidan zanjirda hosil bo'lgan toklar aniqlanadi.
3. Ustma-ustlash prinsipi asosida zanjirdagi toklar topiladi.

Uch fazali vektorlar sistemasining simmetrik tashkil etuvchilari

Nol, to'g'ri va teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchilar va ularni nosimmetrik uch fazali vektorlar sistemasi orqali aniqlashni ko'rib chiqamiz. Uch fazali simmetrik sistemada EYuK, kuchlanish va tok fazalari orasidagi burchak 120° ga teng bo'lganligi sababli matematik almashtirish amallarini soddalashtirish maqsadida, quyidagi kompleks ko'paytuvchi yoki uch fazali operatoridan foydalanamiz:

$$a = e^{j120^\circ} = e^{-j240^\circ} = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$a^2 = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ} = \cos 120^\circ - j \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$a^3 = e^{j360^\circ} = 1,$$

$$1 + a + a^2 = 1 - \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,$$

ya'ni 1, a va a^2 vektorlarning yig'indisi simmetrik sistemani hosil qiladi.

Uch fazali simmetrik EYuK lar sistemasini a operator yordamida ifodalaymiz:

$$\underline{E}_A = E, \quad \underline{E}_B = Ee^{-j120^\circ} = Ee^{j240^\circ} = a^2 E,$$

$$\underline{E}_C = Ee^{-j240^\circ} = Ee^{j120^\circ} = aE$$

yoki

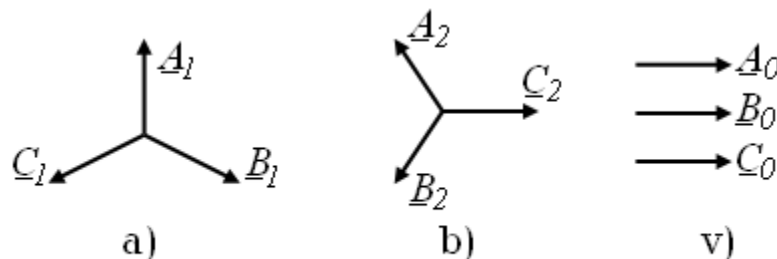
$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = (1 + a + a^2)E = 0.$$

Vektorni a ga ko'paytirish uni soat mili harakatiga teskari yo'nalishda 120° ga yoki soat mili harakati yo'nalishida 240° ga burish demakdir. Vektorni a^2 ga ko'paytirish uni soat mili harakatiga teskari yo'nalishda 240° ga, mos yo'nalishda esa 120° ga burish demakdir.

Endi a operator orqali simmetrik tashkil etuvchilarning ifodalarini hosil qilamiz.

To'g'ri ketma-ketlikli tashkil etuvchilar modullari teng va o'zaro 120° ga siljigan A_1, B_1 va C_1 vektorlardan iborat bo'lib, ketma-ketlik tartibi A_1, B_1, C_1

ko'rinishida bo'ladi (3.31-rasm, a). Bunda $\underline{B}_1 = a^2 \underline{A}_1$, $\underline{C}_1 = a \underline{A}_1$.



3.31 – rasm

Teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchilar modullari teng va o'zaro 120° ga siljigan A_2, B_2, C_2 vektorlardan iborat bo'lib, ketma-ketlik tartibi A_2, B_2, C_2 ko'rinishida bo'ladi (3.32-rasm, b). Bunda $\underline{B}_2 = a \underline{A}_2$, $\underline{C}_2 = a^2 \underline{A}_2$.

Nol ketma-ketlikli tashkil etuvchilar modullari teng va faza jihatdan mos bo'lgan 3 ta bir xil vektordan iborat (3.31-rasm, v). Bunda $\underline{A}_0 = \underline{B}_0 = \underline{C}_0$.

$\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$ nosimmetrik vektorlar sistemasini uchta simmetrik tashkil etuvchilar yig'indisi ko'rinishida yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= \underline{A}_1 + \underline{A}_2 + \underline{A}_0, \\ \underline{B} &= \underline{B}_1 + \underline{B}_2 + \underline{B}_0 = a^2 \underline{A}_1 + a \underline{A}_2 + \underline{A}_0, \\ \underline{C} &= \underline{C}_1 + \underline{C}_2 + \underline{C}_0 = a \underline{A}_1 + a^2 \underline{A}_2 + \underline{A}_0. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Hosil bo'lgan tenglamalar sistemasi yordamida berilgan $\underline{A}_1, \underline{A}_2$ va \underline{A}_0 simmetrik tashkil etuvchilar yordamida A, B va C vektorlarni aniqlash mumkin.

(3.5) tenglamalar sistemasini $\underline{A}_1, \underline{A}_2$ va \underline{A}_0 larga nisbatan yechib, $\underline{A}, \underline{B}$ va \underline{C} vektorlar berilgan hol uchun tegishli simmetrik tashkil etuvchilarni topish mumkin bo'ladi. \underline{A}_0 vektorni topish uchun (3.5) sistemadagi tenglamalarni o'zaro qo'shish kifoya, ya'ni:

$$\underline{A} + \underline{B} + \underline{C} = \underline{A}_1(1 + a + a^2) + \underline{A}_2(1 + a + a^2) + 3\underline{A}_0.$$

$1 + a + a^2 = 0$ ni hisobga olsak:

$$\underline{A}_0 = \frac{1}{3}(\underline{A} + \underline{B} + \underline{C}). \quad (3.6)$$

\underline{A}_1 va \underline{A}_2 vektorlar uchun (3.5) sistemani Gauss usuli yordamida yechib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\underline{A}_1 = \frac{1}{3}(\underline{A} + a\underline{B} + a^2\underline{C}), \quad (3.7)$$

$$\underline{A}_2 = \frac{1}{3}(\underline{A} + a^2\underline{B} + a\underline{C}). \quad (3.8)$$

(3.6) tenglama tahlilidan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

1. Uch fazali zanjirda liniya kuchlanishlar yig'indisi nolga teng bo'lganligi sababli liniya kuchlanishlar tarkibida nol ketma-ketlikli tashkil etuvchilar bo'lmaydi, ya'ni

$$\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} + \underline{U}_{CA}}{3} = 0.$$

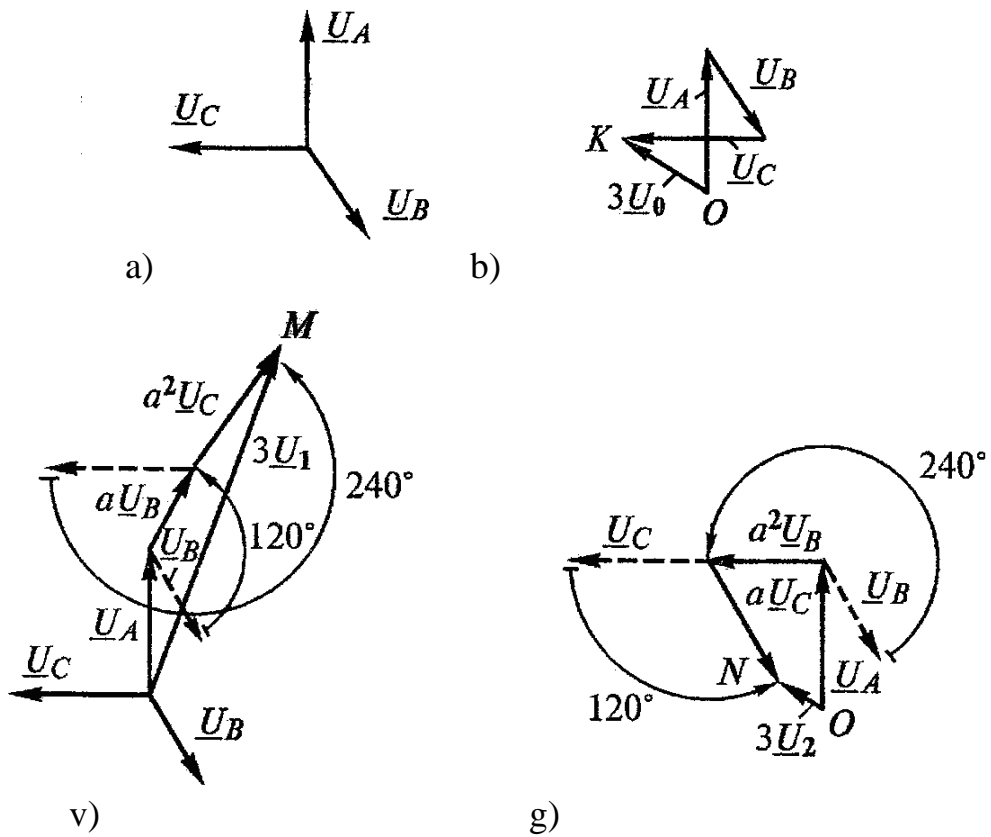
2. Uch simli uch fazali zanjirda liniya toklari vektorlarining yig'indisi nolga teng. Shuning uchun ham liniya toklar sistemasida nol ketma-ketlikli tashkil etuvchilar nolga teng, ya'ni

$$\underline{I}_0 = \frac{1}{3}(\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C) = 0.$$

3. Neytral simli uch fazali zanjirda neytral simdagi tok nol ketma-ketlikli tashkil etuvchining uchlanganiga teng, ya'ni

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 3\underline{I}_0.$$

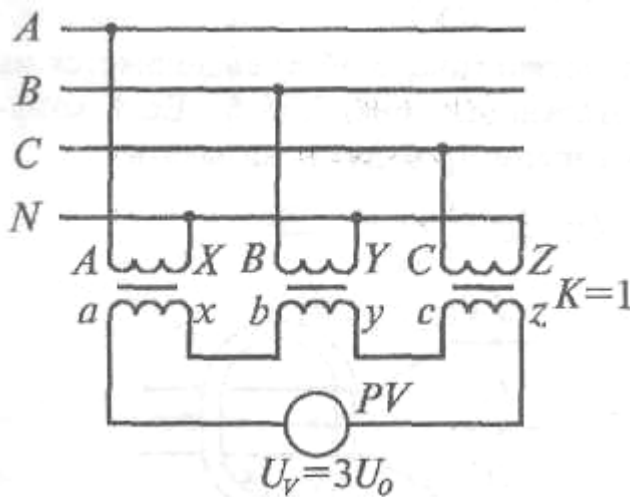
(3.6), (3.7) va (3.8) tenglamalar yordamida berilgan nosimmetrik vektorlar sistemaning simmetrik tashkil etuvchilarini topish mumkin. Masalan, $\underline{U}_A, \underline{U}_B$ va \underline{U}_C faza kuchlanishlarining nosimmetrik sistemasi berilgan bo'lsin (3.32-rasm, a). $\underline{U}_0, \underline{U}_1$ va \underline{U}_2 kuchlanishlarni topish uchun (3.6)...(3.8) tenglamalar asosida vektorlarni qo'shamiz (3.32-rasm, b, v, g).



3.32-rasm

Simmetrik tashkil etuvchilarni o'lchash usullari

Tok va kuchlanishlar simmetrik tashkil etuvchilarini tajriba yordamida aniqlashda maxsus filtrlardan foydalaniladi. Bunday filtrlar uch fazali energetik tizimlarni avariya rejimlaridan himoya qiluvchi sxemalarda qo'llaniladi. Bu tizimlarda nol va teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchilarning hosil bo'lishi simmetriyaning buzilganligini ko'rsatadi.



Kuchlanishning nol ketma-ketlikli tashkil etuvchisini ajratuvchi (aniqlovchi) filtr uchta bir fazali transformatoridan tashkil topgan bo'lib, ularning birlamchi chulg'amlari uch fazali zanjir faza kuchlanishlariga, ikkilamchi chulg'amlari esa ochiq uchburchak sxemasida voltmetrga ulangan.

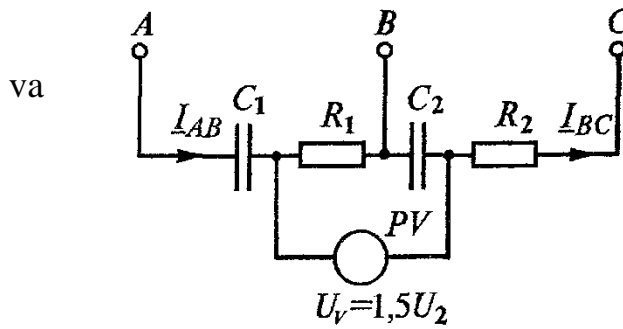
Agar transformatorlar
3.33-rasm

koeffitsiyenti birga teng bo'lsa, u holda voltmetr o'lchaydigan

natijaviy kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{U}_V = \underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = 3\underline{U}_0 \quad \text{yoki} \quad \underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_V}{3}, \quad \text{ya'ni} \quad \text{voltmetr}$$

kuchlanishning nol ketma-ketlikli tashkil etuvchisini ko'rsatadi.



3.34-rasm

Teskari ketma-ketlikli kuchlanish filtri ikkitadan rezistor kondensatordan iborat (3.34-rasm).

$$\text{Filtr parametrlari} \quad \frac{R_1}{X_1} = \frac{X_2}{R_2} = \sqrt{3}$$

shartni qanoatlantirishi lozim. Unda

$$\underline{Z}_{AB} = R_1 - jX_1 = R_1 - j\frac{R_1}{\sqrt{3}} = \frac{2R_1}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ},$$

$$\underline{Z}_{BC} = R_2 - jX_2 = \frac{X_2}{\sqrt{3}} - jX_2 = \frac{2X_2}{\sqrt{3}} e^{-j60^\circ}.$$

Liniya kuchlanishlarini simmetrik tashkil etuvchilar orqali ifodalaymiz:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2; \quad \underline{U}_{BC} = a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2; \quad \underline{U}_0 = 0.$$

Filtr shoxobchalaridagi toklar:

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{\sqrt{3}}{2R_1} \underline{U}_1 e^{j30^\circ} + \frac{\sqrt{3}}{2R_1} \underline{U}_2 e^{j30^\circ},$$

$$\underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = \frac{\sqrt{3}a^2}{2X_2} \underline{U}_1 e^{j60^\circ} + \frac{\sqrt{3}a}{2X_2} \underline{U}_2 e^{j60^\circ}.$$

R_1 va X_2 elementlardagi kuchlanishlar:

$$\underline{U}_{R_1} = \underline{I}_{AB} R_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_1 e^{j30^\circ} + \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_2 e^{j30^\circ},$$

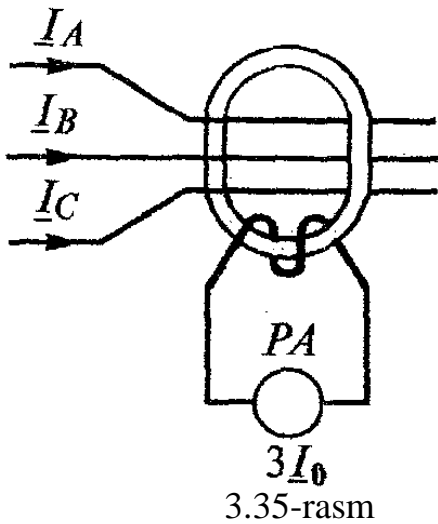
$$\underline{U}_{X_2} = \underline{I}_{BC} (-jX_2) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_1 e^{j30^\circ} + \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_2 e^{j30^\circ}.$$

Voltmeter ko'rsatkichi

$$\underline{U}_V = \underline{U}_{R_1} + \underline{U}_{X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_2 \left(e^{j30^\circ} + e^{j90^\circ} \right) = 1,5 \underline{U}_2 e^{j60^\circ},$$

$$U_V = 1,5U_2 \text{ yoki } \underline{U}_2 = \frac{U_V}{1,5}.$$

Shunday qilib, voltmetr teskari ketma-ketlikli kuchlanishni ko'rsatadi.



Agar A va C qismalar o'rni almashtirilsa va $\frac{R_1}{X_1} = \frac{X_2}{R_2} = \sqrt{3}$ shart bajarilsa, u holda voltmetr to'g'ri ketma-ketlikli kuchlanishni ko'rsatadi, ya'ni

$$U_V = \sqrt{3}U_1 \quad U_1 = \frac{U_V}{\sqrt{3}}.$$

Nol ketma-ketlikli toklar filtri tok transformatorlari asosida qurilish mumkin (3.35-rasm).

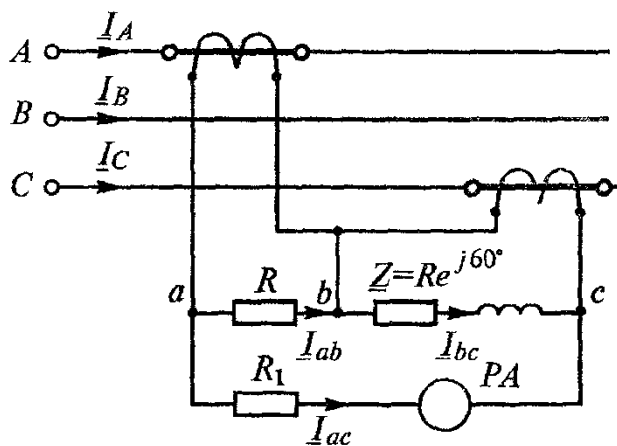
Agar transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti nolga teng bo'lsa, u holda uning ikkilamchi chulg'amiga ulangan ampermetr

$$\text{ko'rsatkichi } \underline{I}_0 = \frac{1}{3} \underline{I} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C)$$

ga teng bo'ladi.

Uch simli uch fazali zanjir normal rejimda ishlaganda ampermetr nolni ko'rsatadi. Asbob ko'rsatishining noldan og'ishi uch fazali sistemada normal rejim buzilganidan dalolat beradi. Shuning uchun ham bunday filtrlar releli himoya qurilmalarida keng ishlatiladi.

Teskari ketma-ketlikli toklar filtri ham tok transformatorlari asosida hosil qilinadi (3.36-rasm). Shoxobchalar



3.36-rasm

$$\text{qarshiliklari } \underline{Z}_{ab} = R,$$

$$\underline{Z}_{bc} = R \cdot e^{j60^0}, \quad \underline{Z}_{ac} = R_1$$

munosabatda tanlansa, ampermetr ko'rsatkichi teskari ketma-ketlikli tokka proporsional bo'ladi. Ushbu tasdiqni isbotlash uchun quyidagi o'zgartirishlarni bajaramiz.

Kirxgof qonunlariga ko'ra:

$$R\underline{I}_{ab} + R \cdot e^{j60^0} \underline{I}_{bc} - R_1 \underline{I}_{ac} = 0,$$

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_a - \underline{I}_{ac}, \quad \underline{I}_{bc} = \underline{I}_c - \underline{I}_{ac},$$

yoki $R\underline{I}_a + R\underline{I}_{ac} + R \cdot e^{j60^\circ} \underline{I}_c - R \cdot e^{j60^\circ} \underline{I}_{ac} - R_1 \underline{I}_{ac} = 0$,
bundan

$$\underline{I}_{ac} = \frac{R\underline{I}_a + R \cdot e^{j60^\circ} \underline{I}_c}{R + R \cdot e^{j60^\circ} + R_1}.$$

$I_0 = 0$ bo'lganligi uchun $\underline{I}_a = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$, $\underline{I}_c = a\underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2$.

Bularni va $1 + ae^{j60^\circ} = 0$ ekanligini hisobga olib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\underline{I}_{ac} = \frac{R + aR \cdot e^{j60^\circ}}{R + R \cdot e^{j60^\circ} + R_1} = k\underline{I}_2,$$

bu yerda k - ampermetr ko'rsatkichi va teskari ketma-ketlikli tok orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti.

Agar filtr sxemasidagi \underline{Z}_{ab} va \underline{Z}_{bc} qarshiliklar o'zaro almashtirilsa, u holda ampermetr ko'rsatkichi to'g'ri ketma-ketli tokka proporsional bo'ladi.

Ma'ruza №27

Uch fazali zanjirlarni simmetrik tashkil etuvchilar usuli yordamida hisoblash

Bu usul usma-ustlash prinsipiga asoslangan bo'lib, dastlabki nosimmetrik uch fazali zanjir uchta simmetrik zanjir majmuasi ko'rinishida tasvirlanadi. Bunda har bir simmetrik tashkil etuvchining zanjirga ta'siri alohida hisoblanadi. Boshqacha qilib aytganda, kuchlanishning har bir simmetrik tashkil etuvchisi zanjirda mos tashkil etuvchi toklarni hosil qiladi va aksincha: tokning har bir tashkil etuvchisidan zanjirda mos tashkil etuvchili kuchlanish pasayishi yuzaga keladi.

Simmetrik uch fazali zanjirlarni har xil ketma-ketlikli toklar uchun qarshiliklari

Uch fazali zanjirlarni hisoblashda har xil ketma-ketlikli toklar uchun zanjirning qarshiliklarini bilish lozim bo'ladi, chunki bu qarshiliklarning qiymatlari turlicha. To'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikli faza kuchlanishlari kompleks qiymatlarining unga mos faza toklar kompleks qiymatlariga nisbati zanjirning to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikli kompleks qarshiliklari deb ataladi:

$$\underline{Z}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}, \quad \underline{Z}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}, \quad \underline{Z}_0 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{I}_0}.$$

Tarkibida aylanuvchan qismga ega bo'lgan elektr mashinalari bo'lmagan uch fazali zanjirlar (masalan, transformatorlar, uzatish liniyalari va h.k.) uchun $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$.

Nol ketma-ketlikli tashkil etuvchi tok uchun qarshilikning qiymati uch fazali zanjirning ulanish sxemasiga bog'liq bo'ladi. To'rt simli uch fazali zanjirda agar $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}$ bo'lsa, u holda unga berilgan simmetrik kuchlanish fazalari ketma-ketligi o'zgartirilganda toklar qiymatlari o'zgarmasdan qoladi (faqat ularning ketma-ketligi o'zgaradi). Shuning uchun ham bunday zanjirlar uchun $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}$ bo'ladi.

Agar uch fazali zanjirga nol ketma-ketlikli kuchlanishlar sistemasi ($\underline{U}_A = \underline{U}_B = \underline{U}_C = \underline{U}_0$) berilgan bo'lsa, u holda

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 3\underline{I}_0.$$

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z} + 3\underline{Z}_N = \frac{U}{I}.$$

Agar neytral sim bo'lmasa, u holda $\underline{Z}_0 = \infty$ bo'lib, $\underline{I}_0 = 0$ bo'ladi.

Aylanuvchan qismga ega elektr mashinalarda $\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_0$ bo'lib, ko'pincha $\underline{Z}_1 > \underline{Z}_2$ bo'ladi. Buning sababi shundan iboratki, to'g'ri va teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchi toklar o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda aylanuvchi magnit maydonlarini hosil qiladi. Bunda tokning to'g'ri ketma-ketlikli tashkil etuvchisidan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining yo'nalishi rotorning aylanish yo'nalishiga mos, tokning teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchisidan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining yo'nalishi rotorning aylanish yo'nalishiga teskari bo'ladi.

Nosimmetrik manbadan ta'minlanayotgan simmetrik uch fazali zanjirlardagi toklarni aniqlash

Bunday turkumdagi zanjirlarni hisoblashni nosimmetrik kuchlanishlar sistemasidan ta'minlanayotgan uch fazali elektrodvigatel chulg'amlaridagi toklarni aniqlash misolida ko'rib chiqamiz. Hisoblashni quyidagi tartibda olib boramiz:

1. Berilgan nosimmetrik faza kuchlanishlar sistemasini simmetrik tashkil etuvchilar ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C); \quad \underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C);$$

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C).$$

2. Om qonuni asosida toklar simmetrik tashkil etuvchilarini aniqlaymiz:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1}, \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_2}, \quad \underline{I}_0 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_0}.$$

3. Toklar simmetrik tashkil etuvchilari orqali liniya toklarini topamiz:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_0 + \underline{I}_1 + \underline{I}_2; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_0 + a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2;$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_0 + a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2.$$

Shuni ta'kidlab o'tish joizki, bu usulni faqat chiziqli zanjirlarni hisoblashda qo'llash mumkin.

Masala. Uch fazali asinxron dvigatel stator chulg'amlari nosimmetrik kuchlanishlar sistemasi $\underline{U}_A = 400 B$, $\underline{U}_B = -j300 B$, $\underline{U}_C = j300 B$ ga ulangan. Dvigatel neytral nuqtasi izolyasiyalangan. Dvigatel fazalarining to'g'ri va teskari ketma-ketlikli toklarga qarshiliklari $\underline{Z}_1 = 6 + j6 \text{ Om}$, $\underline{Z}_2 = 0,3 + j1,1 \text{ Om}$. Liniya toklari, dvigatel iste'mol qilayotgan aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar topilsin.

Echish. 1. Faza kuchlanishlarining simmetrik tashkil etuvchilari quyidagicha topiladi:

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) = \frac{400 - j300 + j300}{3} \approx 133 B,$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C) = \frac{1}{3} \left[400 + e^{j120^\circ} (-j300) + e^{j240^\circ} j300 \right] = 307 B,$$

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C) = \frac{1}{3} \left[400 + e^{j240^\circ} (-j300) + e^{j120^\circ} j300 \right] = -40,7 B.$$

2. Toklar simmetrik tashkil etuvchilari Om qonuni yordamida quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{I}_0 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_0} = \frac{133}{\infty} = 0, \quad \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1} = \frac{307}{6 + j6} = 36,2e^{-j45^\circ} A,$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_2} = \frac{-40,7}{0,3 + j1,1} = -35,7e^{-j75^\circ} A.$$

3. Liniya toklari:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 36,2e^{-j45^\circ} - 35,7e^{-j75^\circ} = 19,2e^{-j29^\circ} A,$$

$$\underline{I}_B = a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2 = 36,2e^{-j45^\circ} e^{j240^\circ} - 35,7e^{-j75^\circ} e^{j120^\circ} = 69e^{-j160^\circ} A,$$

$$\underline{I}_C = a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 = 36,2e^{-j45^\circ} e^{j120^\circ} + 35,7e^{-j75^\circ} e^{j240^\circ} = 51e^{j29^\circ} A.$$

4. Aktiv quvvat:

$$P = \operatorname{Re} \left| 3\underline{U}_0 \underline{I}_0^* + 3\underline{U}_1 \underline{I}_1^* + 3\underline{U}_2 \underline{I}_2^* \right| = 3\underline{U}_1 \underline{I}_1 \cos \varphi_1 + 3\underline{U}_2 \underline{I}_2 \cos \varphi_2 =$$

$$= 3 \cdot 307 \cdot 36,2 \cos 45^0 + 3 \cdot 40,7 \cdot 35,7 \cos 75^0 = 24,7 \text{ } \kappa Bm.$$

5. Reaktiv quvvat:

$$Q = \operatorname{Im} \left| 3\underline{U}_1 \underline{I}_1^* + 3\underline{U}_2 \underline{I}_2^* \right| = 3\underline{U}_1 \underline{I}_1 \sin \varphi_1 + 3\underline{U}_2 \underline{I}_2 \sin \varphi_2 =$$

$$= 3 \cdot 307 \cdot 36,2 \sin 45^0 + 3 \cdot 40,7 \cdot 35,7 \sin 75^0 = 27,8 \text{ } \kappa Bap.$$

6. To'la quvvat va quvvat koeffitsiyenti:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{24,7^2 + 27,8^2} = 37,2 \text{ } \kappa BA,$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{24,7}{37,2} = 0,68.$$

Simmetrik kuchlanishlar sistemasidan ta'minlanayotgan nosimmetrik uch fazali zanjirni hisoblash

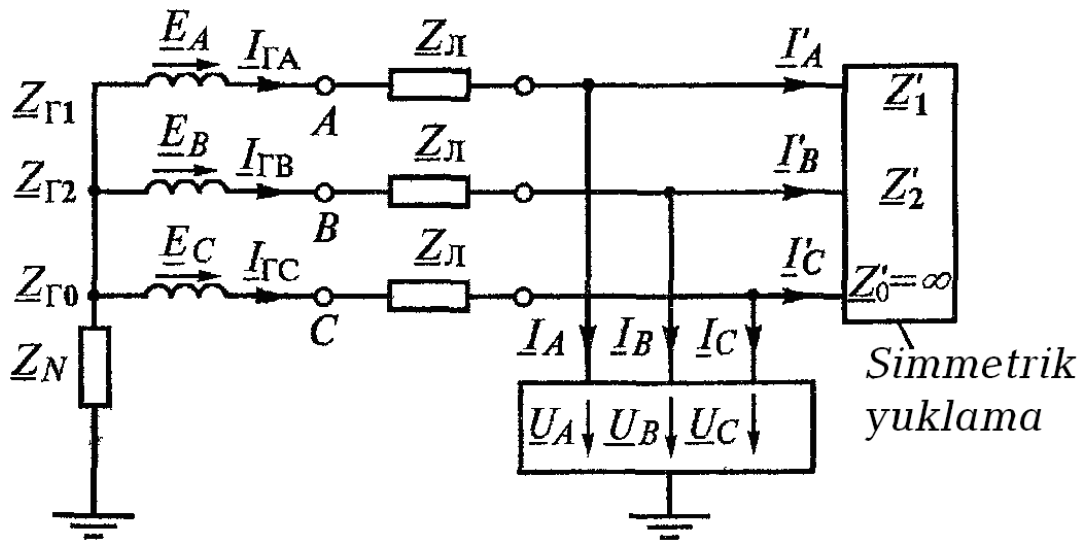
Bunday turkumdagi zanjirlarda ham nosimmetrik toklar sistemasi hosil bo'ladi. Bu toklarni aniqlash uchun ko'pincha kompensatsiya prinsipi qo'llaniladi va natijada simmetrik zanjir va nosimmetrik EYuK lar sistemasi hosil bo'ladi. Nosimmetrik EYuK lar simmetrik tashkil etuvchilarga ajratiladi.

Uch fazali zanjirlarda ikki tur - bo'ylama va ko'ndalang nosimmetriya uchraydi. Ko'ndalang nosimmetriya simmetrik uch fazali zanjirga nosimmetrik yuklama ulanganda hosil bo'ladi. Bularga nosimmetrik qisqa tutashishlarning har xil turlari (fazalar o'rtasidagi qisqa tutashish, bitta yoki ikkita fazaning yerga ulanishi) kiradi.

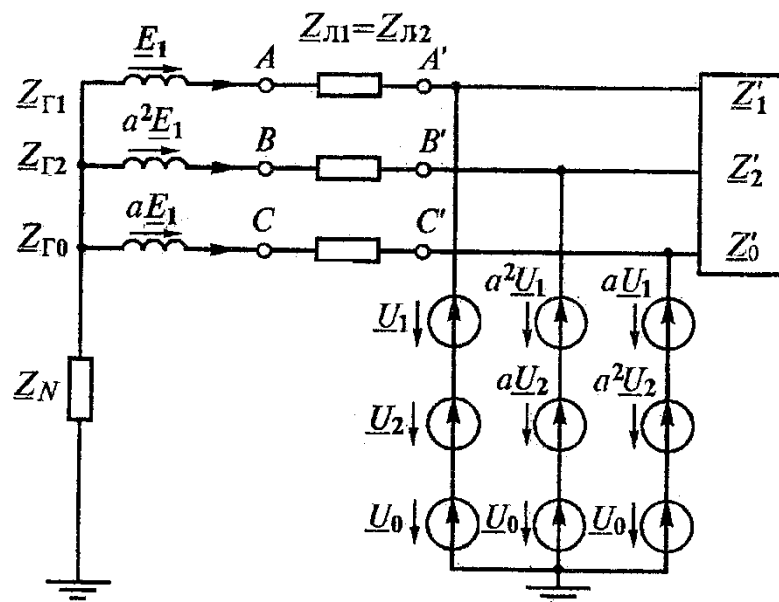
Bo'ylama nosimmetriya fazalarga har xil qarshilikli yuklamalar ulanganda, bitta yoki ikkita fazada uzilish paydo bo'lganda yuzaga keladi.

Ko'ndalang nosimmetriyaga ega bo'lgan uch fazali zanjirni hisoblash.

3.37-rasmda keltirilgan uch fazali zanjirni hisoblaymiz. Ushbu zanjir simmetrik EYuK lar sistemasini hosil qiluvchi uch fazali sinxron generator, liniya hamda bitta simmetrik va bitta nosimmetrik uch fazali yuklamadan tashkil topgan.



3.37-rasm

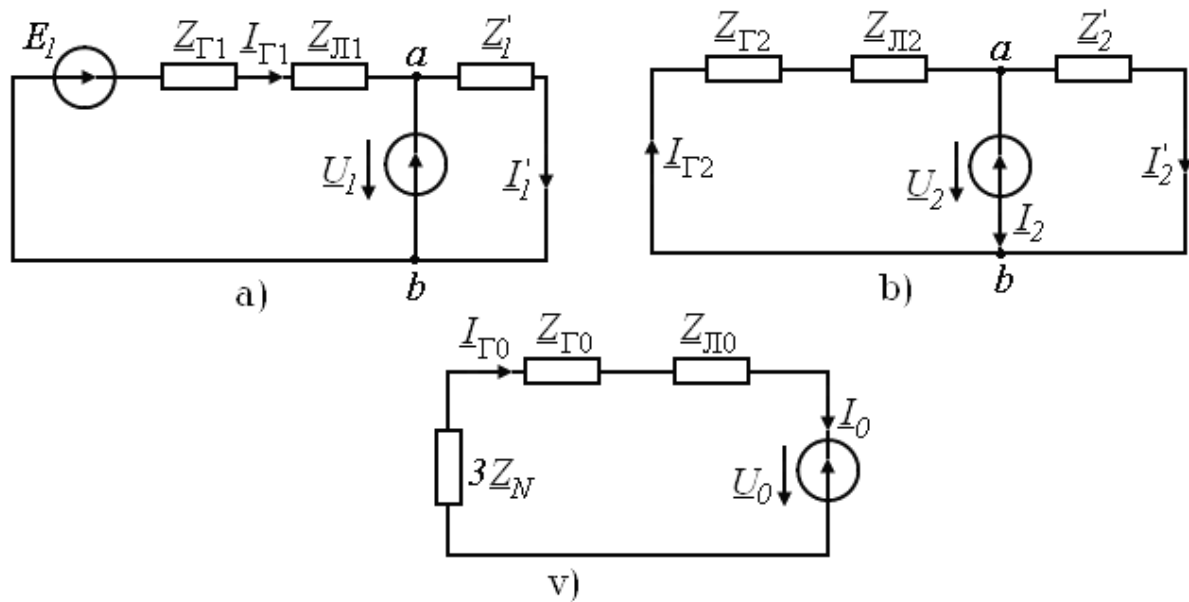


3.38-rasm

Sxemadagi nosimmetrik yuklamani kuchlanishlari $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ noma'lum bo'lgan uchta manba bilan almashtiramiz. Natijada simmetrik EYuK lar sistemasi va nosimmetrik kuchlanishlar sistemasidan iborat zanjir hosil bo'ladi (3.38-rasm).

Bu zanjirda har bir ketma-ketlikli kuchlanishdan unga mos toklar yuzaga keladi. Shuning uchun ustma-ustlash prinsipiga asosan dastlabki zanjirni uchta mustaqil zanjir ko'rinishida ajratish mumkin (3.39-rasm).

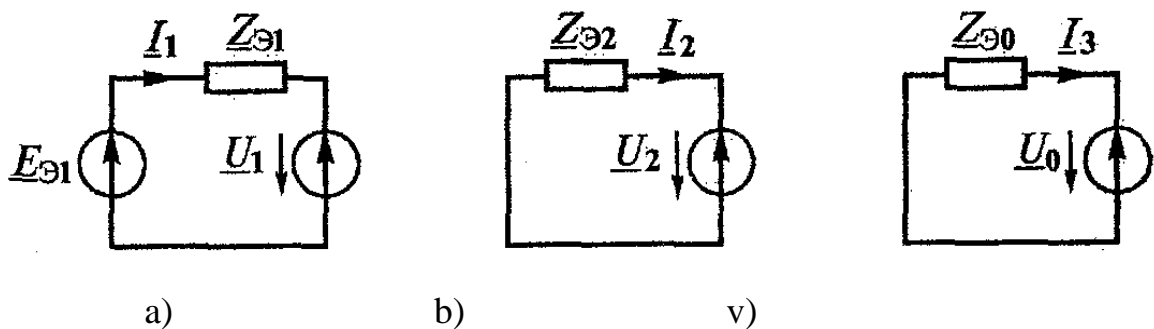
Bunda to'g'ri (3.39-rasm, a) va teskari (3.39-rasm, b) ketma-ketlikli tashkil etuvchilar uchun sxemalar konfiguratsiyasi bir xil. Nol ketma-ketlikli tashkil etuvchi uchun sxema (3.39-rasm, v) da neytral sim qarshiligi dastlabki sxema neytral simi qarshiligidaning uchlanganiga teng.



3.39 – rasm

To'g'ri ketma-ketlikli sxemani ekvivalent generator usuli yordamida hisoblash mumkin. ab qismalarga nisbatan zanjirni $E_{\mathcal{D}1}$ va $Z_{\mathcal{D}1}$ hamda $E_1 = U_1$ bilan almashtiramiz (3.40-rasm, a). Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra

$$\underline{E}_{\mathcal{D}1} = \underline{I}_1 \underline{Z}_{\mathcal{D}1} + \underline{U}_1, \text{ bu yerda } \underline{Z}_{\mathcal{D}1} = \frac{(\underline{Z}_{\Gamma 1} + \underline{Z}_{\Pi 1}) \underline{Z}'_1}{\underline{Z}_{\Gamma 1} + \underline{Z}_{\Pi 1} + \underline{Z}'_1}.$$



3.40-rasm

Teskari ketma-ketlikli sxema uchun shunga o'xshash almashtirishlar bajarib (3.40-rasm, b), quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$0 = \underline{I}_2 \underline{Z}_{\mathcal{D}2} + \underline{U}_2,$$

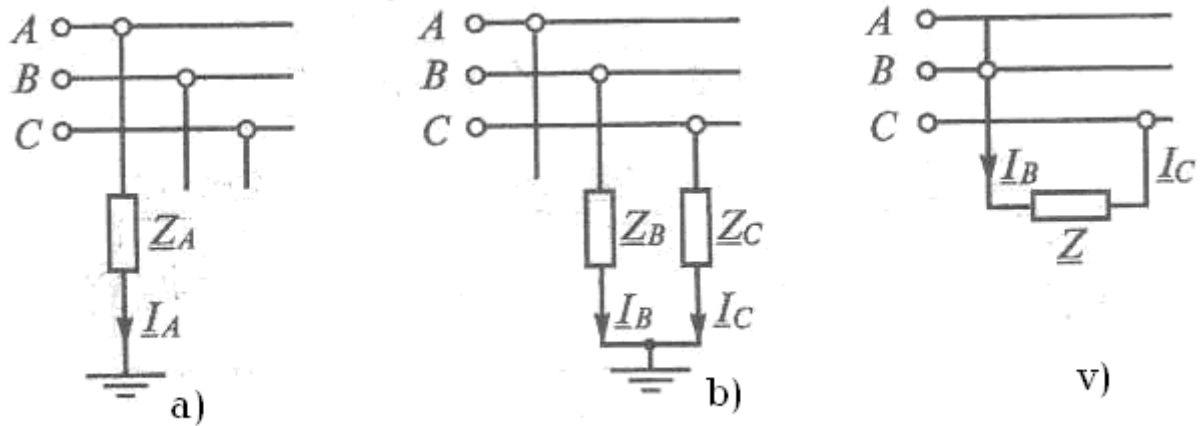
bu yerda $\underline{Z}_{\mathcal{D}2} = \frac{(\underline{Z}_{\Gamma 2} + \underline{Z}_{\Pi 2}) \underline{Z}'_2}{\underline{Z}_{\Gamma 2} + \underline{Z}_{\Pi 2} + \underline{Z}'_2}.$

Nol ketma-ketlikli sxema uchun (3.40-rasm, v):

$$0 = \underline{I}_0 \underline{Z}_{\mathcal{D}0} + \underline{U}_0,$$

bu yerda $\underline{Z}_{\mathcal{D}0} = \underline{Z}_{\Gamma 0} + \underline{Z}_{\Pi 0} + 3\underline{Z}_N.$

Dastlabki nosimmetrik rejim uchta simmetrik tashkil etuvchilarga ajratish natijasida oltita $(\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_0, \underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_0)$ noma'lumli uchta tenglama hosil qilindi. Yetishmayotgan uchta tenglama nosimmetriya xususiyatlaridan foydalaniladi. Misol tariqasida 3.41-rasmda keltirilgan nosimmetriyani ko'rib chiqamiz.



3.41 – rasm

A fazadagi qarshilikning o'zgarishi hisobiga yuzaga keladi. Shuning uchun ham $\underline{U}_A = \underline{I}_A \underline{Z}_A$, $\underline{I}_B = 0$, $\underline{I}_C = 0$. Tok va kuchlanishlar o'rniga ularning simmetrik tashkil etuvchilarini qo'yib, yetishmayotgan uchta tenglamani hosil qilamiz:

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0) \underline{Z}_A,$$

$$a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0, \quad a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0.$$

3.41-rasm, b da keltirilgan sxemada nosimmetriya B va C fazalar qarshiliklari hisobidan yuzaga keladi. Shuning uchun $\underline{I}_A = 0$, $\underline{U}_B = \underline{I}_B \underline{Z}_B$, $\underline{U}_C = \underline{I}_C \underline{Z}_C$. Bu tenglamalardagi tok va kuchlanishlarni ularning simmetrik tashkil etuvchilari bilan almashtirib, yetishmayotgan uchta tenglamani hosil qilamiz:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0,$$

$$a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2 + \underline{I}_0) \underline{Z}_B,$$

$$a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (a \underline{I}_2 + a^2 \underline{I}_1 + \underline{I}_0) \underline{Z}_C.$$

3.41-rasm, v dagi sxemada nosimmetrik rejim ikki fazali yuklama tufayli yuzaga keladi. Sxema yerlanmagan bo'lib, nol ketma-ketlikli tashkil etuvchi toklar mavjud bo'lmaydi. Shuning uchun ham faqat to'rt $(\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{U}_1, \underline{U}_2)$ noma'lumli ikkita tenglama qoladi. $\underline{I}_A = 0$, $\underline{U}_B - \underline{U}_C = \underline{I}_B \underline{Z}$ tengliklar asosida yetishmayotgan tenglamalarni tuzamiz:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 0,$$

$$a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 - (a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2) = \underline{Z} (a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2)$$

Shunday qilib, tuzilgan asosiy va qo'shimcha tenglamalarni birgalikda yechib nosimmetrik yuklama toklarining simmetrik tashkil etuvchilarini hosil qilamiz.

Nosimmetrik yuklamaning haqiqiy toklari quyidagicha topiladi:

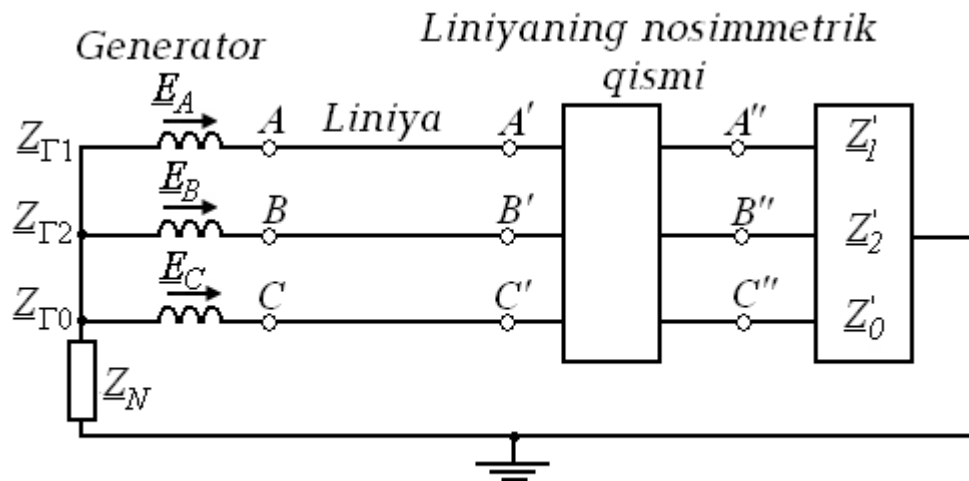
$$\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0, \quad \underline{I}_B = a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2 + \underline{I}_0, \quad \underline{I}_C = a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0.$$

Ushbu toklar asosida to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikli sxema shoxobchalaridagi simmetrik tashkil etuvchilarni hisoblaymiz va ular asosida shoxobchalardagi haqiqiy toklar va zanjir qismlaridagi kuchlanishlar topiladi.

Bo'ylama nosimmetriyaga ega bo'lgan uch fazali zanjirni hisoblash.

Bu turdagi nosimmetriya liniya qarshiliklari har xil yoki liniya simlarida uzilish paydo bo'lgan uch fazali zanjirlarda yuzaga keladi. Misol tariqasida simmetrik EYuKlar sistemasidan ta'minlanayotgan hamda nosimmetrik liniya qarshiliklariga va simmetrik yuklamaga ega bo'lgan uch fazali zanjirni hisoblashni ko'rib chiqamiz (3.42-rasm).

Bu zanjirda generator va yuklama (masalan, elektrodvigatel) har birining qarshiliklari bir-biridan farq qiluvchi uchta qarshiliklardan, liniya simlari esa passiv element sifatida bir xil to'g'ri va teskari ketma-ketlikli qarshiliklardan iborat bo'ladi. Xuddi avvalgi masaladagi kabi bu zanjirdagi liniyaning nosimmetrik qismini uchta EYuK manbalari sistemasi bilan almashtiramiz.



3.42 – rasm

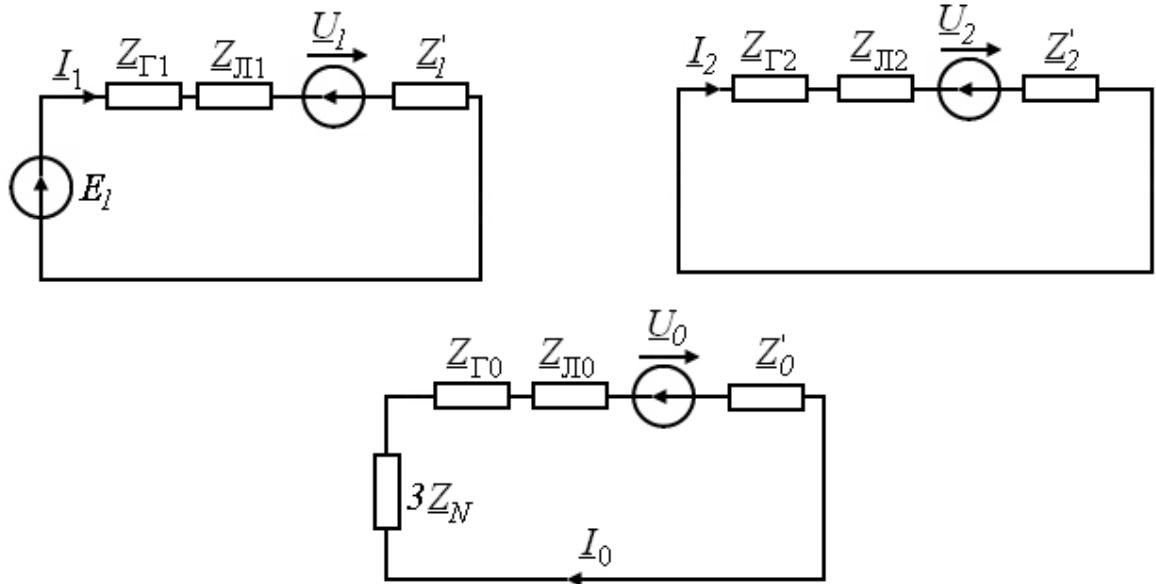
Bu manba kuchlanishlari quyidagicha simmetrik tashkil etuvchilarga ajratiladi:

$$\underline{U}_{A'A''} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0, \quad \underline{U}_{B'B''} = a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_0,$$

$$\underline{U}_{C'C''} = a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2 + \underline{U}_0.$$

Har bir simmetrik tashkil etuvchi uchun alohida sxema ajratib (3.43-rasm), Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida tenglamalar tuzamiz:

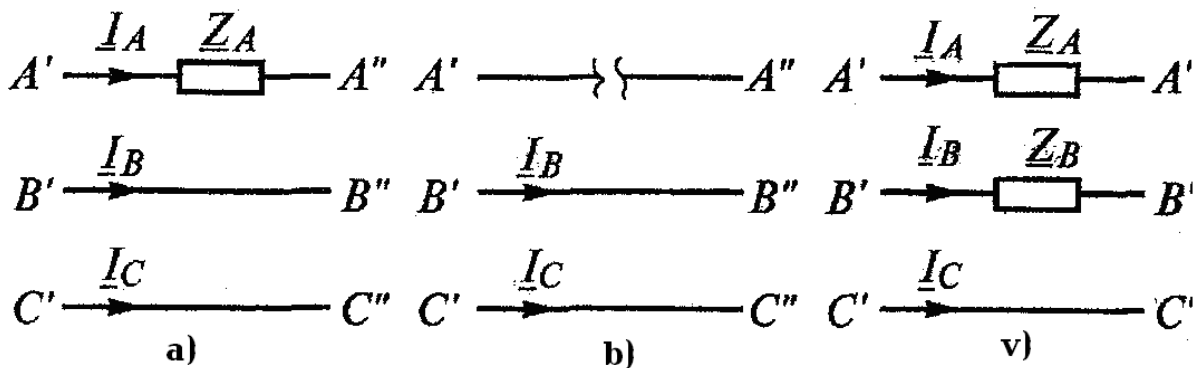
$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_1 &= (\underline{Z}_{\Gamma 1} + \underline{Z}_{\Pi 1} + \underline{Z}'_1) + \underline{U}_1 = \underline{E}_1, \\ \underline{I}_2 &= (\underline{Z}_{\Gamma 2} + \underline{Z}_{\Pi 2} + \underline{Z}'_2) + \underline{U}_2 = 0, \\ \underline{I}_0 &= (\underline{Z}_{\Gamma 0} + \underline{Z}_{\Pi 0} + \underline{Z}'_0 + 3\underline{Z}_N) + \underline{U}_0 = 0. \end{aligned} \right\}$$



3.43 – rasm

Bu tenglamalar sistemasida oltita \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_0 , \underline{U}_1 , \underline{U}_2 , \underline{U}_0 noma'lum had bo'lib, qo'shimcha uchta tenglama tuzish lozim. Bunda sxemadagi nosimmetriya xususiyatlari hisobga olinadi. Masalan, 3.44-rasm, a da keltirilgan sxemada nosimmetriya A faza qarshiligi hisobiga yuzaga keladi. Zanjirning nosimmetriya qismidagi kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{U}_{A'A''} = \underline{I}_A \underline{Z}_A, \quad \underline{U}_{B'B''} = 0, \quad \underline{U}_{C'C''} = 0.$$



3.44-rasm

Bu tenglamalardagi tok va kuchlanishlarni ularning simmetrik tashkil etuvchilari bilan almashtirib, yetishmayotgan tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0)\underline{Z}_A,$$

$$a^2\underline{U}_1 + a\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0,$$

$$a\underline{U}_1 + a^2\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0.$$

3.44-rasm, b dagi sxemada nosimmetriya A fazadagi uzilish tufayli yuzaga keladi. Bunda $\underline{I}_A = 0$, $\underline{U}_{B'B''} = 0$, $\underline{U}_{C'C''} = 0$ yoki

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0, \quad a^2\underline{U}_1 + a\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0, \quad a\underline{U}_1 + a^2\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0.$$

3.44-rasm, v dagi sxemada nosimmetriya A va B faza qarshiliklari hisobidan paydo bo'ladi. Bunda $\underline{U}_{A'A''} = \underline{I}_A\underline{Z}_A$, $\underline{U}_{B'B''} = \underline{I}_B\underline{Z}_B$, $\underline{U}_{C'C''} = 0$ yoki

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0)\underline{Z}_A,$$

$$a^2\underline{U}_1 + a\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = (a^2\underline{I}_1 + a\underline{I}_2 + \underline{I}_0)\underline{Z}_B,$$

$$a\underline{U}_1 + a^2\underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0.$$

Hosil qilingan tenglamalar sistemasini birgalikda yechib tok va kuchlanishlarning simmetrik tashkil etuvchilari topiladi. Bu tashkil etuvchilar asosida liniya toklari va nosimmetrik qismdagi kuchlanishlar topiladi:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0, \quad \underline{I}_B = a^2\underline{I}_1 + a\underline{I}_2 + \underline{I}_0,$$

$$\underline{I}_C = a\underline{I}_1 + a^2\underline{I}_2 + \underline{I}_0.$$

$$\underline{U}_{A'A''} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0, \quad \underline{U}_{B'B''} = a^2\underline{U}_1 + a\underline{U}_2 + \underline{U}_0,$$

$$\underline{U}_{C'C''} = a\underline{U}_1 + a^2\underline{U}_2 + \underline{U}_0.$$

Shunday qilib, simmetrik tashkil etuvchilar usuli uch fazali chiziqli zanjirlarda yuzaga keladigan nosimmetrik rejimlarni hisoblashda ancha qulay va sodda usul bo'lib, u zanjirlar tahlilini birmuncha yengillashtiradi.

Асосий адабиётлар

1. Charles K, Aleksander Mathew, N.O Sadiku “Fundamentals of electric Circuits” NEW YORK, 2014.-458p.
2. John Bird. “Electricel and Electronic principlesand Technology” LONDON AND NEW YORK, 2014.-455p.
3. Karimov A.S. Nazariy elektrotexnika. Darslik. – Т.: О`qituvchi, 2003.-422b.
4. Рашидов Й.Р., Абидов Қ.Ф., Колесников И.К. Электротехниканингназарий асослари I, II, III қисмлар (Маъруза матинлар топлами), ТДТУ, 2002.-250б.
5. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G`., Elektrotexnikaning nazariy asoslari. I – III qismlar-Toshkent; 2007.-426b
6. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G`., Sattorov X.A., Balg`ayev N.Y. Elektrotexnikaning nazariy asoslaridan masalalar toplami.-Т.:Adabiyot uchqunlari, 2015. -420b
7. Ф.Е.Евдокимов. «Теоретические основы электротехники». М. «Выс. школа». 2001г.
8. Л.А.Бессонов. «Теоретические основы электротехники». М. «Выс.школа». 2001г.
9. В.А. Прянишников. «Электротехника и ТОЭ» в примерах и задачах. Санк-Петербург. «Карона», 2001 г.

3.2. Qo'shimcha adabiyotlar

1. M.S. Yakubov va boshqalar. «Elektrotexnikaning nazariy asoslari va elektr o'lchashlar». Т. «О'qituvchi», 2002 yil.
2. A.S.Karimov va boshqalar. «Nazariy elektrotexnika». Т. «О'qituvchi», 1979 yil.
3. Прянишников В.А. «Сборник задач по ТОЭ с решениями», М «Выс. школа». 2001г.
4. A.S.Karimov va boshqalar. «Elektrotexnika va elektronika asoslari». Т. «О'qituvchi», 1995 yil. 6-105 betlar.
5. Majidov S.M. «Elektrotexnikadan ruscha-o'zbekcha lug'at-ma'lumotnoma». Т. «O'zbekiston», 1994 y.
6. Q.Ishmatov. «Pedagogik texnologiya». O'quv qo'llanma, Namangan, NamMPI, 2004 yil, 182-bet.
7. B.L.Farberman va boshqalar. «Oliy maktabda o'qitishning zamonaviy usullari» Т, ОО'ММММ, 2002 у.

3.3. Электрон ресурслар

1. www.gov.uz – Ўзбекистон республикаси ҳукумат партали
2. www.lex.uz – Ўзбекистон республикаси қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.
3. www.ziynet.uz
4. www.bilim.uz
5. www.ni.com/multisim/
6. www.knigi.ru

