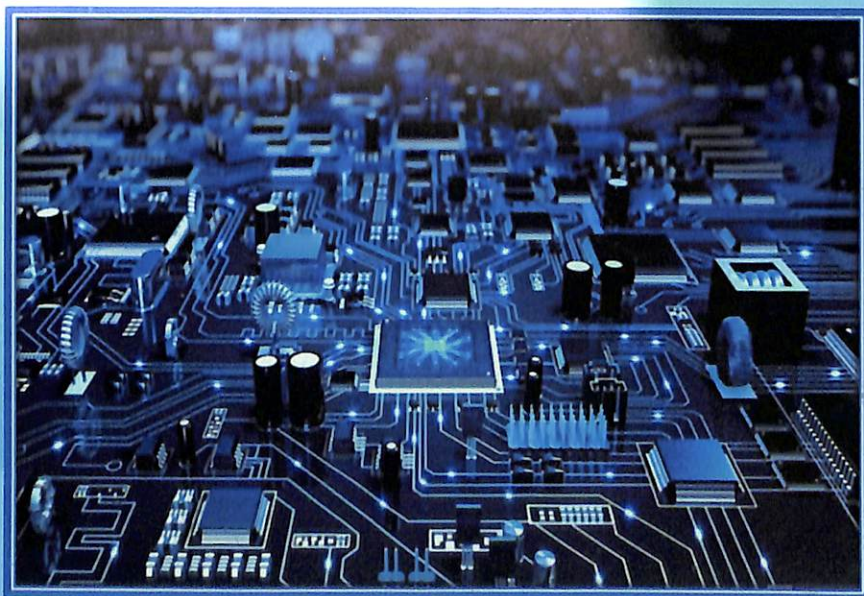


Ismailov Sh.K., Setmetov N.U.,
Samandarov B.G., Ismoilov Sh.H.

Elektronika va sxemalar 1



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT
AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
URGANCH FILIALI

Ismailov Sh.K., Setmetov N.U.,
Samandarov B.G'., Ismoilov Sh.H.

Elektronika va sxemalar 1

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi
tomonidan o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan

- 5350100 - Telekommunikatsiya texnologiyalari (*Telekommunikatsiyalar, Teleradioeshshittirish, Mobil tizimlar*);
- 5350400 - Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasida kasb ta'limi
- 5330300 - Axborot xavfsizligi (*sohalar bo'yicha*)
- 5330500- Kompyuter injiniringi (*Kompyuter injiniringi, IT-servis*)
- 5330600 Dasturiy injiniring ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun

Toshkent
"METODIST NASHRIYOTI"
2024

ROT

mahsulotlarning ishlashiga ta'siri mexanizmlaridir. Talabalar nanoelektronikaning asosiy tushunchalari va fizik asoslarini, nanostrukturalar va nanoelektronik elementlarning hosil bo'lishining texnologik xususiyatlarini ham bilishlari kerak.

O'quv qo'llanmada modellash real jarayonga maksimal darajada yaqinlashtirilgan bo'lishi, ya'ni sxemani tuzish, unga o'lchash qurilmalari va ostsillografni ulash, sxema elementlarining parametrlarini hamda ishlash rejimlarini o'rnatish va natijalarni olish jarayonlarini o'z ichiga olishi kerak.

Foydalanuvchiga bunday imkoniyatlarni beruvchi dasturlardan biri Electronics

Workbench dasturi bo'lib, u o'z ichiga o'lchash qurilmalari va ostsillografni ulash

jarayonlarini o'z ichiga olishi kerak.

Ushbu dastur o'lchash qurilmalari va ostsillografni ulash jarayonlarini o'z

ichiga olishi kerak.

Ushbu dastur o'lchash qurilmalari va ostsillografni ulash jarayonlarini o'z

ichiga olishi kerak.

I BOB. Elektronika va sxemalar 1 fanining maqsadi va vazifalari

1.1. Elektron qurilmalar va sxemalarning o'rni va ahamiyati.

Hozirgi zamon elektronika sohasidagi yetuk olimlarning qo'shgan hissalarini.

Analog va raqamli tizimlar va ular orasidagi tafovutlar. Zamonaviy elektronikadagi diskret qurilmalardan integral sxemalargacha rivojlanishining tarixiy davrlari va rivojlanish istiqbollari

Zamonaviy elektronika dunyodagi ilmiy-texnik taraqqiyotning eng muhim sohasidir. Ushbu sohada katta o'lchamli katta integral mikrosxemalarni ishlab chiqarish, mikroprotsessorlar va mikrokompyuterlar va elektron kompyuterlar va boshqalar har xil turdagi elektron qurilmalar texnologik jarayonlarni o'z ichiga olishi kerak va qurilmalari, aloqa tizimlari, ekspekt. kuzatuv va boshqa tizimlarni ishlab chiqarilishini tashkil etishga imkon berdi.

Elektronika - bu elektron, ionli va yarimo'tkazgichli asboblarni tadqiq qilish, ishlab chiqarish va qo'llash bilan bog'liq bo'lgan fan va texnikaning bir yo'nalishidir.

Elektronikaning rivojlanish tarixida to'rtta asosiy bosqichni ajratish mumkin: elektron lampalar (1904 yildan), tranzistorlar (1947 yildan), integral mikrosxemalar (1958 yildan), hajmiy effektlardan foydalaniladigan funksional qurilmalar (1980 yildan) va bular to'rtta asosiy yo'nalishda qo'llaniladi: telekommunikatsiyalar, umumiy foydalanishdagi elektron qurilmalar, hisoblash texnikasi va sanoat elektronikasi.

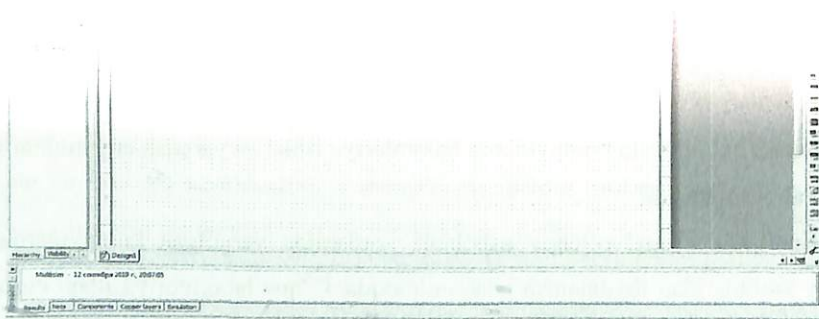
20-asrning birinchi yarmida elektronikada faol ishlatilgan vakuum naychalari bir qator jiddiy kamchiliklarga ega edi. Yuqori issiqlik hosil bo'lishi, ishonchsizlik va katta o'lchamlar kabi kamchiliklar shular jumlasidandir. 1947 yilda Bell Telephone Laboratoriesning uchta olimi birinchi bipolyar tranzistorni ixtiro qildi. Olimlar U. Shokli, Dj. Bardin va U. Bratney 1956 yilda ushbu ixtiro uchun fizika bo'yicha Nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi.

Ammo tranzistorning asosiy maqsadi 1960 yillarda jadal rivojlana boshlagan

kunda maxsus dasturiy ta'minot sifatida National Instruments kompaniyasining *Multisim* amaliy dasturiy paketi eng mos va qulay hisoblanadi.

O'lchov jarayonlarini avtomatlashtirish bo'yicha yaratilayotgan zamonaviy apparat vositalarining deyarli barchasi *Multisim* platformasi bilan mos keladi. Mazkur muhitda ilovalar yaratish vizual vositalar yordamida amalga oshiriladi va dasturlash bo'yicha maxsus bilimga ega bo'lish talab qilinmaydi.

Multisim – bu qisqa vaqt ichida qurilmalarni ishlab chiqishga imkon beradigan sxemalar interaktiv emulyatoridir. *Multisim* o'z ichiga *Multicap* versiyasini kiritgan, bu esa sxemalarni dasturiy tavsiflash va undan keyin darhol sinash uchun ideal vosita hisoblanadi. *Multisim* shunidek ishlab chiqish va sinash vositalarini ham o'z ichiga olgan. *Multisim* kompaniyasining National Instruments kompaniyasining *LabVIEW* va *Signal Express* dasturlari bilan integratsiya qilingan.



I.1- rasm. Multisim dasturi ishchi oynasi.

Multisim to'plami *Windows* standart interfeysidan foydalanadi. Interfeysning yuqori sezgirligi va soddaligi uni qo'llash uchun ancha yengillik beradi.

Multisim bitta ishlab chiqish muhitida sxemani ishlab chiqish va uni sinash/emulatsiya qilish uchun imkoniyat yaratadi.

Odatdagi *SPICE* tahlilidan tashqari *Multisim* foydalanuvchilar uchun sxemaga virtual asboblarni ulashga imkon beradi. Bu real voqealarni imitatsiya

yordamida natijalarni sodda va tezkor ko'rish usuli hisoblanadi.

Zaruriyat bo'lganda yuqori murakkablikda tahlil qilish uchun *Multisim* tahlilning turli funksiyalarini taqdim etadi. *Multisim* tarkibiga *Grapher* – ko'rish va ma'lumotlarni tahlil qilish uchun kuchli vosita kiritilgan.

O'tkazgichlar rangini o'zgartirish imkoniyati sxemani o'zlashtirish uchun ancha qulaylik yaratadi. Turli ranglar yordamida grafikani ham tasvirlash mumkin, bu esa bir necha bog'liqliklarni bir vaqtda tadqiq qilishda juda qulaydir.

Elektrotexnika va elektronika o'rganishda sinash va tajribalar o'tkazish zarurligi hech kimda shubha uyg'otmaydi. Lekin ularni o'tkazish jiddiy qiyinchiliklarni keltirib chiqarishi mumkin (ayniqsa hozirgi vaqtda). Yaxshi o'quv laboratoriyasi zamonaviy o'lchov jihozlariga va ularni ishchi holatda saqlab tura oladigan malakali xodimlarga ega bo'lishi kerak. O'quv yurtlari uchun bunday laboratoriyani ushlab turish qiyin masaladir.

Keyingi qirq yil ichida elektr va elektron sxemalarni hisoblash vositalari tezlik bilan o'zgarib bordi. Bunday vosita sifatida 70-yillarning boshida foydalanilgan logarifmik lineykaning o'rnini 70-yillarning ikkinchi yarmida kalkulyatorlar va *mini EHM* lar egallay boshladi. *Mini EHM* larning o'rniga 80-yillarning o'rtalariga kelib hisoblash quvvatlari va imkoniyatlari uzluksiz ortib borayotgan shaxsiy kompyuterlar (ShK) qo'llanila boshladi. Elektron sxemalarning tahlili bo'yicha ShK larning dasturiy ta'minoti faqat hisoblashlarning algoritmlari va sonli tahlil usullarini rivojlantirish yo'nalishidagina emas, balki har xil turdagi sxemalar (analogli, raqamli, raqamli-analog, impuls va boshqalar) bilan tajribalar o'tkazish uchun virtual muhitni yaratish imkoniyatini beruvchi foydalanuvchi uchun qulay interfeysni yaratish yo'nalishida ham rivojlandi.

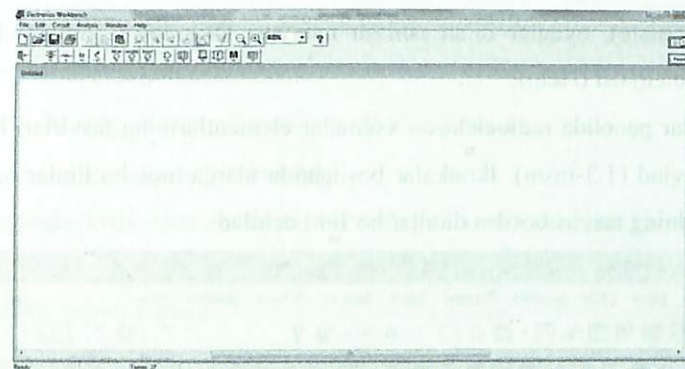
Alohida ta'kidlash kerakki, shaxsiy kompyuterning foydalanuvchi interfeysini yaratish sohasidagi yutuqlar shu darajada ta'sirliki, ular sxemalarni tadqiq qilishga bo'lgan uslubiy qarashning keskin o'zgarishiga olib keldi. Shaxsiy kompyuterdan foydalanish an'anaviy o'quv laboratoriyalariga alternativ - virtual laboratoriyalarning yaratilishiga olib keldi. Virtual laboratoriya, umuman olganda, tadqiqotchining real laboratoriyadagi harakatlarini (ishini) imitatsiya qiluvchi

interfeysga ega bo'lgan sonli hisoblash dasturidir. Yuqori tezkorlik va katta hajmdagi xotiraga ega bo'lgan zamonaviy shaxsiy kompyuterlarda hisoblashlarning sonli usullari yordamida murakkab modellarni ham aniqligi real obyektlarda o'tkaziladigan tajribalarda olinadigan natijalarning aniqligidan qolishmaydigan aniqlikda tadqiq qilish mumkin.

Elektrotexnika va elektronika o'rganish jarayoni sxemalarni tahlil va tadqiq qilish bilan bog'liq. Ushbu jarayonni kompyuter maksimal darajada yengillashtirishi kerak. Virtual muhit kompyuterda elektr va elektron sxemalar ustida tajribalar o'tkazish uchun yetarli sharoitlar yaratilgan laboratoriyani amalga oshirishi va olinadigan natijalarning aniqligi real sharoitlarda olinadigan natijalar aniqligidan qolishmaydigan aniqlikda tadqiq qilish mumkin.

Electronics Workbench dasturining asosiy funksiyalarini ta'riflash uchun bunday imkoniyatlarni beruvchi dasturlardan biri *Electronics Workbench* dastur kompyuterda virtual elektron laboratoriya bo'lib hisoblanadi. Unga asos qilib professional modellash dasturi *PSPICE* olingan bo'lishiga qaramasdan *Electronics Workbench* dasturi maksimal darajada qulay interfeysga ega. Unda ampermetr, voltmeter, multimetr, generator va ostsillograf kabi tanish asboblarning mavjudligi tadqiqot jarayonining tabiiy va tushunarli bo'lishini ta'minlaydi.

Dasturning tarkibida zamonaviy asboblarning mavjudligi foydalanuvchiga oddiydan boshlab juda murakkab tajribalarni o'tkazish imkoniyatini beradi. Bunday vosita o'qitishda ideal bo'lib hisoblanadi, chunki elementlar va asboblarning bo'yicha har qanday cheklashlarni olib tashlash imkoniyatini beradi. Bundan tashqari *Electronics Workbench* dasturi real elektron va o'lchash asboblari hamda sxemalarni ishlash printsiplarini o'rganish uchun trenajyor vazifasini bajarishi mumkin.



1.2.-rasm. Electronics Workbench dasturiy ta'minoti ishchi oynasi

Electronics Workbench dasturida modellash va natijalarni olish o'zining tezkorligi va qulayligi bilan ajralib turadi. Lekin to'g'ri natijalar olish uchun foydalanuvchi dastur bilan ishlash qoidalari va usullarini o'zlashtirgan va ularni elektron sxemalardagi jarayonlarni o'rganish va tadqiq qilish uchun qo'llash imkoniyatlariga ega bo'lishi kerak.

NI Multisim dasturiy kompleksining qisqacha tavsifi. Zamonaviy elektr va elektron qurilmalarni loyihalash va ishlab chiqish katta aniqlik va chuqur tahlilni talab qiladi. Bundan tashqari, bajariladigan ishlarning katta hajmga egaligi va murakkabligi sababli kompyuter texnologiyalaridan foydalaniladi.

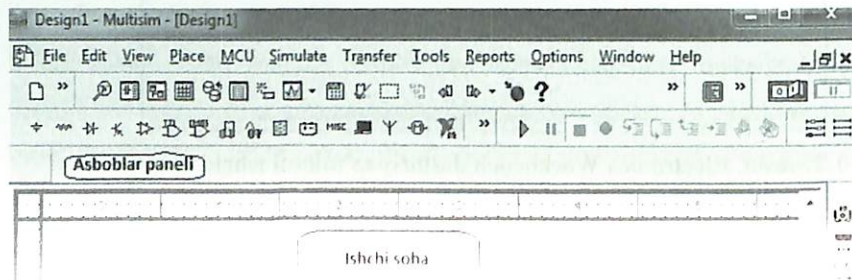
NI Multisim dasturiy kompleksi elektr zanjirlarni dasturiy loyihalash va imitatsiya qilish vositalaridan biri bo'lib hisoblanadi. U elektr zanjirlarni va elektron qurilmalarni loyihalovchi korxonalarda va oliy o'quv yurtlarida qo'llanilishi mumkin.

Zanjir elementlarining ma'lumotlar bazasi ko'plab elementlar - rezistorlar, kondensatorlar, g'altaklar, diodlar, tranzistorlar, mikrosxemalar va boshqa elementlar to'g'risidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olgan. Ma'lumotlar bazasidagi har bir element o'zining ekvivalent sxemasi va parametrlarining tavsifiga ega.

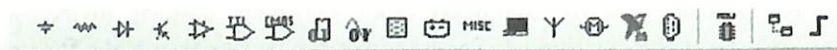
NI Multisim dasturining interfeysi. Foydalanuvchining interfeysi menyu, asboblarning paneli va ishchi sohadan iborat (1.3-rasm). Menyu quyidagi komponentlarga ega: fayllar bilan ishlash menyusi (File), tahrirlash menyusi (Edit), zanjirlar bilan ishlash menyusi (Circuit), sxemalarni simulyatsiya qilish

menyusi (Simulate), oynalar bilan ishlash menyusi (Window), yordam fayllari bilan ishlash menyusi (Help).

Asboblar panelida radioelektron sxemalar elementlarining tasvirlari bo'lgan ikonkalar mavjud (1.3-rasm). Ikonkalar bosilganda ularga mos bo'limlar ochiladi, masalan, diodning tasviri bosilsa diodlar bo'limi ochiladi.



oynasining markaziy qismini egallaydi. Ushbu oynada elektr zanjirlar bo'linib qilinadi va ularga kerakli o'gartirishlar kiritiladi.



1.4-rasm. Komponentlar menyusi.

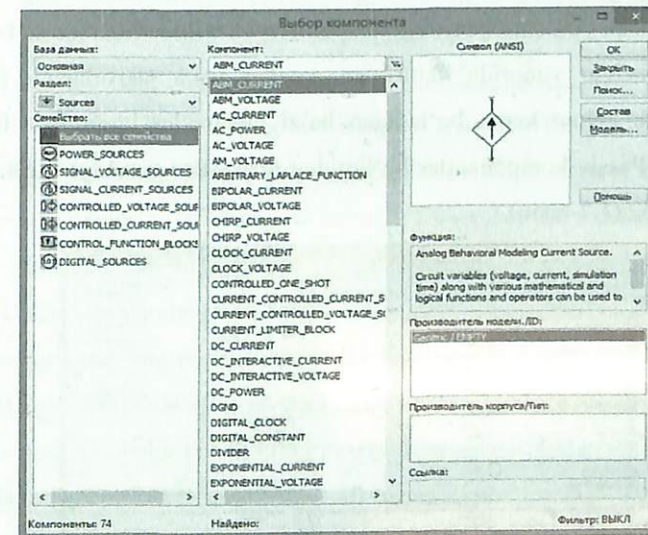
Komponentlar menyusi bir qancha bo'limlardan iborat bo'lib, ular dasturiy ta'minotda turli xildagi murakkab sxemalarni yig'ishda foydalaniladi. Ushbu menu quyidagi asosiy bo'limlardan iborat.

- Manbalar bo'limi;
- Passiv komponentlar bolimi;
- Diodlar bo'limi;
- Tranzistorlar;
- Analog komponentlar bo'limi (Operatsion kuchaytirgichlar);
- TTL texnologiyasi asosida qurilgan raqamli mikrosxemalar bo'limi;

- CMOS texnologiyasi asosida qurilgan raqamli mikrosxemalar bo'limi;
- Raqamli komponentlar bo'limi;
- Analog va raqamli komponentlar bo'limi;
- Indikatorlar bo'limi va h.k.

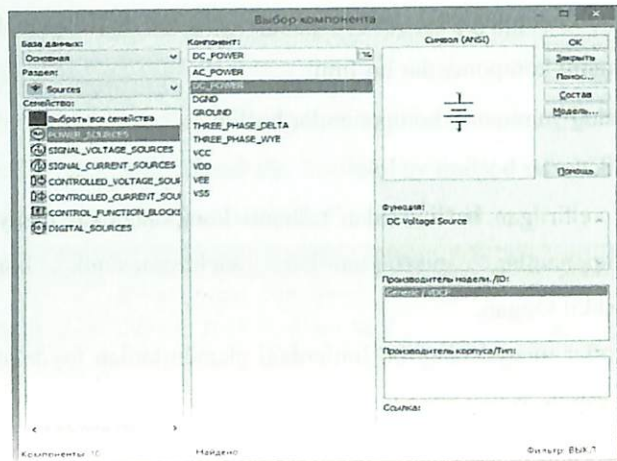
Yuqorida keltirilgan bo'limlardan tashqari komponentlar menyusi yuqori chastotali komponentlar, mikrokontroller, elektromexanik komponentlar bo'limlaridan tashkil topgan.

Komponentlar menyusidagi bo'limlardagi elementlardan foydalanish uchun kerakli bo'lim ustiga sichqonchening chap tugmasi bilan bosiladi va kerakli elementni tanlaymiz va OK tugmasini bosamiz. Misol tariqasida manbalar bo'limiga kiramiz va natijada ishchi stolda quyidagi oyna paydo bo'ladi (1.5-rasm).



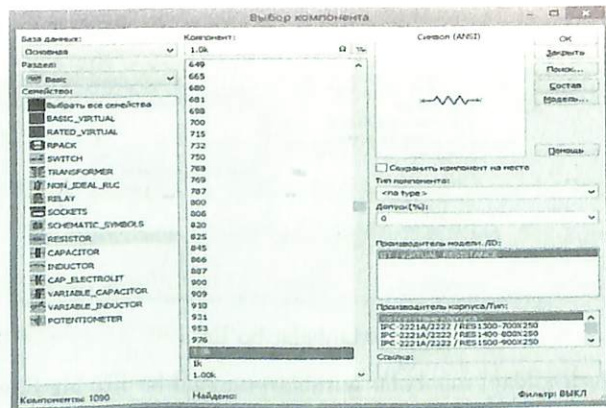
1.5-rasm. Manbalar bo'limi.

Bu yerda turli xildagi manbalar guruhleri mavjud bo'lib, biz Power_sources guruhiga kiramiz va u yerdan kuchlanish manbai elementi ya'ni DC-Power elementini tanlaymiz va OK tugmasini bosamiz (1.6-rasm). Natijada ishchi stolda kerakli element paydo bo'ladi va uni ish stolga qo'yish uchun kompyuter sichqonchasining chap tugmasi bosiladi.



1.6-rasm. Power sources guruhi

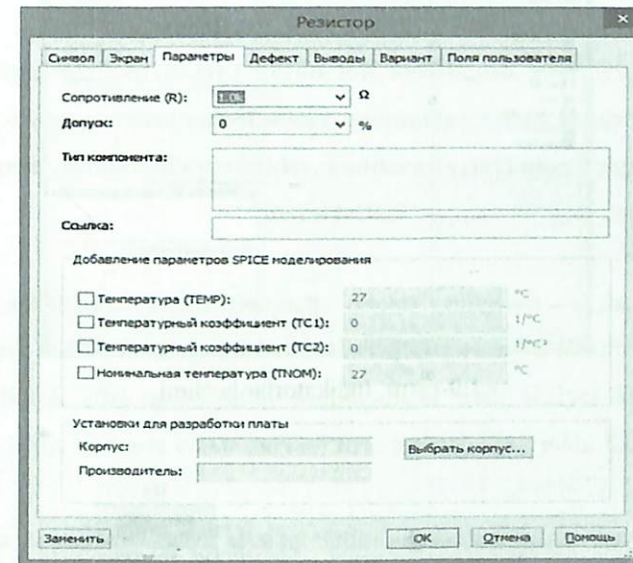
Ikkinchi yo'li esa ishchi stoldagi rezistorning ustiga rezistorni olamiz (1.7-rasm)



1.7-rasm. Rezistorlar guruhi

Rezistorning nominalini o'zgartirishning ikki xil yo'li mavjud bo'lib, biri rezistorlar guruhini tanlab kerakli nominalni oynaning yuqori qismida joylashgan darchaga yoziladi. Ikkinchi yo'li esa ishchi stoldagi rezistorning ustiga

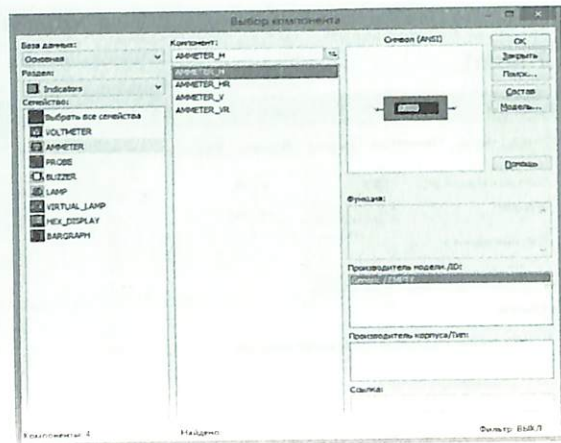
sichqonchani chap tugmasi bilan 2 marta bosiladi va natijada quyidagi darcha hosil bo'ladi (1.7-rasm).



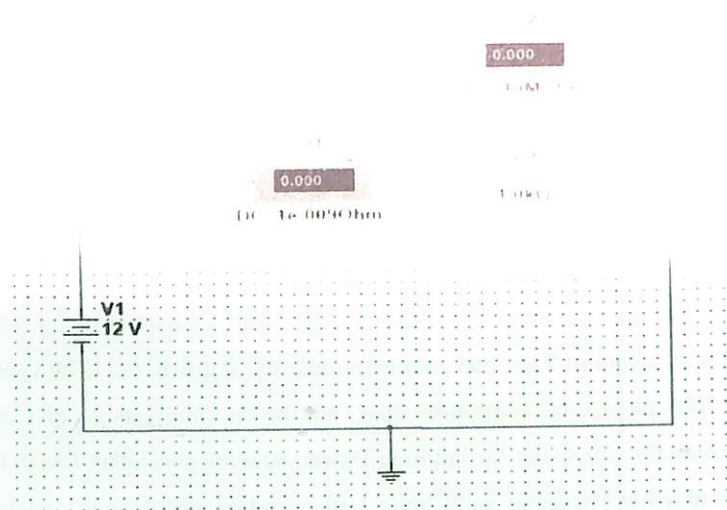
1.8-rasm. Rezistorning nominalini o'zgartirish darchasi.

Voltmetr va ampermetr o'lchov asboblari olish uchun komponentlar menyusining indikatorlar bo'limiga kiramiz (1.9-rasm). Bo'limda voltmeter va ampermetr guruhlari mavjud bo'lib u yerdan ampermetr va voltmeter tanlaymiz va ishchi stoliga qo'yamiz (1.10-rasm). Misoldagi elementlarni bir biriga ulab zanjirni hosil qilamiz. Yig'ilgan zanjirni simulyatsiya qilishimiz uchun zanjirga yer (GROUND) elementini ulashimiz shart, aks holda simulyatsiya qila olmaymiz. Ushbu elementni manbalar bo'limining Power_sources guruhidan tanlab olamiz va zanjirga ulaymiz. Natijada zanjirimiz 1.10-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi va simulyatsiya tugmasini bosamiz. Shundan so'ng o'lchov asboblari yordamida zanjirdan o'tayotgan tok va qarshilikdagi kuchlanish tushuvini ko'rishimiz mumkin.





1.9-рasm. Индикаторлар bo'limi



1.10-рasm. NI Multisim dasturiy ta'minotida yig'ilgan sxema.

1.10-rasmda NI Multisim dasturiy ta'minotida yig'ilgan eng sodda elektr zanjiri sxemasi ko'rinishi berulgan.

II BOB. Elektr kattaliklar va elektr zanjirlarning asosiy elementlari

2.1. Asosiy elektr kattaliklar (zaryad, tok, kuchlanish, energiya, quvvat) va ularning o'zaro munosabatlari. Elektr sxemaning asosiy passiv elementlari (rezistorlar, induktivlik g'altaklar, kondensatorlar) ning belgilanishi va xususiyatlari

Elektrostatikada elektr zaryadi (elektr miqdori) - bu jismlarning elektromagnit maydonlarning manbai bo'lish qobiliyatini va elektromagnit o'zaro ta'sirida ishtirok etish qobiliyatini belgilaydigan fizik skalyar kattalikdir deb ta'riflanadi. Birinchi marta elektr zaryadi tushunchasi 1785 yilda Kulon qonunida

ning har qanday tartibli harakati o'tkazuvchanlikning elektr tokini har qanday vaqt o'tishi bilan elektr zaryadining o'zgarish tezligiga

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (2.1.1)$$

bunda dq - o'tkazgich ko'ndalang kesimi orqali dt vaqtda o'tgan zaryad miqdori.

Tok - "oqim" degan ma'noni anglatadi. Elektr tokini metallardan erkin elektronlarning harakati, elektrolitlarda ionlarning, gazlarda esa ionlar bilan elektronlarning harakati hosil qiladi.

Tokning yo'nalishi uchun shartli ravishda musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan.

O'tkazuvchanlik tokini hosil qilgan erkin elektronlarning harakatini bevosita kuzatib bo'lmaydi. Lekin o'tkazgichdagi tokning mavjudligini uning ta'siri yoki u vujudga keltirgan hodisalarga qarab aniqlash mumkin:

- tok o'tayotganda o'tkazgich qiziydi;
- tokli o'tkazgich yaqinida magnit maydon poyda bo'ladi;
- elektr toki o'tganda ba'zi hollarda moddaning kimyoviy tarkibi o'zgarishi.

O'tkazuvchanlik tokidan tashqari, boshqa turdagi toklar ham mavjud – bu siljish toklaridir. Zamonaviy nuqtai nazardan, o'tkazuvchanlik toklari va siljish toklari o'xshashligiga qaramay, butunlay boshqa fizik tushunchalardir. Ularning orasidagi eng muhim farq shundaki, o'tkazuvchanlik toklari elektr zaryadlarining harakatiga mos keladi, siljish toklari esa faqat elektr maydon kuchining o'zgarishiga mos keladi va ularga elektr zaryadlari yoki boshqa har qanday zarrachalar harakati bilan bog'liq emas.

Vaqt o'tishi bilan miqdori va yo'nalishi o'zgarmaydigan tokga o'zgarmas tok deb ataladi. Yuza birligidan o'tayotgan tok kuchi tok zichligi deb yuritiladi:

$$(2.1.2)$$

Kuchlanish va elektr yurituvchi kuchi. Elektr zaryadlarining harakatini o'zgartirish uchun kuchlanish kerak. Kuchlanish - bu elektr zaryadlarining harakatini o'zgartirish uchun kerak bo'lgan kuch. Kuchlanish nuqtaning potentsiali φ deb, shu nuqtada joylashgan q zaryadga nisbatan potensial energiyasining ushbu zaryadga nisbatiga teng bo'lgan qiymatga aytiladi.

$$\varphi = \frac{w}{q} \quad (2.1.3)$$

Bu yerda potensial energiya w elektr zanjirining berilgan nuqtasidan nol potentsialli nuqtaga o'tganda zaryad sarf qiladigan energiyaga teng.

Elektr kuchlanish - bu elektr zanjiridagi ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqidir.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.1.4)$$

bunda U - volt (V), φ_1 va φ_2 1- va 2-nuqtalar potentsiallari (V).

O'tkazgichda uzluksiz ravishda elektr toki mavjud bo'lishi uchun maxsus qurilma bo'lishi va uning ichida hamma vaqt turli nomli zaryadlar ajralib turishi, hamda musbat zaryadlar A uchiga, manfiy zaryadlar esa B uchiga ko'chib turishi

zarur. Bunday qurilmani *tok manbai deyiladi*. Tok manbaida zaryadlarni ajratuvchi kuchlar elektrostatik xarakteriga ega bo'lmazligi kerak, chunki elektr kuchlar turli nomli zaryadlarni ajratmaydi, balki faqat birlashtirishi mumkin. Shuning uchun tok manbaida zaryadlarni ajratuvchi kuchlar *begona*, ya'ni *tashqi kuchlar* deb yuritiladi. Tok manbalarida zaryadlarni ajratish jarayonida mexanik, kimyoviy, ichki va boshqa turdagi energiyalar elektr energiyasiga aylanadi. Masalan, o'zgarmas tok generatorida bu kuchlar magnit maydon energiyasi va yakorning aylanishidagi mexanik energiya, elektrofor mashinasida mexanik energiya, termoelementda ichki energiya, akkumulyator va galvanik elementda kimyoviy reaksiyalar energiyasi, yarimo'tkazgichli fotoelementda yorug'lik energiyasi hisobiga hosil qilinadi. Shunday qilib, tok manbai o'tkazgichning A va B uchlarni

Yurituvchi kuchlar kuchi

$$E = \frac{I}{q} \quad (2.1.5)$$

U quyidagicha tariflanadi: *tok manbaining elektr yurituvchi kuchi (E.Yu.K.) tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni manbani o'z ichiga olgan berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish bilan xarakterlanadi*.

Xalqaro birliklar sistemasida EYuK birligi qilib volt (V) qabul qilingan: 1V - shunday tok manbaining EYuK, u manbani o'z ichiga olgan berk zanjir bo'ylab 1C zaryadni ko'chirishda 1J ish bajariladi. Ochiq zanjirdagi tok manbaining EYuK manbaning qutblaridagi potentsiallar farqiga teng:

$$E = \varphi_A - \varphi_B \quad (2.1.6)$$

Tashqi elektr zanjiri bilan tutashirilgan tok manbai qutblaridagi potentsiallar ayirmasi tok manbaining *kuchlanishi* deyiladi.

Yopiq zanjir uchun, birinchidan, kulon kuchlari ta'sirida birlik musbat zaryadni A dan B gacha ko'chirishda bajarilgan ish, shu ikki nuqta orasidagi potentsiallarning farqi ($\varphi_A - \varphi_B$) ga teng. Ikkinchidan, tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni zanjirning tekshirilayotgan qismida ko'chirishda bajarilgan ish zanjirning shu qismidagi manbaining EYuK - E_{AB} ga teng. Shuning uchun kuchlanish quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B) + E_{AB} \quad (2.1.7)$$

Agar $E_{AB} = 0$ bo'lsa, $U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B)$ bo'ladi. Kuchlanish ham, xuddi EYuK kabi volt (V) da o'lchanadi.

Agar U kuchlanish ta'sirida q elektr zaryadi zanjir kesimidan o'tsa, bu holda bajarilgan elementar ish yoki qabul qiluvchiga tushadigan energiya

$$(2.1.8)$$

o'tkazib beriladi va qabul qiluvchiga energiya aylanadi, magnit maydonlari

o'zgarib boradi.

Zanjirga kiradigan energiyaning o'zaro iste'molchining oniy qiymati quyidagiga teng bo'ladi va quvvat deb yuritiladi:

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (2.1.9)$$

t_1 dan t_2 gacha bo'lgan vaqt oralig'ida qabul qiluvchiga berilgan energiya quyidagi integral bilan ifodalanadi:

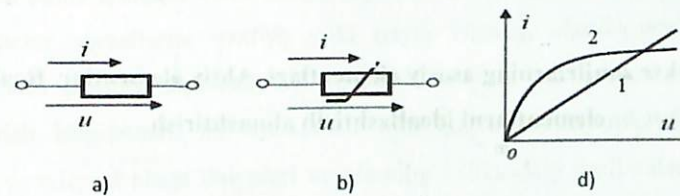
$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt \quad (2.1.10)$$

Elektr zanjiri - bu elektr toki uchun yo'lni tashkil etuvchi qurilmalar va obyektlar to'plamidir. Elektr zanjiri elementlari aktiv va passiv elementlarga ajratiladi.

Zanjirning *passiv elementlari* qatoriga *rezistorlar*, *kondensatorlar* va *induktivliklar* kiradi.

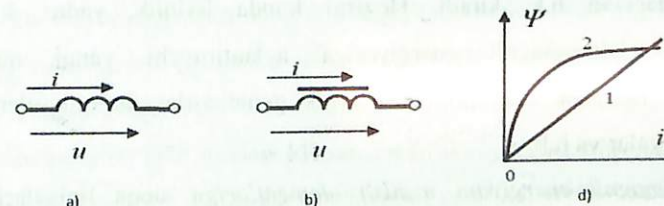
Rezistor (ba'zan rezistiv element, rezistiv qarshilik, Omik qarshilik degan

nomlari ham uchraydi) deb, elektr energiyasi sarflanib, uning xususiyatlari $U=R*i$ yoki $i=G*U$ bog'lanishlar bilan ifodalangan elementga aytiladi (2.1-rasm). Bunda R- qarshilik va G- o'tkazuvchanlik deb nomlangan proporsionallik koeffitsientlari. 2.1-rasmda ularning sxemalarda belgilanishi keltirilgan. R va G o'zgarmas bo'lganda chiziqli (2.1a-rasm) va aksincha, R va G lar tok yoki kuchlanishga bog'liq o'zgarganda nochiziqli (2.1b-rasm) qarshilik yoki nochiziqli o'tkazuvchanlik deyiladi. 2.1d-rasmda mos ravishda ularning VAX lari keltirilgan.



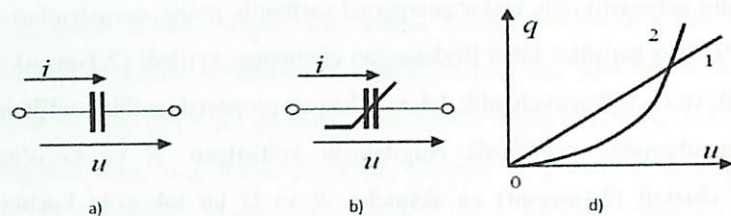
2.1-rasm. Rezistorlar ((a)-chiziqli, (b)-nochiziqli) va ularning VAXsi (d).

Elektromagnit energiyani zahiralash xossasiga ega bo'lgan, fizik xususiyatlari $\Psi = L*i$ tenglama bilan ifodalanuvchi induktiv g'altakning ideallashtirilgan elementi **induktivlik elementi** (yoki induktivlik) deyiladi. L proporsionallik koeffitsiyenti induktivlik deyiladi va Genri [H] o'lchov birligiga ega. 2.2-rasmda chiziqli induktivlikning belgilanishi hamda $\Psi = L*i$ bog'lanishlar keltirilgan.



2.2-rasm. Chiziqli (a) va nochiziqli (b) induktivlik elementi va ularning veber-amper xarakteristiklari (d).

Elektr energiyasini zahiralash xossasiga ega bo'lgan, fizik xususiyatlari $q=C*u$ tenglama bilan ifodalanuvchi kondensatorning ideallashtirilgan elementi **sig'im elementi** deyiladi. C proporsionallik koeffitsiyenti sig'im deyiladi va Farada [F] o'lchov birligiga ega. 2.3-rasmda chiziqli (a), nochiziqli (b) sig'imning belgilanishi hamda $q=C*u$ bog'lanishlar keltirilgan.



2.3-rasm. Chiziqli (a) va nochiziqli (b) sig'im elementi va ularning xarakteristikalari (d).

2.2. Elektr zanjirlarning asosiy elementlari. Aktiv elementlar. Real elementlarni ideallashtirib almashtirish

Elektr zanjirining qatoriga elektromagnit energiyasi manbalari (generatorlar, batareyalar, aktiv elementlar), elektromagnit qurilmalar kiradi.

Elektr zanjirining qatoriga elektromagnit energiyaning u yoki bu turidan – uzatish liniyalari, kuchaytiruvchi qurilmalar, harakat energiyasi va h.k. – aylantiruvchi qurilmalar kiradi. Bularga, masalan, aylanuvchi elektr generatorlari, galvanik elementlar, akkumulyatorlar, termoelementlar va h.k. kiradi. Hozirgi kunda issiqlik, yadro, kimyoviy energiyalarni elektromagnit energiyasiga aylantiruvchi yangi qurilmalar yaratilmoqda, masalan, magnitogidrodinamik generatorlar, issiqlik elementlari, quyosh batareyalar va h.k.

Elektromagnit energiyani uzatish elementlariga aloqa liniyalari, elektr uzatish liniyalari, elektr tarmoqlari kiradi.

Elektromagnit energiyani qayta ishlashga tok va kuchlanishni o'zgartiruvchi transformatorlar, chastota o'zgartkichlari, kuchaytirgichlar, shuningdek, o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokga aylantiruvchi ionli va yarimo'tkazgichli invertorlar, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokga aylantiruvchi to'g'rilagichlar va h.k.lar kiradi.

Elektr zanjirlaridagi *iste'molchilar* yoki *yuklamalar* qatoriga elektr energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylantiruvchi qurilmalar kiradi, masalan,

radio va televizion jihozlar, elektron hisoblash mashinalari, elektr motorlar, elektroliz qurilmalari, akkumulyatorlar, isitkich jihozlari va h.k.

Doimo, u yoki bu qurilmaning elektr zanjiri elementining asosiy vazifasi elektromagnit energiyaning generatsiyasi, uni uzatish, qayta ishlash yoki iste'mol qilish sifatida tayinlangan bo'lsa, birinchi o'ringa uning foydali ish koeffitsiyenti yuqori bo'lishi talabi qo'yiladi.

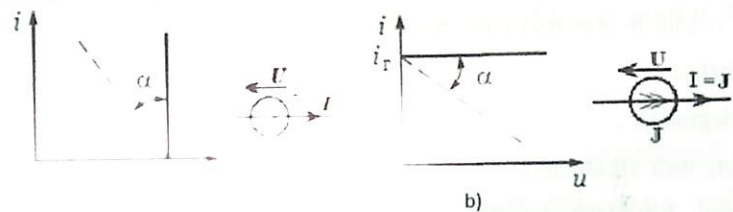
Ko'pgina hollarda elektr zanjiridagi u yoki bu elementning asosiy vazifasi qilib, elektr signallarini uzatish yoki qayta ishlash, shuningdek u yoki bu kattaliklarni o'lchash operatsiyasini bajarish, u yoki bu jarayonlarning sifatini boshqarish belgilanadi. Bu elementlar qatoriga telekommunikatsiya tizimlari, telefon va telegraf aloqa liniyalari va ularning uchlaridagi qurilmalar, avtomatika qurilmalarining turli xil elementlari, elektr o'lchash qurilmalari, elektron hisoblash mashinalarining hisoblash va boshqarish qurilmalari, turli xil radiotexnik qurilmalar va h.k.lar kiradi. Ularning barchasi uchun eng muhim talab – uzatilayotgan va qayta ishlanayotgan signallarning ma'lum sifatda bo'lishidir. Tabiiyki, bu holatlar uchun ham elektromagnit energiyasining uzatilishi va qayta ishlanishi amalga oshiriladi va asosiy bo'lmasa ham imkon qadar yuqori foydali ish koeffitsiyentiga erishish maqsadi qo'yiladi.

Elektr zanjirining elektromagnit energiya manbalari ta'sir etayotgan qismini *zanjirning aktiv qismi* (qisqacha *aktiv zanjir*) deb nomlaymiz. Aksariyat, uni o'rtasida *A* harfi bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklida va zanjirning qolgan qismiga ulash uchun zarur bo'lgan sondagi klemmlar (o'tkazgichlar) bilan chiziladi.

Shunga o'xshash, zanjirning manbalarini *aktiv elementlar*, qolganlarini esa *passiv elementlar* deb ataymiz.

Elektr zanjirining manbalari ikki turga (2.4-rasm) bo'linadi: kuchlanish va tok manbalari. Tok va kuchlanish manbalari tashqi ta'sir natijasida o'zgarishiga ko'ra, ularni mustaqil va nomustaqil manbalarga ajratiladi. Manbaning chiqish klemmlaridagi kuchlanish (tok) miqdori manbaning yukidagi tok (kuchlanish) qiymatiga bog'liq bo'lmasa mustaqil kuchlanish (tok) manbasi deyiladi. 2.4-rasmda mustaqil kuchlanish va tok manbasining tashqi tavsifi (2.4a-rasm) va (2.4b-

rasm) ko'rsatilgan. Bunday manbalar quyida keltirilgan real manbalarni ideallashtirish bilan hosil qilinadi. Aksincha, manbaning chiqish klemmalaridagi kuchlanish (tok) miqdori oqayotgan tok (kuchlanish) qiymatiga bog'liq bo'lsa, ya'ni kuchlanish manbasining yuklanish toki o'zgarganda uning kuchlanishi ham o'zgarsa, yoki tok manbasi zanjiridagi kuchlanish o'zgarishi natijasida uning toki ham o'zgarsa, ularni nomustaqil kuchlanish (tok) manbalari deyiladi. Real manbalarda aynan shunday bo'ladi va ularning tashqi tavsiflari pasayuvchan (2.4-rasmlarda punktir chiziq) bo'ladi.



mustaqil tok (b) manbasining sxemada
ng VAX lari.

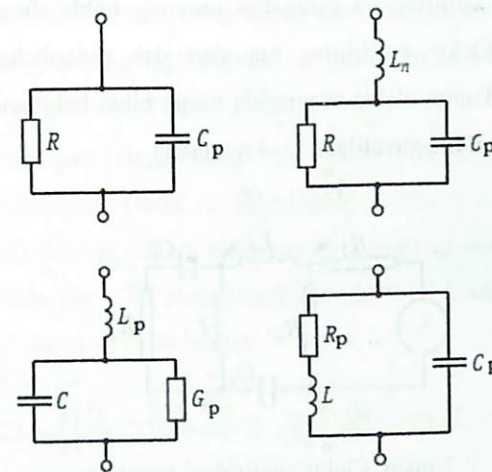
h qariluvchi guruhlariga ajratiladi.

Boshqartuvchi tok va kuchlanish manbasining har biri ularning kirish qismiga keltirilgan tok va kuchlanish bilan boshqarilishi mumkin.

Real elementlarni ideallashtirib almashtirish. Ko'rilgan real elementlar (rezistor, sig'im, induktivlik) ning har biri faqatgina o'ziga hos bo'lgan xususiyatli bo'lmasdan, balki o'zidan boshqa har bir elementlarning ham xususiyatlariga ega.

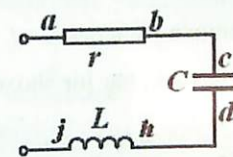
Masalan, solishtirma qarshiligi katta bo'lgan qotishmadan spiralsimon o'ramlar sifatida yasalgan rezistor xossasini ko'raylik. Uning asosiy xususiyati bo'lmish omik qarshiligadan tashqari, yonma-yon o'ramlarining orasida biroz sig'im hosil bo'ladi; shu o'ramlardan oqayotgan tok esa rezistor o'tkazgichi atrofida biroz magnit maydoni va demak, induktivlik hosil qiladi. Shu sababli real rezistorda ham omik qarshiligi R , sig'imi C , induktivligi L mavjud ekan.

Yuqori chastotalarda R qarshilik parazit sig'imga ham ega bo'ladi. Shuningdek kondensator va g'altaklar ham parazit qo'shimcha parametrlarga ega (2.5-rasm).



2.5-rasm. Ideal elementlarning yuqori chastotalardagi ekvivalent sxemalari (p- indeksli elementlar parazit elementlar).

Lekin amaliyotda biz yetarlicha kichik chastotalarda umumlashgan parametrlilik elektr zanjirlari bilan ish ko'ramiz. Masalan ketma-ket (2.6-rasm) ulangan rezistor ($a-b$ oraliq), kondensator ($c-d$ oraliq) va induktivlik g'altigidan ($h-j$ oraliq) iborat bo'lgan zanjir tuzilgan bo'lsin. Faraz qilaylik, elektromagnit energiyasi issiqlik energiyasiga faqat $a-b$ sohadagi rezistordagina o'tayapti, ya'ni bu oraliqda zanjirning barcha qarshiligi r miqdorida umumlashgan.

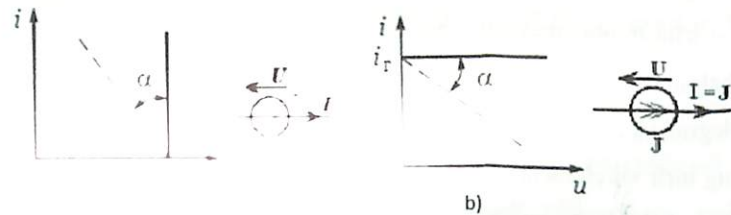


2.6-rasm. Umumlashgan parametrlilik elektr zanjirlar.

Elektr siljish toklari faqat $c-d$ oraliqda kondensator qoplamalari orasida mavjud, ya'ni bu sohada zanjirning barcha C sig'imi umumlashgan. Nihoyat, o'zgaruvchan magnit maydon EYuKni faqat $h-j$ oraliqda umumlashgan g'altakda induktivlaydi, ya'ni ushbu sohada zanjirning barcha L induktivligi yig'ilgan.

Umumiy holda ancha murakkabroq ko'rinishga ega bo'lgan va har xil elementlardan tashkil topgan shunga o'xshash elektr zanjirlari, umumlashgan parametrlilik elektr zanjirlari deyiladi.

rasm) ko'rsatilgan. Bunday manbalar quyida keltirilgan real manbalarni ideallashtirish bilan hosil qilinadi. Aksincha, manbaning chiqish klemmlaridagi kuchlanish (tok) miqdori oqayotgan tok (kuchlanish) qiymatiga bog'liq bo'lsa, ya'ni kuchlanish manbasining yuklanish toki o'zgarganda uning kuchlanishi ham o'zgarsa, yoki tok manbasi zanjiridagi kuchlanish o'zgarishi natijasida uning toki ham o'zgarsa, ularni nomustaqil kuchlanish (tok) manbalari deyiladi. Real manbalarda aynan shunday bo'ladi va ularning tashqi tavsiflari pasayuvchan (2.4-rasmlarda punktir chiziq) bo'ladi.

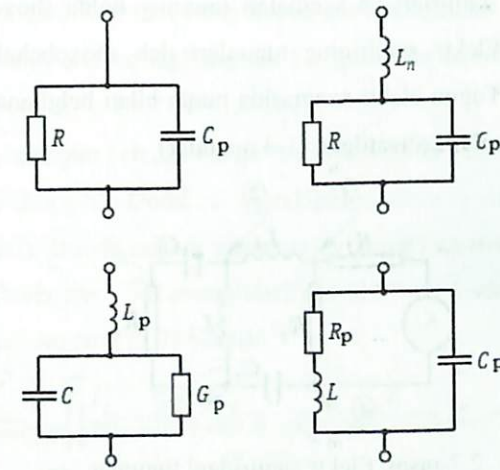


nomustaqil tok (b) manbasining sxemada ko'rsatilgan VAX lari. Boshqartuvchi tok va kuchlanish elementlarining har biri ularning kirish qismiga keltirilgan tok va kuchlanish bilan boshqartilishi mumkin.

Real elementlarni ideallashtirib almashtirish. Ko'rilgan real elementlar (rezistor, sig'im, induktivlik) ning har biri faqatgina o'ziga hos bo'lgan xususiyatli bo'lmasdan, balki o'zidan boshqa har bir elementlarning ham xususiyatlariga ega.

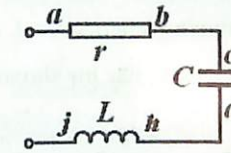
Masalan, solishtirma qarshiligi katta bo'lgan qotishmadan spiralsimon o'ramlar sifatida yasalgan rezistor xossasini ko'raylik. Uning asosiy xususiyati bo'lmish omik qarshiligadan tashqari, yonma-yon o'ramlarining orasida biroz sig'im hosil bo'ladi; shu o'ramlardan oqayotgan tok esa rezistor o'tkazgichi atrofida biroz magnit maydoni va demak, induktivlik hosil qiladi. Shu sababli real rezistorda ham omik qarshiligi R , sig'imi C , induktivligi L mavjud ekan.

Yuqori chastotalarda R qarshilik parazit sig'imga ham ega bo'ladi. Shuningdek kondensator va g'altaklar ham parazit qo'shimcha parametrlarga ega (2.5-rasm).



2.5-rasm. Ideal elementlarning yuqori chastotalardagi ekvivalent sxemalari (p- indeksli elementlar parazit elementlar).

Lekin amaliyotda biz yetarlicha kichik chastotalarda umumlashgan parametrli elektr zanjirlari bilan ish ko'ramiz. Masalan ketma-ket (2.6-rasm) ulangan rezistor ($a-b$ oraliq), kondensator ($c-d$ oraliq) va induktivlik g'altigidan ($h-j$ oraliq) iborat bo'lgan zanjir tuzilgan bo'lsin. Faraz qilaylik, elektromagnit energiyasi issiqlik energiyasiga faqat $a-b$ sohadagi rezistordagina o'tayapti, ya'ni bu oraliqda zanjirning barcha qarshiligi r miqdorida umumlashgan.



2.6-rasm. Umumlashgan parametrli elektr zanjirlar.

Elektr siljish toklari faqat $c-d$ oraliqda kondensator qoplamalari orasida mavjud, ya'ni bu sohada zanjirning barcha C sig'imi umumlashgan. Nihoyat, o'zgaruvchan magnit maydon $EYuK$ ni faqat $h-j$ oraliqda umumlashgan g'altakda induktivlaydi, ya'ni ushbu sohada zanjirning barcha L induktivligi yig'ilgan.

Umumiy holda ancha murakkabroq ko'rinishga ega bo'lgan va har xil elementlardan tashkil topgan shunga o'xshash elektr zanjirlari, umumlashgan parametrli elektr zanjirlari deyiladi.

zarur. *Passiv ikki qutblik* deb tarkibida elektr energiya manbalari bo'lmagan ikki qutblikka aytiladi. Manbalari o'zaro kompensatsiyalanib, ikki qutblikning ikki uzilgan klemmalarida kuchlanish bo'lmasa, chiziqli ikki qutblik tarkibida elektr energiya manbalari mavjudligi joiz bo'ladi.

Passiv ikki qutblik bo'la turib, uning tarkibida o'zaro kompensatsiyalanuvchi manbalar mavjud bo'lishining mumkinligi haqidagi shart – bu zaruratdir. Chunki zanjirning bir butun qismini ikki qutblik bilan almashtirish g'oyasi, shu qismning umumiy xususiyatlarini uning faqat tashqi klemmalariga nisbatan o'rganilishini nazarda tutadi. Ushbu shart faqat chiziqli zanjirlargagina taalluqlidir, chunki nochiziqli zanjirlarda bunday kompensatsiya faqat bitta yoki faqat bir nechta rejim uchun olinishi mumkin va boshqa rejimlar uchun olinishi

2.3. Om qonuni. Om qonuni va elektr sxemalar tahlili. Aktiv va reaktiv qarshiliklarning ta'rif. Serim va induktiv reaktiv qarshiliklarga ta'rif va ta'zirning ta'siri

Elektr zanjiri yuqorida ko'rib chiqilgan elektr simlari bilan bir biriga bog'langan qabul qiluvchilar va elektr energiyasining manbalari to'plamini o'z ichiga oladi. Agar barcha energiya manbalarining qiymatlari va zanjirning passiv elementlari parametrlari ma'lum bo'lsa, unda ushbu elementlarning har biridagi tok va kuchlanishlarni aniqlash masalasi qo'yiladi. Ushbu masala ma'lum yechimga ega bo'lib zanjirni hisoblashning *to'g'ri masalasi* deb ataladi.

Agar zanjirning biron bir elementidagi tok (yoki kuchlanish) va tarmoqlarni ulash usuli ma'lum bo'lsa, u holda keltirilgan boshqa uchastkalarida toklarni va zanjirga yetkazib beradigan energiya manbalarining kattaligini aniqlash masalasi paydo bo'ladi. Ushbu masala teskari masala deb ataladi va u bir nechta yechimlarga ega bo'lishi mumkin. Ushbu ikkala vazifa elektr zanjirlar nazariyasida tahlil qilish masalalari sifatida tasniflanadi.

Manbalarining kuchlanishlari va tok manbalarining toklari ta'sirlar yoki kirish signallari deb nomlanadi. Boshqa barcha toklar va kuchlanishlar ushbu ta'sirlarga javoblar yoki reaksiyalar deb nomlanadi.

Ushbu zanjirlar nazariyasining to'g'ri va teskari masalasini yechishda bir qancha qonunlar va usullar ishlatiladi. Shu qonunlardan biri bu Om qonunidir.

Om qonuni juda ko'p tajribalar natijasi asosida kashf etilgan qonundir. Uning to'g'riligi boshqa kishilar tomonidan o'tkazilgan ko'pgina tajribalarda ham isbotlangan. 1826 yili nemis fizigi Om quyidagi qonunni yaratdi: bir jinsli metall o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi ushbu o'tkazgichning uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional:

$$I = \frac{1}{R} * U \quad (2.3.1)$$

bu yerda R - o'tkazgichning elektr qarshiligidir. (2.3.1) tenglama *zanjirning bir qismi uchun Om qonunini* ifodalaydi. Qarshilik birligi Om deb qabul qilingan. O'tkazgichning uchlaridagi kuchlanish 1V bo'lganda 1A tok kuchi o'tadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi 1 Om ga teng bo'ladi. Elektr qarshilikka teskari bo'lgan kattalik *elektr o'tkazuvchanlik* deb ataladi va (2.3.1) tenglama bilan aniqlanadi. Elektr o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi *simens (S)*. 1 S - elektr qarshiligi 1 Om bo'lgan o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligidir.

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.3.2)$$

Metall o'tkazgichning tokga ko'rsatadigan qarshiligi erkin elektronlarning metallidagi kristall panjara ionlari bilan to'qnashishlari tufayli hosil bo'lgani uchun qarshilik o'tkazgichning shakli, o'lchamlari va uning qanday materialdan yasalganligiga bog'liq bo'ladi. Simon Omning tadqiqotlariga muvofiq bir jinsli silindrsimon o'tkazgich uchun o'tkazgichning qarshiligi uning l uzunligiga to'g'ri proporsional va ko'ndalang kesim yuzi S ga teskari proporsionaldir:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.3.3)$$

bu yerda ρ - o'tkazgichning *solishtirma elektr qarshiligi*. U o'tkazgich materialining tabiatiga bog'liq kattalikdir. Solishtirma elektr qarshilikka teskari

zarur. *Passiv ikki qutblik* deb tarkibida elektr energiya manbalari bo'lmagan ikki qutblikka aytiladi. Manbalari o'zaro kompensatsiyalanib, ikki qutblikning ikki uzilgan klemmalarida kuchlanish bo'lmasa, chiziqli ikki qutblik tarkibida elektr energiya manbalari mavjudligi joiz bo'ladi.

Passiv ikki qutblik bo'la turib, uning tarkibida o'zaro kompensatsiyalanuvchi manbalar mavjud bo'lishining mumkinligi haqidagi shart – bu zaruratdir. Chunki zanjirning bir butun qismini ikki qutblik bilan almashtirish g'oyasi, shu qismning umumiy xususiyatlarini uning faqat tashqi klemmalariga nisbatan o'rganilishini nazarda tutadi. Ushbu shart faqat chiziqli zanjirlargagina taalluqlidir, chunki nochiziqli zanjirlarda bunday kompensatsiya faqat bitta yoki faqat bir nechta rejim uchun olinishi mumkin va boshqa rejimlar uchun olinishi

2.3. Om qonuni. Om qonunini qanday hosil qilish. **Elektr sxemalar tahlili. Aktiv va induktiv reaktiv qarshiliklarga qarshilik va fazaning ta'siri**

Elektr zanjiri yuqorida ko'rib chiqilgan elektr simlari bilan bir biriga bog'langan qabul qiluvchilar va elektr energiyasining manbalari to'plamini o'z ichiga oladi. Agar barcha energiya manbalarining qiymatlari va zanjirning passiv elementlari parametrlari ma'lum bo'lsa, unda ushbu elementlarning har biridagi tok va kuchlanishlarni aniqlash masalasi qo'yiladi. Ushbu masala ma'lum yechimga ega bo'lib zanjirni hisoblashning *to'g'ri masalasi* deb ataladi.

Agar zanjirning biron bir elementidagi tok (yoki kuchlanish) va tarmoqlarni ulash usuli ma'lum bo'lsa, u holda keltirilgan boshqa uchastkalarida toklarni va zanjirga yetkazib beradigan energiya manbalarining kattaligini aniqlash masalasi paydo bo'ladi. Ushbu masala teskari masala deb ataladi va u bir nechta yechimlarga ega bo'lishi mumkin. Ushbu ikkala vazifa elektr zanjirlar nazariyasida tahlil qilish masalalari sifatida tasniflanadi.

Manbalarining kuchlanishlari va tok manbalarining toklari ta'sirlar yoki kirish signallari deb nomlanadi. Boshqa barcha toklar va kuchlanishlar ushbu ta'sirlarga javoblar yoki reaksiyalar deb nomlanadi.

Ushbu zanjirlar nazariyasining to'g'ri va teskari masalasini yechishda bir qancha qonunlar va usullar ishlatiladi. Shu qonunlardan biri bu Om qonunidir.

Om qonuni juda ko'p tajribalar natijasi asosida kashf etilgan qonundir. Uning to'g'riligi boshqa kishilar tomonidan o'tkazilgan ko'pgina tajribalarda ham isbotlangan. 1826 yili nemis fizigi Om quyidagi qonunni yaratdi: bir jinsli metall o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi ushbu o'tkazgichning uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional:

$$I = \frac{1}{R} * U \quad (2.3.1)$$

bu yerda R - o'tkazgichning elektr qarshiligidir. (2.3.1) tenglama *zanjirning bir qismi uchun Om qonunini* ifodalaydi. Qarshilik birligi Om deb qabul qilingan. O'tkazgichning uchlaridagi kuchlanish 1V bo'lganda 1A tok kuchi o'tadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi 1 Om ga teng bo'ladi. Elektr qarshilikka teskari bo'lgan kattalik *elektr o'tkazuvchanlik* deb ataladi va (2.3.1) tenglama bilan aniqlanadi. Elektr o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi *simens (S)*. 1 S - elektr qarshiligi 1 Om bo'lgan o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligidir.

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.3.2)$$

Metall o'tkazgichning tokga ko'rsatadigan qarshiligi erkin elektronlarning metallidagi kristall panjara ionlari bilan to'qnashishlari tufayli hosil bo'lgani uchun qarshilik o'tkazgichning shakli, o'lchamlari va uning qanday materialdan yasalganligiga bog'liq bo'ladi. Simon Omning tadqiqotlariga muvofiq bir jinsli silindrsimon o'tkazgich uchun o'tkazgichning qarshiligi uning l uzunligiga to'g'ri proporsional va ko'ndalang kesim yuzi S ga teskari proporsionaldir:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.3.3)$$

bu yerda ρ - o'tkazgichning *solishtirma elektr qarshiligi*. U o'tkazgich materialining tabiatiga bog'liq kattalikdir. Solishtirma elektr qarshilikka teskari

bo'lgan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.3.4)$$

kattalikni o'tkazgichning *solishtirma elektr o'tkazuvchanligi* deb ataladi. Solishtirma elektr qarshilikning o'lchov birligi - Om metr (Om·m); *1 Om·m* - ko'ndalang kesimi 1 m², uzunligi 1 m bo'lganda 1 Om elektr qarshilikka ega bo'lgan o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligidir.

Solishtirma elektr o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi simens taqsim metr (S/m). *1 S/m* - ko'ndalang kesimi 1m², uzunligi 1 m bo'lganda 1 S elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladigan o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligidir.

Bunda $i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ sinusoidal funktsiya yordamida kuchlanishning o'zgaruvchan kuchlanish qonunini yozish mumkin:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.3.5)$$

Bunda $\psi_u - \psi_i = \gamma$ fazalar farqi, $\gamma = \omega t + \psi$ - tebranishlar fazasi.

Induktiv elementda (g'altak), tok va kuchlanish quyidagi chiziqli differentsial munosabatlar bilan bog'liq:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.3.6)$$

Agar g'altakdan o'tayotgan tok ushbu sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarsa

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.3.7)$$

Undagi kuchlanishning o'zgarish qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = \omega L \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \psi_i) = \omega L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i + 90^\circ) = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.3.8)$$

Tebranishlar amplitudasi va fazasini taqqoslab quyidagini olamiz:

$$U_m = \omega L \cdot I_m = X_L \cdot I_m \quad (2.3.9)$$

bunda $X_L = \omega \cdot L$ induktiv qarshilik deyiladi.

Bundan ko'rinadiki tok va kuchlanish amplitudalari Om qonuni kabi chiziqli munosabatlar bilan bog'liq va tokning boshlang'ich fazasi kuchlanishning dastlabki fazasidan 90° burchak bilan orqada qoladi.

Kondensatordagi tok kuchi sinusoidal:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.3.10)$$

qonun bilan o'zgarsa, undagi kuchlanish uzgarish qonuni ham sinusoidal bo'ladi:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C \cdot dt \quad (2.3.11)$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C \cdot dt = -\frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \psi_i) = X_C \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ) = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.3.12)$$

Tebranishlar amplitudasi va fazasini taqqoslab quyidagini olamiz:

$$U_m = X_C \cdot I_m = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m, \psi_u = \psi_i - 90^\circ \quad (2.3.13)$$

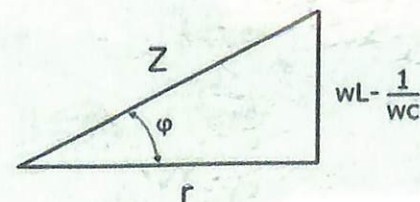
bunda $X_C = \frac{1}{\omega C}$ - bo'lib sig'im qarshilik deyiladi.

Bundan ko'rinadiki tok va kuchlanish amplitudalari Om qonuni kabi chiziqli munosabatlar bilan bog'liq va kuchlanishning boshlang'ich fazasi tokning dastlabki fazasidan 90° burchak bilan orqada qoladi.

Elektronikada nafaqat aktiv va reaktiv, balki har ikkala qarshilik kvadratlarining yig'indisi bo'lgan to'la qarshilik (impedansi) ham ishlatiladi. Ushbu parametr Z belgisi bilan belgilanadi va quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.3.14)$$

Grafikda bu ifoda qarshiliklarning uchburchagiga o'xshaydi, bu yerda reaktiv va aktiv qarshilik katetlarga, impedans esa gipotenuzaga mos keladi (2.10-rasm).



2.10-rasm. Zanjirning to'la qarshiligi (impedansi).

Nazorat savollari:

1. Asosiy elektr kattaliklarni sanab bering.
2. Elektr zanjirlar va ularning elementlarini aytib bering.
3. Aktiv va passiv elementlarni farqini tushintirib bering.
4. Tok va kuchlanish manbalarini aytib bering.
5. Asosiy elektr kattaliklarning o'zaro munosabatlarini tushintirib bering.
6. Sxemaning asosiy passiv elementlari (rezistorlar, induktivlik g'altaklar, kondensatorlar) ning belgilanishi va xususiyatlarini aytib bering.
7. Aktiv va reaktiv qarshiliklarning farqini tushintirib bering.

III BOB. Elektr zanjirlarni hisoblash usullari

3.1. Elektr sxemalar uchun Kirxgof qonunlari. Elektr sxemalarni Kirxgofning 1 va 2-qonunlari asosida hisoblash

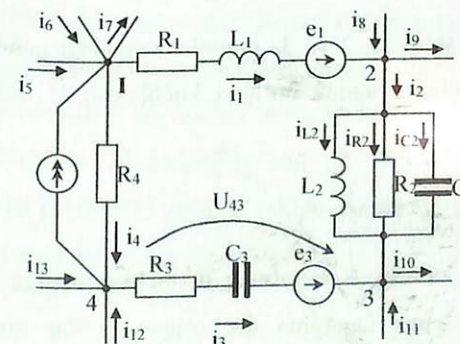
Elektr zanjirlar nazariyasida Om qonuni bilan birga shoxobchalardagi toklar va yopiq zanjirlardagi kuchlanishlar balanslarini ifodalaydigan asosiy qonunlardan biri *Kirxgof* qonunlari hisoblanadi. Elektr zanjirlarida tok va kuchlanishlarning zanjir bo'yicha taqsimlanishi Kirxgof qonunlari orqali ifodalanadi.

Kirxgofning birinchi qonuni tokning uzluksizligini akslantirib, zanjirning har qanday tugunidagi barcha toklarning algebraik yig'indisi nolga tengligini bildiradi:

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad (3.1.1)$$

bu yerda: k – tarmoq nomeri, n - tarmoqlar soni.

Misol sifatida 3.1.1-rasmda ko'rsatilgan murakkab elektr zanjirning 1, 2, 3 va 4 tugunlari orasida joylashgan biror konturni ko'rib chiqaylik. Unga 8 ta passiv R, L va C elementlar, 2 ta E.Yu.K. va 1 tok manbai kirgan. Zanjirning ichki (ya'ni elementlari aniq ko'rsatilgan) qismida i_1, i_2, i_3, i_4 va I toklar oqayotganini ta'kidlasak, uning tashqi tarmoqlarida i_5, i_6, \dots, i_{13} toklar oqishini hisobga olishimiz lozimdir.



3.1.1-rasm. Kirxgofning birinchi qonuni tahlil qilish uchun elektr zanjir.

III BOB. Elektr zanjirlarni hisoblash usullari

3.1. Elektr sxemalar uchun Kirxgof qonunlari. Elektr sxemalarni Kirxgofning 1 va 2-qonunlari asosida hisoblash

Elektr zanjirlar nazariyasida Om qonuni bilan birga shoxobchalardagi toklar va yopiq zanjirlardagi kuchlanishlar balanslarini ifodalaydigan asosiy qonunlardan biri Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari hisoblanadi.

Kimsofning birinchi qismi (2.1.1) va birinchi to'rtta tuqun uchun quyidagi

kuchlanishni (3.1.5) shaklda ko'rsatsak va uni 4-tuqundan 3-tuqungacha yo'nalgan

Kirxgofning birinchi qonuni (3.1.1) ga binoan to'rtta tugun uchun quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$I - i_1 - i_4 + i_5 + i_6 - i_7 = 0 \quad (1\text{-tugun uchun})$$

$$i_1 - i_2 + i_8 - i_9 = 0 \quad (2\text{-tugun uchun})$$

$$i_2 + i_3 - i_{10} + i_{11} = 0 \quad (3\text{-tugun uchun})$$

$$-I + i_4 + i_{12} + i_{13} = 0 \quad (4\text{-tugun uchun})$$

Ikkinchi tarmoqdagi i_2 tokni, o'z navbatida, uchta parallel ulangan tarmoqlardagi i_{L2} , i_{R2} va i_{C2} toklardan hosil bo'lganini hisobga olsak, Kirxgofning birinchi qonunini yana bir marta ishlatsak bo'ladi, ya'ni:

$$i_2 - i_{L2} - i_{R2} - i_{C2} = 0, \text{ yoki } i_{L2} + i_{R2} + i_{C2} = i_2 \quad (3.1.1)$$

Kirxgofning ikkinchi qonuni elektr toklari o'tayotgan ixtiyoriy konturda

$$(3.1.2).$$

1 tugunlari orasida
vidagi muvozanat
tenglamasini tuzish mumkin

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_{L2}}{dt} - R_3 i_3 - \frac{1}{C_3} \int_0^t i_3 dt - R_4 i_4 = e_1 - e_3 \quad (3.1.3)$$

Tenglamani tuzishda konturni soat miliga mos aylanishiga nisbatan olingan kuchlanishlar keltirilgan.

Asosiy tenglama (3.1.1) ga qo'shimcha 2 va 3- tugunlar orasidagi parallel ulangan R_2 , L_2 va C_2 elementlar uchun yagona bo'lgan kuchlanish U uchun quyidagini keltirish mumkin:

$$u_{23} = R_2 i_{R2} = L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = \frac{1}{C_2} \int_0^t i_{C2} dt \quad (3.1.4)$$

Ammo shuni ham aytib o'tish zarurki, Kirxgofning ikkinchi qonuniga oid tenglama tuzish uchun tanlangan kontur faqatgina tok o'tgan yo'llar orqali berkitilgan bo'lishi shart emas. Masalan, 3.1.1- rasmdagi 3 va 4- tugunlar orasidagi

kuchlanishni (3.1.5) shaklda ko'rsatsak va uni 4- tugundan 3- tugunga yo'nalgan deb olsak, mazkur konturning tashqi qismi zanjirning qaysi elementlarini aylanib o'tganining hech qanday ahamiyati yo'q.

$$u_{43} = \tilde{u}_3 = u_3 - e_3 = R_3 i_3 + \frac{1}{C_3} \int_0^t i_3 dt - e_3 \quad (3.1.5)$$

Undan tashqari tarmoqning yig'indi kuchlanishini $\tilde{u}_3 = u_3 - e_3$ tarzda, ya'ni undagi E.Yu.K. ni ichiga olib, yozilishi graf usulini ishlatishda juda qo'l keladi.

Kirxgof qonunlaridan foydalanib, murakkab chiziqli zanjirda, berilgan qiymatlar mavjudligida, shoxobchalar toklari va tugunlar potentsiallarni aniqlash imkonini beruvchi tenglamalar tizimini hosil qilish mumkin. Masalan, barcha kuchlanish manbalarining E.Yu.K.lari, barcha tok manbalartning toklari va barcha qarshiliklar qiymatlari mavjud bo'lsa, barcha shoxobchalar toklarini hisoblash mumkin.

Zanjirda tok va potentsiallarning qiymatlarini tekshirishda ham Kirxgof qonunlarini qo'llash muhim ahamiyatlidir, chunki berilgan tenglamalar tizimining taxmin qilingan yechimini tekshirish, tenglamalar tizimini qayta yechishdan ko'ra yengilroqdir.

Kirxgof qonunlarining tatbiq etilishi orasida eng muhim o'rin tutganlari - tenglamalar tizimini yechmasdan turib, chiziqli elektr zanjirining ba'zi umumiy xususiyatlarini aniqlash imkonini beruvchi, «printsipalar» deb ataluvchi usullardir (masalan, superpozitsiya printsipi, o'zarolik printsipi).

Kirxgof tenglamalari tizimi. Berilgan zanjir shoxobchalari soni "S" ga teng bo'lsin; bu songa tok J manbasiga ega bo'lgan shoxobchalar kirmaydi, ushbu J tok va kuchlanish E qiymatlari berilgan bo'lsin. Shoxobchalarning chegarasi bo'lgan tugunlar soni "T" ga teng bo'lsin.

U holda Kirxgofning toklar qonuni (KTQ) ga asosan mustaqil tenglamalar soni tugunlar sonidan 1 ga kichik bo'ladi:

$$K_1 = T - 1 \quad (3.1.6)$$

Kirxgofning kuchlanishlar qonuni (KKQ) ga asosan, yana K_2 ta mustaqil tenglamalar qurish mumkin:

$$K_2 = S - K_1 = S + 1 - T \quad (3.1.7).$$

Bu tenglamalar berk konturlar uchun tuziladi. Kontur tenglamalarining o'zaro mustaqilligi ayondir, chunki har bir kontur tarkibida hech bo'lmaganda bitta shoxobcha boshqa konturlar tarkibiga kirmaydi (bu zaruriy bo'lmagan, biroq yetarli bo'lgan shartdir).

Mustaqil tenglamalar to'la soni shoxobchalar soniga teng:

$$S = K_1 + K_2 \quad (3.1.8).$$

(3.1.8) tenglik (3.1.6) va (3.1.7) dan kelib chiqadi, chunki ixtiyoriy K_1 tugun tenglamalari ixtiyoriy K_2 kontur tenglamalari soniga bog'liq emas. Darhaqiqat,

Ushbu tugunlar uchun tenglamalar quyidagicha bo'ladi:

$$I_{12} + I_{13} + I_{14} = 0; \quad I_{21} + I_{23} + I_{24} = 0; \quad (3.1.9)$$

$$I_{31} + I_{32} + I_{34} = 0; \quad I_{41} + I_{42} + I_{43} = 0, \quad (3.1.10)$$

bunda I_{mn} - m va n tugunlarni bog'lovchi shoxobchani m tugundan n tugunga yo'nalgan toki.

Birinchi uchta tenglamalar yig'indisini hisoblasak (bunda $I_{21} + I_{12} = 0$; $I_{13} + I_{31} = 0$) shu ma'lum bo'ladiki, hosil bo'lgan $I_{14} + I_{24} + I_{34} = 0$ yig'indi tarkibida faqat to'rtinchi tugunga kelayotgan toklar bo'lar ekan. Bu yig'indi to'rtinchi tugun tenglamasidan faqatgina boshqa hadlarning icherisi bilan farqlanadi. Demak, oxirgi

ilgari keltirilgan to'rt tugunli zanjir uchun keltirilgan. Oxirgi tugunni 1 tugun bilan birlashtirib bo'lmaydi, chunki unda berk kontur hosil bo'ladi.

Agar har bir tugun boshqa barcha tugunlar bilan shoxobchalar orqali ulansa, tugunlar oldindan ixtiyoriy ravishda nomerlanib, so'ngra tugunlar ketma-ket ulanishi mumkin (1 va 2, 2 va 3, ..., T-1 va T).

Aniqki, bunday ulanishda shoxobchalar soni tugunlar sonidan albatta bittaga kam bo'ladi, barcha shoxobchalar ketma-ket ulangan, zanjir berk bo'lmaydi. Biroq, ixtiyoriy bir juft tugunlarga yangi shoxobchalar ulansa, kontur hosil bo'ladi, chunki shartga ko'ra barcha tugunlar qandaydir shoxobcha bilan ulangandir.

Kontur hosil qilmasdan shu tarzda kiritish mumkin bo'lgan shoxobchalar - daraxt shoxobchalari deyiladi, ular hosil qilgan struktura daraxt deb ataladi.

Ushbu daraxtga kiritilgan har qanday shoxobcha konturni hosil qilmasdan barcha tugunlar bilan ketma-ket ulangan qatoriga kirar edi). Ana shoxobchalar soni (yoki ko'priklar) deb ataladi.

Agar har bir shoxobchani bitta boshqa shoxobchani ulansa, daraxtning kontur hosil bo'ladi. Bunda yangi daraxt, ya'ni berk konturli zanjir paydo bo'ladi. Shu bilan bir vaqtning o'zida yangi daraxtning shoxobchalari soni o'zgarishsiz qoladi, chunki har gal yangi bir vatar qo'shilganda, aynan bitta boshqa shoxobchani tashlab yuborish lozim.

Shoxobcha - vatarlar soni X , shoxobchalar soni S bilan daraxtga kiruvchi shoxobchalar $(T-1)$ ayirmasiga teng:

$$X = S - (T - 1) \quad (3.1.11).$$

Har qanday shoxobcha - vatar kiritilishidan hosil bo'lgan kontur uchun,

mumkin, chunki ularning har birida faqat bittadan vatarlar mavjud. Bu quyidagi mulohazadan ayonligi ko'rinadi: ikki mustaqil tenglamalarni o'zaro qo'shib, yangi tenglama hosil qilamiz. Bu, o'z navbatida, qolgan ikki asosiy tenglamalardan birinchisi yoki ikkinchisi bilan hamkorlikda ikki mustaqil tenglamalarni hosil qiladi. Mustaqil tenglamalarning umumiy soni o'zgarishsiz qoladi.

Eslatma. Tarqoq bo'lmagan zanjirni chegaralovchi ikki tugunlari bitta tugunga qo'shiluvchi ($T=1$) bir shoxobchali ($S=1$) zanjir deb qarash mumkin. Bunday zanjirlar uchun ham $K_1=T-1=0$ va $K_2=S-(T-1)=1$ ifodalashni qo'llash mumkin. Darhaqiqat, bunday zanjir uchun faqat bitta kontur tenglamasini tuzish mumkin. Ushbu fikrlar tugunning shoxobcha chegarasi ekanligi haqidagi ta'rifga to'la mos keladi.

Barcha tugun tenglamalarining har bir kontur tenglamalariga bog'lik bo'lmaligi (ulardan mustaqilligi) ayondir. Chunki kontur tenglamalari tarkibida shoxobchalar qarshiliklari va E.Yu.K.lari mavjud bo'lib, tugun tenglamalarida ular qatnashmaydi. Demak, tugun tenglamalarining har qanday chiziqli kombinatsiyasidan kontur tenglamalarini hosil qilib bo'lmaydi. Bu esa, *zanjirning to'la mustaqil tenglamalari soni shoxobchalar soniga teng* ekanligini isbotlaydi. Agar qolgan barcha parametrlar berilgan bo'lsa, aniqlangan tenglamalar tizimi barcha toklarni aniqlash uchun yetarlidir. Ushbu holat tenglamalar tizimining to'liqligini ta'kidlaydi.

Yuqorida keltirilgan mustaqil tenglamalar soni haqidagi barcha mulohazalar, tok manbasi bor bo'lganda ham o'z kuchiga ega. Chunki tok manbasi ekvivalent kuchlanish manbasi bilan almashtirilishi mumkin. Biroq, tugun tenglamalarining o'ng tomonida Kirxgofning birinchi qonuni ta'rifidagidek tok manbalarning toklari qatnashavanti deb hisoblab, yuqoridagi mulohazalarni davom ettirish mumkin.

ilgari keltirilgan to'rt tugunli zanjir uchun keltirilgan. Oxirgi tugunni 1 tugun bilan birlashtirib bo'lmaydi, chunki unda berk kontur hosil bo'ladi.

Agar har bir tugun boshqa barcha tugunlar bilan shoxobchalar orqali ulansa, tugunlar oldindan ixtiyoriy ravishda nomerlanib, so'ngra tugunlar ketma-ket ulanishi mumkin (1 va 2, 2 va 3, ..., T-1 va T).

Aniqki, bunday ulanishda shoxobchalar soni tugunlar sonidan albatta bittaga kam bo'ladi, barcha shoxobchalar ketma-ket ulangan, zanjir berk bo'lmaydi. Biroq, ixtiyoriy bir juft tugunlarga yangi shoxobchalar ulansa, kontur hosil bo'ladi, chunki shartga ko'ra barcha tugunlar qandaydir shoxobcha bilan ulangandir.

Kontur hosil qilmasdan shu tarzda kiritish mumkin bo'lgan shoxobchalar - daraxt shoxobchalari deyiladi, ular hosil qilgan struktura daraxt deb ataladi.

Ushbu daraxtga kiruvchi daraxtga kiritilgan har qanday shoxobcha konturni hosil qiladi (har qanday shoxobcha konturini hosil qilish uchun daraxtning qatoriga kirar edi). Ana shoxobchalar (yoki ko'priklar) deb ataladi.

Har qanday shoxobchani boshqa bir shoxobchani ulanish orqali daraxtga ulash mumkin. Bunda yangi daraxt, ya'ni berk kontursiz zanjir hosil bo'ladi. Shu tarzda yangi daraxtning shoxobchalari soni o'zgarishsiz qoladi, chunki har gal yangi bir vatar qo'shilganda, aynan bitta boshqa shoxobchani tashlab yuborish lozim.

Shoxobcha - vatarlar soni X, shoxobchalar soni S bilan daraxtga kiruvchi shoxobchalar (T-1) ayirmasiga teng:

$$X = S - (T - 1) \quad (3.1.11).$$

Har qanday shoxobcha - vatar kiritilishidan hosil bo'lgan kontur uchun, Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuzish mumkin. Bunda, har bir shunga o'xshash tenglama boshqalaridan mustaqildir. Chunki ularning har biriga yangi noma'lum berk kontur hosil qiluvchi yangi shoxobcha toki kiradi.

Demak, mustaqil kontur tenglamalari soni vatarlar soniga, ya'ni (3.1.7) ga binoan S-(T-1) ga teng. Shuni isbot qilish zarur edi.

Kirxgof tenglamalari tuzilgan kontur, boshqa oddiy konturlardan farqlanishi

mumkin, chunki ularning har birida faqat bittadan vatarlar mavjud. Bu quyidagi mulohazadan ayonligi ko'rinadi: ikki mustaqil tenglamalarni o'zaro qo'shib, yangi tenglama hosil qilamiz. Bu, o'z navbatida, qolgan ikki asosiy tenglamalardan birinchisi yoki ikkinchisi bilan hamkorlikda ikki mustaqil tenglamalarni hosil qiladi. Mustaqil tenglamalarning umumiy soni o'zgarimasdan qoladi.

Eslatma. Tarqoq bo'lmagan zanjirni chegaralovchi ikki tugunlari bitta tugunga qo'shiluvchi (T=1) bir shoxobchali (S=1) zanjir deb qarash mumkin. Bunday zanjirlar uchun ham $K_1=T-1=0$ va $K_2=S-(T-1)=1$ ifodalashni qo'llash mumkin. Darhaqiqat, bunday zanjir uchun faqat bitta kontur tenglamasini tuzish mumkin. Ushbu fikrlar tugunning shoxobcha chegarasi ekanligi haqidagi ta'rifga to'la mos keladi.

Barcha tugun tenglamalarining har bir kontur tenglamalariga bog'lik bo'lmashligi (ulardan mustaqilligi) ayondir. Chunki kontur tenglamalari tarkibida shoxobchalar qarshiliklari va E.Yu.K.lari mavjud bo'lib, tugun tenglamalarida ular qatnashmaydi. Demak, tugun tenglamalarining har qanday chiziqli kombinatsiyasidan kontur tenglamalarini hosil qilib bo'lmaydi. Bu esa, *zanjirning to'la mustaqil tenglamalari soni shoxobchalar soniga teng* ekanligini isbotlaydi. Agar qolgan barcha parametrlar berilgan bo'lsa, aniqlangan tenglamalar tizimi barcha toklarni aniqlash uchun yetarlidir. Ushbu holat tenglamalar tizimining to'liqligini ta'kidlaydi.

Yuqorida keltirilgan mustaqil tenglamalar soni haqidagi barcha mulohazalar, tok manbasi bor bo'lganda ham o'z kuchiga ega. Chunki tok manbasi ekvivalent kuchlanish manbasi bilan almashtirilishi mumkin. Biroq, tugun tenglamalarining o'ng tomonida Kirxgofning birinchi qonuni ta'rifidagidek tok manbalarning toklari qatnashayapti deb hisoblab, yuqoridagi mulohazalarni davom ettirish mumkin.

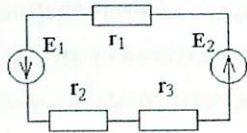
Masala: Qarshiliklari $r_1=2$ Om, $r_2=5$ Om, $r_3=3$ Om bo'lgan elektr zanjiri elektr yurituvchi kuchlari $E_1=50$ V, $E_2=70$ V bo'lgan manbaga ulangan (3.1.3-rasm). Zanjirdagi tokning qiymati va qarshiliklardagi kuchlanishlarning pasayishini aniqlang.

Yechish: Berk zanjir (3.1.3-rasm) uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga

asosan tenglama tuzamiz: $E_1 + E_2 = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$.

Bu tenglamadagi parametrlarni o'rniga qiymatlarni qo'yib yechamiz:
 $(50V + 70V) = (2 \text{ om} + 5 \text{ om} + 3 \text{ om}) \cdot I$; $I = 12 \text{ A}$.

Har bir qarshilikdagi kuchlanishlar tushuvini hisoblaymiz:
 $U_1 = R_1 \cdot I = 2 \cdot 12 = 24V$, $U_2 = R_2 \cdot I = 5 \cdot 12 = 60V$, $U_3 = R_3 \cdot I = 3 \cdot 12 = 36V$.



3.1.3 -rasm.

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

$$I = I \cdot (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) = I \cdot r$$

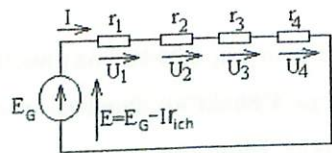
ularni yig'indisiga teng:

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

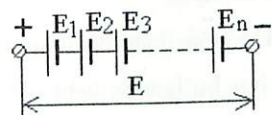
$$I \cdot r_1, U_3 = I \cdot r_3, U_4 = I \cdot r_4$$

disiga teng:

$$I^2 \cdot r_1 + I^2 \cdot r_2 + I^2 \cdot r_3 + I^2 \cdot r_4$$



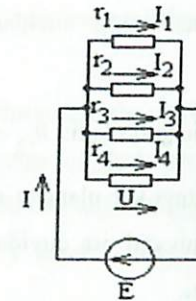
3.1.4-rasm.



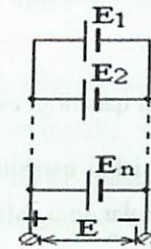
3.1.5-rasm.

Elektr energiya manbalari ketma-ket ulanganda (3.1.5-rasm), manba kuchlanishi ortib ketadi, ya'ni: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = n \cdot E_0$.

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



3.1.6-rasm.



3.1.7-rasm.

Rezistorlar paralel ulanganda hamma paralel tarmoqlarning qisqichlaridagi kuchlanish bir xil bo'ladi: $U = I \cdot r_1 = I \cdot r_2 = I \cdot r_3 = I \cdot r_4$.

Zanjirdagi tok kuchi Kirxgofning birinchi qonuniga asosan paralel tarmoqlardagi tok kuchlarining yig'indisiga teng:

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

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

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

Paralel tarmoqlarning tok kuchlari Om qonuniga binoan:

$$I_1 = U \cdot g_1; I_2 = U \cdot g_2; I_3 = U \cdot g_3; I_4 = U \cdot g_4$$

Zanjirning quvvati tarmoqlar quvvatlarini yig'indisiga teng.

Elektr energiya manbalari paralel ulanganda, manba kuchlanishi o'zgarmaydi, ya'ni: $E = E_0$.

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

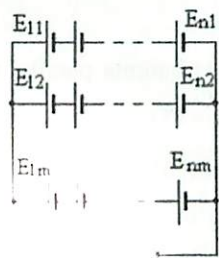
$$R_{ich} = R_0 / m$$

Elektr energiya manbalari paralel ulanganda, umumiy quvvat ortib ketadi, ya'ni: $R = m \cdot R_0$.

Elektr energiya manbalarini va iste'molchilarini aralash ulash mumkin. Agar bir nechta manbalarni ketma-ket ulab, kerakli kuchlanishni hosil qilib, xuddi

shunday ketma-ket ulangan zanjirlarni bir nechtasini paralel ulansa aralash ulangan zanjir hosil bo'ladi (3.1.8-rasm). Bunda manbaning kuchlanishi quyidagicha bo'ladi: $E = E_{kk} = n * E_0$.

Manbaning ichki qarshiligi esa quyidagicha bo'ladi: $R_{ich} = \frac{n}{m} * R_0$. Bu yerda: R_0 - bitta manbaning ichki qarshiligi, n - ketma-ket ulangan manbalar soni, m - paralel ulangan manbalar soni. Manbaning quvvati esa quyidagiga teng bo'ladi: $P = m * P_0$. Bu yerda P_0 - bitta manbaning quvvati.



3.1.8-rasm

Manba $E_0 = 1,5$ V ga va kuchlanishi $E_0 = 1,5$ V ga teng bo'lgan manbalar ketma-ket ulangan (3.1.9-rasm), bu yerda $n=6$ va $m=3$ ga teng bo'lgan ketma-ket ulangan manbalar ichki qarshilikni aniqlang.

Yechilishi: Manbaning kuchlanishi aniqlaymiz: $E_m = n * E_0 = 6 * 1,5 = 9$ V.

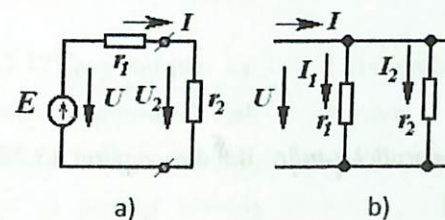
Manbaning ichki qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{ich} = \frac{n}{m} * R_0 = \frac{6}{3} * 6 = 12$$

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

3.2. Elementlarni ketma-ket va parallel ulanishlari. Ekvivalent almashtirish usuli va superpozitsiya (ustlash yoki jamlash) usuli

Ekvivalent almashtirish usuli. Kirxgof, Om va Joul-Lents qonunlarini oddiy elektr zanjirlariga qo'llash hech qanday qiyinchilik tug'dirmaydi. Ammo ketma-ket va parallel ulanishlardagi hamda oddiy parallel yoki ketma-ket ulanishlardagi tok va potentsiallarning taqsimlanishini to'g'ri aniqlashni puxta o'zlashtirish zarur.



3.2.1-rasm.

Ketma-ket ulash. Kuchlanish manbasi bilan ikki qarshilik ketma-ket ulanganda (3.2.1a-rasm) ulardan faqat birgina tok oqib o'tadi:

$$i = I = E / (r_1 + r_2) \quad (3.2.1).$$

Bir qancha rezistorlar ketma-ket ulangan bo'lsa ularni bitta ekvivalent qarshilik bilan almashtirish mumkin:

$$r_e = r_1 + r_2 + r_3 + \dots \quad (3.2.2).$$

Ularning har biri orqali oqayotgan tok $I = U / r_e$ bo'ladi, bunda U quyidagicha aniqlanadi: $U = E = r_1 * I_1 + r_2 * I_2 + r_3 * I_3 + \dots$ kuchlanishlar yig'indisi.

Shundan so'ng, o'zgarmas tok zanjirlari uchun (barqarorlik rejimida) tok va kuchlanishlar lotincha bosh harflar I va U bilan belgilanadi).

Parallel ulash. har biri o'zaro parallel bo'lgan shoxobchalarda kuchlanish U bir xildir, ya'ni tengdir (3.2.1b-rasm). Agar U berilgan bo'lsa, u holda har bir shoxobcha uchun tok qiymatini Om qonuni asosida aniqlanadi:

$$I_1 = g_1 * U; I_2 = g_2 * U; \dots \quad (3.2.3).$$

bunda $g_k = 1/r_k$ - qiymat k -chi shoxobchanning o'tkazuvchanligi.

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan, umumiy tok barcha shoxobchalar

toklarining yig'indisiga teng: $I = I_1 + I_2 + \dots = (g_1 + g_2 + \dots) \cdot U$.

Parallel ulanganda barcha shoxobchalarni bir ekvivalent o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan bir shoxobcha bilan almashtirish mumkin:

$$g_e = g_1 + g_2 + \dots \quad (3.2.4)$$

Bunda tok I va kuchlanish U orasidagi bog'lanish berilgan zanjirdagidek qiymatga ega bo'ladi: $I = g_e \cdot U$.

Zanjirda ikki parallel shoxobchalar mavjudligi sababli (3.2.1a-rasm) $U_2 = U_3$ bo'lgani uchun tok quyidagicha aniqlanadi: $I_1 = I_2 + I_3 = (g_2 + g_3) \cdot U_2 = g_e \cdot U_2 = U_2 / r_E$, bunda

$$r_E = \frac{1}{g_e} = \frac{1}{g_2 + g_3} = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} \quad (3.2.5)$$

Oddiy ketma-ket-parallel zanjir. Bunday zanjirni (3.2.2-rasm) hisoblash



3.2.2-rasm. Oddiy ketma-ket-parallel zanjir.

Ikki parallel shoxobchani ekvivalent (r_1) qarshilik bilan almashtirib

$$r_E = r_2 r_3 / (r_2 + r_3) \quad (3.2.6)$$

umumiy tokni

$$I_1 = E / (r_1 + r_E), \quad (3.2.7)$$

hamda ikki parallel shoxobchada kuchlanishni aniqlaymiz:

$$U_2 = U_3 = r_E \cdot I_1, \quad (3.2.8)$$

undan so'ng toklarni aniqlaymiz:

$$I_2 = U_2 / r_2; \quad I_3 = U_3 / r_3 \quad (3.2.9)$$

Keyingi ifodalarga (3.2.7) dan $U_2 = U_3$ ni qo'yib, so'ngra I_1 va r_E ni (3.2.6) va (3.2.5) dan aniqlab, barcha toklar uchun ifodalarni qulay holatga keltirish mumkin:

$$I_2 = \frac{E}{\rho} r_3; \quad I_3 = \frac{E}{\rho} r_2; \quad I_1 = \frac{E}{\rho} (r_2 + r_3) \quad (3.2.10)$$

bunda ρ quyidagi uch shoxobchani barcha qarshiliklaridan har ikkisi ko'paytmalari yig'indisiga teng:

$$\rho = r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1 \quad (3.2.11)$$

Ushbu umumlashtirilgan ta'rif I_2 , I_3 toklarni va ular yig'indisiga teng bo'lgan I_1 tokni aniqlash uchun zarurdir.

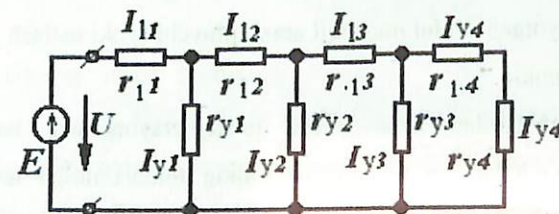
(3.2.10) ifodalardan toklar orasidagi bog'lanishlar ham yaqqol ko'zga tashlanadi:

$$I_2 = I_1 \frac{r_3}{r_2 + r_3}; \quad I_3 = I_1 \frac{r_2}{r_2 + r_3}; \quad (3.2.12)$$

(3.2.10) - (3.2.12) bog'lanishlar zanjirlarni hisoblashda ko'p uchrab turadi.

Ularni qaytadan keltirib chiqarmasdan eslab qolish zarur.

Parallel ketma-ket shoxobchali zanjir. Murakkab elektr zanjirini ko'pincha bir qator ketma-ket va parallel ulangan qarshiliklar sifatida tasavvur qilish mumkin. Masalan, qarshiliklari r_{y1} ; r_{y2} ;... bo'lgan bir nechta yuklamalar, alohida bo'laklarining qarshiliklari r_{11} ; r_{12} ;...ga teng bo'lgan bitta liniyaga ulangan bo'lsin (3.2.3-rasm).



3.2.3-rasm. Parallel ketma-ket shoxobchali zanjir.

Bir o'tkazgichdan oqayotgan barcha tok, ikkinchi o'tkazgichdan qaytib keladigan ikki o'tkazgichli liniya ko'rilayotgan holat uchun uning ixtiyoriy bo'lagi qarshiligi (masalan, r_{11}) to'g'ri va teskari (ikkala) o'tkazgichlar qarshiliklarini (aytaylik, $r_{11}/2$ va $r_{11}/2$) qo'yilib, bir liniyaga ulangan deb hisoblash mumkin. Qarshiliklarning bunday o'rin almashinuvi natijasida liniyaning bo'lagidagi kuchlanishlar pasayuvi o'zgarmaydi.

3.2.3-rasmda keltirilgan sxemani o'rganish natijasida $r_{y4} + r_{14}$ qarshilikli shoxobcha (oxirgi yuklanish oxirgi liniya bo'lagi bilan birga) r_{y3} (oxiridan oldingi

bo'lak yuklanishi shoxobchasi) bilan parallel ekanligini ko'rish mumkin. Ushbu ikki shoxobchalarni bitta ekvivalent qarshilik bilan almashtirish mumkin. Bu qarshilik esa, o'z navbatida r_B (oxiridan oldingi liniya) qarshiligiga ketma-ket ulangan bo'ladi.

Shu ta'riqa, barcha zanjir qarshiliklarini «yig'ish» va natijada murakkab zanjirni soddalashtirilgan (3.2.1a-rasm) holatga keltirish mumkin. Soddalashtirilgan zanjir uchun manba toki I_{11} ni aniqlash qiyin emas. Bundan so'ng *birinchi* yuklanishdagi kuchlanishni va uning tokini aniqlash mumkin:

$$U_{y1} = E - r_{11} \cdot I_{11} \quad (3.2.13),$$

$$I_{y1} = U_{y1} / r_{y1} \quad (3.2.14),$$

so'ngra *ikkinchi* bo'lakdagi liniya toki $I_{12} = I_{11} - I_{y1}$ ni aniqlanadi va h.k.

Superpozitsiya (ustlash yoki jamlash) usuli. Ushbu printsip chiziqi r_{11} va r_{y1} bo'lganda, barcha ta'riflanadi: zanjirning ixtiyoriy manbaning alohida ta'siri natijasida (bir tok deb hisoblab) ushbu shoxobchada kuchlanish va tokni aniqlash mumkin. Keltirilgan ta'rifdan shuni ko'rish mumkin: ushbu usulni qo'llanish usuli deb atash mumkin.

EYuK manbalaridan faqat bittasi ta'sir etayotganda, barcha boshqa manbalarining E.Yu.K.lari va tok manbalarining toklari nolga teng deb faraz qilinadi. Kuchlanish manbalarining qisqichlarida kuchlanishning yo'qligi ular klemmalari qisqa tutashganligiga mos keladi: tok manbalari bo'lgan shoxobchalarda tokning yo'qligi, ushbu shoxobcha uzilganidan darak beradi.

Agar manba ichki qarshilik va E.Yu.K.ga ega bo'lsa, u holda E.Yu.K. nolga teng deb faraz qilib, uning shoxobchasida ichki qarshilikni qoldirish zarur. Shunga o'xshash, manba - tok manbasi va unga ulangan parallel ichki qarshiligi bo'lgan shoxobcha sifatida berilgan bo'lsa, tok manbasi shoxobchasini uzib (ya'ni, $J=0$ deb hisoblab), ichki qarshilikli parallel shoxobchani qoldirish zarur.

Superpozitsiya printsipiga asosan ikki (yoki bir necha) rejim uchun hisobni olib borish mumkin. Bunda birinchi marta parametrlari $E_1^1; E_2^1; \dots; J_1^1 \dots$ bo'lgan

manbalar ta'sir etadi, ikkinchi marta esa $E_1^2; E_2^2; \dots; J_1^2; J_2^2$ parametrli manbalar ta'sir etadi.

Agar I_1' va I_1'' , I_1' va I_2'' - toklar shu ikki rejimning toklari bo'lsa, u holda haqiqiy rejimning toklarini aniqlash uchun ushbu ikki rejim toklarini

$$I_1' + I_1'' = I_1; I_2' + I_2'' = I_2 \dots \quad (3.2.17)$$

ustlash (jamlash) yordamida aniqlash mumkin (agar quyidagilarni qabul qilish mumkin bo'lsa):

$$E_1' + E_1'' = E_1; J_1' + J_1'' = J_1 \quad (3.2.18)$$

Bunda shtrixsiz qiymatlar manbalarining haqiqiy parametrlariga mos keladi.

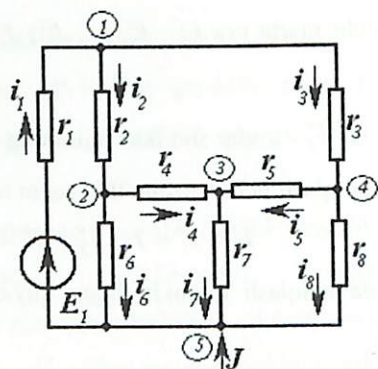
Hisoblash va tahlil qilishning qulayligiga erishish uchun har xil rejimlarda zanjirning ixtiyoriy qismiga, aslida mavjud bo'lmagan, shartli (soxta) manbalarni kiritish mumkin, bunda faqat ustlash natijasida shartli manbalarining EYuK yig'indisi va toklar yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur.

Umumiy holda superpozitsiya usulini quvvatlar uchun tatbiq etib bo'lmaydi chunki quvvatlar toklarning kvadratik (nochiziqli) funksiyalaridir:

$$P_1 \neq P_1' + P_1'', \dots \quad (3.2.19).$$

Superpozitsiya usuli murakkab zanjirlar uchun qo'llanilishi mumkin. Zanjirda yagona manba bo'lsa, hech bo'lmaganda bitta tugunga uchtadan ko'p bo'lmagan shoxobcha ulangan hamda ikkitagina shoxobcha berilib, ular yordamida barcha tugunlar potentsiallarini va barcha shoxobchalar tokini aniqlash mumkin bo'lgan holatlarda ushbu usulni qo'llash qulaylikka olib keladi. Bu talablarni, masalan, 3.2.4-rasmdagi zanjir $J=0$ bo'lganda qoniqtiradi. Avval, ikki shoxobcha toklarini ixtiyoriy tanlab (masalan, 3.2.4-rasmda r_2 va r_6 shoxobchalar toklarini), 2-tugunning uchinchi tokini oson aniqlash, so'ngra Om qonuniga binoan boshqa ixtiyoriy shoxobcha (masalan 3.2.4-rasmdagi r_4 va h.k.) uchun potentsiallar farqini hisoblash mumkin.

Barcha hisoblashlarni bajarish juda oson, biroq ular tezda bir-biriga zid natijalarga olib kelishi ham mumkin.



3.2.4-rasm.

Kirxgofning qonunlariga zidlikni (shartli) kuchlanish manbasi E'_{sh} (yoki shartli J'_{sh} tok manbasi) ni kiritib bartaraf etish mumkin. Bunda, hisoblash natijasida barcha izlanayotgan toklar va E.Yu.K.lar aniqlanadi.

Natijada barcha izlanayotgan toklar aniqlanishi mumkin:

$$(3.2.20),$$

ni bo'lgan shoxobcha qiymatlari va bartaraf etish uchun kiritilgan «shartli»

So'ngra qayta hisoblash bajariladi. Bunda mazkur shoxobchalarning ixtiyoriy tanlangan toklariga yangi qiymatlar beriladi. Natijada manbalarning yangi qiymatlari bilan yangi rejim toklari aniqlanadi:

$$I''_m = y_{m1} E''_1 + y_{msh} \cdot E''_{sh} \quad (3.2.21).$$

Tokning ikki qiymatlaridan birini, aytaylik ikkinchisini, b koeffitsientiga ko'paytirib va ularni qo'shib, quyidagini hosil qilamiz:

$$I'_m + b I''_m = \bar{I}_m = y_{m1} (E'_1 + b E''_1) + y_{msh} (E'_{sh} + E''_{sh}) \quad (3.2.22).$$

Shunga e'tiborni qaratish zarurki, barcha tengliklarda y_{m1} va y_{msh} koeffitsiyentlar qiymatlari noma'lum bo'lsa ham ular bir xildir.

Agar ko'paytuvchi b ning qiymati shunday tanlangan bo'lsaki, unda

$$E'_{sh} + b E''_{sh} = 0, \quad (3.2.23)$$

ya'ni $b = -E'_1 / E''_{sh}$ bo'lsa, undan avvalgi tenglama

$$\bar{I}_m = y_{m1} (E'_1 + b E''_1) \quad (3.2.24)$$

shaklga keladi.

Keyingi tenglikdan y_{m1} ni aniqlaymiz, so'ngra m shoxobchani berilgan E_1 E.Yu.K.li yagona kuchlanish manbasi bo'lgandagi izlanayotgan tokini aniqlaymiz:

$$I_m = y_{m1} \cdot E_1. \quad (3.2.25).$$

Ushbu hisoblash usulini o'rganish yuzaki qaraganda, biroz mushkul bo'lib ko'rinsa ham u aslida juda ham oson va raqamli natijalarni tezkorlik bilan olish imkonini berishga etibor qaratishni zarur deb hisoblaymiz.

3.3. Elektr zanjirlarning kontur toklar va tugun potentsiallar usullaridagi tahlili

Kontur toklar usulida hisoblash. Agar elektr zanjirlarida tok va kuchlanishning taqsimlanishini hisoblashda Kirxgof qonunlarining faqat bittasidan foydalanilsa, ya'ni tenglamalar faqat tugunlar uchun KTQ yoki faqat konturlar uchun KKQ tuzilsa, u holda umumiy tenglamalar soni kamayishi mumkin.

Tenglamalar shunday tuzilishi lozimki, unda boshqa qonunlar bajarilishi ta'minlansin. Bunday tenglamalarni tuzishning ikki usuli Maksvell tomonidan taklif etilgan: ulardan biri *kontur toklar usuli* bo'lsa, ikkinchisi - *tugun potentsiallari usuli* deb nomlangan.

Elektr zanjirining ixtiyoriy shoxobchasidagi tokni, har biri o'zining berik konturida oquvchi, shu shoxobcha bo'yab o'zgaraydigan bir necha toklar yig'indisi deb qarash mumkin. Haqiqiy toklarning bunday tashkil etuvchilari *kontur toklari* deb ataladi. Faqat bir konturga taalluqli ixtiyoriy shoxobchani toki kontur toki bilan mos bo'ladi. Ikki yoki bir necha konturlarga taalluqli shoxobchalardagi toklar, mazkur kontur toklarining algebraik yig'indisiga teng. Kontur toklari tugunlardan o'tganda uzluksiz bo'ladi: demak, toklarni shunday ta'riflaganda, KTQ so'zsiz bajariladi.

Shoxobcha toklarini kontur toklariga ajratish zanjirning tahlilidan kelib chiqadi. Kontur toklarini shoxobcha-vatar toklariga o'xshatish mumkin, bunday vaziyatda mustaqil kontur toklari tenglamalarining soni:

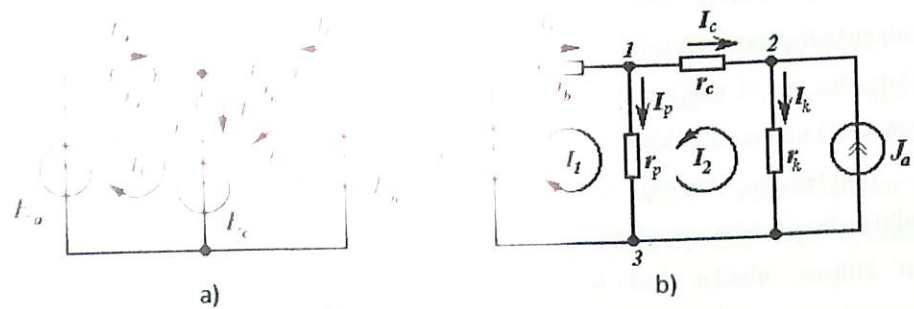
$$K = S + I - T \quad (3.3.1)$$

noma'lumlar soni bilan teng bo'ladi, barcha boshqa shoxobchalarning toklari kontur toklari orqali ifodalangan bo'ladi.

3.3.1a-rasmda ikki kontur toklari I_1 va I_2 bo'lgan oddiy elektr zanjiri keltirilgan. Zanjirning a va b shoxobchalaridagi toklar kontur toklariga teng:

$$I_a = I_1; I_b = I_2.$$

Zanjirning S shahobchasidagi tok ikki boshqa shoxobchalar toklarining algebraik yig'indisiga teng, u ikkala kontur uchun umumiy bo'lgan shu shoxobchadan oqib o'tayotgan kontur toklarning ham yig'indisiga teng:



3.3.1-rasm.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan zanjirning birinchi konturi uchun (3.3.1a-rasm):

$$r_a I_a + r_c I_c = E_a - E_c$$

yoki

$$(r_a + r_c) I_1 + r_c I_2 = E_a - E_c \quad (3.3.2)$$

yangi belgilashlar qabul qilinsa:

$$r_{11} \cdot I_1 + r_{12} I_2 = E_1,$$

bunda $r_{11} = r_a + r_c$ - birinchi kontur tarkibiga kirgan barcha shoxobchalar

qarshiliklarining yig'indisi: $r_{12} = r_c$ - birinchi va ikkinchi konturlar uchun umumiy bo'lgan shoxobcha qarshiligi: $E_1 = E_a - E_c$ - birinchi kontur tarkibiga kirgan barcha E_{YuK} lar algebraik yig'indisi: musbat ishora bilan yo'nalishi kontur toki yo'nalishiga mos bo'lgan E_{YuK} belgilangan.

Shunga o'xshash, ikkinchi konturda (3.3.1a-rasm):

$$r_{21} \cdot I_1 + r_{22} I_2 = E_2$$

bunda $r_{21} = r_c$; $r_{22} = r_b + r_c$; $E_2 = E_b - E_c$.

Ta'riflanishiga ko'ra, ikki kontur uchun umumiy bo'lgan shoxobchani qarshiligi $r_{12} = r_{21}$.

Yuqorida ko'rilganlarni ixtiyoriy konturlar soni uchun umumlashtirsak, tarkibida tok manbasi bo'lmagan zanjir uchun kontur toklari tenglamalari tizimi quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} \cdot I_1 + r_{12} \cdot I_2 + r_{13} \cdot I_3 + \dots &= E_1; \\ r_{21} \cdot I_1 + r_{22} \cdot I_2 + r_{23} \cdot I_3 + \dots &= E_2; \\ \dots & \end{aligned} \right\} \quad (3.3.3a)$$

Ushbu tenglamalar tizimini matritsa shaklida qisqartirib yozish ham mumkin:

$$r_{ln} I_n = E_l. \quad (3.3.3b)$$

Kontur toklar tenglamalar tizimidagi bir xil indeksli qarshiliklar r_{ln} , L -konturdagi barcha shoxobchalar qarshiliklari yig'indisiga teng: har qanday har xil indeksli ($l \neq n$) r_{ln} qarshilik ikkala qo'shni l va n konturlar uchun umumiy bo'lgan shoxobcha qarshiligiga teng: agar l va n konturlarning umumiy shoxobchasidagi toklar musbat ishoralar har xil yo'nalgan bo'lsa, u holda r_{ln} qarshiligi oldida minus ishorasi quyiladi.

Ta'rif bo'yicha

$$r_{ln} = r_{nl} \quad (3.3.4)$$

Tenglamalar tizimi (3.3.4) ning kontur toklariga nisbatan yechimini ham matritsa shaklida yozish qulayliklarga olib keladi:

$$I_n = G_{nl} E_l \quad (3.3.5)$$

O'tkazuvchanlik G_{nl} ning matritsasi barcha elementlari bu ifodada

Kramerning D determinanti va mazkur qarshilik matritsasi r_m ning algebraik qo'shimchasi A_m orqali keltirilgan:

$$G_m = A_m / D. \quad (3.3.6)$$

Keyingi tenglik berilgan $r_m = r_{ml}$ qarshilik tizimi matritsasining simmetrik bo'lganidagina haqiqiydir.

Qarshilik matritsasi ($r_m = r_{ml}$) simmetriyaligidan algebraik qo'shimchalarning ($A_m = A_{ln}$) simmetriyaligi kelib chiqadi. Demak, o'tkazuvchanlik elementlari matritsasi ham simmetrik bo'lishi zarur:

$$G_m = G_{ln}. \quad (3.3.7)$$

bunda G_m koeffitsiyentlar, umumiy holda kontur o'tkazuvchanliklari deb ataladi.

Ixtiyoriy ikki tugunga ulangan tok J_a manbasining zanjirda mavjudligi, kontur toklari usulini qo'llashga to'sqin bo'la olmaydi.

Shunday qilib, (3.3.3) tenglamalar tizimining chap tomonida $r_{la} J_a$ hadi

$$(3.3.8)$$

poladi, chunki no'malum kontur

tomoniga o'tkazib, (3.3.8)

tenglamalar tizimini quyidagi shakilda keltiramiz

$$r_{lm} I_m - I_l - r_{la} J_a = Z_l. \quad (3.3.9)$$

Z_l qiymatni e konturning keltirilgan EYuK deb nomlash mumkin.

Misol ta'rifasida 3.3.1b-rasmdagi zanjirni ko'ramiz; uning o'ng shoxobchasida tok manbasi mavjud. Zanjir sxemasida ko'rsatilgan ikki konturning tenglamalarini tuzish yetarlidir. Ularni tuzishda J_a toki qarshilikda hosil qilgan kuchlanishlar pasayuvini kiritish zarur:

$$\begin{aligned} r_{11}I_1 + r_{12}I_2 + r_{1a}J_a &= E_1 = E_b \\ r_{21}I_1 + r_{22}I_2 + r_{2a}J_a &= E_2 = 0 \end{aligned} \quad (3.3.10)$$

Agar J_a toki k shoxobcha orqali oqib o'tadi, deb faraz qilsak, u holda $r_{ea} = 0$, chunki J_a toki birinchi konturning birorta shoxobchasi orqali o'tmaydi, lekin

$r_{2a} = r_k$, chunki J_a ikkinchi konturning k shoxobchasi orqali o'tib, yo'nalishi ikkinchi kontur toki yo'nalishi bilan mos bo'ladi. Shunga e'tiborni qaratish muhimki, J_a toki uchun boshqa yo'l masalan, c va r shoxobchalari orqali oqib o'tishini ham tahmin qilish mumkin edi. Bu holatda (3.3.10) ifodada quyidagicha o'zgartirish kiritiladi:

$$r_{1a} = r_p \text{ va } r_{2a} = -r_c - r_p. \quad (3.3.11)$$

Demak, kontur toklar qiymatlari har xil bo'ladi, shoxobchalarning toklari esa (konturlarni ixtiyoriy tanlashga bog'liq bo'lmaydi) kontur toklari orqali har hil ifodalangan bo'ladi. Masalan, birinchi vaziyatda:

$$I_p = I_1 - I_2 \quad (3.3.12)$$

bo'lsa, ikkinchi holatda:

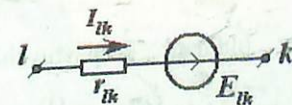
$$I_p = I_1 - I_2 + J_a \quad (3.3.13)$$

bo'ladi. Albatta, bu ikki tenglamalarda kontur toklari qiymatlari har xil, I_p esa bir xil bo'ladi.

Tugun potentsiallar usuli. Ushbu usulning nomidan kelib chiqilsa, toklar tenglamalarini tugunlar uchun tuzish kifoyadir.

Faraz qilaylik, l va k tugunlari (3.3.2-rasm) birorta shoxobcha bilan bog'langan bo'lsin: I_{lk} - tugun l dan k tugunga yo'nalgan shu shoxobcha toki; E_{lk} - tugun l dan k tugun tomon yo'nalgan shu shoxobcha EYuKi; r_{lk} - ushbu shoxobchani qarshiligi. Unda l va k tugunlar orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha yoziladi:

$$\varphi_l - \varphi_k = u_{lk} = -E_{lk} + r_{lk} I_{lk} \quad (3.3.14)$$



3.3.2-rasm

KKQ - berk konturning barcha shoxobchalari uchun shunga o'xshash tenglamalarni qo'llash va so'ngra ularning algebraik yig'indisi hosil qilish natijasidir. Shuning uchun shoxobchalardagi toklar aynan (3.3.10) tenglama

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

$$R_{11} = (R_1 + R_2) = 4 \text{ Om}, R_{12} = R_{21} = R_2 = 2 \text{ Om}, R_{22} = (R_2 + R_3 + R_4) = 4 \text{ Om},$$

$$R_{23} = R_{32} = R_4 = 1 \text{ Om}, R_{33} = (R_4 + R_5) = 2 \text{ Om}, R_{13} = R_{31} = 0.$$

Berilgan zanjir uchun yuqorida tuzilgan tenglamalar uchun aniqlovchilar va minorlarni aniqlaymiz:

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

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

$$\Delta_{21} = \begin{vmatrix} -R_{12} & R_{13} \\ R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -2 & 0 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 4,$$

$$\Delta_{31} = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} \\ -R_{21} & R_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & -2 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 12,$$

$$E_{11} = E_1 = 40 \text{ V}, E_{22} = 0, E_{33} = E_2 = 10 \text{ V}.$$

Yuqoridagilardan foydalanib kontur toklarni quyidagicha topish mumkin:

$$I_I = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{21}}{\Delta} \cdot E_2 = 13 \text{ A}, I_{II} = \frac{\Delta_{21}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \cdot E_2 = 6 \text{ A}, I_{III} = \frac{\Delta_{31}}{\Delta} \cdot E_1 + \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \cdot E_2 = 2 \text{ A}.$$

Topilgan kontur toklarga asosan har bir tarmoqdagi toklarni topish mumkin:

$$I_1 = I_I = 13 \text{ A}, I_2 = I_I - I_{II} = 7 \text{ A}, I_3 = I_{II} = 6 \text{ A}, I_4 = I_{II} + I_{III} = 8 \text{ A}, I_5 = I_{III} = 2 \text{ A}.$$

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

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

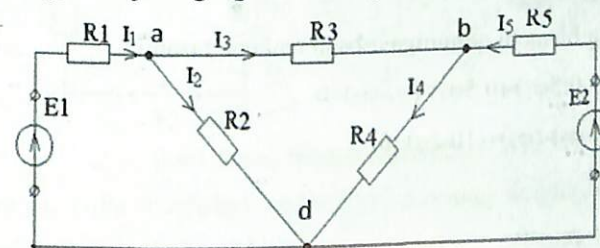
Tugun potentsiallar usulida tahlil qilish. Ma'lumki, agar zanjirdagi berilgan EYuK manbalari va qarshiliklari bo'yicha zanjirning tarmoqlaridagi toklari va barcha tugunlari orasidagi kuchlanishlar tushuvi topilishi mumkin bo'lsa, bunday zanjirni tahlil qilish mumkin deb hisoblanadi.

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

Masala. 3.3.4-rasmdagi elektr zanjir uchun tenglamalar soni ikkita bo'ladi, ya'ni a, b va d tugunlarning potentsiallarini tegishli $\varphi_a = \varphi_1$; $\varphi_b = \varphi_2$ va $\varphi_d = 0$ orqali belgilab, butun zanjirning toklari uchun quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

$$I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1); I_2 = g_2 \cdot \varphi_1; I_3 = g_3(\varphi_1 - \varphi_2); I_4 = g_4 \cdot \varphi_2; I_5 = g_5(E_2 - \varphi_2).$$

$g_1; g_2; \dots; g_5$ - zanjirning tegishli tarmoqlarining o'tkazuvchanligi.



3.3.4-rasm.

Bu toklarning qiymatlarini Kirxgofning birinchi qonuniga binoan quyidagicha yozish mumkin:

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

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

Bu tenglamalarni yechish uchun quyidagi belgilashlar kiritamiz:

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

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

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

Yuqoridagi formulalarni quyidagicha yozish mumkin:

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

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

Bu tenglamalar sistemasini ham minorlar va aniqlovchilar yordamida yechish mumkin.

Masala. 3.3.4- rasmda berilgan zanjir uchun har bir tarmoqdagi toklarni tugun potentsiallar usuli bilan hisoblang. Bunda: $R_1=R_2=2\text{ Om}$, $R_3=R_4=R_5=1\text{ Om}$, $E_1=40\text{V}$, $E_2=10\text{V}$ ga teng.

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

$$I_1 = g_1(E_1 - \varphi_1) = 20 - 0.5\varphi_1$$

$$I_2 = g_2 \cdot \varphi_1 = 0.5\varphi_1$$

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

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

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

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz:

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

Topilgan potentsiallarning qiymatiga asoslanib tarmoqdagi toklarni aniqlaymiz:

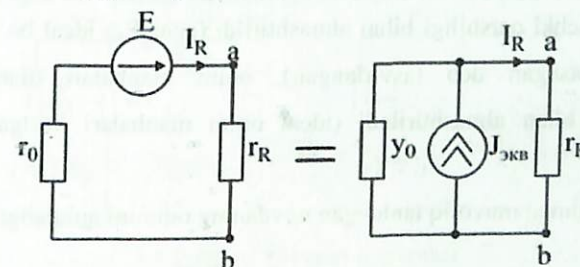
$$I_1 = 20 - 0.5\varphi_1 = 13\text{A}, I_2 = 0.5\varphi_1 = 7\text{A}, I_3 = \varphi_1 - \varphi_2 = 6\text{A}, I_4 = \varphi_2 = 8\text{A}, I_5 = 10 - \varphi_2 = 2\text{A}.$$

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

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

3.4. Tevenin (Ekvivalent kuchlanish manbai) va Norton teoremasi asosida tahlil

Chiziqli elektr zanjirining har qanday "a-b" tarmog'ini ekvivalent tok manbai bilan almashtirilsa, tarmoqning shu qismidagi tok o'zgarmaydi. Bu fikr *Norton (Ekvivalent tok manbai)* teoremasi deb ataladi. Ushbu manbaning tokni a-b qisqartirilgan terminallar orasidagi tokka teng bo'lishi kerak va tok manbaini ichki o'tkazuvchanligi a va b ochiq bo'lgan a va b nuqtalaridan passiv elektr zanjirining kirish o'tkazuvchanligiga teng bo'lishi kerak. 3.4.1-rasm bu teoremani tasvirlaydi.



3.4.1-rasm. Norton teoremasi.

Darhaqiqat, oqim manbalari va kuchlanishlarning tengligi holatidan kelib chiqqan holda: voltaj manbai emf U_{xx} ga teng, va ichki qarshilik r_0 oqim manbai bilan almashtirilishi mumkin:

$$J_{\text{yxt.}} = \frac{E}{r_0} = y_0 E = y_0 U_{xx} \quad (3.4.1)$$

J_{ekv} (3.4.1) formulasi bilan belgilangan qisqa tutashuv oqimi, ya'ni, qisqa tutashgan "a-b" terminallari o'rtasida joriy o'tish.

Hozirgi qidirilayotgan "k" tarmog'i quyidagiga teng:

$$I_k = J_{\text{yxt.}} \frac{r_0}{r_0 + r_k} = J_{\text{yxt.}} \frac{y_k}{y_0 + y_k} \quad (3.4.2)$$

bunda $y_k = \frac{1}{r_k}$.

Ekvivalent kuchlanish manbai va ekvivalent tok manbaidagi teoremlar asosida muammolarni yechish usullari mos ravishda mos keladigan generator usuli

va ekvivalent tok manbai usuli deb ataladi. Ushbu usullar muammoning shartiga ko'ra, faqat bitta elektr zanjirining oqimini hisoblash zarur bo'lgan hollarda qo'llaniladi.

Muammoni ekvivalent generator usuli bilan hisoblash tartibi:

1) Kontaktlarning zanglashiga olib keladigan tarmoqni sindirib, qolgan qismni hisoblash usuli bilan ochiq tarmoqning terminallarida U_{xx} ni aniqlang.

2) Tanlangan tarmoqning terminallariga nisbatan r_0 (ekvivalent manbaning ichki qarshiligi) ni ekvivalent almashtirish yo'li bilan aniqlang. Bunday holda, passiv kontaktlarning zanglashiga olib borishi shart. Bu yerda E_{mf} manbalari mavjud ularning ichki qarshiligi bilan almashtirildi (agar E_{mf} ideal bo'lsa, ulanish qismi qisqa tutashgan deb tasvirlangan), oqim manbalari ularning ichki o'tkazuvchanligi bilan almashtiriladi (ideal oqim manbalari bo'lgan novdalar buziladi).

uning oqimini aniqlang:

$$\frac{E_{\text{axl.}}}{r_k + r_0} \quad (3.4.3)$$

uorning parametrlarini to'xtatish

imkin. Tajribadan U_{xx} ni aniqlang

toki- Ik.z. Manba ichki qarshilik:

$$r_0 = \frac{I_{\text{xx}}}{I_{k.z.}} \quad (3.4.4)$$

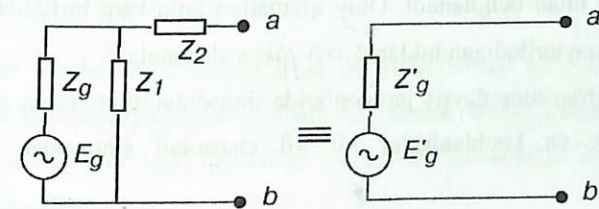
Tevenin (Ekvivalent kuchlanish manbai) teoremasi. Ekvivalent kuchlanish manbai teoremasi deb atalgan ushbu teorema barqaror holatdagi ikkita qutb (qisqichlar) bo'lgan har qanday faol kontakti ba'zi bir ichki qarshilikga ega bo'lgan kuchlanish manbai bilan almashtirish mumkinligini anglatadi. Ekvivalent kuchlanish manbai EYUK, yuklanmagan almashtiriladigan bipolyar qutblardagi kuchlanishga teng va manba ichidagi qarshiligi, bu ichidagi kuchlanish manbalarining EYUK nolga teng bo'lganda, bu bipolyarning qarshilikiga tengdir.

Masalan, sxemada ko'rsatilgan zanjirni ko'rib chiqaylik. Ushbu faol zanjir kuchlanish manbai, EYUK va ichki Z_g qarshiligi bilan almashtiriladi, ular

quyidagicha:

$$E'_g = \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_g} \right) E_g, \\ Z'_g = Z_2 + \frac{Z_1 Z_g}{Z_1 + Z_g} \quad (3.4.5)$$

EYUK - a va b ochiq qutblardagi kuchlanish, Z_1 kuchlanishiga teng. Z_g ichki qarshilik asl bipolyarning a va b nuqtalari orasidagi qarshilikga teng, ya'ni, Z_1 va Z_g parallel ulangan Z_2 seriyali ulanishning qarshiligi. Ikkala bipolyarning a va b qutblariga ulangan har qanday element uchun oqim va voltaj bir xil bo'ladi.



3.4.2-rasm. Tevenin teoremasi.

Nazorat savollari

1. Elektr sxemalarni Kirxgofning 1-qonunini asosida hisoblashni tushintirib bering.
2. Elektr sxemalarni Kirxgofning 2-qonunini asosida hisoblashni tushintirib bering.
3. Elektr zanjirlarni kontur toklar usulida hisoblash usulini tushintirib bering.
4. Elektr zanjirlarini hisoblash tamoyillari: ketma-ket va parallel ulash usullarini tushintirib bering.
5. Elektr zanjirlarni jamlash (superpozitsiya) usulida hisoblashni tushintirib bering.
6. Elektr zanjirlarni Tevenin va Norton teoremasi asosida tahlil qilishni tushintirib bering.

IV BOB. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash

4.1. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash. Sinusoidal elektr tebranishlar. Garmonik tok zanjirlarining umumiy tavsiflari

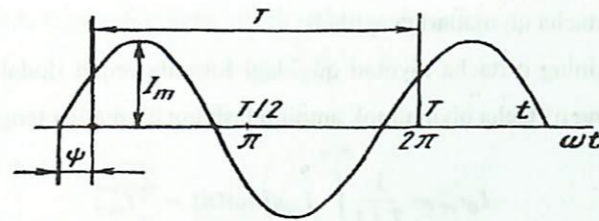
O'zgaruvchan tok. Vaqt bo'yicha o'zgaruvchan tok miqdoriga o'zgaruvchan tok deyiladi. Har qanday vaqt oralig'idagi tok miqdori *oniy tok* deb ataladi va *i* harfi bilan belgilanadi. Oniy qiymatlari aniq vaqt birligida va bir hil ketma - ketlikda qaytariladigan toklar *davriy toklar* deb ataladi.

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



4.1.1-rasm. O'zgaruvchan tok.

Sinusoidal tok. Qiymatlari sinusoidal qonun asosida o'zgaruvchan tok (4.1.1-rasm) *garmonik tok (kuchlanish)* deb ataladi



4.1.2-rasm. Sinusoidal tok ifodalanishi va grafigi.

Har qanday sinusoidal tok - *amplituda, burchak chastotasi va boshlang'ich faza* orqali xarakterlanadi.

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

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

Funksiyaning maksimal qiymatiga *amplituda* deb ataladi. Tok amplitudasi I_m bilan belgilanadi.

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

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

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

IV BOB. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash

4.1. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash. Sinusoidal elektr tebranishlar. Garmonik tok zanjirlarining umumiy tavsiflari

O'zgaruvchan tok. Vaqt bo'yicha o'zgaruvchan tok miqdoriga o'zgaruvchan tok deyiladi. Har qanday vaqt oralig'idagi tok miqdori *oniy tok* deb ataladi va *i* harfi bilan belgilanadi. Oniy qiymatlari aniq vaqt birligida va bir hil ketma - ketlikda qaytariladigan toklar *davriy toklar* deb ataladi.

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



4.1.1-rasm. O'zgaruvchan tok.

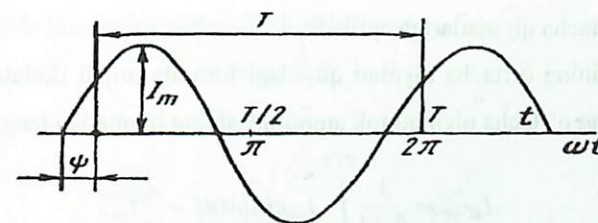
Sinusoidal tok. Qiymatlari sinusoidal qonun asosida o'zgaruvchan tok (kuchlanish) *garmonik tok (kuchlanish)* deb ataladi.

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

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

Sinusoidal tok quyidagicha ifodalanadi (4.1.2.-rasm).

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



4.1.2- rasm. Sinusoidal tok ifodalanishi va grafigi.

Har qanday sinusoidal tok - *amplituda, burchak chastotasi va boshlang'ich faza* orqali xarakterlanadi.

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

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

Funksiyaning maksimal qiymatiga *amplituda* deb ataladi. Tok amplitudasi I_m bilan belgilanadi.

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

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

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

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (4.1.1)$$

Burchak chastotasining o'lchov birligi: *rad/s* yoki *s⁻¹*.

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

Faza vaqt oralig'ida o'sib boradi. Faza 2π miqdorgacha o'zgarganda tokning o'zgarish sikli yana qaytariladi. Bir davr T mobaynida faza 2π miqdorga oshadi.

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rtacha qiymati deb ularning yarim

davr ichidagi o'rtacha qiymatlariga aytiladi.

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

$$I_{o'rt} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m ; \quad (4.1.2)$$

Xuddi shunday EYuK va kuchlanishlarning o'rtacha qiymatlari:

$$E_{o'rt} = 2 E_m / \pi ;$$

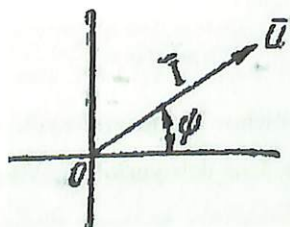
$$U_{o'rt} = 2 U_m / \pi ;$$

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

$$I = \frac{U}{R} = U_m / r \cos(\omega t + \psi_u) = I_m \cos(\omega t + \psi_i) \quad (4.1.3)$$



4.1.3-rasm. Qarshilik orqali garmonik tok o'tishi.



4.1.4 -rasm. Qarshilikda garmonik tok va kuchlanish fazalari.

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

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

$$\varphi = \psi_u + \psi_i = 0 \quad (4.1.4)$$

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

$$U_m = r I_m ; \quad I = R_i ; \quad (4.1.5).$$

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

$$I_m = g U_m ; \quad I = g U ;$$

Quvvatning bir davr ichidagi o'rtacha qiymati *aktiv quvvat* deb ataladi.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_r dt ; \quad (4.1.6)$$

$$P = UI = r I^2 ;$$

O'tkazgichning qarshiligi o'zgaruvchan tokda doimiy tokdagiga qaraganda ko'proq bo'ladi (tashqi ta'sirlar oqibatida).

O'zgaruvchan tokdagi o'tkazgichning qarshiligi *aktiv qarshilik* deb ataladi.

Induktivlik g'altak orqali garmonik tok o'tishi. Induktivlik orqali quyidagi garmonik tok o'tayotgan bo'lsin:

$$i = I_m \cos(\omega t + \psi) ; \quad (4.1.7)$$

Elektr yurituvchi kuch quyidagicha ifodalanadi:

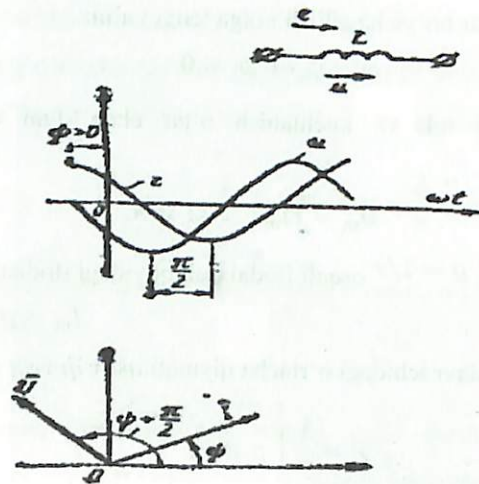
$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \sin(\omega t + \psi) = -U_m \cos\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right) ; \quad (4.1.8)$$

Induktivlikdagi kuchlanish quyidagicha ifodalanadi:

$$U_L = -e_L = U_m \cos\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right) ;$$

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

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_i = \frac{\pi}{2} ; \quad (4.1.9)$$



4.1.5 - rasm. Induktiv g'altakda kuchlanish φ burchak miqdorida tokdan ilgari lab

niqlanadi:

$$U = x_L I ; \quad (4.1.10)$$

deb ataladi. Unga teskari bo'lgan

$$\omega L ; \quad (4.1.11)$$

Induktivlikdagi quvvat miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$P_L = U_i = -UI \sin 2(\omega t + \psi) ;$$

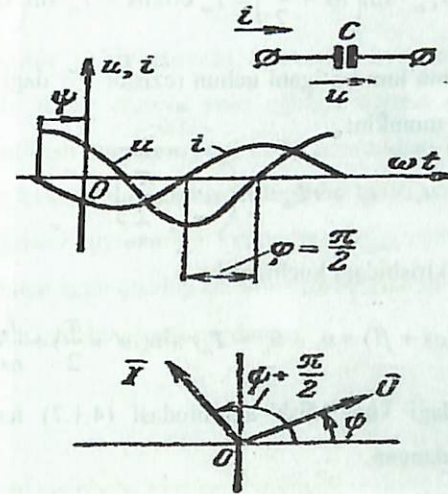
Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, induktivlik orqali garmonik tok o'tganda, energiyaning manba bilan induktivlik o'rtasida tebranishi hosil bo'ladi, natijada quvvat nolga teng bo'ladi.

Garmonik tokning sig'im orqali o'tishi. Agar sig'im orqali kuchlanish miqdori quyidagicha bo'lsa:

$$u = U_m \cos(\omega t + \varphi) ; \quad (4.1.12)$$

Garmonik tok o'zgarish qonuni quyidagicha aniqlanadi:

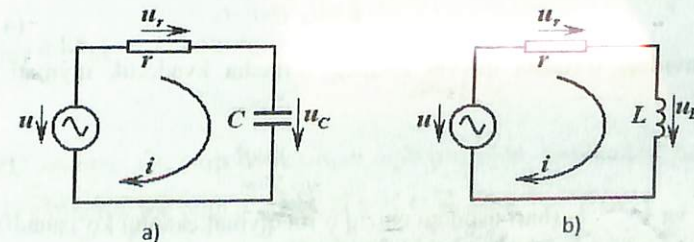
$$i = C \frac{du}{dt} = -\omega C U_m (\omega t + \varphi) = I_m \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (4.1.13)$$



4.1.6 -rasm. Garmonik tokning sig'im orqali o'tishi.

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

Tarkibida r va C bo'lgan zanjirdan o'tuvchi garmonik tok. C kondensatorga ketma - ket ulangan r - rezistorni ko'raylik. Bunday zanjirlar, aksariyat, elektron sxemalarda ko'p uchraydi (4.1.7a-rasm).



4.1.7-rasm.

Faraz qilaylik, kondensatoridagi o'zgaruvchan kuchlanish quyidagicha bo'lsin:

$$u_C = U_{Cm} \sin \omega t \quad (4.1.14)$$

Bunday vaziyatda ko'rilayotgan zanjirdan quyidagicha tok oqib o'tadi:

$$i = \frac{Cdu_c}{dt} = C\omega U_{Cm} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos \omega t = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.1.15).$$

Tokning qiymati ma'lum bo'lgani uchun rezistor r dagi kuchlanishni Ohm qonuni asosida aniqlash mumkin:

$$u_r = ri = rI_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.1.15).$$

C , r -li zanjirning kirishidagi kuchlanish:

$$u = U_m \sin(\omega t + \beta) = u_r + u_C = I_m r \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{\omega C} \sin \omega t. \quad (4.1.16).$$

Bu yerda kondesatordagi kuchlanish amplitudasi (4.1.7) tenglikdagi tokning amplitudasi orqali ifodalangan:

bu yordamida quyidagicha yozish

$$U_m^2 = U_r^2 + U_C^2; \quad (4.1.17)$$

$$\operatorname{tg} \beta = r \cdot \omega \cdot C \quad (4.1.18)$$

Qarshilik r dagi quvvat istehti o'zgaruvchan tok $i = I_m \sin \omega t$ qarshilik r orqali oqib o'tganda, unda Joule-Lents qonuniga binoan quvvat ajralib chiqadi:

$$P = U_r \cdot i = i^2 \cdot r \quad (4.1.19).$$

Bir davrdagi o'rtacha quvvat tokning o'rtacha kvadratik qiymati orqali ifodalanadi.

$$R = P^2 r, \quad (4.1.20)$$

bunda $P = \bar{p}$ va $I^2 = (\bar{i})^2$ (harf ustidagi chiziq o'rtacha qiymat ekanini ko'rsatadi).

Garmonik tok uchun:

$$p = I_m^2 \cdot (\sin^2 \omega t) \cdot r = \frac{1}{2} I_m^2 (1 - \cos 2\omega t) \cdot r \quad (4.1.21).$$

Biroq, garmonik funktsiya $\cos 2\omega t$ ning bir davr mobaynida o'rtacha qiymati nolga teng.

Shuning uchun P dagi o'rtacha quvvat quyidagicha bo'ladi:

$$P = \frac{1}{2} I_m^2 \cdot r. \quad (4.1.22).$$

Davriy miqdor ta'sir etuvchi (o'rtacha kvadratik) qiymati. O'rtacha kvadratik qiymatni ta'sir etuvchi yoki effektiv qiymat deyiladi. Bu nomlashni quyidagicha tushuntirish mumkin. Joule-Lents qonunidagi kabi, har qanday kattalik oniy qiymatlarining kvadratiga proporsitsional bo'lganda u har doim o'rtacha hisobda ta'sir etuvchi (effektiv) qiymatning kvadratiga proporsionaldir. O'rtacha kvadratik qiymat bosh harf bilan hech qanday qo'shimcha belgilersiz belgilanadi.

Tokning o'rtacha kvadratik qiymati:

$$I = \sqrt{\bar{i}^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}; \quad (4.1.23).$$

Kuchlanishning o'rtacha kvadratik qiymati:

$$U = \sqrt{\bar{u}^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (4.1.24)$$

va h.k.

(4.1.19) va (4.1.21) dan ko'rinadiki, garmonik funktsiyalar uchun o'rtacha kvadratik qiymatlar amplitudani $\sqrt{2}$ ga bo'linganiga teng, ya'ni:

$$I = I_m / \sqrt{2}, U = U_m / \sqrt{2}. \quad (4.1.25)$$

shunday qilib, (4.1.21) o'rniga quyidagi yozish mumkin:

$$P = I^2 \cdot r. \quad (4.1.26)$$

O'zgarmas tok r qarshilik orqali oqib o'tganda, amplitudasi $I_m = I\sqrt{2}$ ga teng bo'lgan garmonik tok oqib o'tgandagi kabi ta'sir bir xil bo'ladi.

L va r zanjirda garmonik tok. Ikki o'tkazgichli l uzunlikdagi, uzunlik birligining qarshiligi r_0 va induktivligi L_0 bo'lgan havo liniyasini ko'raylik. Liniya boshida generator ulangan, oxiri esa qisqa tutashgan bo'lsin. Bunday liniya qarshiligi $r = r_0 \cdot l$, induktivligi $L = L_0 \cdot l$ ga teng bo'lgan ketma-ket r va L zanjirning o'zgaruvchan tok generatoriga ulangan sxemasini (4.1.7b-rasm) anglatadi.

Agar liniyadan $i = I_m \sin \omega t$ toki oqib o'tayotgan bo'lsa, unda generatorning kuchlanishi quyidagicha:

$$u = u_r + u_L = ir + L di/dt \quad (4.1.27)$$

yoki

$$u = I_m \cdot r \cdot \sin \omega t + I_m \cdot L \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4.1.28)$$

bo'ladi.

Ikki garmonik funktsiyaning yig'indisi uchun (4.1.3) da keltirilgan trigonometrik o'zgartishlarni qo'llasak, generator kuchlanishi va amplitudasi quyidagicha bo'ladi:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad U_m = I_m \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} \quad (4.1.29).$$

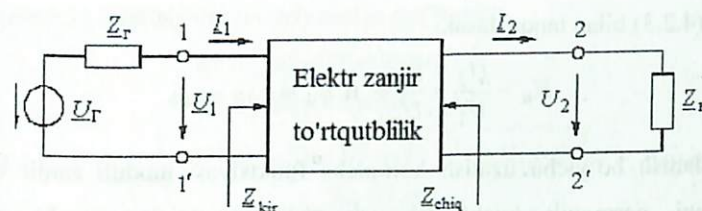
Kuchlanishning fazasi tokdan φ burchakka ilgari ketadi, bunda

4.1.2. Elektr zanjir to'rtqutblilik larni hisoblash.

4.1.2.1. Elektr zanjir to'rtqutblilik

Elektr zanjir to'rtqutblilik larni hisoblash uchun ikkita juft qisqichga ega bo'lgan har qanday murakkablikdagi elektr zanjir aloqa texnikasida *to'rtqutblilik* deb nomlanadi. Manba ulangan qutblar kirish, qabul qilgich (yuklamaga) ulangan qutblar chiqish deb nomlanadi.

Umuman olganda, to'rtqutblilik tarmoq shaklda 4.2.1-rasmda ko'rsatilgandek tasvirlangan. To'rtqutblilikning 1-1' kirishiga kuchlanishning kompleks ta'sir etuvchi qiymati \underline{U}_r ga va ichki qarshiligi \underline{Z}_r teng bo'lgan elektr energiyasi manbai ulangan. Qarshilikli \underline{Z}_H bo'lgan yuklama (nagruzka) 2-2' chiqish qutblariga ulangan. Kirish qutblariga kompleks tasir etuvchi \underline{U}_1 ega kuchlanish, chiqish qutblariga esa kompleks samarali qiymat \underline{U}_2 bo'lsin. Kirish qutblaridagi kompleks tok \underline{I}_1 va chiqishdagi tok \underline{I}_2 bo'lsin.



4.2.1-rasm. To'rtqutblilik.

4.2.1-rasmda kuchlanish va toklarning simvolik belgilaridan foydalaniladi. Bu shuni anglatadiki, elektr zanjirining tahlili ma'lum chastotadagi garmonik tebranish uchun amalga oshiriladi. Berilgan garmonik tebranish uchun to'rtqutblilikning uzatish funksiyasini kiritish mumkin. Bu chiqish elektr kattaliklari kompleks ta'sir etuvchi qiymatining kirish elektr miqdorining kompleks ta'sir etuvchi qiymatiga nisbati bo'ladi.

Masalan, kuchlanishlar va toklar nisbatlari:

$$\underline{H}_u = \underline{U}_2 / \underline{U}_r \quad (4.2.1)$$

$$\underline{H}_i = \underline{I}_2 / \underline{I}_1 \quad (4.2.2)$$

bunda H_u - kuchlanish bo'yicha uzatishning kompleks koeffitsienti, H_i - tok bo'yicha kompleks uzatish koeffitsiyenti deyiladi.

Ma'lumki, har qanday kompleks H kattalikni darajali funktsiya shaklda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\underline{H} = |\underline{H}| e^{j\varphi} = H e^{j\varphi} \quad (4.2.3)$$

bunda $H = |\underline{H}|$ - uzatish funksiyasining moduli, j -esa uning argumenti.

Kuchlanish buyicha uzatish funksiyasi:

$$\underline{H}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} \quad (4.2.4)$$

ni qaraylik.

(4.2.4) formulaga $\underline{U}_2 = U_2 e^{j\varphi_{u2}}$ va $\underline{U}_1 = U_1 e^{j\varphi_{u1}}$ ni qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$\underline{H}_u = \frac{U_2 e^{j\varphi_{u2}}}{U_1 e^{j\varphi_{u1}}} = \frac{U_2}{U_1} e^{j(\varphi_{u2} - \varphi_{u1})}$$

Buni (4.2.3) bilan taqqoslasak:

$$H_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{m2}}{U_{m1}} \text{ va } \varphi_u = \varphi_{u2} - \varphi_{u1} \quad (4.2.5)$$

ya'ni, kuchlanish bo'yicha uzatish kompleks funktsiyasi moduli zanjir chiqish kontaktlardagi garmonik kuchlanish tebranishining ta'sir etuvchi qiymati amplitudasi zanjir kirishidagi mos qiymatiga nisbatan necha marta o'zgarishini ko'rsatadi va ushbu funktsiya argumenti kirish va chiqishdagi garmonik kuchlanish tebranishlari orasidagi faza siljishini belgilaydi.

Xuddi shuningdek:

$$H_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_{m2}}{I_{m1}} \text{ va } \varphi_I = \varphi_{I2} - \varphi_{I1} \quad (4.2.6)$$

Yuqoridagi kuchlanish bo'yicha uzatish koeffitsiyenti uchun yozilgan formulalar (4.2.5) va (4.2.6) ko'rsatadi, zanjirning qanday tutishini

(4.2.4) formulani

quyida...

$$H_u(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (4.2.7)$$

Unda $H(\omega)$ - chastota funktsiyasi zanjirning *amplituda - chastotaviy xarakteristikasi* (AChX) deb ataladi. U turli xil chastotalarda ushbu zanjir garmonik tebranishlar amplitudasiga qanday o'zgartirishlar kiritishini ko'rsatadi.

$\varphi(\omega)$ - funktsiya esa *faza-chastotaviy xarakteristika* (FChX) deb yuritilib turli chastotalarda garmonik tebranishlarda qanday faza siliishlari bo'lib o'tishini

Kompleks funktsiyalar nazariyasidan ma'lumki:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} H(j\omega) &= H(\omega) \cos \varphi(\omega); \\ \operatorname{Im} H(j\omega) &= H(\omega) \sin \varphi(\omega); \\ H(\omega) &= \sqrt{[\operatorname{Re} H(j\omega)]^2 + [\operatorname{Im} H(j\omega)]^2}; \\ \varphi(\omega) &= \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} H(j\omega)}{\operatorname{Re} H(j\omega)}. \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

Endi ushbu funktsiyalarni aniqlashga doir misol ko'rib chiqamiz.

Misol. 4.2.2a - rasmda berilgan zanjirining kuchlanish bo'yicha uzatish funktsiyasi $H_u(j\omega)$, AChX va FChX larni aniqlansin.

Yechish. (4.2.5) formulaga asosan quyidagini yozamiz:

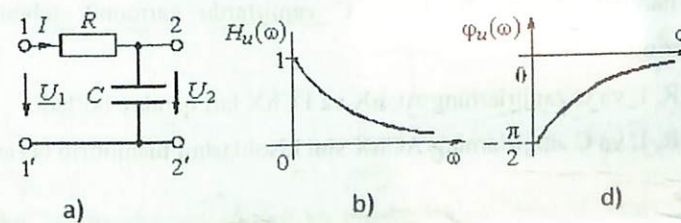
$$H_u(j\omega) = U_2(j\omega) / U_1(j\omega)$$

Zanjir chiqishidagi kompleks kuchlanish $U_2(j\omega)$ ni aniqlaylik:

$$U_2(j\omega) = I(j\omega) \frac{1}{j\omega C} = \frac{U_1(j\omega)}{R + 1/j\omega C} \cdot \frac{1}{j\omega C} = \frac{U_1(j\omega)}{1 + j\omega RC}$$

$U_2(j\omega)$ ni $H_u(j\omega)$ uchun formulaga ko'yib kompleks uzatish funktsiyasini aniqlaymiz:

$$H_u(j\omega) = 1 / (1 + j\omega RC)$$



4.2.2 rasmda zanjirning AChX (b) va FChX (d) larni...

Buni (4.2.3) bilan taqqoslasak:

$$H_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{m2}}{U_{m1}} \text{ va } \varphi_u = \varphi_{u2} - \varphi_{u1} \quad (4.2.5)$$

ya'ni, kuchlanish bo'yicha uzatish kompleks funktsiyasi moduli zanjir chiqish kontaktlardagi garmonik kuchlanish tebranishining ta'sir etuvchi qiymati amplitudasi zanjir kirishidagi mos qiymatiga nisbatan necha marta o'zgarishini ko'rsatadi va ushbu funktsiya argumenti kirish va chiqishdagi garmonik kuchlanish tebranishlari orasidagi faza siljishini belgilaydi.

Xuddi shuningdek:

$$H_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_{m2}}{I_{m1}} \text{ va } \varphi_I = \varphi_{I2} - \varphi_{I1} \quad (4.2.6)$$

Yana xopirida kuchlanish bo'yicha uzatish koeffitsiyenti uchun yozilgan formulani (4.2.4) bilan taqqoslasak, u quyidagicha bo'ladi. Zanjirning qanday tutishini (4.2.4) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$H_u(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} \quad (4.2.7)$$

Unda $H(\omega)$ - chastota funktsiyasi zanjirning *amplituda - chastotaviy xarakteristikasi* (AChX) deb ataladi. U turli xil chastotalarda ushbu zanjir garmonik tebranishlar amplitudasiga qanday o'zgartirishlar kiritishini ko'rsatadi.

$\varphi(\omega)$ - funktsiya esa *faza-chastotaviy xarakteristika* (FChX) deb yuritilib turli chastotalarda garmonik tebranishlarda qanday faza siljishlari hosil bo'lishini ko'rsatadi.

$H(j\omega)$ - kompleks uzatish funktsiyasini yana algebraik shaklda ham yozish mumkin:

$$H(j\omega) = \text{Re } H(j\omega) + j \text{Im } H(j\omega)$$

bunda Re va Im kattalikning mos ravishda haqiqiy va kompleks qismlarini ifodalaydi.

Kompleks funktsiyalar nazariyasidan ma'lumki:

$$\begin{aligned} \text{Re } H(j\omega) &= H(\omega) \cos \varphi(\omega); \\ \text{Im } H(j\omega) &= H(\omega) \sin \varphi(\omega); \\ H(\omega) &= \sqrt{[\text{Re } H(j\omega)]^2 + [\text{Im } H(j\omega)]^2}; \\ \varphi(\omega) &= \arctg \frac{\text{Im } H(j\omega)}{\text{Re } H(j\omega)}. \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

Endi ushbu funktsiyalarni aniqlayshga doir misol ko'rib chiqamiz.

Misol. 4.2.2a - rasmda berilgan zanjirining kuchlanish bo'yicha uzatish funktsiyasi $H_u(j\omega)$, AChX va FChX lari aniqlansin.

Yechish. (4.2.5) formulaga asosan quyidagini yozamiz:

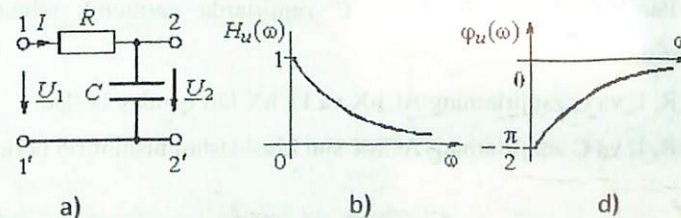
$$H_u(j\omega) = U_2(j\omega) / U_1(j\omega)$$

Zanjir chiqishidagi kompleks kuchlanish $U_2(j\omega)$ ni aniqlaylik:

$$U_2(j\omega) = I(j\omega) \frac{1}{j\omega C} = \frac{U_1(j\omega)}{R + 1/j\omega C} \cdot \frac{1}{j\omega C} = \frac{U_1(j\omega)}{1 + j\omega RC}$$

$U_2(j\omega)$ ni $H_u(j\omega)$ uchun formulaga ko'yib kompleks uzatish funktsiyasini aniqlaymiz:

$$H_u(j\omega) = 1 / (1 + j\omega RC)$$



4.2.2-rasm. a-zanjirning AChX (b) va FChX (d) lari.

Zanjirning AChX si quyidagiga teng bo'ladi:

$$H_u(\omega) = 1 / \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$$

FChX si esa:

$$\varphi_u(\omega) = - \arctg \omega RC$$

ko'rishiga ega bo'ladi.

Bu xarakteristikalarining grafiklari 4.2.2b va 4.2.2d - rasmdagi ko'rinishda bo'ladi. Amalda zanjirlarning AChX lari juda keng diapazonlarda o'zgargani uchun uni logarifmik masshtablarda baholash qabul qilingan.

Ko'pincha amalyotda logarifmik AChX (LAX) ishlatiladi:

$$K = 20 \lg H(\omega) \quad (4.2.9)$$

Bunda K kattalik qiymati detsibel (dB) larda beriladi.

Passiv zanjirlar uchun kuchaytirish koeffitsiyenti o'rniga zanjirning susaytirish kattaligi A ishlatilib, u ham ditsebellarda ifodalanadi:

$$A = 20 \lg \frac{1}{H(\omega)} \quad (4.2.10)$$

Nazorat savollari:

1. ... xususiyatlarini aytib ...
2. ... bo'ladi.
3. ... harmonik tebranishlarni ...

tushintirib bering.

4. Paralell ulangan R, L va C zanjirlarida harmonik tebranishlarni tushintirib bering.
5. R, L va C zanjirlarning AChX va FChX lari qanday bo'ladi.
6. R, L va C zanjirlarning AChX sini hisoblashni tushintirib bering.

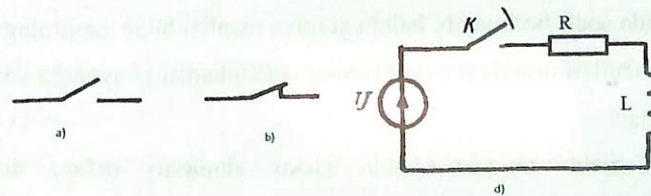
V BOB. Elektr zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar

5.1. RC va RL zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar. Vaqt doimiylari, o'tkinchi va statsionar ta'sirlar va dempferlash (so'nish). R, L va C dan tuzilgan sodda sxemalarni loyihalash

Elektr zanjirining bir turg'un holatidan boshqa bir turg'un holatiga o'tishini ifodalovchi jarayon *o'tish jarayoni* deb ataladi.

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

Yuqoridagi omillar orqali zanjir parametrlari o'zgarishi mumkin. Elektr zanjirining ish holatlarining o'zgarishiga olib keluvchi barcha sabablar oddiy ravishda *kommutatsiya* yoki *kommutatsion jarayon* orqali sodir bo'ladi. Misol uchun ushbu 5.1.1- rasmda kommutatsiya jarayoni ko'rsatilgan.



5.1.1-rasm.

Elektr zanjiri elementlarining va manbalarning ulanishi, zanjirdan uzilishi yoki qayta ulanishi – *kommutatsiya* deb ataladi (5.1.1-rasm).

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

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

$$\omega_L = \frac{Li_L^2}{2} \quad \omega_C = \frac{Cu_C^2}{2} \quad (5.1.1)$$

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

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

Shuning uchun ham elektr zanjirlarining o'tkinchi holati reaktiv elementlarning o'tirib o'tirilgan energiya va kuchlanishlarining kommutatsiya jarayonidagi o'zgarishini ko'rsatadi.

Tok va kuchlanishning o'zgarish va mavjud bo'lgan energiya va kuchlanishning o'zgarishini ko'rsatadi. O'tkinchi jarayon holatga o'tishi bir zumda sodir bo'lmaydi, ya'ni zanjirning turg'un holatga o'tishi ma'lum bir vaqtni talab qiladi. Energetik holatdan energetik holatga o'tish jarayoni tushuniladi. Shuning uchun ham elektr zanjirlarining o'tkinchi holati reaktiv elementlarning o'tirib o'tirilgan energiya va kuchlanishlarining kommutatsiya jarayonidagi o'zgarishini ko'rsatadi.

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

Bir jinsli differensial tenglamani yechishda xususiy yechimi va umumiy yechimini topish kerak bo'ladi. Misol uchun 5.1.2-rasmdagi elektr zanjirini ko'rib chiqamiz.

5.1.2-rasmda keltirilgan elektr zanjiri uchun quyidagi tenglama o'rinli bo'ladi:

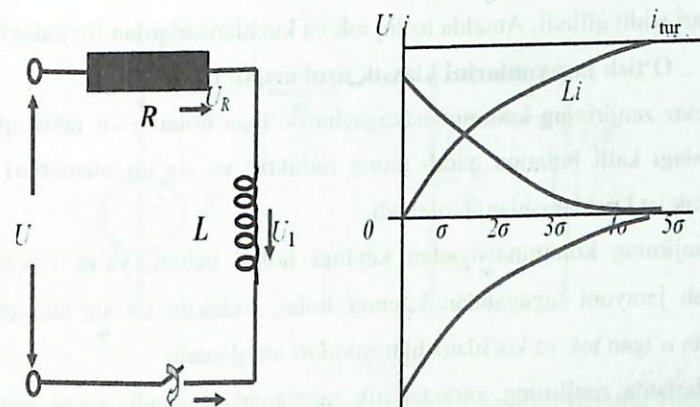
$$U_L + U_R = U$$

bunda I - o'tkinchi jarayon toki, ya'ni o'tkinchi tok.

O'tkinchi tokni ikkita toklar yig'indisi deb qarash mumkin: i_{majb} - majburiy tok, u o'tkinchi jarayon tugugandan so'ng namoyon bo'ladi va i_{erk} - erkin tok,

o'tkinchi jarayon davom etayotgan vaqtda sodir bo'ladi, u induktiv g'altakda to'plangan magnit maydon energiyasi evaziga hosil bo'ladi:

$$i = i_{majb} + i_{erk} \quad u = u_{majb} + u_{erk} \quad (5.1.2)$$



5.1.2-rasm. RL zanjir va undagi tok, kuchlanishning erkin va majburiy tashkil etuvchilari.

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

Erkin tok (kuchlanish) ko'rsatgichli funksiya orqali ifodalanadi, ular eksponensial qonun asosida so'nadi va vaqt oshgan sari ko'rsatgichli funksiya kamayib boradi.

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

$$I = I_{majb} + I_{erk} = \frac{U}{R} - \frac{I}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.3)$$

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

O'tkinchi jarayonda induktivlikdagi kuchlanish:

$$u_L = L \frac{di}{dt} = u e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.4)$$

O'tish jarayonlarida tok va kuchlanishlarning erkin tashkil etuvchilari tashqi ta'sir etuvchilarga bog'liq bo'lmasdan, faqat zanjirning passiv elementlari

parametrlari orqali aniqlanadi. Aniqlanadigan parametrlar kommutatsiyadan keyingi holat uchun aniqlanadi.

O'tish jarayonlarini tahlil qilishda to'liq, majburiy va erkin tok va kuchlanishlari tahlil qilindi. Amalda to'liq tok va kuchlanishlardan foydalaniladi.

O'tish jarayonlarini klassik usul orqali tahlil qilish.

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

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

Shu holatda zanjirning xarakteristik tenglamasi tuziladi, ya'ni zanjirdagi elementlarning qimmatlarini topish uchun kommutatsiyadan keyingi holatdagi tok va kuchlanishlar miqdori aniqlanadi.

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

4. Kommutatsiya qonunlariga asosan tok va kuchlanishlarning majburiy va erkin tashkil etuvchilari topiladi. Bu holatda A – doimiy integral kattaligi aniqlanadi. Shu bosqichda elektr zanjir elementlarining tok va kuchlanishlarining barcha qiymatlari aniqlanadi.

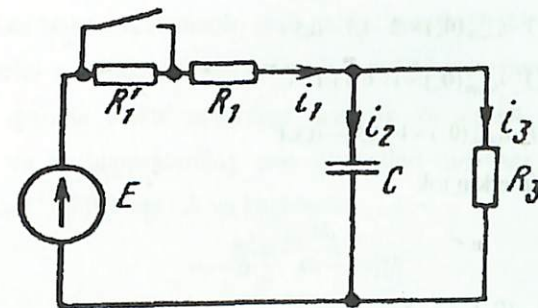
5. Tok va kuchlanishlarning barcha qiymatlari uchun vaqtga bog'liq bo'lgan grafiklari chiziladi.

O'tish jarayonini ifodalovchi grafik 4 bosqichdan iborat bo'ladi:

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

Klassik usul uchun misol. Kommutatsiyagacha elektr zanjiri turg'unlashgan holatda edi. Quyidagi qiymatlar berilgan bo'lsin:

$$R_1 = R'_1 = R_3 = 50 \text{ Om}, C = 100 \text{ mkF}, E = 150 \text{ V}.$$



5.1.3-rasm.

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

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

Misolning birinchi qismi. Kommutatsiyagacha:

$$i_1(0) = i_3(0) = \frac{E}{(R_1 + R'_1 + R_3)} = \frac{150}{150} = 1 \text{ A}$$

Kondensatordagi kuchlanish:

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

Kommutatsiyadan keyingi tok va kuchlanishlar qiymatini topamiz:

$$i_{1\text{majb}} = i_{3\text{majb}} = \frac{E}{R_1 + R_3} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ A} \quad u_{C\text{majb}}(0) = i_{3\text{majb}}(0) * R_3 = 1,5 * 50 = 75 \text{ V}.$$

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

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

$$i_1(0_+) = \frac{E - u_C(0_-)}{R_1} = \frac{150 - 50}{50} = 2 \text{ A}$$

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

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha:

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

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

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

$$u_{C_{erk}}(0_+) = u_C(0_+) - u_{C_{magb}}(0_+) = 50 - 75 = -25V$$

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

$$i_{2_{erk}}(0_+) = i_2(0_+) - i_{2_{magb}}(0_+) = 1 - 0 = 1A$$

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

Kondensatorda erkin tok

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

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

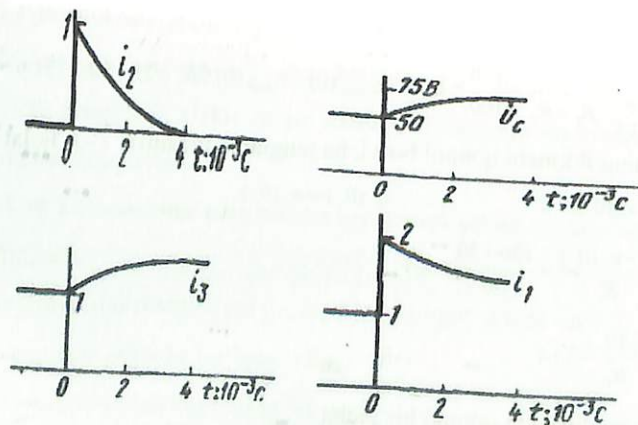
Kommutatsiyadan keyingi holat uchun tenglama quyidagi ko'rinishda

yig'indisi

hilarning

$$i_3 = 1,5 - 0,5e^{-1000t} A$$

$$u_C = 75 - 25e^{-1000t} V$$



5.1.4-rasm.

5.2. RC va RL zanjirlarda o'tkinchi jarayonlarni operator usulida hisoblash

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

$$u_L = L \frac{di}{dt}, \quad i = \frac{1}{L} \int u_L dt$$

$$i = C \frac{du_C}{dt}, \quad u_C = \frac{1}{C} \int i dt \quad (5.2.1)$$

O'tish jarayonlarida elektr zanjirning tok va kuchlanish qiymatlarini operator usulida hisoblashda ular ifodalarning tasvirlari orqali ifodalanadi. Tok va kuchlanishlarning integral orqali ifodalari algebraik ifodalarga aylanadi va ularning oniy qiymatlarini hisoblash mumkin bo'ladi.

O'tish jarayonlarining operator usuli laplas formulasiga asoslanadi, ya'ni, fransuz matematigi, fizigi Per Simon Laplas nomi bilan ataladigan formula orqali hisoblanadi (laplas integrali):

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt \quad (5.2.2)$$

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

Agar

$$f(t) = U, \quad F(p) = \frac{U}{p} \quad (5.2.3)$$

teng bo'lsa, u holda Laplas integrali quyidagicha aniqlanadi:

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

Agar $f(t) = e^{at}$ teng bo'lsa, u holda Laplas integrali quyidagicha aniqlanadi:

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

Demak, funksiya

$$e^{at} = \frac{1}{p-a} \quad (5.2.4)$$

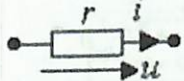
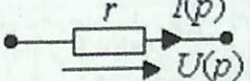
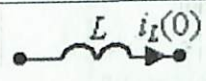
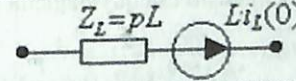
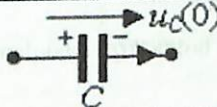
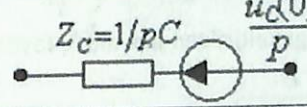
ifodaga almashtirildi.

Yuqoridagi Laplas formulasi orqali har qanday funktsiyani uning tasviri va originali orqali ifodalash imkonini beradi.

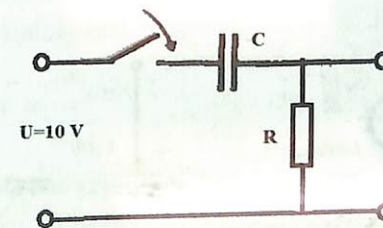
| Funksiya originali | Operator ko'rinishi |
|-------------------------|---|
| $\delta_1(t) = 1(t)$ | $\frac{1}{p}$ |
| $t \delta_1(t)$ | $\frac{A}{p}$ |
| $\sin(\omega t + \psi)$ | $\frac{p \sin \psi + \omega \cos \psi}{p^2 + \omega^2}$ |
| $e^{-at} \sin \omega t$ | $\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$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

Bu ifodalarda p – Laplas operatori deb yuritiladi. Operator usulida R, L, C zanjirlarida xosila (d/dt) p – Laplas operatori bilan, integral esa $1/p$ ifoda bilan almashtiriladi.

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

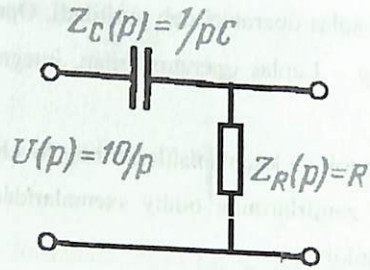
| Asosiy elektr zanjiri | Zanjirning operator shakli |
|---|---|
| $i(t), u(t), e(t), J(t)$ | $I(p), U(p), E(p), J(p)$ |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Operator usuliga misollar. Keltirilgan elektr zanjiri uchun operator usulida chiqish kuchlanishini hisoblash talab qilinsa, u holda



5.2.1-rasm.

Keltirilgan elektr zanjirini kommutatsiyadan keyingi holat uchun boshqatdan chizib olamiz:



5.2.2-rasm.

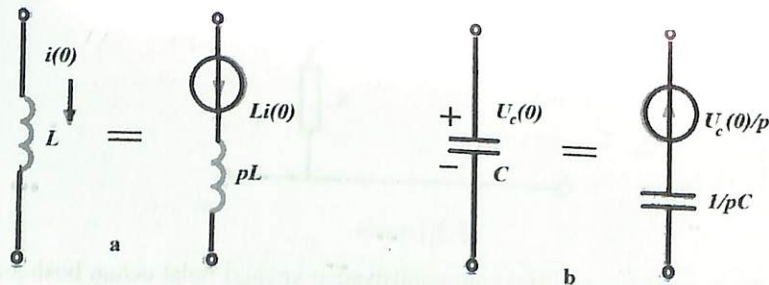
Ushbu sxema uchun operator tokini aniqlaymiz:

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

Chiqish kuchlanishi esa quyidagicha ifodalanadi:

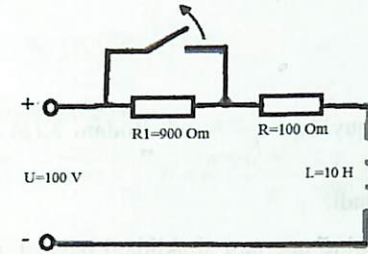
ifodalanadi:

Elektr zanjirlarini operator sxemalar orqali ifodalanadi.



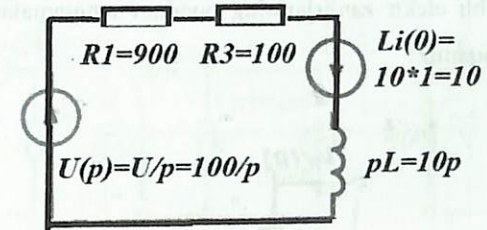
5.2.3-rasm.

Quyidagi elektr zanjir uchun operator sxemasini chiziladi va operator toki yoziladi.



5.2.4-rasm.

Yuqoridagi elektr zanjiri uchun kommutatsiyadan keyingi operator sxemasini chizamiz:



5.2.5-rasm.

Kommutatsiyadan keyingi tok quyidagi qiymatga teng bo'ladi:

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

Operator tokini hisoblaymiz:

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

Ba'zi qisqartirishlardan keyin quyidagini olamiz:

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

Yoyilish teoremasi. Operator usulida funksiya $f(t)$ originalini va

$F(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}$ tasvirini jadval orqali emas, balki matematik ifoda orqali ham

aniqlash mumkin. Bunday matematik ifodaga "yoyilish teoremasi" deb ataladi va u quyidagicha yoziladi:

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

Bu ifodada yig'indi, quyidagi $\frac{F_1(p=p_k)}{F_2(p=p_k)} e^{p_k t}$ ifodani $F_2(p) = 0$ nechta ildizga ega bo'lsa, shuncha marta qo'shadi.

Tok va kuchlanishlarning operator shaklidagi balansi, operator qarshiligi va operator o'tkazuvchanliklar ifodalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\sum_j U_j(p) = \sum_j E_j(p), \quad Z(p) = \frac{U(p)}{I(p)}, \quad Y(p) = \frac{1}{Z(p)} = \frac{I(p)}{U(p)}$$

Passiv ikki qutbli elektr zanjirlarining operator tenglamalari va ekvivalent sxemalarini ko'rib chiqamiz:

1. Qarshilik

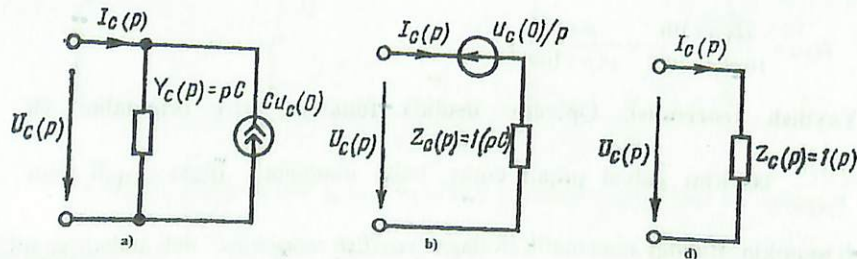


$$U_R(p) = R I_L(p) + L i_L(0)/p$$

$$u_R = R i_R \quad i_R = G u_R$$

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

2. Sig'im.



5.2.7-rasm.

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

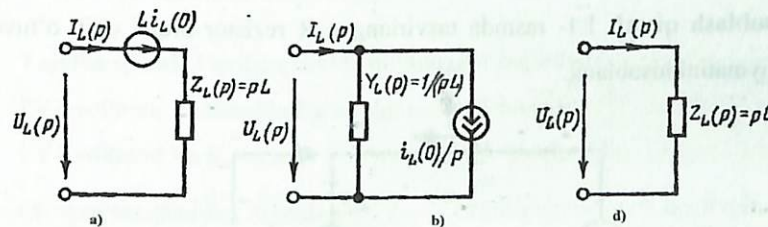
Operator tok va kuchlanishlar:

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

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

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

3. Induktivlik.



5.2.8-rasm.

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

Operator tok va kuchlanish ifodalari:

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

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

Nazorat savollari:

1. RC zanjirlarda 1- tartibli o'tkinchi jarayonlarni tushintirib bering.
2. RL zanjirlarda 1-tartibli o'tkinchi jarayonlarni tushintirib bering.
3. O'tish jarayonini klassik usulda hisoblashni tushintirib bering.
4. Kommutatsiya qonunlarini aytib bering.

VI BOB. LABORATORIYA ISHLARI

1 - Laboratoriya ishi.

Universal laboratoriya stendi yordamida Om qonunini tasdiqlash

Birinchi qism. Om qonuniga muvofiq elektr zanjiridagi tok zanjirining qismlaridagi kuchlanishning ushbu qismlardagi elektr qarshiliklarning nisbatiga teng:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.1).$$

Hisoblash qismi. 1.1- rasmda tasvirlangan R rezistor orqali o'qib o'tuvchi tokning qiymatini hisoblang



1.1-rasm. Elektr zanjiri qismida tok va kuchlanish

Hisoblashni rezistor qarshiligining uch qiymatida $R=70 \text{ Om}$, $R=100 \text{ Om}$ va $R=200 \text{ Om}$ va kuchlanishni manba kuchlanishining turli qiymatlarida $E_2=2\text{V}$, $E_2=4\text{V}$, $E_2=6\text{V}$, $E_2=8\text{V}$ va $E_2=10\text{V}$ larda amalga oshiring.

Hisoblash natijalarini 1.1, 1.2 va 1.3 - jadvallarga kiriting.

1.1-jadval.

$R=70 \text{ Om}$ bo'lganda rezistor orqali o'tuvchi tokning hisoblangan qiymati.

| | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| I, mA | | | | | |

1.2-jadval.

$R=100 \text{ Om}$ bo'lganda rezistor orqali o'tuvchi tokning hisoblangan qiymati.

| | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| I, mA | | | | | |

1.3-jadval.

$R=200 \text{ Om}$ bo'lganda rezistor orqali o'tuvchi tokning hisoblangan qiymati.

| | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| I, mA | | | | | |

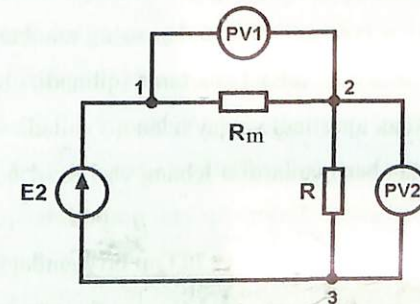
Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagilar bajariladi:

PV2 voltmetr yordamida U_R kuchlanish o'lchanadi;

PV1 voltmetr va R_m rezistor yordamida I tok aniqlanadi;

Olingan natijalardan foydalanadi: $I = \frac{U}{R}$ ekanligiga ishonch hosil qiling.

O'lchashlarning prinsipl sxemasi 1.2- rasmda keltirilgan.



1.2 - rasm. O'lchashning prinsipl sxemasi.

Eslatma. PV1 va PV2 voltmترلarning ichki qarshiligi R va R_m rezistorlarning ichki qarshiliklaridan 1000 marta katta. Shuning uchun voltmترلardan oqib o'tayotgan toklarni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Juda yuqori darajadagi aniqlik bilan aytish mumkinki R va R_m rezistorlardan bir xil tok I oqib o'tadi. Uning qiymati quyidagi munosabat bilan hisoblab topiladi:

$$I = \frac{U_{PV2}}{R_m} \quad (1.2),$$

bu yerda U_{PV2} - PV2 voltmetrning ko'rsatishi; R_m - shuntlovchi rezistor qarshiligi.

PV1 voltmetrning o'lchash chegarasini 200 mV ga qo'ying, PV2 voltmetr esa 20 da bo'lsin. Voltmetrlarning ish rejimlarini o'zgartirish tumblerlarini o'zgarimas kuchlanishni o'lchash holatiga o'tkazing ($U=$). E_2 manbaning chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. Yig'ilgan sxemani o'qituvchi tekshirganidan so'ng qurilmani tarmoqqa ulang.

E_2 manba kuchlanishini o'zgartirib, U_R kuchlanishini 1.4-jadvalning yuqori satridagi ko'rsatilgan qiymatlarini oling. PV1 voltmetr ko'rsatishini yozib oling. Zanjirda I o'lchash uchun R qo'yiladi. Hisoblash uchun R

Eslatma
oralig'ida R

O'ta yuklanishi

tokda ishga tushadi. Himoya sxemasi

qaytarish uchun o'ta yuklanish sababi bartaraf qilmadi. Kuchlanishni o'lchash uchun «BKJI.» tumbler bilan tokdan ajratiladi va qaytadan qo'shiladi.

O'qituvchi tomonidan berilganlarni o'lchang va 1.4 – 1.6 jadvalni to'ldiring.

1.4-jadval.

Sxemadagi rezistor qarshiligi $R=70$ Om bo'lgandagi o'lchash natijalari.

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_{PV1}, V | | | | | | | | | |
| I, mA | | | | | | | | | |

1.5-jadval.

Sxemadagi rezistor qarshiligi $R=100$ Om bo'lgandagi o'lchash natijalari.

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_{PV1}, V | | | | | | | | | |
| I, mA | | | | | | | | | |

1.6-jadval.

Sxemadagi rezistor qarshiligi $R=200$ Om bo'lgandagi o'lchash natijalari.

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| U_R, V | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_{PV1}, V | | | | | | | | | |
| I, mA | | | | | | | | | |

1.4, 1.5, 1.6 – jadvaldagilardan foydalanib $I = f(U_R)$ bog'liqligi grafiklarini chizing.

Ikkinchi qism. Om qonuni quyidagi shaklda ham yozilishi mumkin:

$$U = I \cdot R.$$

Elektr zanjirining bir qismiga tushuvchi kuchlanish, shu qismdan oqib o'tadigan tok bilan zanjirning ushbu qism qarshiligiga ko'paytmasiga teng.

Hisoblash qismi. 1.1-rasmda tasvirlangan sxemadagi R rezistorda kuchlanish tushuvi qiymatlarini tokning berilgan qiymatlari uchun hisoblang.

Hisoblashlarni qarshilikning ikki qiymati $R=300$ Om va $R=500$ Om bo'lgan holatlar uchun amalga oshiring.

Hisoblash uchun berilganlar:

$R=300$ Om uchun tok $I=12.2$ mA, $I=15.8$ mA ga teng;

$R=500$ Om uchun tok $I=10.2$ mA, $I=15.3$ mA ga teng.

Hisoblash natijalarini 6.1.7 va 6.1.8 - jadvallarga kiriting.

1.7-jadval.

Berilgan tok qiymatlarida $R=300$ Om bo'lganda rezistor qarshiligidagi kuchlanishning hisoblash qiymati.

| | | |
|-------|------|------|
| I, mA | 12.2 | 15.8 |
| U, V | | |

1.8-jadval.

Berilgan tok qiymatlarida $R=300$ Om bo'lganda rezistor qarshiligidagi kuchlanishning hisoblash qiymati.

| | | |
|-------|------|------|
| I, mA | 10.2 | 15.3 |
| U, V | | |

Laboratoriya qismini to'g'riligini tajribada...

1. 1.1

2. I tokini

3. R rezistoridagi kuchlanishni

4. O'lchash va hisoblash natijalarini taqqoslang

PV1 voltmetrning o'lchash chegarasini 200 mV ga o'rnatib, PV2 voltmetrni esa 20 V ga teng bo'lsin. Voltmetrlarning ishlash rejimini o'zgartirish tumblerini o'zgarimas kuchlanishni o'lchash holatiga ($U=$) o'rnatib. E_2 manbaning chiqish kuchlanishi rostagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. O'qituvchi tekshirganidan so'ng yig'ilgan sxemani tarmoqqa ulang. PV1 voltmetrning ko'rsatishini 1.7 va 1.8-jadvaldagi ko'rsatilgan mos qiymatlari bo'yicha hisoblang. Hisoblash uchun $R_m = 10$ Om deb oling.

Hisoblashlarning natijalarini 1.9 va 1.10-jadvalga kiriting.

1.9-jadval.

$R=300$ Om qarshilik ega rezistorli o'lchash sxemasini berilgan tok qiymatlaridagi natijalari.

| | | |
|---------------|------|------|
| I, mA | 12.2 | 15.8 |
| U_{PV1} , V | | |
| U_R , V | | |

1.10-jadval.

$R=500$ Om qarshilik ega rezistorli o'lchash sxemasida berilgan tok qiymatlaridagi natijalari.

| | | |
|---------------|------|------|
| I, mA | 10.2 | 15.3 |
| U_{PV1} , V | | |
| U_R , V | | |

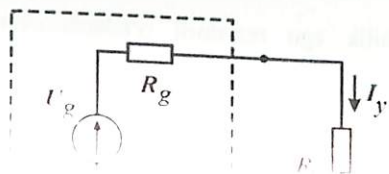
Nazorat savollari:

1. Om qonuni qanday shaklda yozilishi mumkin.
2. Om qonuni asosida elektr sxemalar tahlilini tushintirib bering.
3. Om qonuni va quvvatning o'zaro bog'likligini tushintirib bering.
4. Elektr zaryadi necha xil bo'ladi.
5. Elektr zaryadi qachon hosil bo'ladi.
6. Kulon qonuni nimani ifodalaydi.
7. Zaryadlarning o'zaro ta'siri masofaga qanday bog'liq.
8. Kulon kuchi vektor ko'rinishda qanday ifodalanadi.
9. Kulon kuchi zaryadlar miqdoriga qanday bog'langan.
10. Elektr maydon kuchlanganligi qanday ifodalanadi.
11. Zaryad qanday birlikda o'lchanadi.

2-Laboratoriya ishi.

Real kuchlanish generatorining yuklama xarakteristikalarini tadqiq etish

Signallarni uzatish va elektr energiyasini manbadan iste'molchiga uzatish bilan bog'liq ko'pgina masalalarni yechishni soddalashtirish uchun elektr energiyasi generatori R_g ichki qarshilikli va ma'lum berish kuchlanishli U_g faol ikki qutbli deb qaraladi, iste'molchi ($yuklama$) esa R_y ichki qarshilikli passiv ikki qutblilik deb olinadi.



2.1-jadval

Tevenin... kuchlanishi faol ikki qutblilikning ajratilgan potentsiali... aniqlanadi. $U_g = U_{sy}$. Manbaning ichki qarshiligi quyidagi munosabatda aniqlanadi:

$$R_g = \frac{U_{sy}}{I_{qt}} \quad (2.1).$$

bu yerda I_{qt} – elektr energiya manbaining qisqa tutashuv toki.

Yuklamadan oqib o'tuvchi tok:

$$I = \frac{U_g}{R_g + R_y} = \frac{U_{sy}}{R_g + R_y} \quad (2.2).$$

Hisoblash qismi. R_y yuklama qarshiligining rezistiv kattaligini kuchlanish, tok va quvvat bo'yicha elektr energiya generatorining yuklama tavsiflarini hisoblang: $U_y = f(R_y)$, $I_y = f(R_y)$, $P_y = f(R_y)$.

Faol ikki qutblilikdan passiv ikki qutblilikga elektr energiyasining uzatish tizimini foydali ish koeffitsiyentini hisoblang:

$$\eta = \frac{P_y}{P_g} = \frac{I^2 \cdot R_y}{U_g \cdot I} = \frac{R_y}{R_y + R_g} \quad (2.3).$$

Hisoblashni quyidagi dastlabki kattaliklar qiymati uchun amalga oshiring: $U_{sy} = 10$ V, $R_g = 100$ Om, $R_{y1} = 10$ Om, $R_{y2} = 20$ Om, $R_{y3} = 30$ Om, $R_{y4} = 50$ Om, $R_{y5} = 100$ Om, $R_{y6} = 200$ Om, $R_{y7} = 300$ Om, $R_{y8} = 500$ Om. Hisoblash natijalarini 2.1-jadvalga kiriting.

2.1-jadval. Elektr energiya generatorining yuklama tavsiflari.

| R_y | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 |
|-----------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $\lg R_y$ | | | | | | | | |
| U_y, V | | | | | | | | |
| I_y, mA | | | | | | | | |
| P_y, mW | | | | | | | | |
| η | | | | | | | | |

$U_y = f(R_y)$, $I_y = f(R_y)$, $P_y = f(R_y)$ va $\eta = f(R_y)$ bog'likliklarini tuzing. Hisoblangan bog'liqliklarni grafik tarzda shakllantiring bunda absissa o'qida R_y yuklama qarshiligining logarifmik masshtabdagi kattaligini joylashtiring ($\lg R_y$).

Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagilar bajariladi:

1. Qisqa tutashuv tokini I_{qt} berilgan U_{sy} kuchlanishida o'lchang;
2. R_g generator qarshiligini hisoblang;
3. Generatorning yuklama tavsiflarini olish. Buning uchun R_y yuklama qarshiligini har xil qiymatlarida U_y va I_y ni o'lchash zarur. O'lchash natijalarini 2.2-jadvalga kiriting.

Laboratoriya ishida ichki rezistiv qarshilikli generator ketma-ket ulangan E_2 o'zgarmas kuchlanish manbai, 100 Om lik resistor va $R_m = 1$ Om ga teng bo'lgan shunt qarshiligini tasavvur qilish kerak. Ushbu vaziyatda $R_y = 101$ Om deb hisoblanadi.

Oldingi ishdagi kabi I_y toki PV1 voltmetr yordamida $R_m = 1$ Om. Shuntlovchi rezistordagi kuchlanish tushuvini o'lchash yo'li bilan amalga oshiriladi:

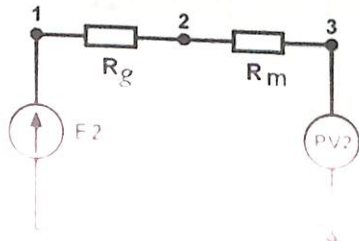
$$I_y = \frac{U_{PV2}}{R_m}$$

bu yerda U_{PV2} - PV2 voltmetrning ko'rsatishi, R_m - shuntlovchi rezistor qarshiligi.

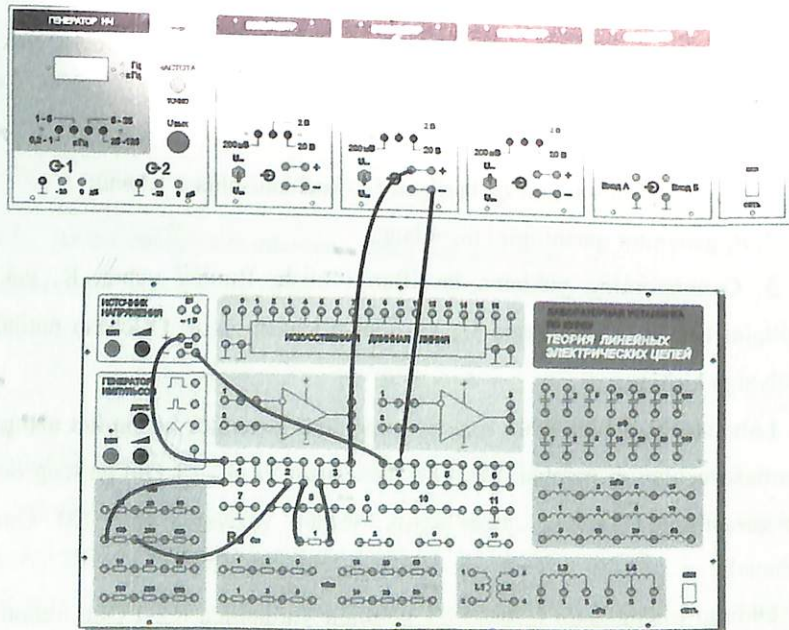
O'lchashni o'tkazish tartibi.

1. Salt yurish kuchlanishini o'rnatish va o'lchash U_{sy} . Buning uchun 2.2 va 2.3 -rasmga muvofiq ulanishlarni amalga oshiring.

PV2 voltmetrning ko'rsatishi bo'yicha E_2 manbani roslash yordami bilan $U_{sy} = 10$ V bo'lishiga erishing.

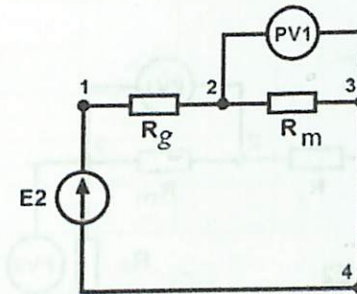


2.2- rasm

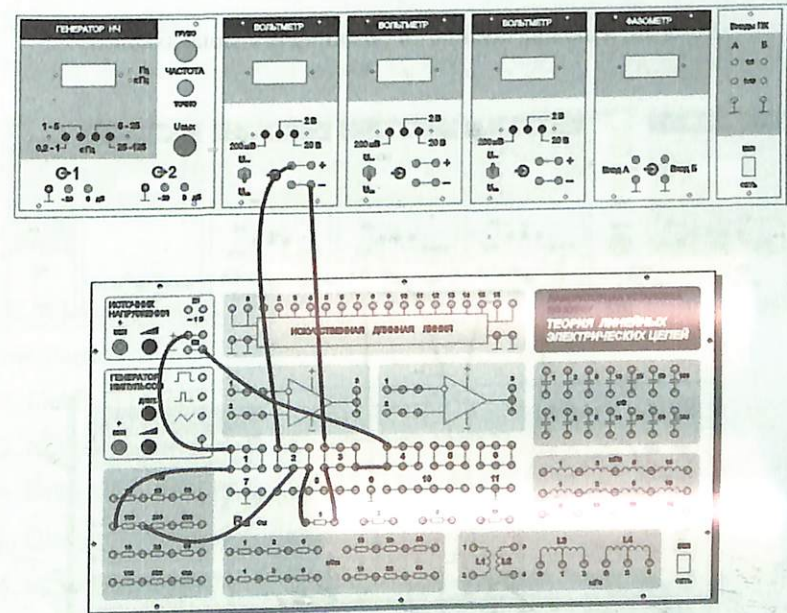


2.3- rasm. Salt yurish kuchlanishini o'lchashning ulanish sxemasi.

2. Qisqa tutashuv toki I_{qt} ni o'lchang. Buning uchun 2.4 va 2.5 rasmlarga muvofiq ulanishni amalga oshiring.



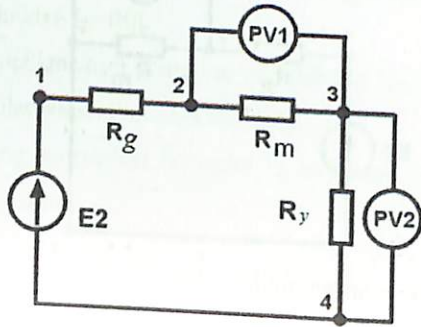
2.4 - rasm. Qisqa tutashuv tokini o'lchashning prinsipial sxemasi.



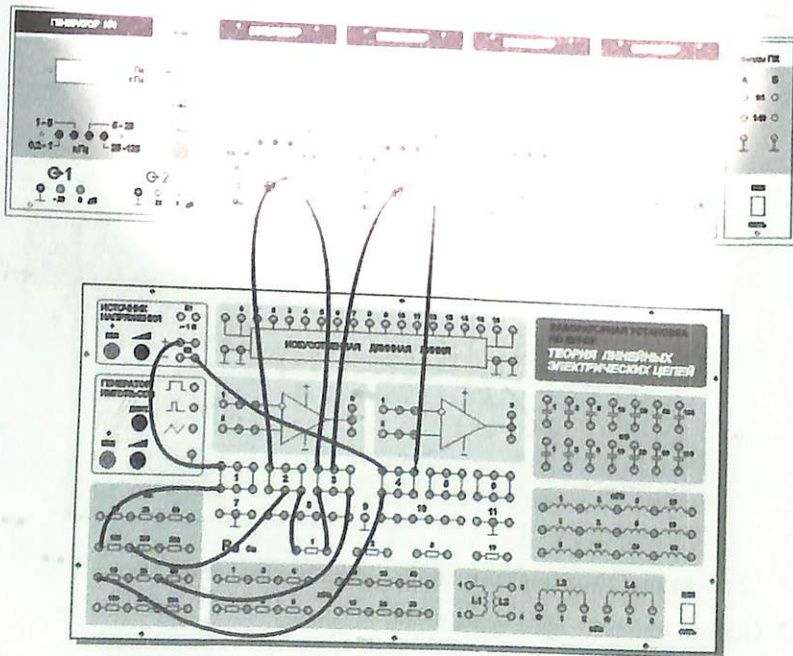
2.5 - rasm. Qisqa tutashuv tokini o'lchashning ulanish sxemasi.

3. Generatorning R_g ichki qarshiligini hisoblang.
4. R_y ning har xil qiymatlarida U_y va I_y ni o'lchang. Olingan ma'lumotlarni 2.2 -jadvalga kiriting. O'lchash natijalari bo'yicha P_y va η larni hisoblang. O'lchashni 2.6 va 2.7-rasmlarga muvofiq olib boring.

Eslatma. 2.7-rasmda $R_y=30$ Om bo'lgandagi ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Qolgan o'lchovlar R_y qiymatini hisobga olgan holda xuddi shunday amalga oshiriladi.



2.6-rasm. Yuklama tavsiflarini olishning prinsipial sxemasi.



2.7-rasm. Yuklama tavsiflarini olishning ulanish sxemasi ($R_y=30$ Om).

2.2-jadval. Elektr energiyasi generatorining yuklama tavsiflari.

| R_y , Om | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 |
|------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $\lg R_y$ | | | | | | | | |
| U_y , V | | | | | | | | |
| I_y , mA | | | | | | | | |
| P_y , mW | | | | | | | | |
| η | | | | | | | | |

$U_y=f(R_y)$, $I_y=f(R_y)$, $P_y=f(R_y)$ va $\eta=f(R_y)$ bog'liqliklarini toping. Hisoblangan bog'liqliklarni grafik tarzda shakllantiring bunda absissa o'qida R_y yuklama qarshiligining logarifmik masshtabdagi kattaligini joylashtiring ($\lg R_y$).

Olingan tajriba natijalariga asosan $U_y=f(R_y)$, $I_y=f(R_y)$, $P_y=f(R_y)$ va $\eta=f(R_y)$ bog'liqlik grafigini quring. Olingan tajriba natijalarini ilgari o'tkazilgan hisoblash natijalari bilan solishtiring. Zaruriy xulosalar chiqaring.

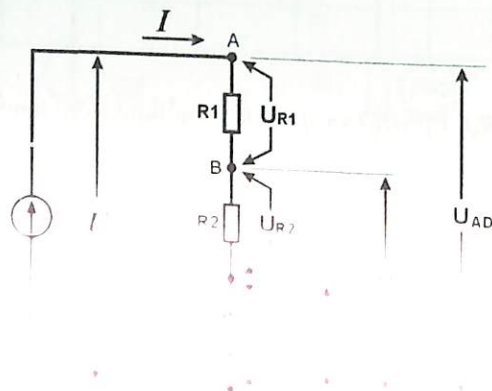
Nazorat savollari:

1. Elektr energiya manbalari va iste'molchilar sxemalarda qanday belgilanadi.
2. Elektr zanjirlarini necha xil rejimlari bor.
3. Nominal rejimni tushuntiring.
4. Salt ishlash rejimi.
5. Qisqa tutasyuv rejimi.
6. R_g va R_y yuklanishning qanday nisbatida maksimal quvvatiga erishiladi.
7. Elektr energiyasini uzatish tizimining samaradorligi qanday.
8. Salt yurish rejimida uzatish tizimining samaradorligi nimaga teng.
9. Qisqa tutashuv rejimida uzatish tizimining samaradorligi nimaga teng.
10. Generatorning ichki qarshiligini qanday o'lchash mumkin
11. Aloqa liniyasining qarshiligi yuklanishda berilgan quvvatga qanday ta'sir qiladi.

3-Laboratoriya ishi.

Rezistiv kuchlanish bo'lgichni tadqiq etish

Radiotexnik apparaturalarda kuchlanish bo'lgichlari deb ataladigan rezistorlarning ketma-ket ulanishi keng qo'llaniladi. Ketma-ket ulangan rezistorlar zanjiriga ega bo'lganda har xil kuchlanishlarni olishi mumkin.



3.1-rasm. Ketma-ket ulangan rezistorlar zanjiri.

3.1-rasmda tasvirlangan sxemada kuchlanish bo'lgichning kuchlanish bo'lgich ko'rsatkichi aniqlanadi:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3.1)$$

Rezistorlarga kuchlanishining tushuvi:

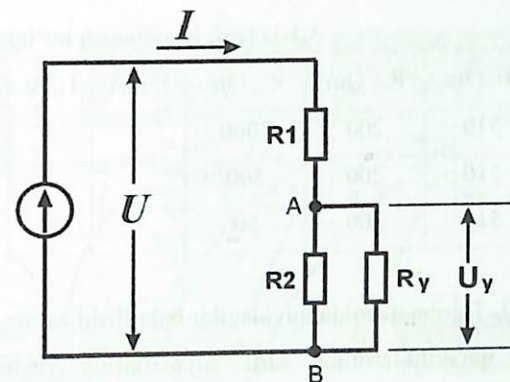
$$U_{R1} = I \cdot R_1 \quad U_{R2} = I \cdot R_2 \quad U_{R3} = I \cdot R_3$$

D nuqtaga nisbatan zanjirning har xil nuqtalaridagi kuchlanish:

$$U_{CD} = U_{R3} \quad U_{BD} = U_{R3} + U_{R2} \quad U_{AD} = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}$$

Shunday qilib ta'minlash manbai U kuchlanishi kattaligini va rezistorlarning qarshiliklari qiymatlarini tanlab zanjirning berilgan nuqtasi uchun boshqa nuqtasiga nisbatan (0 dan U gacha) kuchlanishning istalgan qiymatini olish mumkin.

Real holatda rezistiv bo'lgich yordamida olingan kuchlanish birorta iste'molchini (R_y) oziqlantirishi mumkin. Kuchlanish bo'lgichini hisoblashda yuklama qarshiligini e'tiborga olish kerak (3.2-rasm).



3.2-rasm. Yuklama qarshiligi e'tiborga olingan kuchlanish bo'lgichi.

$$R_{AB} = \frac{R_2 \cdot R_y}{R_2 + R_y} \quad R = R_1 + R_{AB} \quad I = \frac{U}{R} \quad (3.2)$$

$$U_{AB} = U_y = I \cdot R_{AB}$$

Rezistorli kuchlanish bo'lgichi xossalarini baholash uchun quyidagi parametrlardan foydalaniladi:

- kuchlanish bo'yicha uzatish koeffitsiyenti:

$$H_U = \frac{U}{U_y}$$

- quvvat bo'yicha uzatish koeffitsiyenti:

$$H_P = \frac{P_y}{P} = \frac{U_y^2 \cdot R}{U^2 \cdot R_y} \quad (3.3)$$

- so'nish detsibellarda:

$$A(\text{dB}) = 10 \lg \frac{1}{H_P} = 20 \lg \frac{U}{U_y} + 10 \lg \frac{R_y}{R}$$

Hisoblash qismi. Kuchlanish ta'minoti manbai va rezistorlar qarshiliklarining berilgan qiymatlari bo'yicha rezistivli kuchlanish bo'lgichining chiqishidagi kuchlanishni, kuchlanish bo'yicha uzatish koeffitsiyenti, quvvat bo'yicha uzatish koeffitsiyenti va dB larda ifodalangan so'nish koeffitsiyentlarini hisoblang. Olingan natijalarni 3.1-jadvalga kiriting.

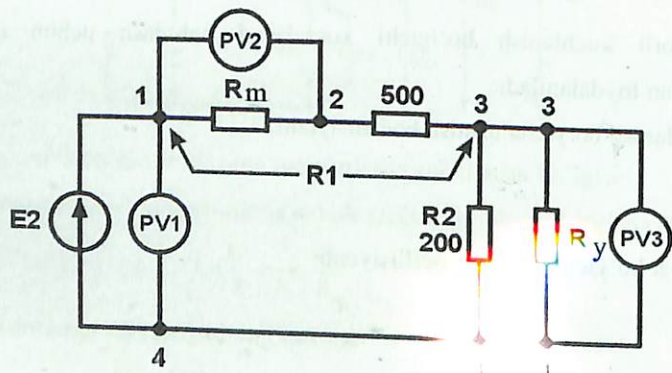
3.1-jadval. Kuchlanish bo'lgichi parametrlari.

| Variant | U, V | R ₁ , Om | R ₂ , Om | R _y , Om | I, mA | U _y , V | H _u | H _p | A, dB |
|---------|------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|--------------------|----------------|----------------|-------|
| 1 | 10 | 510 | 200 | 2000 | | | | | |
| 2 | 10 | 510 | 200 | 500 | | | | | |
| 3 | 10 | 510 | 200 | 50 | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagilar bajarilishi zarur:

1. Rezistor qarshiliklarining turli qiymatlarida rezistiv kuchlanish bo'lgichining chiqishidagi kuchlanishini o'lchang;
2. Tajribadagi va hisoblashlardagi natijalarni taqqoslang va olib borilgan hisoblashlar to'g'riligiga ishonch hosil qiling.

O'lchashlarni o'tkazish sxemasi 3.3-rasmda tasvirlangan.



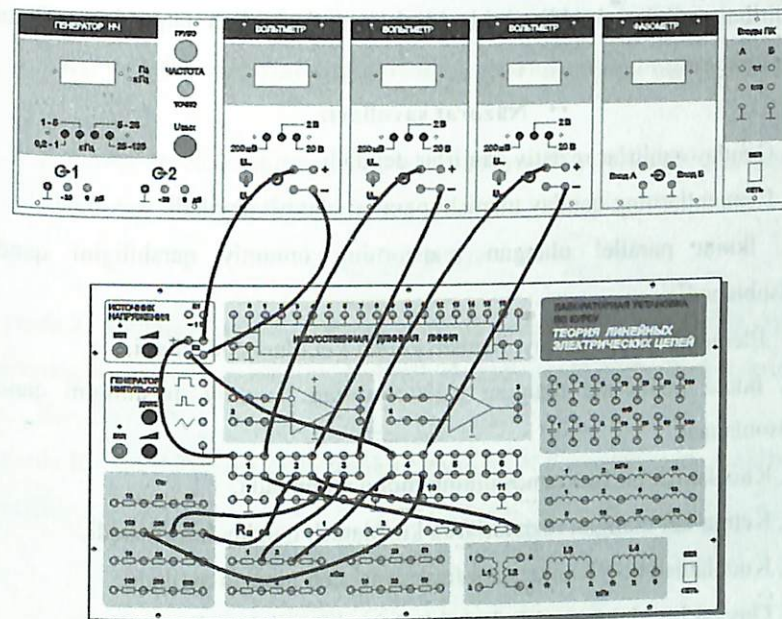
3.3-rasm. O'lchashlarni o'tkazish sxemasi.

Ta'minlash manbaining kuchlanishini o'lchash PV1 voltmetri orqali bajariladi. Tok I ni o'lchash shuntlovchi rezistor R_m=10 Om ga tushayotgan kuchlanish tushuvini PV2 voltmetr yordamida o'lchash bilan amalga oshiriladi.

$$I = \frac{U_{PV2}}{R_m} \quad (3.4)$$

R_y - rezistordagi kuchlanishni o'lchash PV3 orqali o'tkaziladi. R₁ rezistor 500 Om va R_m=10 Om larni ketma-ket ulash orqali olingan.

3.4-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi bo'yicha o'lchash amalgam oshiriladi.



3.4-rasm. R_y=2000 om bo'lgandagi ulanish sxemasi.

PV1 voltmetrning o'lchash chegarasini 20 V, PV2 voltmetrni 200 mV ga PV3 voltmetrni esa 20 V ga teng qilib o'rning. Voltmetrlarning ish rejimini o'zgartirish tumblerini o'zgarmas kuchlanish (=) ni o'lchash holatiga o'tkazing. E₂ manba chiqish kuchlanish roslagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. Yig'ilgan sxemani o'qituvchi tekshirgandan so'ng qurilmani kuchlanish tarmog'iga ulang.

E₂ manbani ulang. E₂ manba kuchlanishini 10 V qilib o'rning. PV2 va PV3 voltmetrlarning ko'rsatishlarini 3.2-jadvalga kiriting.

Xuddi shu tarzda R_y ning boshqa qiymatlari uchun ham o'lchashlarni o'tkazing. Olingan ma'lumotlarni 3.2-jadvalga kiriting.

3.2-jadval. Kuchlanish bo'lgichning tajriba natijalari bo'yicha parametrlari.

| U, V | R _y , Om | U _{PV2} , V | I, mA | U _y , V | H _u | H _p | A, dB |
|------|---------------------|----------------------|-------|--------------------|----------------|----------------|-------|
| 10 | 2000 | | | | | | |
| 10 | 500 | | | | | | |
| 10 | 50 | | | | | | |

Tajriba natijalarini oldingi hisoblash natijalari bilan taqqoslang. Zaruriy xulosalar chiqaring.

Nazorat savollari:

1. Qanday zanjirlar rezistiv zanjirlar deyiladi.
2. Elementlarning qanday ulanishi parallel ulanish deyiladi.
3. Ikkita parallel ulangan rezistorning umumiy qarshiligini qanday hisoblanadi.
4. Elementlarning qanday ulanishi ketma-ket ulanish deyiladi.
5. Ikkita ketma-ket ulangan rezistorlarning umumiy qarshiligini qanday hisoblanadi.
6. Kuchlanish bo'lish tamoyilining mohiyati nimada.
7. Ketma-ket ulangan rezistorlarda kuchlanish qanday hisoblanadi.
8. Kuchlanish bo'yicha uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi.
9. Quvvat bo'yicha uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi.
10. Zanjirning so'nishi dB larda qanday aniqlanadi.
11. Qanday yuklamada, rezistor bo'lgichning kuchlanish bo'yicha uzatish funksiyasi $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ga teng bo'ladi.
12. U, R_1 , R_2 , R formulalarini keltirib chiqaring.

4- Laboratoriya ishi.

RL va RC - zanjirlardagi garmonik tebranishlarni tadqiq etish

1. Ketma-ket RC-zanjirdagi garmonik tebranishlar rejimlarini tadqiq etish.

Elektr zanjirining kompleks qarshiligi:

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi}, \tag{4.1}$$

bu yerda Z- kompleks qarshilikning moduli, φ - kompleks qarshilikning argumenti. Zanjirning kompleks qarshiligini algebraik shaklda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Z = R + jX,$$

bu yerda R – qarshilikning aktiv tashkil etuvchisi; X – qarshilikning reaktiv tashkil etuvchisi.

$$R = Z^* \cos \varphi, \quad X = Z^* \sin \varphi,$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R} \tag{4.2}$$

Ideal rezistorning kompleks qarshiligi $\underline{Z}_R = R$ bo'lib u haqiqiydir. Uning argumenti nolga teng.

Ideal sistemaning kompleks qarshiligi -90° argumentli mavhum sonidir.

bo'lib chastotaga teskari mutanosib:

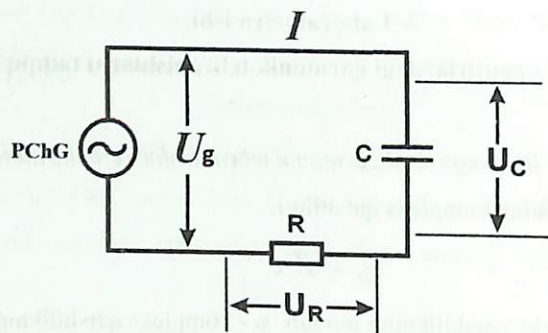
$$= \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \tag{4.3}$$

shunda tasvirlangan elektr zanjiri uchun berilganlar: generator chastotasi F; rezistor qarshiligi R; kondensator sig'imi C.

Hisoblash kerak: zanjirdagi ta'sir etuvchi tokning qiymati; U_g generator kuchlanishi va tok I orasidagi faza siljishi; U_R rezistordagi kuchlanish, U_C kondensatordagi kuchlanish.

Hisoblash natijalarini 4.1-jadvalga kiriting.

U, I, U_R , U_C , φ lar aks etgan vektor diagrammasini quring.



4.1-rasm. Ketma-ket ulangan RC zanjir parametrlarini hisoblash uchun sxema.

4.1-jadval. $U_g = 3V$, $R = 5\text{ k}\Omega$, $C = 5\text{ nF}$ bo'lganda RC zanjir parametrlarini hisoblash.

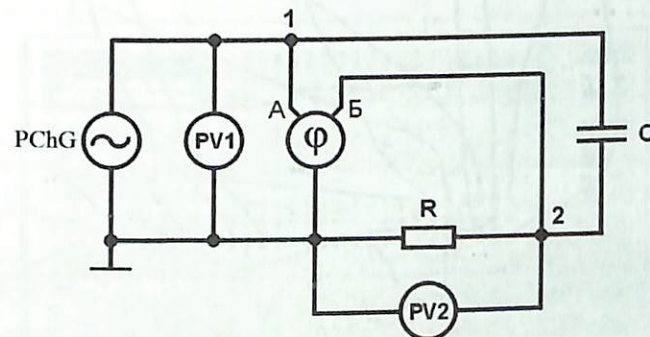
| F, kHz | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
|-------------------|-----|---|---|---|----|----|----|
| I, mA | | | | | | | |
| φ , grad. | | | | | | | |
| U_R, V | | | | | | | |
| U_C, V | | | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismini o'qib oling.

1. Generator chastotasini o'zgartirib (mas) RC zanjirning elementlaridagi kuchlanish va tok orasidagi farqlarni o'lchash.
 2. Generator chastotasining o'zgarishi bilan (mas) RC zanjirning kuchlanishi va toki orasidagi farqlarni o'lchash.
 3. Tajriba natijalarini hisoblash natijalarini o'lchash o'tkazilgan hisoblashlarning to'g'riligiga ishonch hosil qiling.
 4. RC zanjirning R va C elementlaridagi kuchlanishni o'lchang (generator chastotasi o'zgartirilmaydi);
 5. R va C elementlarning turli xil qiymatlarida RC zanjirdagi kuchlanish va tok orasidagi farqlar siljishini o'lchang (generator chastotasi o'zgartirilmaydi).
- 4.2-rasmda o'lchash o'tkazishning prinsipial sxemasi keltirilgan. Past chastotali generator (G2 chiqish «0 dB») garmonik tebranishlar manbai

hisoblanadi. PV1 voltmetr U_g generatorning chiqish kuchlanishini o'lchash uchun ishlatiladi. PV2 voltmetr U_R rezistordagi kuchlanishni o'lchaydi. Zanjirda oqayotgan tok quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$I = \frac{U_R}{R}$$

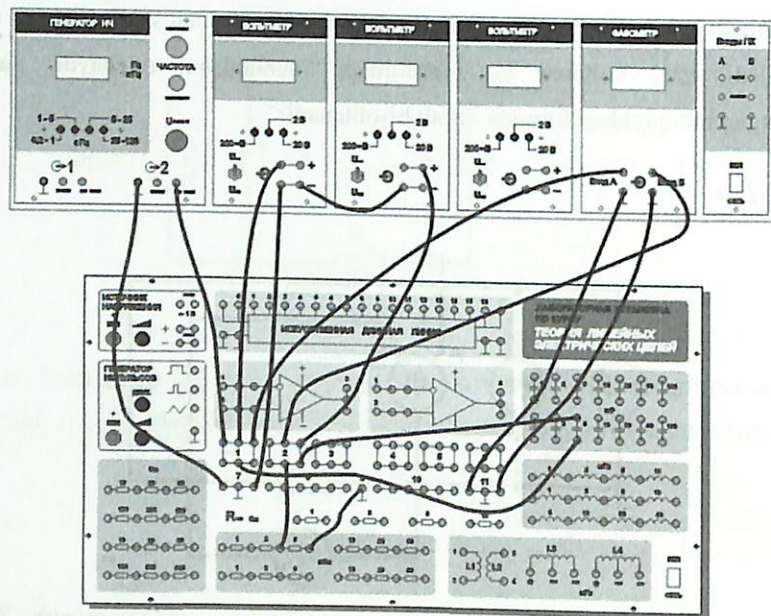


4.2-rasm. O'lchashni o'tkazishning prinsipial sxemasi (1 variant).

Qurilma elementlarini ulash sxemasi 4.3-rasmda keltirilgan. Kuchlanishni o'lchashda xatolik kamroq bo'lishi uchun PV1 va PV2 voltmetrlarning «manfiy» chiqimini umumiy nuqtaga «L» ulash kerak («Laboratoriya qurilmasining texnik tavsifi» ga qarang).

PV1 voltmetrning o'lchash chegarasini 20 V, PV2 voltmetrni esa 20 V ga o'rnatib (o'lchashlarni o'tkazish jarayonida boshqasiga o'zgartirish mumkin). Voltmetrlarning ish rejimini o'zgartirish tumblerini (U_{-}) o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash holatiga o'rnatib. Past chastotali generator chiqish kuchlanishini rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'sating. Yig'ilgan sxemani o'qituvchi tekshirgandan so'ng qurilmani ulang. Past chastotali generatorning kuchlanishini $U_g = 3V$ qilib o'rnatib va keyinchalik ushbu kattalikni o'zgarimas qilib ushlab turing.

4.2-jadvalda keltirilgan qiymatlarga muvofiq generator chastotasini o'rnatib. PV2 voltmetrning hamda φ_1 fazometrning ko'rsatishini jadvalga kiriting. Tok I ning qiymatini hisoblang va ularni 4.2-jadvalga kiriting.



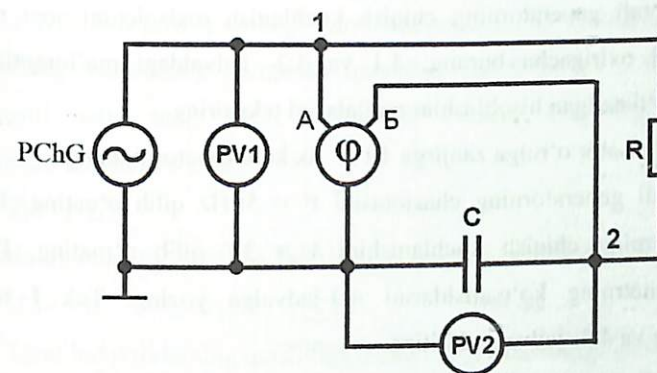
4.3-rasm. Qurilma elementlarining ulanish sxemasi (1 variant).

4.2-jadval. $U_g = 3\text{ V}$, $R = 5\text{ k}\Omega$, $C = 5\text{ nF}$ bo'lganda tajriba natijasida olingan RC zanjir parametrlarining qiymatlari

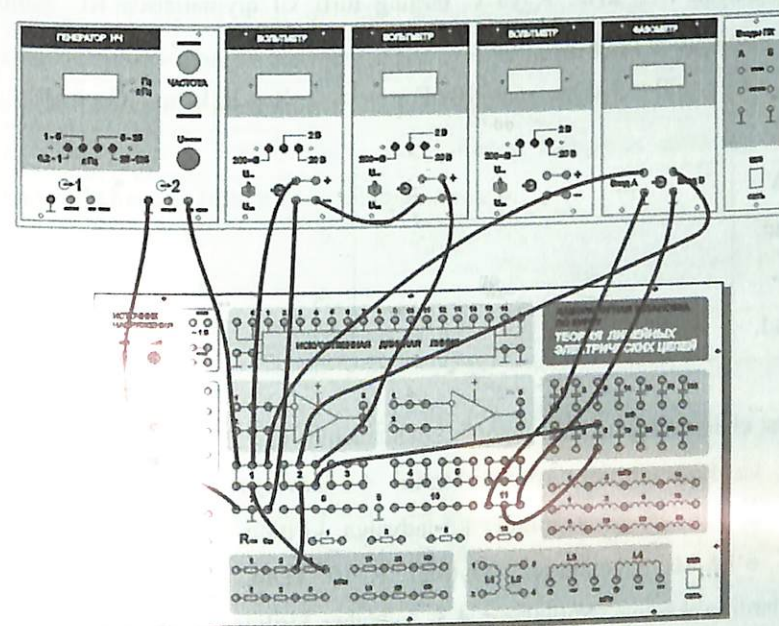
| | | |
|---------------------|-----|---|
| F, kHz | 0.5 | 1 |
| U_R, V | | |
| I, mA | | |
| φ_1 , grad. | | |
| U_C, V | | |
| φ_2 , grad. | | |

O'lchashlar so'ngida past chastotali generator chiqish kuchlanish rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang.

U_C kondensatordagi kuchlanish qiymatini olish uchun 4.4-rasmga muvofiq o'lchash sxemasini o'zgartirish zarur. Bu bilan zanjir rejimi o'zgarmaydi, lekin PV2 voltmetr kondensatordagi kuchlanishni, fazometr esa generatorning chiqish kuchlanishi va kondensatordagi kuchlanishlar orasidagi fazalar siljishini ko'rsatadi.

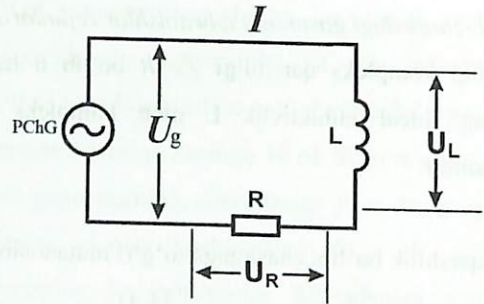


4.4-rasm. O'lchashlarni o'tkazishning prinsipial sxemasi (2 variant). Qurilma elementlarini ulash sxemasi 4.5-rasmda keltirilgan.



4.5-rasm. Qurilma elementlarining ulanish sxemasi (2 variant).

O'qituvchi tomonidan yig'ilgan sxema tekshirilgandan so'ng past chastotali generatorning chiqish kuchlanishini $U_g = 3\text{ V}$ qilib o'rnatib, keyinchalik ushbu kattalikni o'zgartirmasdan ushlab turing. 4.2-jadvalda keltirilgan qiymatlarga muvofiq generator chastotasini o'rnatib, uning qiymatini (PV2 voltmetr ko'rsatishi bo'yicha) va fazometr φ_2 ning ko'rsatishini 4.2-jadvalga kiriting. O'lchashlar



4.7-rasm. Ketma-ket RL zanjir parametrlarini hisoblash sxemasi.

4.4-jadval. $U_g=1$ V, $R=50$ Om, $L=20$ mH bo'lganda tajriba natijasida

olingan RL zanjir parametrlarini hisoblash.

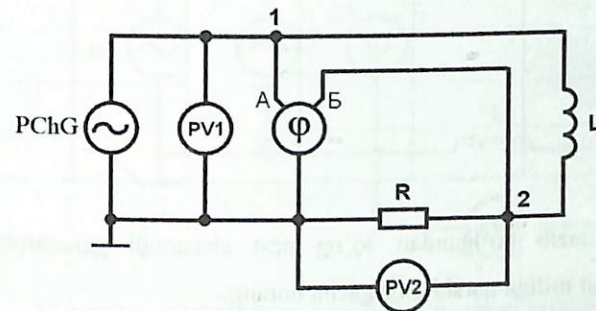
| F, kHz | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
|-------------------|-----|---|---|---|----|----|----|
| I, mA | | | | | | | |
| φ , grad. | | | | | | | |
| U_R , V | | | | | | | |
| U_L , V | | | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismini o'qib oling va tajribani bajarib ko'ring.

1. Generator chastotasining turli xil qiymatlarida (generator chastotasini o'zgartirib) RL zanjirning elementlaridagi kuchlanish va tokni o'lchash.
 2. Generator chastotasining turli xil qiymatlarida (generator chastotasini o'zgartirib) RL zanjirning kuchlanishi va toki orasidagi fazalar siljishini o'lchash.
 3. Tajriba natijalarini hisoblash natijalarini jadvalga kiritish va o'tkazilgan hisoblashlarning to'g'riligiga ishonch hosil qiling.
 4. RL zanjirning R va L elementlaridagi kuchlanishni o'lchang (generator chastotasi o'zgartirilmaydi);
 5. R va L elementlarning turli xil qiymatlarida RL zanjirdagi kuchlanish va tok orasidagi fazalar siljishini o'lchang (generator chastotasi o'zgartirilmaydi).
- 4.8-rasmda o'lchashlar o'tkazishning prinsipial sxemasi keltirilgan. Past chastotali generator (chiqish G1 «0 dB») garmonik tebranishlar manbai bo'lib xizmat qiladi. PV1 voltmetr U_g generatorning chiqish kuchlanishini o'lchash uchun

ishlatiladi. U_R rezistordagi kuchlanish PV2 voltmetr bilan o'lchanadi. Zanjirdagi tok hisoblash yo'li bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{U_R}{R}$$



4.8-rasm. O'lchashlarni o'tkazishning prinsipial sxemasi (1 variant).

Qurilma elementlarini ulash sxemasi 4.9-rasmda keltirilgan. Kuchlanishni o'lchashda xatolik kamroq bo'lishi uchun PV1 va PV2 voltmترلarning «manfiy» chiqimini umumiy nuqtaga «L» ulash kerak («Laboratoriya qurilmasining texnik tavsifi» ga qarang).

PV1 voltmetrning o'lchash chegarasini 2V, PV2 voltmetrni esa 2 V ga o'rnatish (o'lchashlarni o'tkazish jarayonida boshqasiga o'zgartirish mumkin). Voltmetrlarning ish rejimini o'zgartirish tumblerini (U_{-}) o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash holatiga o'rnatish. Past chastotali generator chiqish kuchlanishini rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'sating. Yig'ilgan sxemani o'qituvchi tekshirgandan so'ng qurilmani ulang.

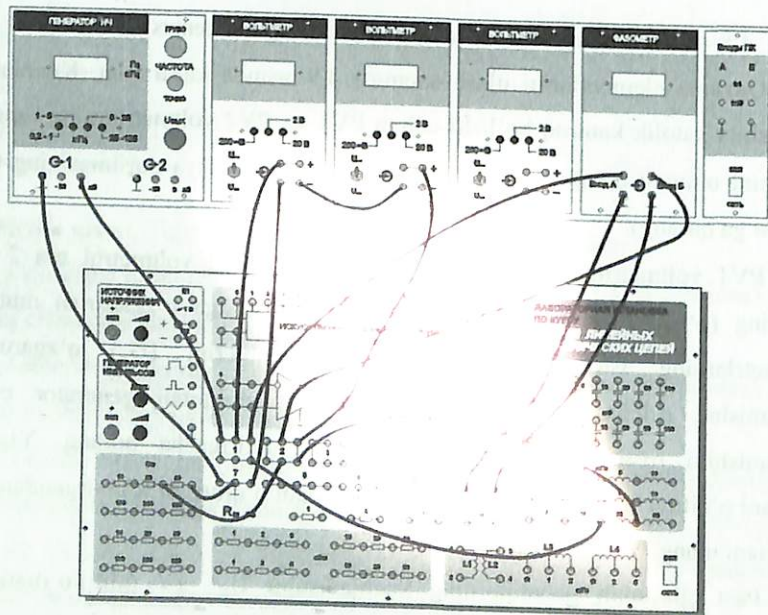
Past chastotali generatorning kuchlanishini $U_g = 1$ V qilib o'rnatish va keyinchalik ushbu kattalikni o'zgartirib qilib ushlab turing.

4.5-jadvalda keltirilgan qiymatlarga muvofiq generator chastotasini o'rnatish. PV2 voltmetrning hamda φ_1 fazometrnin ko'rsatishini jadvalga kiriting. Tok I ning qiymatini hisoblang va ularni 4.5-jadvalga kiriting.

4.5-jadval. $U_g=1$ V, $R=50$ Om, $L=20$ mH bo'lganda tajriba natijasida olingan RL zanjir parametrlarining qiymatlari.

| | | | | | | | |
|---------------------------|-----|---|---|---|----|----|----|
| F, kHz | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| U_R, V | | | | | | | |
| I, mA | | | | | | | |
| $\varphi_1, \text{grad.}$ | | | | | | | |
| U_L, V | | | | | | | |
| $\varphi_2, \text{grad.}$ | | | | | | | |

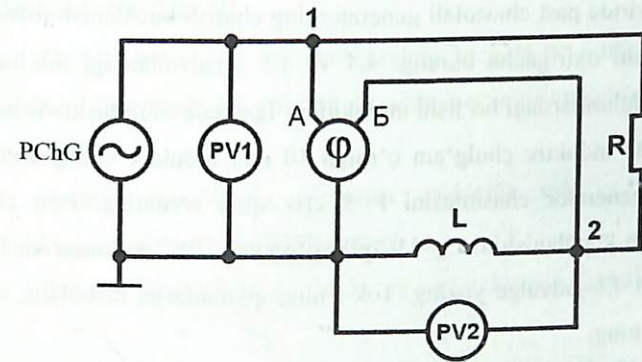
O'lchashlarni o'tkazib bo'lgandan so'ng past chastotali generatorning chiqish kuchlanishini soat miliga qarshi oxirigacha burang.



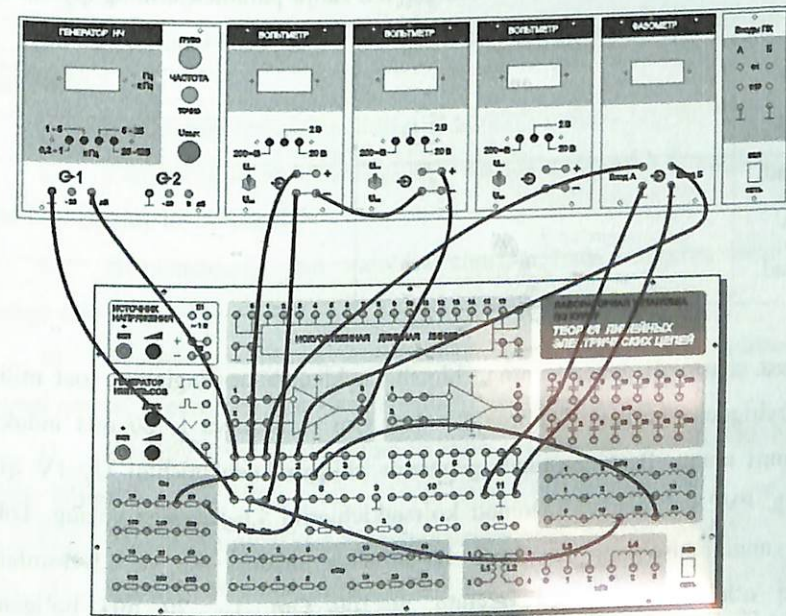
4.9-rasm. Qurilma elementlarini ulash sxemasi.

U_L chulg'amdagi kuchlanishning qiymatini olish uchun 4.10-rasmga muvofiq o'lchash sxemasini o'zgartiring. Bu bilan zanjir rejimi o'zgaraydi, lekin PV2 voltmetr chulg'amdagi kuchlanishning ko'rsatishini, fazometr esa generatorning chiqish kuchlanishi va chulg'amdagi kuchlanish orasidagi fazalar

siljishini ko'rsatadi. 4.11-rasmda qurilma elementlarining ulanish sxemasi keltirilgan.



4.10-rasm. O'lchashlar o'kazishning prinsipial sxemasi (2 variant).



4.11-rasm. Qurilma elementlarini ulash sxemasi (2 variant).

Yig'ilgan sxema o'qituvchi tomonidan tekshirilgandan so'ng past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g=1V$ qilib o'rnatish. Ushbu kattalikni keyinchalik o'zgartirmang. 4.5-jadvalda keltirilgan qiymatlarga mos holda

generator chastotasini o'rating, U_L ning qiymatini (PV2 voltmetrning ko'rsatishi bo'yicha) va φ_2 fazometrning ko'rsatish qiymatini 4.5-jadvalga kiriting. O'lchashlarni oxirida past chastotali generatorning chiqish kuchlanish rostagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. 4.4 va 4.5 - jadvallardagi ma'lumotlarni taqqoslang. Ma'lumotlardagi bo'lishi mumkin bo'lgan tafovutni tushuntiring.

$L = 20$ mH induktiv chulg'am o'rniga 10 mH induktiv chulg'amni ulang. Past chatotali generator chastotasini $F = 5$ kHz qilib o'rating. Past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g = 1V$ qilib o'rating. PV2 voltmetr va fazometr ko'rsatkichlarini 4.6-jadvalga yozing. Tok I ning qiymatlarini hisoblang va ularni 4.6-jadvalga kiriting.

4.6-jadval. $F = 5$ kHz, R va L larning turli xil qiymatlarida tajriba natijasida olingan RL zanjir parametrlarining qiymatlari.

| | $R = 50 \text{ Om}, L = 10 \text{ mH}$ | $R = 100 \text{ Om}, L = 20 \text{ mH}$ |
|----------------------------|--|---|
| U_R, V | | |
| $I, \text{ mA}$ | | |
| $\varphi_1, \text{ grad.}$ | | |
| U_L, V | | |
| $\varphi_2, \text{ grad.}$ | | |

Past chastotali generatorning chiqish kuchlanishini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Zanjirga R va L ulang. Past chastotali generatorning chiqish kuchlanishini o'rating. PV2 voltmetr va fazometr ko'rsatkichlarini 4.6-jadvalga yozing. Tok I ning qiymatini hisoblang va ularni 4.6-jadvalga kiriting. 4.8 va 4.9-rasmlarga muvofiq o'lchash sxemasiga qayting. $R = 100 \text{ Om}, L = 20 \text{ mH}$ bo'lganda o'lchashlarni o'tkazing. Natijani 4.6-jadvalga kiriting. $R = 50 \text{ Om}, L = 10 \text{ mH}$ bo'lganda o'lchashlarni o'tkazing. Natijani 4.6-jadvalga kiriting. 5 kHz chastotaga mos keluvchi 4.6-jadvaldan tajriba natijalarini 4.5-jadvaldagi ma'lumotlar bilan taqqoslang. Zarur xulosalar chiqaring.

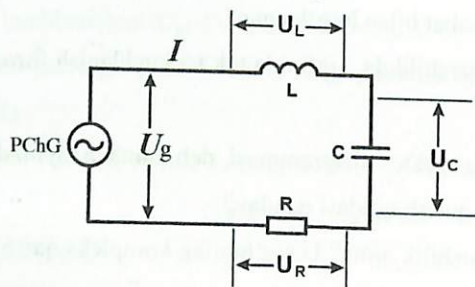
Nazorat savollari:

1. Qanday toklar va kuchlanishlar garmonik deyiladi? Ular qanday parametrlar bilan tavsiflanadi?
2. Davriy tebranishli tok (kuchlanish) ning ta'sir etuvchi qiymati deb nimaga aytiladi? Garmonik tok yoki kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati nimaga teng?
3. Rezistiv qarshilikda, sig'imda garmonik tok va kuchlanishning qiymati qanday munosabat bilan bog'langan?
4. Rezistiv qarshilikda, sig'imda tok va kuchlanish faza bo'yicha qanday siljigan?
5. Zanjirning vektor diagrammasi deb nimaga aytiladi. RC-zanjirning vektor diagrammasini qurish qoidasi qanday?
6. Sig'im qarshilik nima? U sig'imning kompleks qarshiligi bilan qanday bog'langan?
7. Sig'imning reaktiv qarshiligi chastotaga qanday bog'liq?
8. Zanjirning to'liq qarshiligi deb nimaga aytiladi? RC-zanjirning to'liq qarshiligi qanday hisoblanadi?
9. Hisoblashlarda real induktiv chulg'amlarda energiya isrofi qanday hisobga olinadi?
10. Rezistiv qarshilikda, induktivlikda garmonik tok va kuchlanishning qiymati qanday munosabat bilan bog'langan?
11. Rezistiv qarshilikda, induktivlikda tok va kuchlanish faza bo'yicha qanday siljigan?
12. RL-zanjirning vektor diagrammasini qurish qoidasi qanday?
13. Induktiv qarshilik nima? U induktivlikning kompleks qarshiligi bilan qanday bog'langan?
14. Induktivlikning reaktiv qarshiligi chastotaga qanday bog'liq?
15. RL-zanjirning to'liq qarshiligi qanday hisoblanadi?
16. Hisoblashlarda real induktiv chulg'amlarda energiya isrofi qanday hisobga olinadi?

5 - Laboratoriya ishi.

Ketma-ket tebranish konturini tadqiq qilish

Ketma-ket tebranish konturida kuchlanishlar rezonansi hodisasi ro'y beradi. Kuchlanishlar rezonansi kuzatiladigan chastotaga f_0 rezonans chastota deyiladi. 5.1-rasmda L, C rektiv elementlar va R rezistiv qarshilikdan iborat ketma-ket ulangan tebranish konturining sxemasi tasvirlangan.



5.1-rasm. Ketma-ket tebranish konturi.

Ketma-ket tebranish konturining ω chastotadagi kompleks qarshiligi:

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (5.1)$$

Konturdagi tok:

$$I = \frac{U_g}{\underline{Z}} \quad (5.2)$$

Berilgan kuchlanish va tok orasida:

$$\varphi = \arctg \left[(\omega L - 1/\omega C) / R \right]$$

rezonans chastota: $\omega_r = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

ω_0 rezonans chastotada:

- kompleks qarshilik aniq aktiv tabiatga ega $\underline{Z}_0 = R$;
- tok berilgan kuchlanish bilan faza bo'yicha mos tushadi $\varphi_0 = 0$;
- tok o'zining eng maksimal $I_0 = U/R$ qiymatiga erishadi;
- konturning reaktiv qarshiligi bir-biriga teng.

$$X_{L0} = X_{C0} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho \quad (5.3)$$

ρ - kattalik konturning *xarakteristik qarshiligi* deb ataladi.

Konturning rezonans xossalari Q konturning aslligini tavsiflaydi:

$$Q = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{I_0 \cdot \omega_0 L}{U} = \frac{I_0}{\omega_0 C \cdot U} = \frac{\rho}{R} \quad (5.4)$$

Konturning aslligi Q reaktiv elementlarda rezonans kuchlanishini qo'yilgan kuchlanishdan qancha marta oshganini ko'rsatadi. Asllikka teskari kattalik konturning so'nishi deyiladi:

$$d = \frac{1}{Q} \quad (5.5)$$

Konturning chiqish kuchlanishlari konturning turli xil elementlaridan olinishi mumkin. Shunga muvofiq R, C va L elementlarga nisbatan zanjirning kuchlanish bo'yicha uzatish koeffitsiyenti katta ahamiyatga ega.

Ketma-ket konturning ACHX va FCHX lari quyidagicha aniqlanadi:

$$H_R(\omega) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \varphi_R(\omega) = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5.6)$$

$$H_C(\omega) = \frac{1}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \varphi_C(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5.7)$$

$$H_L(\omega) = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \varphi_L(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5.8)$$

Tebranish konturining muhim tavsifi - o'tkazish polosasidir. Mutloq o'tkazish polosasida deb shunday chastotalar diapazoniga aytiladiki, uning chegarasida uzatish koeffitsiyenti eng yuqori qiymatiga taqqoslaganda $\sqrt{2}$ marta kamayadi, ya'ni eng yuqori qiymatidan 0.707 ni tashkil qiladi. Mutloq o'tkazish polosasida:

$$\Delta f_A = f_Y - f_Q,$$

bu yerda f_Y va f_P yuqori va pastki chegaraviy chastotalar.

Nisbiy o'tkazish polosasida:

$$\delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} \quad (5.9)$$

Mutloq va nisbiy o'tkazish polosasini asllik va so'nish orqali ifodalash mumkin:

$$\Delta f_A = \frac{f_0}{Q} \quad \delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} = \frac{1}{Q} = d \quad (5.10).$$

Hisoblash qismi. Ketma-ket tebranish konturi uchun, unda $L=10$ mH, $C=10$ nF, $R=100$ Om qiymatlarga teng bo'lganda, 0.707 sathida xususiy ω_0 aylanish va f_0 siklik chastotalarni, Q asllikni, ρ xarakteristik qarshilik va Δf_A o'tkazish polosasini hisoblang. Hisoblash natijalarini 5.1-jadvalga kiriting.

5.1-jadval.

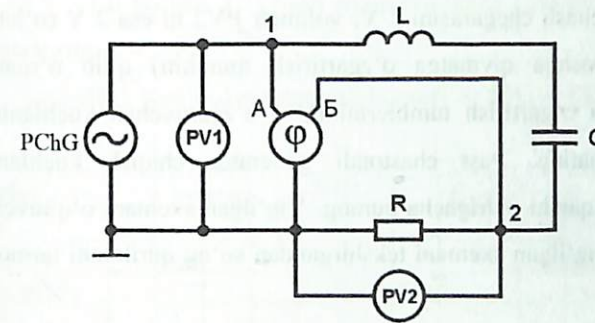
Ketma-ket tebranish koturining hisoblash parametrlari.

| L, mH | C, nF | R, Om | ω_0 , rad/s | f_0 , kHz | Q | ρ , Om | Δf_A 0.707 |
|-------|-------|-------|--------------------|-------------|---|-------------|--------------------|
| 10 | 10 | 100 | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagi taqdimot shart

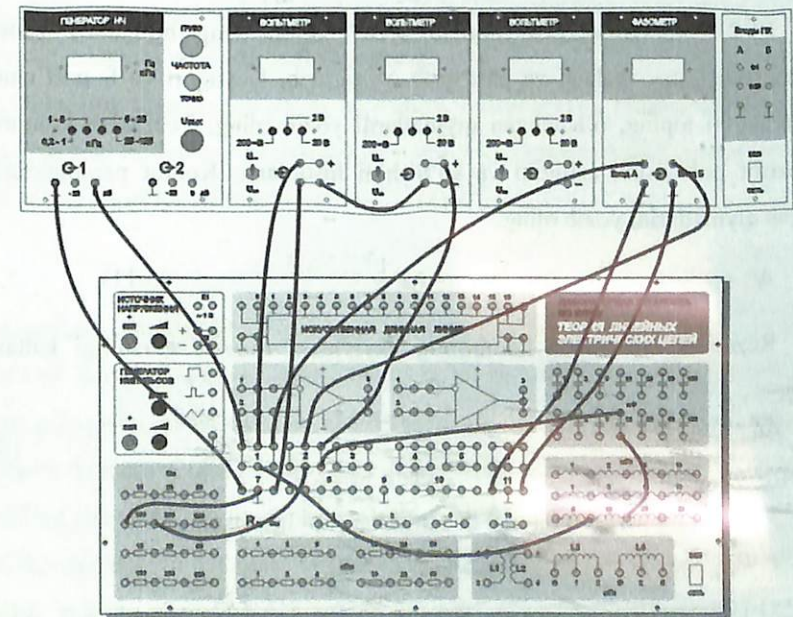
- tebranish konturining f_0 va Q parametrlarini o'tkazish polosasini aniqlang;
- o'lchash chastotalari qiymatlarini aniqlang;
- R, C, L larga nisbatan ACHX va FCHX grafiklarini qurib chiqing;
- ACHX va FCHX grafiklarini qurib chiqing;
- tebranish konturining Δf_A 0,707 o'tkazish polosasini aniqlang;
- tajriba natijalarini hisoblashlar bilan taqqoslang.

O'lchashlar o'tkazishning prinsipial sxemasi 5.2-rasmda keltirilgan. Past chastotali generator (chiqish G1 «0 dB») garmonik tebranishlar manbai bo'lib xizmat qiladi. PV1 voltmetr U_g generatorning chiqish kuchlanishini o'lchash uchun ishlatiladi. U_R rezistordagi kuchlanish PV2 voltmetr bilan o'lchanadi.



5.2-rasm. R qarshilikka nisbatan ACHX va FCHX larni aniqlashning prinsipial sxemasi.

Qurilma elementlarini ulash sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan. Kuchlanishni o'lchashda xatolik kamroq bo'lishi uchun PV1 va PV2 voltmترلarning «manfiy» chiqimini umumiy nuqtaga «L» ulash kerak («Laboratoriya qurilmasining texnik tavsifi» ga qarang).



5.3-rasm. R qarshilikka nisbatan ACHX va FCHX larni aniqlash uchun qurilma elementlarini ulash sxemasi.

$$\delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} \quad (5.9)$$

Mutloq va nisbiy o'tkazish polosasini asllik va so'nish orqali ifodalash mumkin:

$$\Delta f_A = \frac{f_0}{Q} \quad \delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} = \frac{1}{Q} = d \quad (5.10).$$

Hisoblash qismi. Ketma-ket tebranish konturi uchun, unda $L=10$ mH, $C=10$ nF, $R=100$ Om qiymatlarga teng bo'lganda, 0.707 sathida xususiy ω_0 aylanish va f_0 siklik chastotalarni, Q asllikni, ρ karakteristik qarshilik va Δf_A o'tkazish polosasini hisoblang. Hisoblash natijalarini 5.1-jadvalga kiriting.

5.1-jadval.

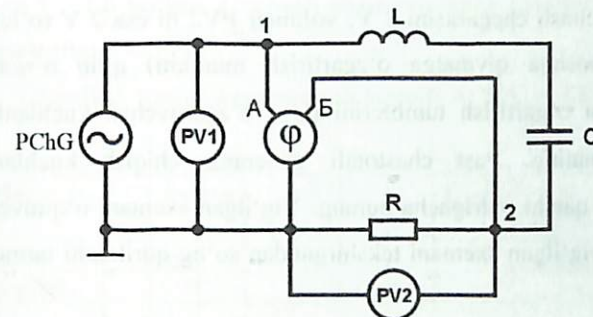
Ketma-ket tebranish koturining hisoblash parametrlari.

| L, mH | C, nF | R, Om | ω_0 , rad/s | f_0 , kHz | Q | ρ , Om | Δf_A 0.707 |
|-------|-------|-------|--------------------|-------------|---|-------------|--------------------|
| 10 | 10 | 100 | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagilar bajarib bo'liqt:

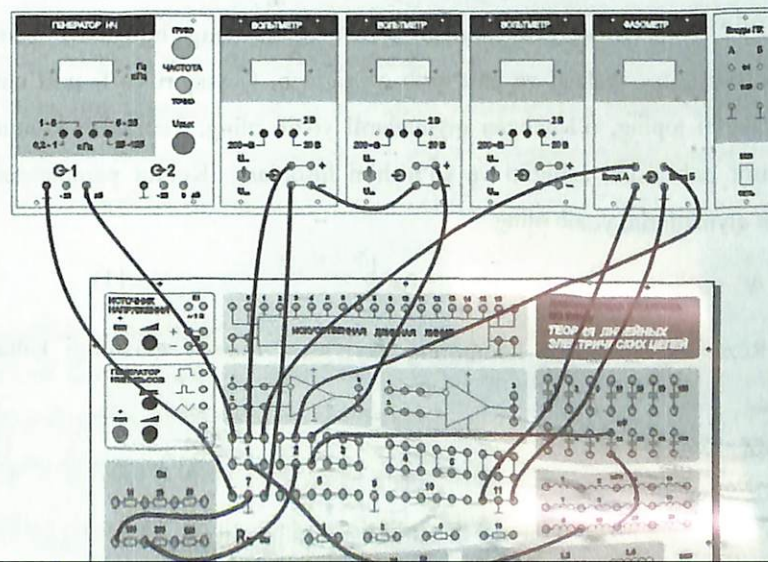
- tebranish konturining f_0 va Q qiymatlarini aniqlash va o'tkazish polosasini aniqlang;
- o'lchash chastotalari qiymatlarini aniqlang;
- R, C, L larga nisbatan ACHX va FCHX grafiklarini qurib chiqaring;
- ACHX va FCHX grafiklarini qurib chiqaring;
- tebranish konturining Δf_A 0,707 o'tkazish polosasini asllik va so'nishini aniqlang;
- tajriba natijalarini hisoblashlar bilan taqqoslang.

O'lchashlar o'tkazishning prinsipial sxemasi 5.2-rasmda keltirilgan. Past chastotali generator (chiqish G1 «0 dB») garmonik tebranishlar manbai bo'lib



5.2-rasm. R qarshilikka nisbatan ACHX va FCHX larni aniqlashning prinsipial sxemasi.

Qurilma elementlarini ulash sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan. Kuchlanishni o'lchashda xatolik kamroq bo'lishi uchun PV1 va PV2 voltmetrlarning «manfiy» chiqimini umumiy nuqtaga «L» ulash kerak («Laboratoriya qurilmasining texnik tavsifi» ga qarang).



PV1 voltmetr o'lchash chegarasini 2 V, voltmetr PV2 ni esa 2 V (o'lchash o'tkazish jarayonida boshqa qiymatga o'zgartirish mumkin) qilib o'rning. Voltmetr ish rejimlarini o'gartirish tumblerini (U~) o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash holatiga o'rning. Past chastotali generator chiqish kuchlanishi roslagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. O'qituvchi yig'ilgan sxemani tekshirgandan so'ng qurilmani tarmoqqa ulang.

Generator chiqish kuchlanishini $U_g = 1V$ qilib o'rning. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab turing.

Tebranish konturining hisoblangan xususiy tebranish chastotasi f_0 qiymati atrofida generator chastotasini o'zgartirib, PV2 voltmetr ko'rsatgichining eng yuqori yoki fazometrning nol ko'rsargichiga qarab, konturning haqiqiy rezonans chastotasini toping. Xususiy tebranish chastotasini $f_{0\ o'le}$ o'lchash qiymatini yozib oling.

PV2 voltmetrning ko'rsatgichi 0.707 voltga teng bo'lganda generator chastotasini $f_{0\ o'le}$ baland va past qilib o'zgartirib, $H_R(\omega)$ va $\varphi_R(\omega)$ past chastotali chegaralarini toping, o'lchangan qiymatlarini yozib oling. O'tkazish polosasini, aslligini va so'nishini aniqlang. Kontur parametrining olingan qiymatlarini yozib oling.

$$\Delta f_A = f_Y - f_P, \quad Q = \frac{f_0}{\Delta f_A}$$

Rezonans chastotada konturning ekvivalent rezonans rezistorini aniqlang:

$$R_E = \frac{1}{2\pi f_0 C \cdot Q} \quad (5.12)$$

Konturning parazit (zararli) qarshilik isrofini hisoblang:

$$r = R_E - R$$

O'lchash chastotalar $f_{0\ o'le}$ qiymatini shunday hisoblangki, 5-7 o'lchash chastotalari konturning o'tkazish polosasiga mos tushsin. Qolgan chastotalar nisbiy qayta sozlanishga $\Delta f/f_{0\ o'le}$ muvofiq, quyidagi tartibda: -0.5; -0.2; -0.1; 0; +0.1;

+0.2; +0.5; +1.0 bo'lsin. O'lchash chastotalarining hisoblangan qiymatlarini 5.2-jadvalga kiriting.

5.2-jadval. Ketma-ket tebranish konturi ACHX va FCHX larining tajribaviy qiymatlari.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|---------------|--|--|--|--|--|--|
| $f_{0\ o'le}$, kHz | | | | | | | | $f_{0\ o'le}$ | | | | | | |
| U_R , V | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_R(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_R(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | |
| U_C , B | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_C(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_C(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | |
| U_L , B | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_L(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_L(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | |

Generator chastotasini 5.2-jadvalda keltirgan qiymatlarga mos holda o'rning. PV2 voltmetr ko'rsatishi bo'yicha U_R ning qiymatini 5.2-jadvalga kiriting. Generator kuchlanishi va konturdagi tok orasidagi faza siljishini φ_R fazometr ko'rsatkichi bo'yicha jadvalga yozing.

O'lchashlar tugagandan so'ng past chastotali generator chiqish kuchlanishi $U_g = 1V$ ni soat miliga qarshi oxirigacha burang. Generator chastotasining har bir o'zgarishida H_R ni hisoblang:

$$H_R = \frac{U_R}{U_g} \quad (5.13)$$

O'lchash natijalarini 5.2-jadvalga kiriting. Tajribadan olingan $H_R(\omega)$ va $\varphi_R(\omega)$ grafligini quring. $H_R(\omega)$ ning grafigi bo'yicha tebranish konturining o'tkazish polosasini, aslligini va so'nishini aniqlang. Kontur parametrining olingan qiymatlarini yozing. Oldin hisoblangan parametrlar bilan taqqoslang. O'tkazish polosasining chegaraviy qiymatlarida $\varphi_R(\omega)$ kattalikka e'tibor bering.

C kondensatorga nisbatan ACHX va FCHX lar qiymatlarini aniqlash uchun 5.4 va 5.5 -rasmga muvofiq qurilma elementlarini ulashda o'zgartishlarni amalga oshiring.

PV1 voltmetr o'lchash chegarasini 2 V, voltmetr PV2 ni esa 2 V (o'lchash o'tkazish jarayonida boshqa qiymatga o'zgartirish mumkin) qilib o'rning. Voltmetr ish rejimlarini o'gartirish tumblerini (U~) o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash holatiga o'rning. Past chastotali generator chiqish kuchlanishi roslagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. O'qituvchi yig'ilgan sxemani tekshirgandan so'ng qurilmani tarmoqqa ulang.

Generator chiqish kuchlanishini $U_g = 1V$ qilib o'rning. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab turing.

Tebranish konturining hisoblangan xususiy tebranish chastotasi f_0 qiymati atrofida generator chastotasini o'zgartirib, PV2 voltmetr ko'rsatgichining eng yuqori yoki fazometrning nol ko'rsargichiga qarab, konturning haqiqiy rezonans chastotasini toping. Xususiy tebranish chastotasini $f_{0\text{ o'lch}}$ o'lchash qiymatini yozib oling.

PV2 voltmetrning ko'rsatgichi 0.707 voltga teng bo'lganda generator chastotasini $f_{0\text{ o'lch}}$ baland va past qilib o'zgartirib, $f_{0\text{ o'lch}}$ past chastotali chegaralarini toping, o'lchangan qiymatlarini yozib oling. O'tkazish polosasini, aslligini va o'lchangan qiymatlarini yozib oling.

$$\Delta f_A = f_r - f_p, \quad Q = \frac{f_0}{\Delta f_A}$$

Rezonans chastotada konturning ekvivalent rezistansini aniqlang:

$$R_E = \frac{1}{2\pi f_0 C \cdot Q} \quad (5.12)$$

Konturning parazit (zararli) qarshilik isrofini hisoblang:

$$r = R_E - R$$

O'lchash chastotalar $f_{0\text{ o'lch}}$ qiymatini shunday hisoblangki, 5-7 o'lchash chastotalari konturning o'tkazish polosasiga mos tushsin. Qolgan chastotalar nisbiy qayta sozlanishga $\Delta f/f_{0\text{ o'lch}}$ muvofiq, quyidagi tartibda: -0.5; -0.2; -0.1; 0; +0.1;

+0.2; +0.5; +1.0 bo'lsin. O'lchash chastotalarining hisoblangan qiymatlarini 5.2-jadvalga kiriting.

5.2-jadval. Ketma-ket tebranish konturi ACHX va FCHX larining tajribaviy qiymatlari.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $f_{0\text{ o'lch}}$, kHz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U_R , V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_R(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_R(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U_C , B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_C(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_C(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U_L , B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $H_L(\omega)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\varphi_L(\omega)$, grad. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Generator chastotasini 5.2-jadvalda keltirigan qiymatlarga mos holda o'rning. PV2 voltmetr ko'rsatishi bo'yicha U_R ning qiymatini 5.2-jadvalga kiriting. Generator kuchlanishi va konturdagi tok orasidagi faza siljishini φ_R fazometr ko'rsatkichi bo'yicha jadvalga yozing.

O'lchashlar tugagandan so'ng past chastotali generator chiqish kuchlanishi $U_g = 1V$ ni soat miliga qarshi oxirigacha burang. Generator chastotasining har bir o'lchash uchun H_R ni hisoblang:

$$H_R = \frac{U_R}{U_g} \quad (5.13)$$

O'lchash natijalarini 5.2-jadvalga kiriting. Tajribadan olingan $H_R(\omega)$ va $\varphi_R(\omega)$ natijalarini grafligini quring. $H_R(\omega)$ ning grafigi bo'yicha tebranish konturining o'tkazish polosasini, aslligini va so'nishini aniqlang. Kontur parametrining olingan qiymatlarini yozing. Oldin hisoblangan parametrlar bilan taqqoslang. O'tkazish polosasining chegaraviy qiymatlarida $\varphi_R(\omega)$ kattalikka e'tibor bering.

C kondensatorga nisbatan ACHX va FCHX lar qiymatlarini aniqlash uchun 5.4 va 5.5 -rasmga muvofiq qurilma elementlarini ulashda o'zgartishlarni amalga oshiring.

Past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g=1V$ qilib o'rnatib. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab turing. 5.2-jadvalda keltirilgan qiymatlarga muvofiq generator chastotasini o'rnatib, PV2 voltmetering ko'rsatishi bo'yicha U_C ning qiymatini 5.2-jadvalga kiriting. Generator kuchlanishi va kondensator kuchlanishi orasidagi fazalar siljishini φ_C fazometring ko'rsatgichi bo'yicha jadvalga yozing.

O'lchashlar so'ngida past chastotali generatorning chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang.

Generator chastotasining har bir qiymati uchun H_C ni hisoblang:

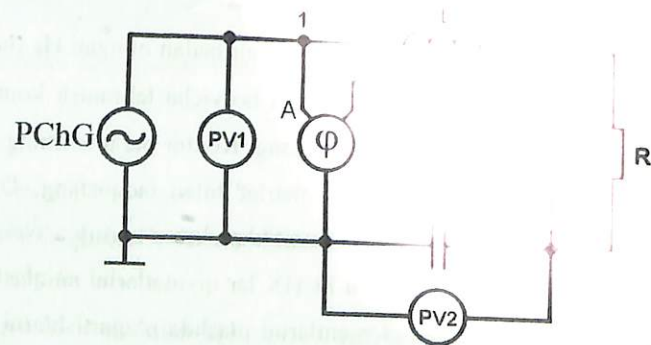
$$H_C = \frac{U_C}{U_g} \quad (5.14).$$

Hisoblash natijalarini 2-jadvalga kiriting. Tajribadan olingan $H_C(\omega)$ va $\varphi_C(\omega)$ bog'liqliklar grafigini quring. $H_C(\omega)$ grafigi bo'yicha tebranish konturining o'tkazish oralig'ini, aslligini va so'nishini aniqlang. Kontur parametrining olingan qiymatlarini yozing. Oldin hisoblangan parametrlar bilan taqqoslang.

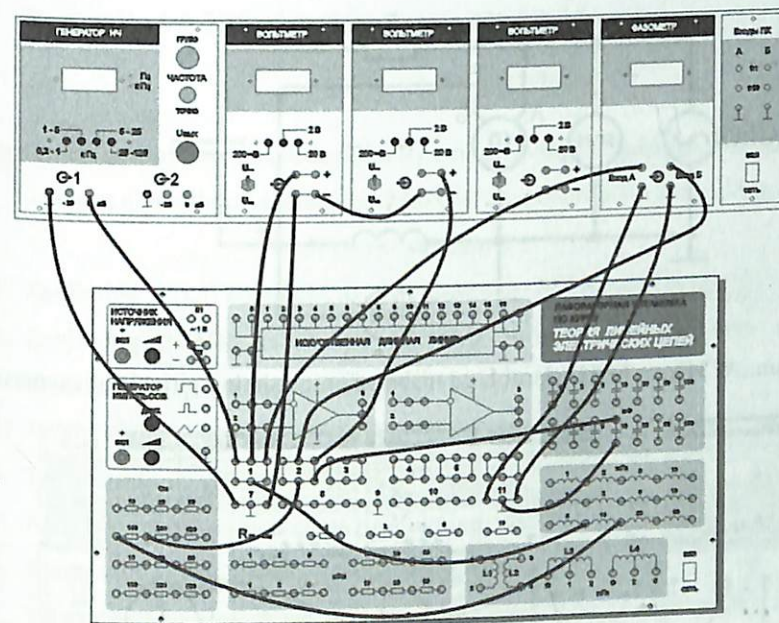
Kontur aslligini ushbu formulaga muvofiq hisoblang:

$$Q = \frac{U_{C0}}{U_g} \quad (5.15),$$

bu yerda U_{C0} - rezonans paytidagi kondensatordagi kuchlanish. Asllikning olingan qiymatlarini oldingi hisoblangan qiymatlar bilan taqqoslang.



5.4-rasm. C kondensatorga nisbatan ACHX va FCHX larni aniqlashning prinsipial sxemasi.



5.5-rasm. C kondensatorga nisbatan ACHX va FCHX larni aniqlash uchun qurilma elementlarini ulash sxemasi.

ACHX va FCHX larni L ga nisbatan aniqlash uchun 5.6 va 5.7 -rasmlarga muvofiq qurilma elementlarini ulanishida o'zgartishlarni amalga oshiring.

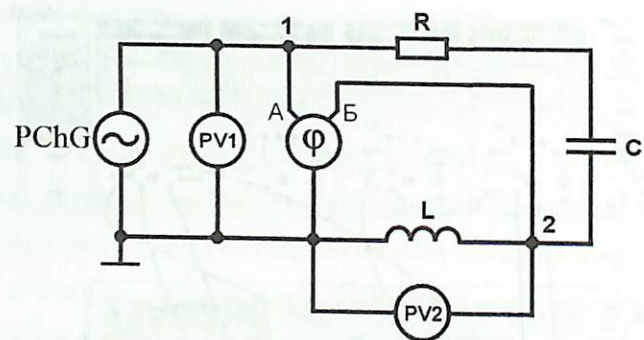
Past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g=1V$ qilib o'rnatib. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab taring.

5.2-jadvalda keltirilgan qiymatlarga muvofiq generator chastotasini o'rnatib. U_L ning qiymatini PV2 voltmetering ko'rsatishi bo'yicha 5.2-jadvalga kiriting. Generator kuchlanishi va induktiv chulg'amdagi kuchlanish orasidagi fazalar siljishini φ_L fazometr ko'rsatishi bo'yicha jadvalga yozing.

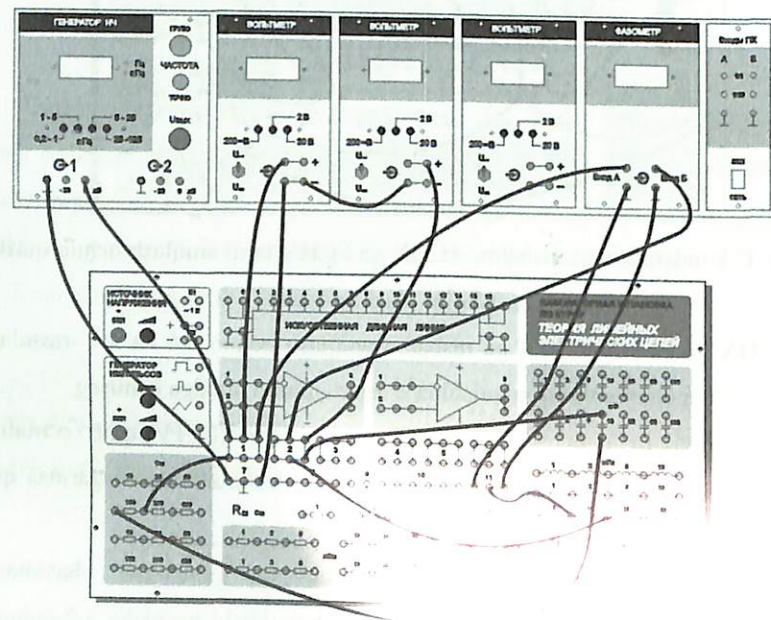
O'lchashlardan so'ng past chastotali generator chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang.

Generator chastotasining har bir qiymati uchun H_L ni hisoblang:

$$H_L = \frac{U_L}{U_g} \quad (5.15).$$



5.6-rasm. ACHX va FCHX larni L ga nisbatan aniqlashning pirinsipial sxemasi.



5.7-rasm. ACHX va FCHX larni L ga nisbatan aniqlashning pirinsipial sxemasi.

elementlarini ulash.

Hisoblashlar natijalarini 5.2-jadvalga kiritish.

$\varphi_L(\omega)$ bog'liqliklar grafiklarini quring. $H_L(\omega)$ grafigi bo'yicha tebranish konturining o'tkazish polosasini, aslligini va so'nishini aniqlang. Kontur parametrlarining olingan qiymatlarini yozing. Oldingi hisoblangan parametrlar bilan taqqoslang.

Konturning aslligini ushbu formula bo'yicha hisoblang:

$$Q = \frac{U_{L0}}{U_R} \quad (5.16),$$

bu yerda U_{L0} - rezonans paytida induktiv chulg'amdagi kuchlanish. Asllikning olingan qiymatlarini oldingi hisoblangan qiymatlari bilan taqqoslang.

Nazorat savollari:

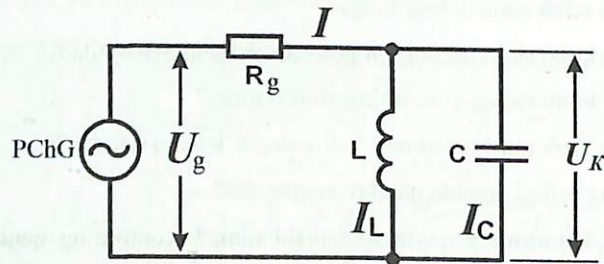
1. Zanjirning $H(j\omega)$ kompleks uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?
2. Zanjirning ACHX va FCHX ga ta'rif bering. Ular kompleks uzatish funksiyasi bilan qanday bog'langan?
3. Tebranish konturining o'tkazish polosasi deb nimaga aytiladi?
4. Tebranish konturining xususiy chastotasi nima?
5. Asllikning fizik ma'nosi nima? Asllikning o'lchami qanday?
6. Konturning aslligi amalda qanday aniqlanadi?
7. Tebranish konturining qayta sozlanishi nima? Konturning qanday turdagi qayta sozlanishlarini bilasiz? Ular orasidagi farq nimada?
8. Konturning zararli qarshilik isrofini fizik ma'nosi nimada?
9. Qanday sharoitda konturda rezonans yuzaga keladi?
10. Nima uchun ketma-ket tebranish konturidagi rezonans kuchlanishlar rezonansi deb ataladi?
11. Tebranish konturi kuchaytiruvchi element bo'la oladimi?
12. Rezonans chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
13. Rezonans osti chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
14. Rezonans yuqori chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
15. Rezonans osti chastotada konturning induktiv qarshiligi nima?
16. Rezonans yuqori chastotada konturning induktiv qarshiligi nima?
17. Rezonans osti chastotada konturda berilgan kuchlanish kuchlanishning kattaligi qanday?
18. Rezonans yuqori chastotada kontur orqali oqayotgan tok kattaligi haqida nima deyish mumkin?
18. Rezonans paytida kontur elementlarining reaktiv qarshilik munosabati qanday?

6 - Laboratoriya ishi.

Parallel tebranish konturini tadqiq qilish

Parallel tebranish konturida toklar rezonansi hodisasi yuzaga keladi. Toklar rezonansi kuzatiladigan f_0 chastotaga rezonans chastotasi deyiladi.

6.1-rasmda L va C reaktiv elementlardan iborat bo'lgan parallel tebranish konturining sxemasi tasvirlangan. R_g resistor generatorning ichki qarshiligini tavsiflaydi.



6.1-rasm. Parallel tebranish konturi.

Isrofsiz yoki kam isrofli kontur uchun rezonans chastotasi tenglamasi ketma-ket konturning tenglamasi bilan mos tushadi:

$$\omega_r = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6.1)$$

Isroflarni hisobga olgan holda rezonans chastotasida konturning ekvivalent qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{0E} \quad (6.2)$$

bu yerda R – yo'qotishlarni umumiy qarshi

Isrofsiz ideal kontur uchun $R_{0E} = \infty$ bo

uchun:

$$R_{0E} \approx \frac{\rho^2}{R} = Q^2 R \quad (6.2)$$

Rezonans paytida zanjimning tarmoqlanmagan qismidagi tok:

$$I_0 = \frac{U}{R_{0E}} = \frac{U}{Q^2 R} \quad (6.3)$$

Rezonans paytida konturning shoxobchalaridagi tokning ta'sir etuvchi qiymati:

$$I_{L0} = I_{C0} = \frac{U}{\rho} = \frac{U}{Q \cdot R} \quad (6.4)$$

Rezonans paytida kontur shoxobchalaridagi tok zanjimning tarmoqlanmagan qismidagi tokdan Q marta katta.

Parallel konturning rezonans xususiyatlariga tebranish konturi ulangan generatorning ichki qarshiligi sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Generatorning ichki qarshiligi ta'sirini baholash uchun konturning ekvivalent aslligi tushunchasi kiritiladi:

$$Q_E = \frac{Q}{1 + \frac{R_{0E}}{R_g}} \quad (6.5)$$

Mutloq va nisbiy o'tkazish polosasi:

$$\Delta f_A = \frac{f_0}{Q_E} = \frac{f_0}{Q} \cdot \left(1 + \frac{R_{0E}}{R_g}\right) \quad (6.6)$$

$$\delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} = d \cdot \left(1 + \frac{R_{0E}}{R_g}\right) \quad (6.7)$$

Tenglamalardan ko'rinadiki, parallel tebranish konturi umumiy holda xuddi shunday asllikdagi ketma-ket tebranish konturiga qaraganda ko'proq keng o'tkazish polosasiga ega va faqat $R_g = \infty$ bo'lganda ularning o'tkazish polosasi teng bo'ladi.

Parallel tebranish konturi ACHX konturdagi kuchlanishning U_K rezonans paytidagi me'yorlangan kontur kuchlanishiga U_{KR} nisbati quyidagicha:

$$\frac{U_K}{U_{KR}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_E^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (6.8)$$

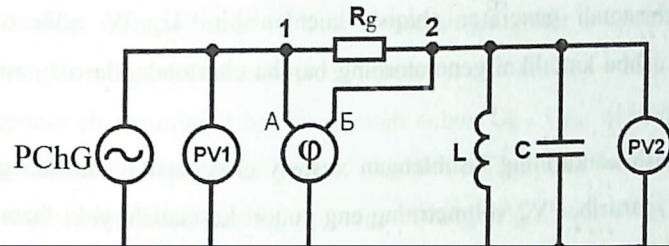
Parallel konturning FCHX quyidagicha:

$$\varphi(\omega) = \arctg \left[Q_E \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) \right] \quad (6.9)$$

Hisoblash qismi. Parallel tebranish konturi uchun $L = 10 \text{ mH}$, $C = 10 \text{ nF}$, $R = 10 \text{ Ohm}$, $R_g = 10 \text{ kOhm}$ bo'lganda 0.707 sathida xususiy ω_0 aylanish va f_0 davriy chastotalar, Q asllik, Q_E ekvivalent asllik, ρ xarakteristik qarshilik va Δf_A o'tkazish polosasini hisoblang. Hisoblash natijalarini 6.1-jadvalga kiriting.

6.1-jadval. Parallel tebranish konturining hisoblangan parametrlari.

| L | C | R | Rg | ω_0 | f_0 | Q | Q_E | ρ | Δf_A |
|---|---|---|----|------------|-------|-----|-------|--------|--------------|
| | | | | | | | | | |



Hisoblash qismi. Parallel tebranish konturi uchun $L=10$ mH, $C=10$ nF, $R=10$ Om, $R_g=10$ kOm bo'lganda 0.707 sathida xususiy ω_0 aylanish va f_0 davriy chastotalar, Q asllik, Q_E ekvivalent asllik, ρ xarakteristik qarshilik va Δf_A o'tkazish polosasini hisoblang. Hisoblash natijalarini 6.1-jadvalga kiriting.

6.1-jadval. Parallel tebranish konturining hisoblangan parametrlari.

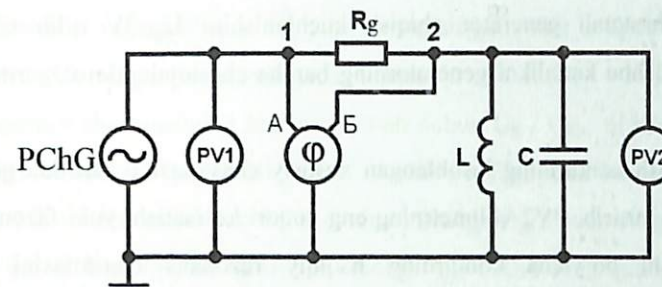
| L, | C, | R, | R _g , | ω_0 , | f ₀ , | Q | Q _E | ρ , | Δf_A |
|----|----|----|------------------|--------------|------------------|---|----------------|----------|--------------|
| mH | nF | Om | kOm | rad/s | kHz | | | Om | 0,707 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | | | | | | |

Tajriba qismi. Tajriba qismida quyidagilar bajarilishi zarur:

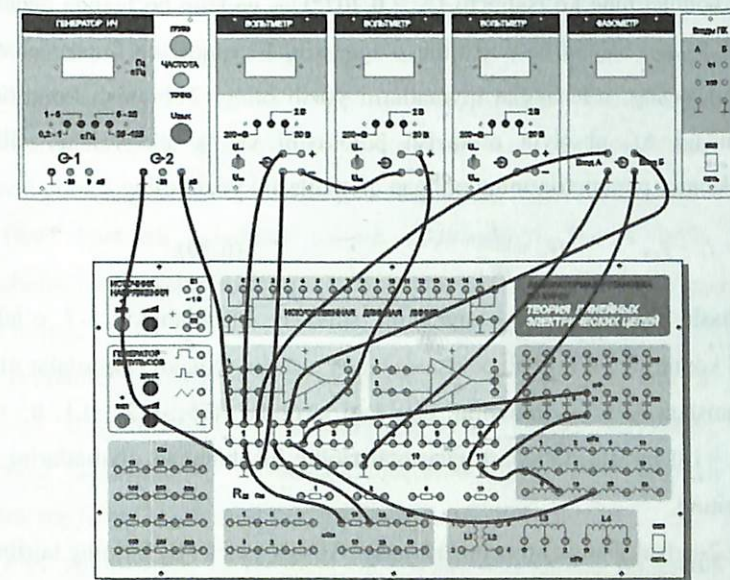
- Tebranish konturining Δf_A 0.707 o'tkazish polosasi va f_0 rezonans chastotasini aniqlang;
- O'lchash chastotalarining qiymatini hisoblang;
- ACHX va FCHX qiymatlarini aniqlang;
- ACHX va FCHX larning grafiklarini quring;
- Tebranish konturining Δf_A 0.707 o'tkazish polosasini va Q_E ekvivalent asllikni aniqlang;
- Tajriba natijalarini hisoblashlar bilan taqqoslang;
- Generatorning ichki qarshiligini konturning ekvivalent aslligiga ta'sirini aniqlang.

6.2-rasmda o'lchash o'tkazishni aniqlash uchun qurilma elementlarini ulash sxemasi (R_g=10 kOm). Past chastotali generator gamonik tebranishlar (0 dB). U_g generatorning chiqish kuchlanishi (0 dB). U_k kuchlanish PV2 voltmetr yordamida o'lchash uchun ishlatiladi.

Qurilma elementlarini ulash sxemasi (R_g=10 kOm). O'lchashda xatolik kamroq bo'lishi uchun PV1 va PV2 voltmetr chiqimini umumiy nuqtaga «L» ulash kerak («Laboratoriya qurilmasining tekshirish tavsifi» ga qarang).



6.2-rasm. Parallel tebranish konturining ACHX va FCHX larini aniqlashning prinsipial sxemasi.



6.3-rasm. Parallel tebranish konturining ACHX va FCHX larini aniqlash uchun qurilma elementlarini ulash sxemasi (R_g=10 kOm).

PV1 voltmetr o'lchash chegarasini 20 V, PV2 voltmetrni ham 20 V (o'lchash jarayonida boshqasiga o'zgarishi mumkin) qilib o'rnatish. Voltmetrlarning ish rejimlarini o'zgartirish tumblerini (U~) o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash holatiga o'rnatish. Past chastotali generator chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang. Yig'ilgan sxemani o'qituvchiga ko'rsating. Yig'ilgan sxemani o'qituvchi tekshirganidan so'ng qurilmani tarmoqqa ulang.

Past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g=3V$ qilib o'rning. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab turing.

Tebranish konturining hisoblangan xususiy chastotasi f_0 atrofida generator chastosini o'zgartirib, PV2 voltmerning eng yuqori ko'rsatishi yoki fazometrnin nol ko'rsatishi bo'yicha konturning haqiqiy rezonans chastotasini toping. O'lchangan $f_{0\text{'lch}}$ qiymatini yozing. PV2 voltmetr bo'yicha rezonans paytidagi U_{KR} kontur kuchlanishini yozing.

PV2 voltmerning ko'rsatgichi $U_K = 0.707 \cdot U_{KR}$ ga teng bo'lganda generator chastotasini $f_{0\text{'lch}}$ baland va past qilib o'zgartirib, f_Y yuqori va f_P past chastota chegaralarini toping, o'lchangan qiymatlarni yozib oling. Tebranish konturining 0.707 sathidagi Δf_A absalyut o'tkazish polosasini va Q_E ekvivalent aslligini hisoblang. Kontur parametrlarining olingan qiymatlarini yozib oling.

$$\Delta f_A = f_Y - f_P, \quad Q_E = \frac{f_0}{\Delta f_A} \quad (6.10).$$

O'lchash chastotalar $f_{0\text{'lch}}$ qiymatini shunday hisoblangki, 5-7 o'lchash chastotalari konturning o'tkazish polosasiga mos tushsin. Qolgan chastotalar nisbiy qayta sozlanishga $\Delta f/f_{0\text{'lch}}$ muvofiq, quyidagi tartibda: -0.5; -0.2; -0.1; 0; +0.1; +0.2; +0.5; +1.0 bo'lsin. O'lchash chastotalarining hisoblangan qiymatlarini 6.2-jadvalga kiriting.

6.2-jadval. Parallel tebranish konturining $R_g=10 \text{ kOm}$ tajribaviy o'lchash natijalari.

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $f_{0\text{'lch}}$, kHz | | | | | | | | | |
| $U_K(\omega)$, V | | | | | | | | | |
| U_K / U_{KR} | | | | | | | | | |
| $H(\omega)$ | | | | | | | | | |
| $\varphi_K(\omega)$, grad. | | | | | | | | | |

Generator chastotasini 6.2-jadvalda keltirigan qiymatlarga mos holda o'rning. PV2 voltmetr ko'rsatishi bo'yicha U_K ning qiymatini 6.2-jadvalga kiriting. Generator kuchlanishi va konturdagi tok orasidagi faza siljishini φ_K fazometr ko'rsatkichi bo'yicha jadvalga yozing.

O'lchashlar tugagandan so'ng past chastotali generator chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang.

Generator chastotasining har bir qiymati uchun U_K / U_{KR} ni hisoblang. Har bir chastota $H(\omega)=U_K/U_g$ qiymati uchun uzatish koeffitsiyenti moduli qiymatini hisoblang. Hisoblash natijalarini 6.2-jadvalga kiriting. Tajribadan olingan U_K/U_{KR} , $H(\omega)$ va $\varphi_K(\omega)$ bog'liqliklar grafligini quring. U_K / U_{KR} ning grafigi bo'yicha tebranish konturining o'tkazish polosasini va ekvivalent aslligini aniqlang. Kontur parametrining olingan qiymatlarini yozing. Oldin hisoblangan parametrlar bilan taqqoslang.

Generator ichki qarshiligining konturning ekvivalent aslligiga ta'sirini aniqlash uchun $R_g=5 \text{ kOm}$ ni o'rning. Buni amalga oshirish uchun qurilma elementlarini ulashda o'zgarishlar qiling (10 kOm rezistor o'miga 5 kOm rezistorini ulang).

Past chastotali generator chiqish kuchlanishini $U_g=3V$ qilib o'rning. Keyinchalik ushbu kattalikni generatorning barcha chastotalarida o'zgaras qilib ushlab turing.

Tebranish konturining hisoblangan xususiy chastotasi f_0 atrofida generator chastosini o'zgartirib, PV2 voltmerning eng yuqori ko'rsatishi bo'yicha konturning $f_{0\text{'lch}}$ haqiqiy rezonans chastotasini toping. PV2 voltmetr bo'yicha rezonans paytidagi U_{KR} kontur kuchlanishini yozing.

PV2 voltmerning ko'rsatgichi $U_K = 0.707 \cdot U_{KR}$ ga teng bo'lganda generator chastotasini $f_{0\text{'lch}}$ baland va past qilib o'zgartirib, f_Y yuqori va f_P past chastota chegaralarini toping, o'lchangan qiymatlarni yozib oling.

O'lchashlar so'ngida past chastotali generatorning chiqish kuchlanishi rostlagichini soat miliga qarshi oxirigacha burang.

Tebranish konturining 0.707 sathidagi Δf_A absalyut o'tkazish polosasini va Q_E ekvivalent aslligini hisoblang. Kontur parametrlarining olingan yangi qiymatlarini yozib oling.

Ularni $R_g=10 \text{ kOm}$ bo'lgandagi tajriba natijasida olingan parametrlar bilan solishtiring.

Generator ichki qarshiligining parallel tebranish konturi parametrlariga ta'siri haqida xulosa chiqaring.

Nazorat savollari:

1. Zanjirning $H(j\omega)$ kompleks uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?
2. Zanjirning ACHX va FCHX ga ta'rif bering. Ular kompleks uzatish funksiyasi bilan qanday bog'langan?
3. Tebranish konturining o'tkazish polosi deb nimaga aytiladi?
4. Tebranish konturining xususiy chastotasi nima?
5. Asllikning fizik ma'nosi nima? Asllikning o'lchami qanday?
6. Konturning aslligi amalda qanday aniqlanadi?
7. Tebranish konturining qayta sozlanishi nima? Konturning qanday turdagi qayta sozlanishlarini bilasiz? Ular orasidagi farq nimada?
8. Qanday sharoitda konturda rezonans yuzaga keladi?
9. Nima uchun parallel tebranish konturidagi rezonans toklar rezonansi deb ataladi?
10. Tebranish konturi kuchaytiruvchi element bo'la oladimi?
11. Rezonans chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
12. Rezonansdan past chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
13. Rezonansdan yuqori chastotada konturning qarshilik tavsifi qanday?
14. Konturning xarakteristik qarshiligi nima?
15. Rezonans paytida kontur shoxobasi bo'yicha qanday fazalar siljishining kattaligi qanday?
16. Rezonans paytida zanjirning tarmoqlaridagi qanday qayotgan tok kattaligi haqida nima deyish mumkin?
17. Generatorning ichki qarshiligi kontur parametrlariga qanday ta'sir qiladi?

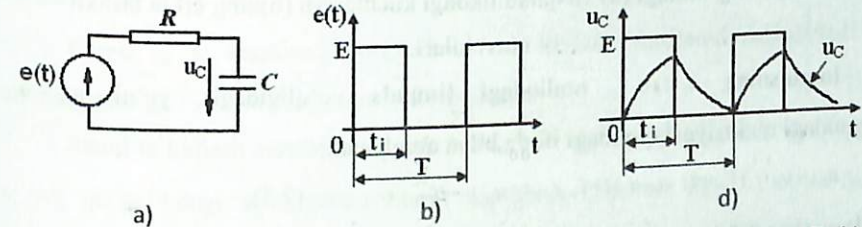
7-Laboratoriya ishi.

RL va RC zanjirlardagi o'tkinchi jarayonlarni tadqiq etish

Ishning maqsadi: Ketma-ket RL va RC-zanjirdagi o'tish jarayonlarini tekshirish, bunday zanjirlar parametrlarining o'tkinchi jarayon xarakteriga ta'sirini tajribada kuzatish.

1. Qisqa nazariy ma'lumotlar

RC-zanjirdagi o'tish jarayoni 7.1-rasmdagi sxema yordamida tekshiriladi. Kirish signali U_{kir} generatordan (kuchlanish manbasidan) beriladi va u bir qutbli to'g'ri burchakli impulsning ketma-ketligidan iborat.



7.1.-rasm. Tekshirilayotgan RC-zanjir (a), kirishdagi kuchlanishning shakli (b), sig'imdagi kuchlanish (d).

7.1, a-rasmdagi RC-zanjirning kirishidagi kuchlanish Kirxgofning ikkinchi qonuniga muvofiq quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$e(t) = E = u_R + u_C.$$

Agar $u_R = i * R$ va $i = C \frac{du_C}{dt}$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda RC-zanjirdagi

o'tkinchi jarayon quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

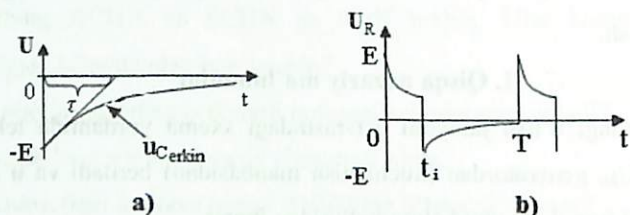
$$E = R * C \frac{du_C}{dt} + u_C \quad (7.1)$$

unga quyidagi yechim mos keladi:

$$u_C = u_{C_{magn}} + u_{C_{erkin}} = E - E * \exp(-t / \tau), \quad u_R = E * \exp(-t / \tau) \quad (7.2),$$

bunda t_i - impuls kengligi, $\tau = RC$ kattalik RC-zanjirning vaqt doimiysi, uning qiymati zanjirdagi tok va kuchlanish erkin tashkil etuvchilarining miqdoriari o'zlarining boshlang'ich miqdorlaridan $e = 2.73$ marta kamayishlarigacha ketgan

vaqt miqdoriga teng. Vaqt doimiysi τ ning qiymatini grafik usulda aniqlash mumkin. Buning uchun erkin tashkil etuvchining ixtiyoriy nuqtasidan, xususan, grafikning boshlang'ich nuqtasidan o'tkaziladi. Shu nuqtaning abstsissa o'qiga proektsiyasi (0 nuqta) va urunmaning vaqt o'qi bilan kesishgan nuqtasi orasidagi uzunlik vaqt doimiysi τ ga teng.



7.2-rasm. Sig'imdagi (a) va qarshilikdagi kuchlanish (b)ning erkin tashkil etuvchilari.

Impulsning $t_i \leq t \leq T$ oraliqidagi (impuls yo'qligidagi), ya'ni $u_{kir} = 0$ bo'lgandagi reaksiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

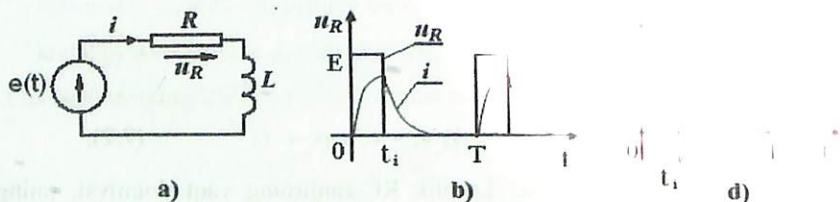
$$u_C = u_C(t_i) * \exp(-(t-t_i)/\tau), \quad u_R = -u_C \quad (7.3),$$

bunda $u_C(t_i) = E * (1 - \exp(-t_i/\tau))$.

Sig'imdagi u_C va qarshilikdagi u_R kuchlanishlarning grafiklari (7.3) ifodalarga muvofiq 7.2-rasmda keltirilgan.

RL-zanjirning (7.3a-rasm) sxemasida ilgariidek (7.1b-rasm) signal ta'sir etadi. Bunda zanjirdagi o'tkinchi jarayon quyidagi differentsial tenglama bilan ifodalanadi:

$$u_{kir} = u_R + u_L = R * i + L \frac{di}{dt}.$$



7.3.-rasm. RL-zanjir sxemasi (a), qarshilikdagi tok va kuchlanish (b) va induktivlikdagi kuchlanish (d) grafiklari.

Bu differentsial tenglamaga $R + Lp = 0$ tavsifiy tenglama mos keladi. Uning yechimi (ildizi) esa $p = -R/L = -1/\tau$ bo'ladi. Bunda $\tau = L/R$ qiymat RL-zanjirining vaqt doimiysi deyiladi.

Impulsning $0 \leq t \leq t_i$ oraliq'ida qarshilikdagi u_R va induktivlikdagi u_L kuchlanishlar shakllari impuls yo'qligidagi (zanjir kirishida qisqa tutashuvga ekvivalent bo'lgan) vaziyatga mos keladi:

$$u_L = E * \exp(-t/\tau); \quad u_R = E - u_L = E * (1 - \exp(-t/\tau)) \quad (7.4).$$

Impulsning $t_i \leq t \leq T$ oraliq'ida esa ($u_{kir} = 0$) quyidagicha ifodalanadi:

$$u_R = u_R(t_i) * \exp(-(t-t_i)/\tau), \quad u_L = -u_R \quad (7.5),$$

bunda $u_R(t_i) = E * (1 - \exp(-t_i/\tau))$.

Bunda u_R, u_L kuchlanishlar (7.4) va (7.5) ifodalar yordamida aniqlanadi va ularning grafigi 7.3b- va 7.3d-rasmda keltirilgan.

Shuni ta'kidlash zarurki, yuqorida keltirilgan sig'imdagi u_C , induktivlikdagi u_L va qarshilikdagi u_R kuchlanishlarni hisoblash ifodalari faqat $\tau \leq T/6$ vaqt doimiysi uchun o'rinalidir, ushbu oraliqda bundan keyingi impuls kelganga qadar o'tkinchi jarayon tugaydi.

Impuls kengligi $t_i = T/2$ bo'lgan to'g'ri burchakli musbat impulsning davriy ketma-ketligiga mos kelgan zichlik $q = t_i/T$ uchun vaqt doimiysi $\tau \leq T/6$ bo'lganda RC-zanjirda $u_C(t_i) \cong E$ va RL-zanjirda $u_R(t_i) \cong E$ bo'ladi, ya'ni impulsning oxirgi onigacha o'tkinchi jarayon deyarli tugaydi. Shu sababli hisoblash tenglamalari soddalashadi:

RC-zanjir uchun $t_i \leq t \leq T$ bo'lganda

$$u_C = E * \exp(-(t-t_i)/\tau); \quad u_R = -u_C \quad (7.6a)$$

RL-zanjir uchun $t_i \leq t \leq T$ bo'lganda

$$u_R = E * \exp(-(t-t_i)/\tau); \quad u_L = -u_R \quad (7.7a)$$

Agar $t_i \leq t \leq T$ oraliqda hisoblash boshi qilib $t_i = 0$ qabul qilinsa, (7.6a) va (7.7a) ifodalar soddalashadi:

RC-zanjir uchun

$$u_C = E \cdot \exp(-t/\tau); \quad u_R = -u_C \quad (7.6b).$$

RL-zanjir uchun

$$u_R = E \cdot \exp(-t/\tau); \quad u_L = -u_R \quad (7.7b).$$

2. Dastlabki hisoblashlar

2.1. RC-zanjirning (7.1a-rasm) vaqt doimiysini $\tau = RC$ ifoda yordamida hisoblang. R va C larning qiymatlari 7.1-jadvaldagi variant bo'yicha aniqlansin.

7.1-jadval. RC-zanjir elementlarining parametrlari.

| Variant № | E, V | C, nF | R, kOm | Variant № | E, V | C, nF | R, kOm |
|-----------|------|-------|--------|-----------|------|-------|--------|
| 1 | 0,2 | 10 | 20 | 6 | 0,3 | 50 | 7 |
| 2 | 0,4 | 20 | 10 | 7 | 0,5 | 60 | 5 |
| 3 | 0,6 | 30 | 7 | 8 | 0,7 | 70 | 3 |
| 4 | 0,8 | 40 | 5 | 9 | 0,9 | 80 | 2 |
| 5 | 1,0 | 50 | 3 | 10 | 1,0 | 100 | 1 |

2.2. RL-zanjir (7.3-rasm) uchun vaqt doimiysini $\tau = L/R$ ifoda yordamida hisoblang. R va L larning qiymatlari 7.2-jadvaldagi variant bo'yicha aniqlansin.

7.2-jadval. RL-zanjir elementlarining parametrlari.

| Variant № | E, V | L, mH | R, kOm | Variant № | E, V | L, mH | R, kOm |
|-----------|------|-------|--------|-----------|------|-------|--------|
| 1 | 0,2 | 10 | 100 | 6 | 0,3 | 50 | 300 |
| 2 | 0,4 | 20 | 200 | 7 | 0,5 | 60 | 500 |
| 3 | 0,6 | 30 | 300 | 8 | 0,7 | 70 | 700 |
| 4 | 0,8 | 35 | 400 | 9 | 0,9 | 80 | 800 |
| 5 | 1,0 | 50 | 500 | 10 | 1,0 | 100 | 1000 |

2.3. RC-zanjirning (7.1a-rasm) 7.1-jadvaldan olingan R , C , E parametrlari qiymatlari hamda to'g'ri burchakli impulsning chastotasi $f=2$ kHz va zichligi

$q=1/T=0.5$ uchun sig'imdagi $u_C(t)$ va qarshilikdagi $u_R(t)$ kuchlanishlarning vaqtga bog'liqligini $t=0; 0.1T; 0.2T; 0.5T; 0.6T; 0.7T; T$ nuqtalar uchun hisoblang. Hisoblash natijalarini 7.3-jadvalga kiriting.

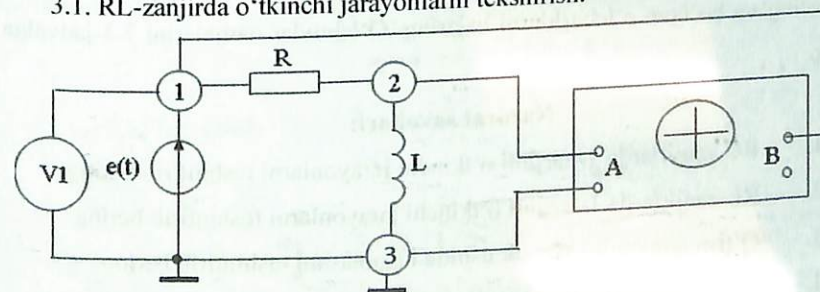
2.4. RL-zanjirning (7.3a-rasm) 7.2-jadvaldan olingan R , L , E parametrlari qiymatlari hamda to'g'ri burchakli impulsning chastotasi $f=2$ kHz va zichligi $q=1/T=0.5$ uchun induktivlikdagi $u_L(t)$ va qarshilikdagi $u_R(t)$ kuchlanishlarning vaqtga bog'liqligini $t=0; 0.1T; 0.2T; 0.5T; 0.6T; 0.7T; T$ nuqtalar uchun hisoblang. Hisoblash natijalarini 7.3-jadvalga kiriting.

7.3-jadval. Boshlang'ich hisoblash va o'lchashlar natijalari.

| Formularlar | | RC-(7.2); RL-(7.4). | | | | RC-(7.3); RL-(7.5). | | | |
|-------------|--------|---------------------|------|------|------|---------------------|------|------|---|
| t | | 0 | 0.1T | 0.2T | 0.5T | 0.5T | 0.6T | 0.7T | T |
| t, mks | | | | | | | | | |
| u_R, V | Hisob. | | | | | | | | |
| | O'lch. | | | | | | | | |
| u_L, V | Hisob. | | | | | | | | |
| | O'lch. | | | | | | | | |
| u_C, V | Hisob. | | | | | | | | |
| | O'lch. | | | | | | | | |

3. Ishni bajarish tartibi

3.1. RL-zanjirda o'tkinchi jarayonlarni tekshirish.



7.4-rasm. RL-zanjirda o'tkinchi jarayonlarni tekshirish sxemasi.

7.4-rasmda keltirilgan sxemani yig'ing va uning elementlari parametrlarini tanlangan variant raqamiga ko'ra (7.3-jadval) o'rnatib.

Ushbu 7.4-rasmdagi sxema RL-zanjirni o'zgaras E kuchlanish manbasiga ulangandagi ($0 \leq t \leq t_1$ oraliqda) hamda RL-zanjirning qisqa tutashuv rejimidagi ($t_1 \leq t \leq T$ oraliqda) o'tkinchi jarayonlarning tadqiqotini olib borish imkonini beradi. Sxemaning 7.4-rasmdagi ulanishida induktivlikdagi $u_L(t)$ va sxema kirishidagi $u_{kir}(t) = e(t)$ kuchlanishlarni ostsilloqraf ekranida kuzatish mumkin. Qarshilikdagi kuchlanish $u_R(t)$ ning ostsilloqrammasini ko'rish uchun esa 7.4-rasmdagi sxemada induktivlik bilan qarshilikning o'rinlarini almashtirish zarur.

Ostsilloqraf A va B kanallarining yoyish tezligi va kuchaytirilishini o'zgartirib, uni shunday sozlanishini bajarishingiz zarurki, unda ostsilloqrama masshtablarini o'zgaras saqlagan holda ostsilloqraf ekranidan egri chiziqlarni chizib oling va zarur bo'lgan o'lchashlarni bajaring. O'lchovlar natijalarini 7.3-jadvalga kiriting.

3.2. RC-zanjirda o'tkinchi jarayonlarni tekshirish.

RC-zanjirda o'tish jarayonlarini tekshirish uchun 7.4-rasmdagi sxemada induktivlik L ni sig'im C ga almashtirish zarur. Yangi sxema elementlarining parametrlari 7.1-jadvaldagi variant bo'yicha o'rnatiladi.

Ostsilloqraf A va B kanallarining yoyish tezligi va kuchaytirilishini o'zgartirib, uni shunday sozlanishini bajarishingiz zarurki, unda ostsilloqrama masshtablarini o'zgaras saqlagan holda ostsilloqraf ekranidan egri chiziqlarni chizib oling va bo'lgan o'lchashlarni bajaring. Natijalarini 7.3-jadvalga kiriting.

Nazorat savollari

1. RC zanjirlarda 1- tartibli o'tkinchi jarayonlarni tekshirish usulini bayon qilib bering.
2. RL zanjirlarda 1-tartibli o'tkinchi jarayonlarni tekshirish usulini bayon qilib bering.
3. O'tish jarayonini klassik usulda hisoblashni tushuntirib bering.
4. Kommutatsiya qonunlarini aytib bering.

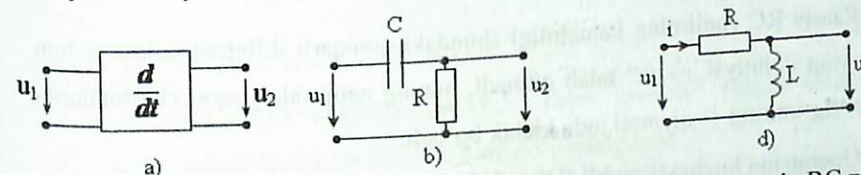
8- Laboratoriya ishi.

Differentsiallovchi va integrallovchi zanjirlarni tadqiq etish

Ishning maqsadi: Parametrlari va kirishdagi signal ko'rinishlari turlicha bo'lgan aktiv va passiv zanjirlarni kompyuterda Electronics Workbench dasturida tajriba yo'li bilan tekshirish.

1. Nazariy ma'lumotlar

Differentsiallovchi zanjir (DZ) deb, chiqishdagi kuchlanish kirishdagi kuchlanishdan olingan hosilaga to'g'ri proporsional bo'lgan $U_2 = \alpha \frac{du_1}{dt}$ to'rtqutblikka aytiladi, bu yerda α - o'zgaras koeffitsiyent.



8.1-rasm. Differentsiallovchi zanjirlar: a - umumiy belgilanishi, b- passiv RC zanjir d - passiv RL zanjir.

Passiv va aktiv DZ- lar mavjud. Oddiy ikki elementli RC va RL zanjirlar (8.1b,d- rasmlar) ma'lum shartlar bajarilganda passiv DZ bo'ladi.

Quyidagi shartni qanoatlantiruvchi RC zanjirlar (8.1b-rasm) ancha keng qo'llanadi:

$$u_1 = u_C + u_R = \frac{1}{C} \int idt + R * i \quad (8.1)$$

$u_R \ll u_C$ bo'lganda

$$\frac{du_C}{dt} \approx \frac{i}{C} = \frac{iR}{RC} = \frac{u_R}{RC};$$

$$u_2 = u_R \approx RC \frac{du_C}{dt} = \tau \frac{du_C}{dt},$$

bu yerda $\tau = RC$ - zanjirning vaqt doimiysi.

$U_R \ll U_C$ bo'lganda zanjirning differentsiallovchi bo'lishi ifodadan ko'rinadi.

bu holda zanjirning vaqt doimiysi signal uzunligidan ancha kichik ($\tau \ll t_i$).

O'rnatilgan garmonik holatda RC zanjirning kompleks uzatish funksiyasi (8.1b- rasm).

$$H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = H(j\omega) * e^{j\varphi(\omega)} \quad (8.2)$$

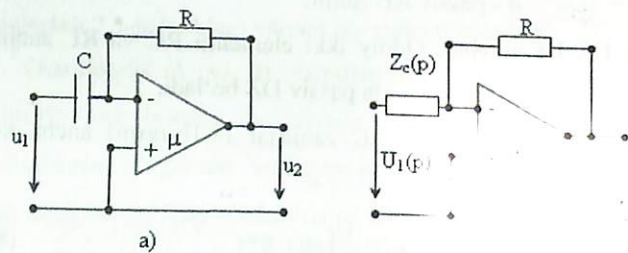
$\omega RC \ll 1$; $\omega\tau \ll 1$; $\tau \ll \frac{1}{\omega}$; $\tau \ll T$ bo'lganda RC DZ ning kompleks uzatish funksiyasi:

$$H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} \approx j\omega RC = H(j\omega) * e^{j\varphi(\omega)} \quad (8.3)$$

bu yerda $H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} \approx \omega RC = \omega\tau$ - zanjirning ACHX si, $\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ - zanjirning FCHX si.

Passiv RC zanjirning kamchiligi shundaki qoniqarli differentsiallash uchun kichik vaqt doimiysi $\tau = RC$ talab qilinadi, buning natijasida yuqori chastotalarda $\omega = 2\pi f$ sig'imning C qiymati juda kichik bo'ladi.

Operatsion kuchaytirgichli (OK) aktiv DZ ning (8.2a- rasm) differentsiallash xatoligi ancha kichik.



8.2.-rasm. OK li aktiv DZ (a) va uni operator (b) shaklida ko'rsatilgan.

Operator uzatish funksiyasi o'rin almashish (8.3) shaklida ko'rsatilgan.

$$H_a(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{-\mu}{Y_1 + (1 + \mu) * G} \quad (8.4)$$

bu yerda μ - OK ning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti;

$$Y_1 = Cp; Y_2 = G = 1/R.$$

DZ tarmoqlarining operatsion o'tkazuvchanliklari:

$$H_a(p) = \frac{-\mu * Cp}{Cp + (1 + \mu) * G} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} \quad (8.4)$$

Zanjirning xarakteristik tenglamasi (8.2a- rasm).

$$F_2(p) = 0; Cp + (1 + \mu) * G = 0 \quad (8.5)$$

Xarakteristik tenglamalarni ildizi:

$$p_1 = -\frac{(1 + \mu) * G}{C} = -\frac{1 + \mu_0}{RC} \quad (8.6)$$

Aktiv RC DZ vaqt doimiysi

$$\tau_a = \frac{1}{|p_1|} = \frac{RC}{1 + \mu_0} = \frac{\tau}{1 + \mu_0} \quad (8.7)$$

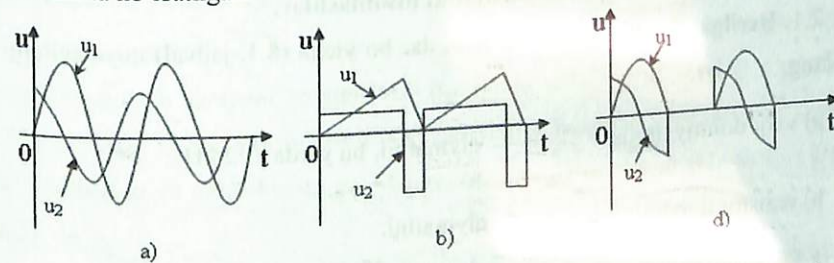
$\mu \approx 10^8$ bo'lganda passiv RC zanjirning vaqt doimiysi ancha kichik. (8.5) dan kelib chiqadiki, $\mu \rightarrow \infty$ bo'lganda aktiv DZ ning (8.2a- rasm) kompleks uzatish funksiyasi:

$$H_a(j\omega) \approx -j\omega RC = -j\omega\tau \quad (8.8)$$

(8.8) ifoda passiv zanjirnikidan (8.3.) faqat "manfiy" belgisi bilan farq qiladi, buning sababi invers kirishli OK ning qo'llanishidir.

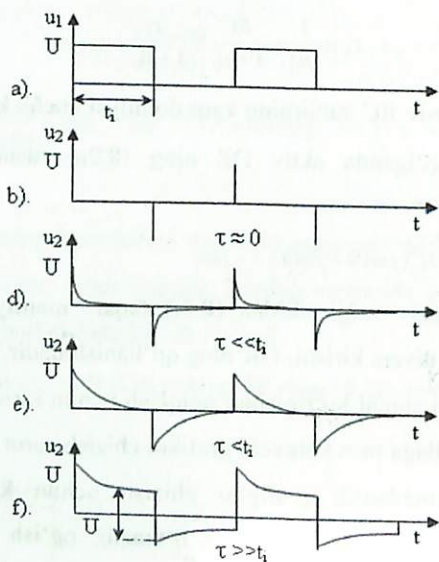
DZ chiqishdagi signal ko'rinishini aniqlash uchun kirishdagi signaldan vaqt bo'yicha olingan hosilaga mos keluvchi grafikni chizish zarur.

Chiqishdagi kuchlanish grafigini chizish uchun kirishdagi kuchlanish grafigining bir nechta nuqtasiga urinma o'tkazib, og'ish burchagi tangensiga proporsional bo'lgan oniy qiymatlar grafigini chizish kerak. Grafiklar namunasi 8.3.-rasmda ko'rsatilgan.



8.3.-rasm. Kirishdagi u_1 va chiqisdagi u_2 kuchlanishlarning vaqt diagrammalari.

Zanjir vaqt doimiysi $\tau = RC$ ning turlicha qiymatlarida zanjir kirishiga bir qutbli to'g'ri burchakli impulslar davriy ketma-ketligi ko'rinishidagi kuchlanish u_1 berilgan holda (8.1b- rasm) chiqishidagi kuchlanish u_2 grafigi 8.4- rasmda ko'rsatilgan. Impuls texnikasida $\tau \ll t_i$ (8.4d- rasm) va $\tau \gg t_i$ (8.4f- rasm) bo'lgandagi ish holatlari keng tarqalgan. Birinchi holda (8.4d- rasm). DZ to'rtburchakli impulsni qisqa bipolyar impulsarga aylantirish uchun xizmat qiladi. Ikkinchi holda (8.4f- rasm) DZ ajratuvchi zanjir bo'lib xizmat qiladi.



8.4.-rasm. DZ kirishi va chiqishidagi kuchlanishning vaqt diagrammasi.

2. Dastlabki hisoblar

2.1. Berilgan boshlang'ich ma'lumotlar bilan quyidagilarni hisoblang:

a) vaqt doimiysining $\tau = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$ qiymatini, bu

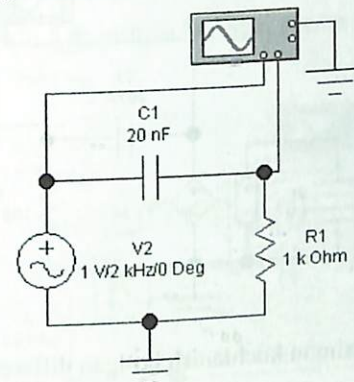
b) rezistor qarshiligining $R = \frac{\tau}{C}$ qiymatini.

2.2. Agar kirishdagi kuchlanish: a) sinusoidal bo'lsa; b) arrasimon d) to'g'riburchakli impulslar davriy ketma-ketligi ko'rinishida bo'lsa, ideal DZ (8.2.- rasm) chiqishidagi kuchlanishning taxminiy ko'rinishini chizing.

3. Ishni bajarish tartibi

3.1. Garmonik ta'sir ostidagi passiv differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish uchun Electronics Workbench dasturi ishga tushiriladi.

Electronics Workbench dasturida 8.5a-rasmdagi sxema yig'iladi. 8.1- jadval bo'yicha sig'imning talab qilingan parametrlari va dastlabki hisoblashda aniqlangan qarshilikning qiymatlari sxemada o'rnatiladi.



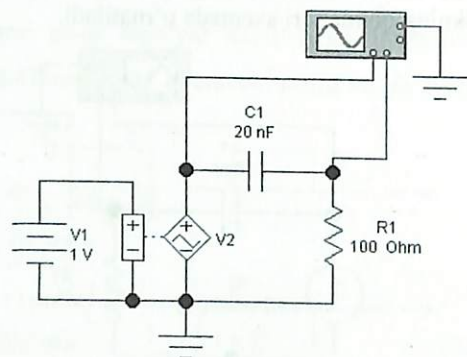
8.5-rasm. Kirishida sinusoidal kuchlanish bo'lgan differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish sxemasi.

Ostilloqraf piktogrammasi bo'yicha sichqonchani chap klavishasini 2 marta bosish yo'li bilan ostilloqraf modelining oldingi platasi ochiladi. Modellash (emulyatsiya) jarayoni ishga tushiriladi va ostilloqraf modelining ekranida modellash natijasi kuzatiladi. Ostilloqrogramma ostilloqraf ekranini to'ldirgan (gorizontal bo'yicha) vaqtda sichqonchani chap klavishi bilan belgisini bosish orqali modellash jarayoni to'xtatib turiladi yoki belgisini bosish orqali modellash jarayoni to'xtatiladi. Bu holda ostilloqraf modeli ekranidagi tasvir to'xtaydi va eng yaxshi tasvir boshqaruvchi klavishalar yordamida sozlanadi. DZ kirishidagi va chiqishidagi kuchlanish ostilloqrogrammalarini (U_1 va U_2) chizib oling.

R qarshiligining qiymatini 2 marta oshirib va kamaytirib DZ vaqt doimiysi τ oshganda va kamayganda chiqishdagi kuchlanish U_2 ostilloqrogrammalarini chizib oling.

3.2. Kirishga arrasimon kuchlanish ko'rinishidagi ta'sir berilganda passiv differentsiallovchi RC zanjirini tekshirish.

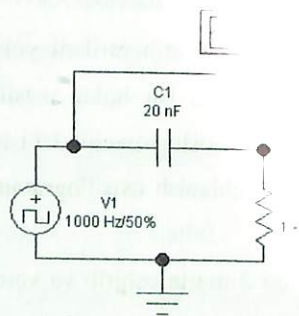
Kirishiga arrasimon ko'rinishli kuchlanish berilayotgan passiv differentsial RC zanjirni tekshirish uchun 8.6- rasmdagi sxema Electronics Workench dasturida yig'iladi. So'ngra 3.1. band bo'yicha harakatlar takrorlanadi.



8.6-rasm. Kirishida arrasimon kuchlanish bo'lgan differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish sxemasi.

3.3 Kirishiga musbat to'g'riburchakli impulslar davriy ketma-ketligi ko'rinishidagi kuchlanish berilganda passiv differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish.

Kirishiga musbat to'g'riburchakli impulslar davriy ketma-ketligi ko'rinishidagi kuchlanish berilganda passiv differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish uchun 8.7- rasmdagi sxema Electronics Workbench dasturida yig'iladi.

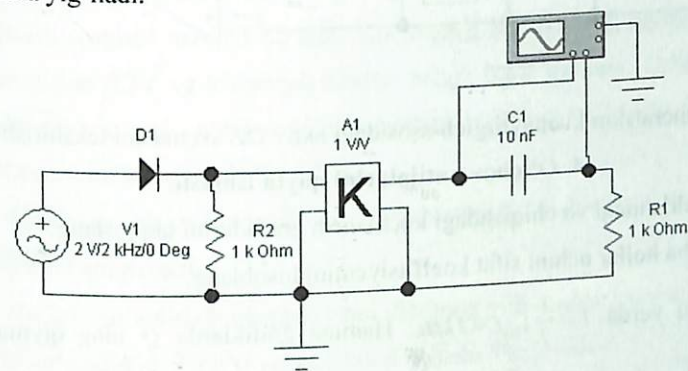


8.7-rasm. Kirishiga musbat to'g'riburchakli impulslari ketma-ketligi berilgan differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish.

So'ngra, sig'imning berilgan qiymatida va qarshilikni hisoblangan qiymatida 3.1 band bo'yicha harakatlar takrorlanadi.

3.4. Kirishiga musbat yarimsinusoidal impulslar davriy ketma-ketligi ko'rinishidagi kuchlanish berilganda passiv differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish.

Kirishiga musbat yarimsinusoidal impulslar davriy ketma-ketligi berilganda passiv DZ ni tekshirish uchun 8.8- rasmda berilgan sxema Elektronics Workbench dasturida yig'iladi.



8.8-rasm. Kirishiga yarimsinusoidal impulslar berilganda differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish.

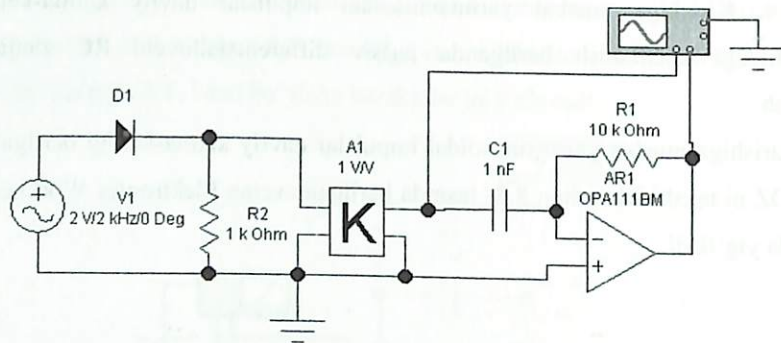
So'ngra, sig'imning berilgan qiymatida (8.1.-jadvalga qarang) va qarshilikning hisoblangan qiymatida 3.1. bandagiga o'xshash ketma-ketlikda tekshirishlar bajariladi.

3.4. Aktiv differentsiallovchi RC zanjirni tekshirish.

Kirishiga bipolyar uchburchakli impulslar davriy ketma-ketligi berilganda aktiv DZ ni (8.2a - rasm) tekshirish uchun ORA111BM seriyali operatsion kuchaytirgich asosida qurilgan aktiv DZ sxemasi 8.9.-rasmdagi ko'rinishda Elektronics Workbench dasturida yig'iladi.

Bunda qarshilik R va sig'im C larning kattaliklarini 3.1.bandagiga nisbatan 20 marta katta qilib o'rnatib, natijada RC zanjirining vaqt doimiyi τ 400 marta ortadi. Vaqt doimiysining bunday sezilarli ortishi natijasida passiv DZ ning differentsiallanish sifati qo'llashga yaroqsiz darajada kichik bo'lib qoladi. RC

zanjir vaqt doimiysining bunday katta ortishida OK asosidagi aktiv DZ ning differentsiallash sifati amalda o'zgaraydi va yuqorilgicha saqlanib qoladi.



8.9.-rasm. Operatsion kuchaytirgich asosidagi aktiv DZ sxemasini tekshirish.

4. O'lchov natijalarini qayta ishlash.

4.1. DZ kirishdagi va chiqishdagi kuchlanish grafiklarini taqqoslang.

4.2. Barcha hollar uchun sifat koeffitsiyentini hisoblang.

$Q = \frac{T}{\tau}$, bu yerda $T = \frac{1}{f}$; $f = 2 \text{ kHz}$. Hamma grafiklarda Q ning qiymatini

keltiring.

Nazorat savollari:

1. Qanday zanjirlar differentsiallovchi zanjirlar deyiladi?
2. Qanday zanjirlar integrallovchi zanjirlar deyiladi?
3. Passiv differentsiallovchi RC - zanjirining sxemasini tuzing.
4. Agar differentsiallovchi zanjir kirishida kuchlanishning o'zgarish sur'ati o'zgarib qo'yilgan bo'lsa, chiqishdagi kuchlanish shakli qanday bo'ladi?
5. Zanjir amalda differentsiallovchi zanjir bo'lmaydigan holatda qanday aniqlanadi?
6. Agar integrallovchi zanjirning qarshiligi, sig'imi o'zgarib qo'yilgan bo'lsa, chiqishdagi kuchlanish shakli qanday o'zgaradi?

9-Laboratoriya ishi.

Yarimo'tkazgichli diod parametrlari va xarakteristikalarini tadqiq etish

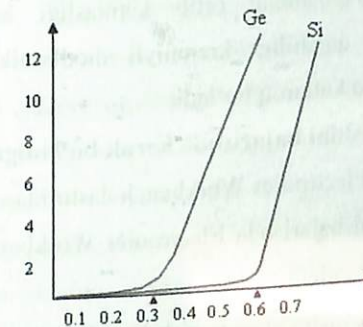
Ishning maqsadi. Yarim o'tkazgichli diodning xossalarini o'rganish, uning volt-ampere xarakteristikalarini olish, amaliyotda qo'llanilishi bilan tanishish.

1. Boshlang'ich ma'lumotlar

Diod bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega va asosan o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun ishlatiladi. To'g'ri yo'nalishda ulangan diodda o'zgarmas kuchlanish tushishi mavjud bo'ladi. Kuchlanish tushishining qiymati germaniyli diodlar uchun 0.3V va kremniyli diodlar uchun 0.6V ga teng. Ushbu kuchlanish tushishi diod to'g'ri yo'nalishda ulanganidagi kuchlanish tushishi yoki diodning to'g'ri kuchlanishi deb ataladi.

Diodning elektr sxemalarda ishlashi uning volt-ampere xarakteristikasi (VAX) bilai aniqlanadi.

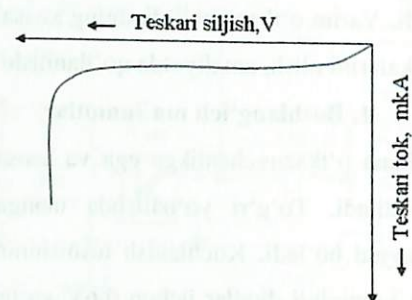
To'g'ri yo'nalishda ulangan yassi diodning volt-ampere xarakteristikalari 9.1-rasmida ko'rsatilgan. To'g'ri yo'nalishdagi siljish, V.



9.1-rasm. To'g'ri yo'nalishda ulangan germaniyli va kremniyli diodlarning xarakteristikalari.

Siljish kuchlanishi potentsial to'siqning qiymatidan katta bo'lganda dioddan o'tayotgan tok keskin ortadi. Bunda siljish kuchlanishining kichik o'zgarishi ham dioddan o'tayotgan tokning katta o'zgarishiga olib keladi. Diodning to'g'ri kuchlanishidan kichik bo'lgan kuchlanishlarda dioddan, odatda hisobga olinmaydigan, juda kichik (mikroamperlar) tok o'tadi.

Teskari yo'nalishda ulangan yassi diodning xarakteristikasi 2-rasmda ko'rsatilgan. Teskari ulangan dioddan asosiy bo'lmagan tashuvchilar hosil qiladigan juda kichik teskari tok o'tadi (mikroamperlar).



9.2-rasm. Teskari yo'nalishda ulangan yassi diodning xarakteristikasi.

Teskari tokning qiymati, kuchlanish p-n o'tishning proboy (buzilish) kuchlanishi deb ataluvchi maksimal qiymatga yetguncha amalda o'zgarishsiz qoladi. Kuchlanish proboy kuchlanishidan katta bo'lsa proboy yuz beradi va teskari tok keskin ortib, diodning ishdan chiqishiga olib keladi. Shuning uchun diod ulanayotgan sxemada diodga qo'yilishi mumkin bo'lgan teskari kuchlanish diodning proboy kuchlanishidan ortib ketmasligi kerak. Teskari ulangan germaniyli diodlarning qarshiligi kremniyli diodlamikiga nisbatan kichikroq teskari (siljish) tokleri esa kattaroq bo'ladi.

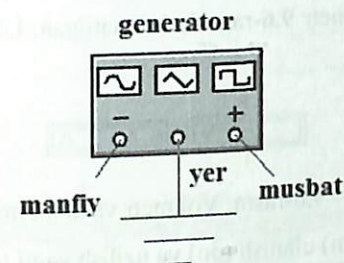
2. Laboratoriya ishini bajarishda kerak bo'ladigan komponentlar

Laboratoriya ishi Electronics Workbench dasturidan foydalanib bajariladi.

Laboratoriya ishini bajarishda Electronics Workbench dasturidagi komponentlaridan foydalaniladi:

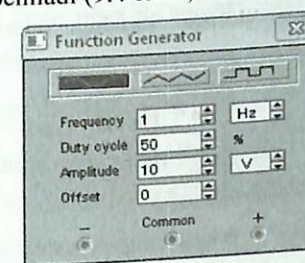
- sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanish generatori;
- kalit;
- voltmetr va ampermetr;
- vaqt relesi;
- ostsillograf;
- rezistorlar;
- tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori.

Sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanishlar generatori uchta chiqishga ega; (yer) umumiy, (+) musbat va (-) manfiy (9.3-rasm).



9.3-rasm. Sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanishlar generatori.

Generatorning tasviri ustida sichqonchani chap tugmasi to'xtovsiz ikki marta bosilsa, uning oynasi ochiladi (9.4-rasm).



9.4-rasm. Generator oynasi

Ochilgan oynaning yuqori qismida kerakli shakldagi signalning tasviri bosiladi va uning quyidagi parametrlari o'rnatiladi:

- *Frequency* maydonida, chastota *Hz*, *kHz* yoki *MHz* larda o'rnatiladi;
- *Duty cycle* maydonida, signal shaklining simmetrik parametri;
- *Amplitude* maydonida, signal o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasi μV , mV , V yoki kV larda ko'rsatiladi;

Agar zarur bo'lsa, signal o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasi *Offset* maydonida ko'rsatiladi.

Kalitning tasviri 9.5-rasmda ko'rsatilgan.

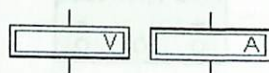
[Space]



9.5-rasm. Kalit.

Kalitni almashtirib ulash uchun kvadrat qavs ichida ko'rsatilgan klavisha bosiladi, masalan [probel].

Voltmetr va ampermetr 9.6-rasmda ko'rsatilgan. Ularning ichki qarshiliklari xossalarida beriladi.



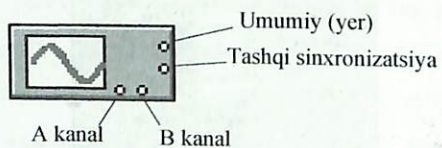
9.6-rasm. Voltmetr va ampermetr.

Vaqt releisi (9.7-rasm) ulanish (on) va uzilish vaqti (off) parametrlariga ega.



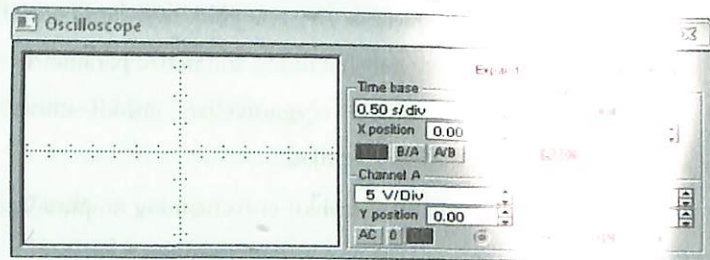
9.7-rasm. Vaqt releisi.

Ostilloqraf (9.8-rasm) to'rtta kirishga ega: umumiy (yer), tashqi sinxronizatsiya, A kanal va B kanal.



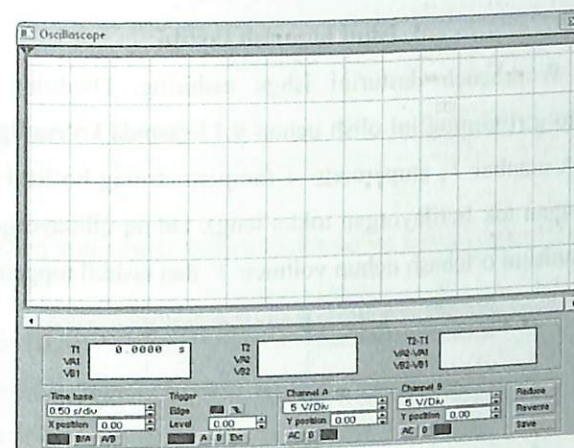
9.8-rasm. Ostilloqraf.

Ostilloqrafning tasviri sichqonchanning chap tugmasi to'xtovsiz ikki marta bosilganda, uning oynasi hosil bo'ladi (9.9-rasm).



9.9-rasm. Ostilloqrafning oynasi

Oynadagi Expend tugmasini bosish orqali ostilloqrafni kattalashtirilgan ko'rinishga o'tkazish mumkin (9.10-rasm).



9.10-rasm. Ostilloqrafni kattalashtirilgan ko'rinishdagi oynasi.

Ostilloqrafning Time base qismida uning ishlash rejimini beruvchi Y/T, B/A, A/B ulab-uzgichlar joylashgan. Y/T rejimida kirishlar A va B, abstsissa o'qi vaqt bo'ladi, vaqtning qadami beriladi. B/A yoki A/B rejimida ostilloqrafning og'diruvchi plastinalariga A va B kirish kanallaridan kuchlanish beriladi.

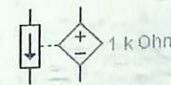
Kuchlanish bo'yicha masshtablar Channel A va Channel B sohalarida o'rnatiladi. Pastda kirish ulab-uzgichlari AC (o'zgaruvchan) / 0 (nol) / DC (o'zgarmas) joylashgan.

Nominali 1 Omli rezistorli sxema (9.11-rasm) tarmoqlarda qiymati tokka teng bo'lgan kuchlanish olish uchun ishlatiladi.



9.11-rasm. Nominali 1 Om bo'lgan qarshilik.

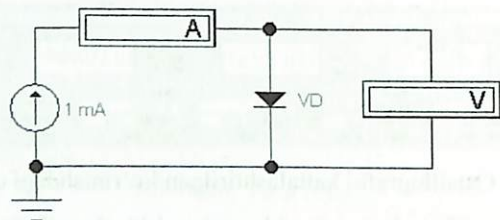
Tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori (9.12-rasm) qiymati tokka teng yoki proporsional bo'lgan kuchlanish olish uchun foydalaniladi. Bunda, 1 Omli qarshilikdan farqli ravishda tadqiq qilinayotgan zanjirda qo'shimcha qarshilik kiritilmaydi.




9.12-rasm. Tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori.

3. Ishni bajarish tartibi

Electronics Workbench dasturini ishga tushiring. Diodning volt-ampere xarakteristikasini to'g'ri tarmog'ini olish uchun 9.13-rasmda ko'rsatilgan sxemani yig'ing. Sxema tok manbai I , ampermetr A (ampermetrning bo'lishi shart emas, chunki o'lchanayotgan tok berilayotgan tokka teng), tadqiq qilinayotgan diod VD va dioddagi kuchlanishni o'lchash uchun voltmeter V dan tashkil topgan.



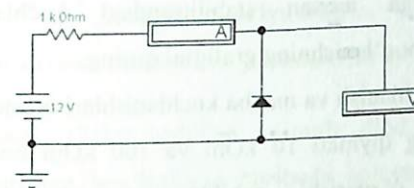
9.13-rasm. Diod volt-ampere xarakteristikasining to'g'ri tarmog'ini tadqiq qilish uchun sxema.

Sxemani ishga tushirish uchun Electronics Workbench dasturining o'ng yuqori burchagidagi ishga tushirish-to'xtatish  tugmasinn bosing.

Tok manbaining tokini 0 dan boshlab 10 mA gacha o'zgartirib, dioddagi kuchlanish va tokni volmetr va ampermetrlarning ko'rsatishlari bo'yicha yozib oling. Olingan natijalarni 9.1-jadvalga yozib oling (ampermetr mikroamperlarni ko'rsatganda milliamperlarga aylantirib olishni unutmang).

9.1-jadval. Diod VAX ning to'g'ri tarmog'ini natijalari.

| Variant | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 |
|---------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|------|------|
| $I_{\text{to'g'ri}}$, mA | 0.01-5 | 0.001-6 | 0.01-7 | 0.1-8 | 0.5-4 | 1-11 | 8-14 |
| $U_{\text{to'g'ri}}$, V | | | | | | | |



9.14-rasm. Diod volt-ampere xarakteristikasining teskari tarmog'ini tadqiq qilish uchun sxema.

Shift klavishi bosilgan holda R klavishasini bosish yo'li bilan ta'minlash manbaining kuchlanishini 0 dan boshlab 50 V gacha o'zgartirib, dioddagi kuchlanish va tokni volmetr V va ampermetr A larning ko'rsatishlari bo'yicha olingan natijalarni 9.2-jadvalda keltiring.

9.2-jadval. Diod VAX ning teskari tarmog'ini natijalari.

| Variant | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| U_{teskari} , V | 1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| I_{teskari} , mA | | | | | | | | | | |

Olingan natijalarga asosan diod volt-ampere xarakteristikasining teskari tarmog'ini quring. Sxemadagi diodni KC-133A stabilitronga almashtiring.

Ta'minlash manbaining kuchlanishini U dan boshlab 0.5V qadam bilan 5V gacha o'zgartirib, manbadagi va stabilitrondagi kuchlanishlarni $V1$ va $V2$ voltmترلarning ko'rsatishlari bo'yicha yozib oling. Olingan natijalarni 9.3-jadvalda keltiring.

9.3-jadval.

| Manba kuchlanshi E_1 , V | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
|-------------------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| Kuchlanish U_{teskari} , V | | | | | | | | | | | |

Olingan natijalarga asosan stabilitrondagi kuchlanish va manba kuchlanishlari orasidagi bog'lanishning grafigini quring.

Stabilitrondagi kuchlanish va manba kuchlanishlari orasidagi bog'lanishning grafigini R qarshilikning qiymati 10 kOm va 100 kOm bo'lgan hollar uchun quring. Qarshilikning o'zgarishi stabilitronning ishlashiga qanday ta'sir ko'rsatishiga e'tibor bering.

4. Bajarilgan ish bo'yicha hisobot.

Hisobotda quyidagilar keltiriladi:

1. Ishni bajarishdan maqsad.
2. Tajribalar sxemalari.
3. Jadvallar va grafiklar ko'rinishida olingan natijalar.
4. Bajarilgan ish bo'yicha xulosalar.

Nazorat savollari.

1. Yarimo'tkazgichli diod nima sababdan tokni faqat bir tomonga o'tkazadi?
2. Yarimo'tkazgichda p-n o'tish nima?
3. Yarimo'tkazgich qarshiligi p-n o'tishga qanday bog'liq?
4. Doidda to'g'ri va teskari p-n o'tishlar uning qaysi sohalarida bo'ladi?
5. Yarimo'tkazgichlarda musbat ion bilan kovak orasida farq bormi?
6. Nima sababdan tashqi sharoitlar o'zgarmagani holda electron-kovak jufti to'xtovsiz hosil bo'lib tursada, yarimo'tkazgichda erkin zaryad tashuvchilar soni o'zgarmaydi?
7. Germaniyga fosfor, rux, kaliy kiritilsa, qanday xarakterlik hosil bo'ladi?
8. Nima sababdan bir xil kuchlanishda to'g'ri va teskari o'tishdagi tokka nisbatan ancha katta bo'ladi?

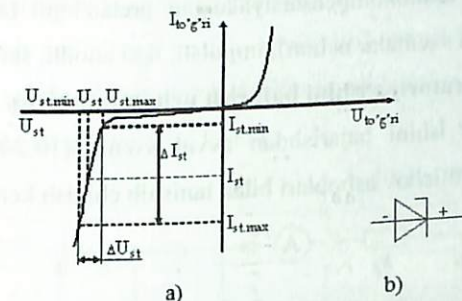
10- Laboratoriya ishi.

Stabilitron xarakteristikasi va parametrlarini tadqiq etish

Ishning maqsadi. Elektr teshilish rejimida diod tokini undagi teskari yo'nalishdagi kuchlanishga bog'liqligini tajribada aniqlash va bu bog'lanishni approksimatsiyalovchi chiziqli funktsiya parametrlari qiymatlarini hisoblash.

1. Boshlang'ich ma'lumotlar.

Yarimo'tkazgich stabilitronning VAXsi 10.1a-rasmda, uning elektr sxemalardagi shartli belgilanishi esa 10.1b-rasmda ko'rsatilgan.



10.1-rasm. Stabilitron VAXi.

Stabilitron VAX teskari shohobchasining $U_{st,min}$ va $U_{st,max}$ kuchlanish qiymatlari oralig'i elektr teshilishga (odatda ko'chkisimon) tegishli. Teshilish rejimida teskari kuchlanishning juda oz miqdorda o'zgarishi teskari tokni kuchli o'zgarishiga olib keladi.

Stabilitronning bu xususiyatidan sxemotexnikada kuchlanishni barqarorlashda keng qo'llaniladi.

Kuchlanishni barqarorlash rejimida stabilitron VAXsi chiziqli funktsiya bilan approksimatsiyalanadi:

$$U_{ST} = U_B + R_d \cdot I_{ST} \quad (10.1)$$

bu yerda R_d - parametri kuchlanishni barqarorlash rejimidagi diodning differentsial qarshiligi, U_B - parametri esa, kuchlanishning bo'sag'aviy qiymatini ko'rsatadi.

Keng qo'llaniladigan stabilitronlarning ba'zi elektr parametrlarining ro'yxati: δU_{st} - barqarorlash kuchlanishi; U_{st} - barqarorlash kuchlanishning vaqt

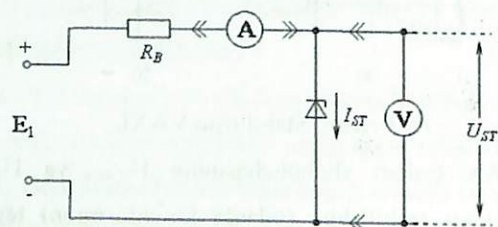
bo'yicha nostabilligi; $U_{to'g'}$ - stabilitrondagi o'zgaras to'g'ri kuchlanish; $I_{st,min}$ - stabilitrondagi ruxsat etilgan eng kichik o'zgaras tok; $I_{st,max}$ - stabilitrondagi ruxsat etilgan eng katta o'zgaras tok; $I_{to'g'.maks}$ - stabilitrondagi ruxsat etilgan eng katta to'g'ri o'zgaras tok; R_{maks} - stabilitrondagi ruxsat etilgan eng katta sochuvchi quvvat; R_{st} - belgilangan o'zgaras tok rejimida aniqlangan differentsial qarshilik; α_{st} - barqarorlash kuchlanishining temperaturaviy koeffitsiyenti.

$$\alpha_{st} = \delta \cdot U_{st} / U_{st} \cdot \Delta T \quad (10.2).$$

Stabilitronning quyidagi guruhlar mavjud: umumiy maqsad uchun qo'llaniladigan maxsus termokompensatsiyalangan pretsizionli (aniq kuchlanish qiymati talab qilinadigan sxemalar uchun), impulsi, ikki anodli, stabistorlar.

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq.

2.1. Laboratoriya ishini bajarishdan avval sxema (10.2-rasm), o'lchash usullari, qo'llaniladigan o'lchov asboblari bilan tanishib chiqish kerak.



10.2- rasm. Stabilitronni tekshirish sxemasi.

2.2. Stabilitron VAXini $I_{st} = f(U_{st})$ ni o'lchang (10.1a-rasm)

2.3. Stabilitronning VAXsini o'lchaydigan elektr asboblari bilan tanishib, unda o'lchash ishlarini talab etilgan aniqlikda bajaring.

2.4. Tajriba natijalarini ishlash va approksimatsiyalangan funktsiya parametrlarining qiymatlarini aniqlang.

3. O'lchash natijalarini qayta ishlash

3.1. Tadqiq etish uchun berilgan stabiltron ma'lumotnomasidan uning turi va asosiy parametrlarini (minimal va maksimal barqarorlash toklari ($I_{st,min}$ va $I_{st,max}$), o'rtacha barqarorlash kuchlanishi (U_{st}), differentsial qarshilik ($R_{d,st}$) qiymatlari va h.k.) kuzatib daftaringizga yozib oling.

3.2. Stabilitron parametrlarining ruxsat etilgan eng yuqori qiymatlaridan foydalanib, o'lchash sxemasini ta'minlovchi kuchlanish manbai chiqish qiymatini o'zgarishi kerak bo'lgan oralig'ini va o'lchov asboblari (ampermetr va voltmetrlar)ning chegaraviy qiymatlarini aniqlang.

3.3. Sxemada stabiltron tokining yuqori qiymatini cheklash uchun unga R_B rezistor ketma-ket ulanadi (10.2-rasm). Rezistorning qiymati quyidagi shartga mos kelishi kerak:

$$R_B = (E_1 - U_{st}) / I_{st,max} \quad (10.3),$$

bu yerda E_1 - rostlanuvchi kuchlanish manbaining maksimal qiymati.

3.4. O'lchash natijalarini yozish uchun 10.1-jadval tayyorlang. Jadvalning birinchi qatoriga tadqiq qilinayotgan stabiltron toklarining qiymatlarini, ikkinchi qatoigga esa kuchlanish qiymatlarini kiriting.

10.1 – jadval. Tajriba natijalari.

| I_{st}, mA | $I_{st,min}$ | | | | | $I_{st,max}$ |
|---------------------|--------------|--|--|--|--|--------------|
| U_{st}, V | | | | | | |

3.5. O'lchash ishlarini bajarib, 10.1 - jadvalni to'ldiring va stabiltronning VAXsini chizing.

3.6. Kuchlanishni barqarorlash rejimida stabiltron VAXsi (10.1) ifodaga binoan chiziqli funktsiya bilan approksimatsiyalang.

Nazorat savollari:

1. p-n o'tishdagi asosiy teshilish turlarini ayting. Stabilitronlarda qaysi teshilish turlari qo'llaniladi?
2. Stabilitron VAXsini turli qismlari qaysi fizik jarayonlar orqali ifodalanadi?
3. Stabilitronning asosiy elektr parametrlarini ayting va ularning fizik ma'nosini izohlang.
4. Nima uchun stabiltronlarni tayyorlashda dastlabki material sifatida germaniy emas kremniy qo'llaniladi?
5. Stabilitron tokining yuqori qiymati cheklanishiga qanday omil sabab bo'ladi?

11- Laboratoriya ishi.

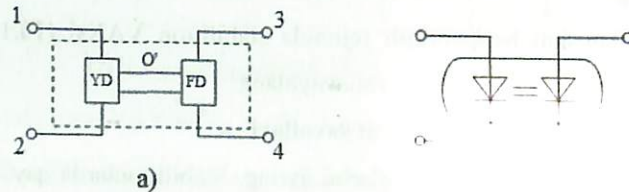
Optronni tadqiq etish

Ishning maqsadi. Optronlar ishini va parametrlarini o'lchash uslublarini o'rganish.

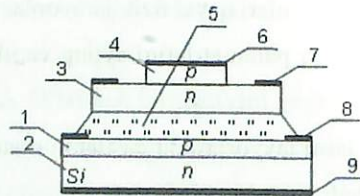
1. Boshlang'ich ma'lumotlar

Optronlar – funksional elektronikaning zamonaviy yo'nalishlaridan biri – optoelektronikaning asosiy struktura elementi hisoblanadi.

Eng sodda diodli optron (11.1a – rasm) uchta elementdan tashkil topgan: yorug'lik diodi (YD), nur o'tkazgich (O') va fotodiod (FD) bo'lib, yorug'lik nuri tushmaydigan germetik korpusga joylashtirilgan. Kirishga elektr signali berilsa yorug'lik diodi qo'zg'otiladi. Yorug'lik nuri nur o'tkazgich orqali fotodiodga tushadi va unda chiqish elektr signali yuzaga keladi. Optronning asosiy xususiyati shundaki, undagi elementlar o'zaro nur orqali bog'langan bo'lib, kirish bilan chiqishlar esa elektr jihatdan bir – biridan ajratilgan. Shu xususiyatidan kelib chiqqan holda, yuqori kuchlanishli va past kuchlanishli zanjirlar bir – biri bilan oson muvofiqlashtiriladi. Diodli optronning shartli belgisi 11.1b – rasmda, uning konstruksiyasi esa 11.2 – rasmda keltirilgan.



11.1-rasm. Diodli optron: a- tuzilishi, b

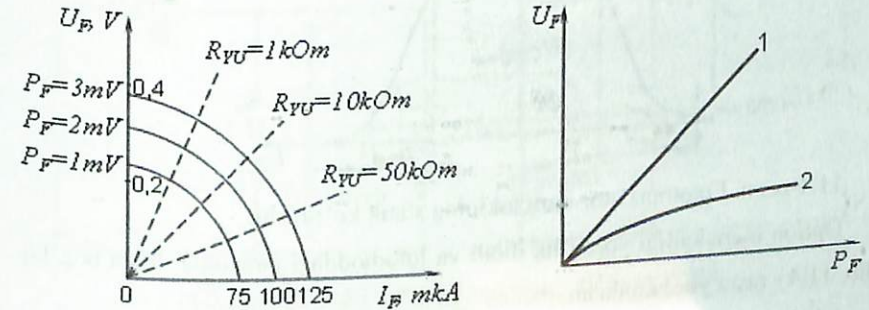


11.2-rasm. Diodli optron konstruksiyasi. 1,2 – fotodiodning p va n sohaları; 3,4 – yorug'lik diodining n va p sohaları; 5 – selen shisha asosidagi nur o'tkazgich; 6,7 – yorug'lik diodi kontaktlari; 8,9 – fotodiod kontaktlari.

Yorug'lik signallarini elektr signaliga aylantirishda asosan fotodiodlar (xuddi shunday fotorezistorlar, fototranzistorlar va fototiristorlar ham) qo'llaniladi.

Fotodiod oddiy p-n o'tish bo'lib, ko'p hollarda kremniy yoki germaniydan yasaladi. Undagi teskari tok yorug'lik nuri tushishi natijasida yuzaga kelayotgan zaryad tashuvchilar generatsiyasi tezligi bilan aniqlanadi. Bu hodisa ichki fotoeffekt deb yuritiladi.

Fotodiodni qo'llash bo'yicha ikkita rejim mavjud: tashqi manbasiz – ventilli yoki fotovoltaiik va tashqi manbali – fotodiodli rejim. Tashqi manbasiz yorug'lik yoki fotovoltaiik va tashqi manbali – fotodiodli rejim. Tashqi manbasiz yorug'lik nurini elektr energiyasiga aylantiruvchi fotodiodlar ventilli fotoelementlar deb ataladi. Foto elektr yurituvchi kuch U_F ning yuzaga kelishi yorug'lik bilan generatsiyalangan elektron – kovak juftlarining p-n o'tish orqali ajratilishi bilan bog'liq. Foto EYuK kattaligi optik signal darajasi U_F va yuklama qarshiligi R_F qiymatiga bog'liq bo'ladi. Ventilli fotoelementning chiqish xarakteristikasi 10.3a – rasmda keltirilgan.

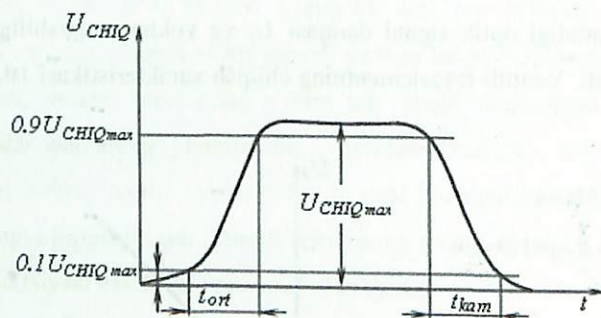


11.3-rasm.

Fotodiod rejimida tashqi kuchlanish manbai hisobiga fototok I_F ventil elementning qisqa tutashuv tokiga taxminan teng bo'ladi, fototok hisobiga biror yuklama qarshiligida sodir bo'ladigan kuchlanish pasayishi U_F esa katta bo'ladi. Bir xil yuklama qarshiligi qiymatida signal kuchlanishi U_F ning fotodiod (1) va ventil element (2) uchun optik nurlanish quvvati P_F ga bog'liqliklari 10.3b – rasmda keltirilgan. Fotoelektr o'zgartishlar samaradorligi volt – vatt $S_U = U_F/R_F$ hamda amper – vatt $S_I = I_F/R_F$ (sezgirlik) bilan ifodalanadi.

Fotodiodlarning afzalligi yana shundaki, yorug'lik xarakteristikalari I_F , $U_F=f(R_F)$ chiziqi ko'rinishga ega, bu esa ularni optik aloqa liniyalarida qo'llash imkoniyatini yaratadi. Ventil elementlar asosan energiya o'zgartgichlar (quyosh batareyalari) sifatida ishlatiladi.

Yorug'lik nuri orqali tokni boshqarishni bipolyar tranzistorlar yordamida ham amalga oshirish mumkin. Ularda baza tokining kuchayishi tufayli, fotodiodlarga nisbatan sezgirlik yuqori bo'ladi. Fototranzistor bazasidagi zaryad tashuvchilarning optik generatsiyasi bazaga tashqi manbadan zaryad tashuvchilar kiritilishiga ekvivalentdir. Natijada, tranzistor fototoki, fotodiodga nisbatan β marta kuchaytiriladi. Bu yerda β - fototranzistor baza tokining statik kuchaytirish koeffitsiyenti.



11.4-rasm. Fototranzistor baza tokining statik ko'rinishi.

Optron inertsiyali yorug'lik diodi va fotodioddagi jarayonlar bilan bog'liq bo'lib, 11.4 - rasm yordamida aniqlanadi.

Diodli optronning quyidagi asosiy parametrlari:

maksimal kirish toki - $I_{KIR\ max}$;

maksimal kirish kuchlanishi $U_{kir\ max}$;

maksimal chiqish teskari kuchlanish $U_{CHIQ\ tesk.\ max}$;

berilgan tokka mos keluvchi o'zgarmas kirish kuchlanishi

chiqishdagi teskari qorong'ulik toki $I_{CHIQ\ tesk.\ Q}$;

chiqish signalining ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlari (berilgan diodli optron chiqishidagi signal o'zining maksimal qiymatidan 0.1-0.9 va 0.9-0.1 oraliklarda o'zgaradi) (11.4 - rasm);

tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti K_I - chiqish toki o'zgarishining kirish tokiga nisbati $K_I = (I_{CHIQ} - I_{CHIQ\ tesk.\ Q}) / I_{KIR}$.

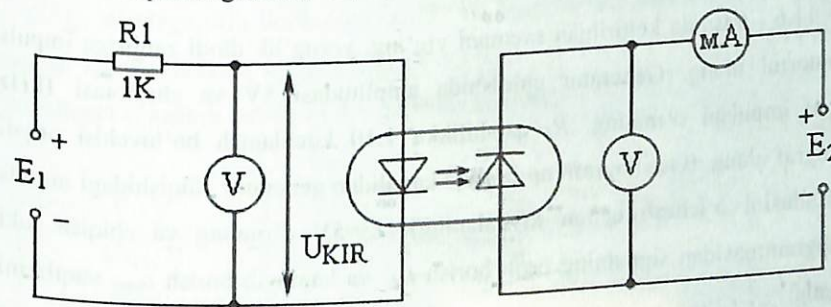
Laboratoriyada o'lchanadigan diodli optron chegaraviy qiymatlari va chiqishlarining joylashishi ma'lumotnomalardan olinadi.

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq

Tadqiq etilayotgan optron printsipl sxemasini va chegaraviy qiymatlarini yozib oling.

2.1. Diodli optron xarakteristikasini tadqiq etish. 11.5 - rasmda keltirilgan sxemani yig'ing. Manbadan berilayotgan chegaraviy tok qiymatini optron chegaraviy qiymatlariga mos ravishda o'mating.

2.2. E_1 ni o'zgartirib borib, optronning kirish xarakteristikasi $I_{KIR}=f(U_{KIR})$ ni o'lchang. Yorug'lik diodi kirishidagi qarshilik R_1 dan ancha kichik bo'lganligi sababli, kirish qarshiligini $I_{KIR}=E_1/R_1$ deb oling.



11.5-rasm. Diodli optronni manbaga ulash sxemasi.

O'lchash natijalarini 11.1 - jadvalga kiriting.

11.1 - jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

2.3. $E_2=0$ deb oling. E_1 ni o'zgartirib borib, fotovoltaik rejim uchun optron uzatish xarakteristikasini $I_{CHIQ}=f(I_{KIR})$ o'lchang.

O'lchash natijalarini 11.2 - jadvalga kiriting.

11.2 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

2.4. $E_2=5V$ o'rning. 2.3 – banddagi o'lchashlarni fotodiodli rejim uchun takrorlang. O'lchash natijalarini 11.2 – jadvalga o'xshab, 11.3 – jadvalga kiriting.

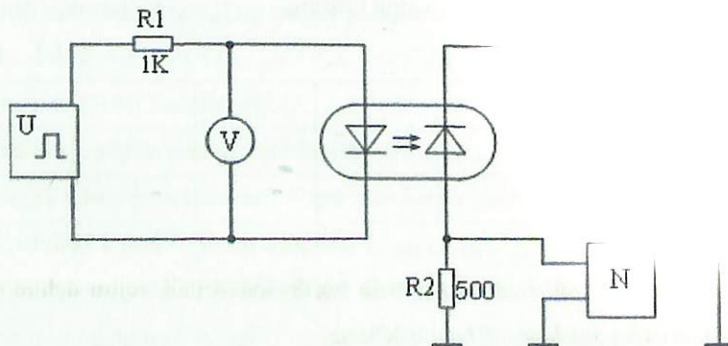
11.3 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

2.5. Optron chiqishidagi signalning ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlarini o'lchang.

11.6 – rasmda keltirilgan sxemani yig'ing, yorug'lik diodi zanjiriga impuls generatorini ulang. Generator chiqishida amplitudasi 5V va chastotasi 1kHz bo'lgan impulsni o'rning. R_2 qarshilikka 1:10 kuchlanish bo'luvchisi orqali ostsilograf ulang. (Ostsilografning boshqa kanalidan generator chiqishidagi impuls amplitudasini o'lchash uchun foydalaning). $E_2=5V$ o'rning va chiqish toki ostsilogrammasidan signalning ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlarini o'lchang.

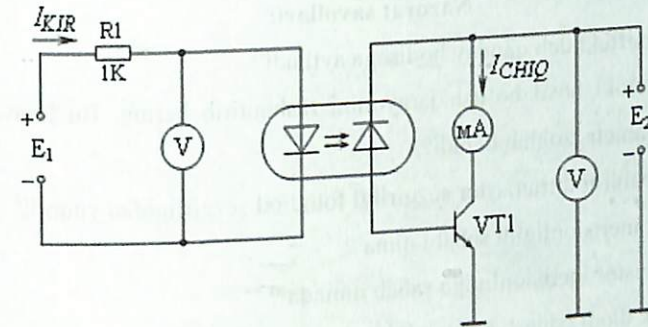
$E_2=0$ ni o'rning va fotovoltaik rejim uchun vaqtlarini o'lchang.



11.6-rasm. Yorug'lik diodini zanjirga ulash sxemasi.

2.6. Tranzistorli optron xarakteristikalarini tadqiq etish.

11.7 – rasmda keltirilgan sxemani yig'ing, $E_2=5V$ o'rning.



11.7-rasm Tranzistorli optronni zanjirga ulash sxemasi.

Bu sxemada optron fotodiodi va tashqi tranzistor fototranzistorni imitatsiya qiladi.

E_1 ni o'zgartirib borib, $I_{KIR}=E_1/R_1$ va $I_{CHIQ}=I_K$ deb olib, tranzistorli optron uzatish xarakteristikasi $I_{CHIQ}=f(I_{KIR})$ ni o'lchang. O'lchash natijalarini 11.2, 11.3-jadvallarga o'xshash tarzda 11.4 – jadvalga kiriting.

11.4 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

3. Tajribada olingan natijalarni ishlash.

3.1. Optron kirish xarakteristikasini quring va $I_{KIR}=10 mA$ qiymatiga mos keluvchi kirish kuchlanishi U_{KIR} qiymatini aniqlang.

3.2. Diodli va fotovoltaik rejimlar uchun optron uzatish xarakteristikalarini quring va $I_{KIR}=10 mA$ qiymatida tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentini K_I aniqlang.

3.3. Diodli optronda signal tarqalishining o'rtacha kechikish vaqum nisoblab toping: $t_{o'rt, kech} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{ort}}{2} + \frac{t_{kam}}{2} \right)$.

11.2 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

2.4. $E_2=5V$ o'rning. 2.3 – banddagi o'lchashlarni fotodiodli rejim uchun takrorlang. O'lchash natijalarini 11.2 – jadvalga o'xshab, 11.3 – jadvalga kiriting.

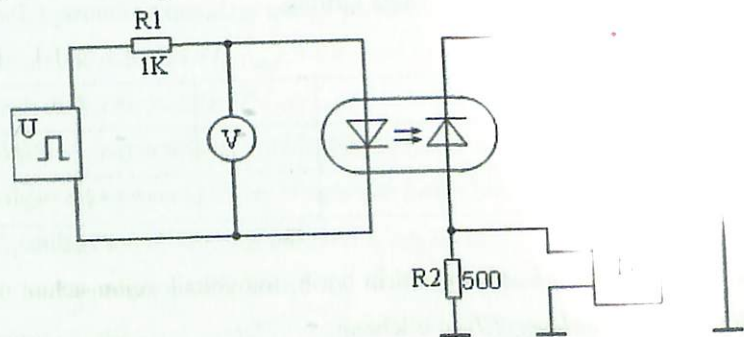
11.3 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

2.5. Optron chiqishidagi signalning ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlarini o'lchang.

11.6 – rasmda keltirilgan sxemani yig'ing, yorug'lik diodi zanjiriga impuls generatorini ulang. Generator chiqishida amplitudasi $5V$ va chastotasi $1kHz$ bo'lgan impulsni o'rning. R_2 qarshilikka 1:10 kuchlanish bo'luvchisi orqali ostsilograf ulang. (Ostsilografning boshqa kanalidan generator chiqishidagi impuls amplitudasini o'lchash uchun foydalaning). $E_2=5V$ o'rning va chiqish toki ostsilogrammasidan signalning ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlarini o'lchang.

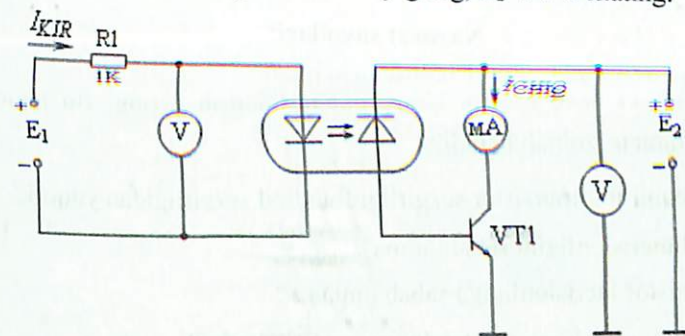
$E_2=0$ ni o'rning va fotovoltaj rejim uchun vaqt o'lchovlarini takrorlang.



11.6-rasm. Yorug'lik diodini zanjirga ulash sxemasi.

2.6. Tranzistorli optron xarakteristikalarini tadqiq etish.

11.7 – rasmda keltirilgan sxemani yig'ing, $E_2=5V$ o'rning.



11.7-rasm Tranzistorli optronni zanjirga ulash sxemasi.

Bu sxemada optron fotodiodi va tashqi tranzistor fototranzistorni imitatsiya qiladi.

E_1 ni o'zgartirib borib, $I_{KIR}=E_1/R_1$ va $I_{CHIQ}=I_K$ deb olib, tranzistorli optron uzatish xarakteristikasi $I_{CHIQ}=f(I_{KIR})$ ni o'lchang. O'lchash natijalarini 11.2, 11.3-jadvallarga o'xshash tarzda 11.4 – jadvalga kiriting.

11.4 – jadval.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| E_1, V | | | | | |
| U_{KIR}, V | | | | | |
| $I_{KIR}=E_1/R_1, mA$ | | | | | |

3. Tajribada olingan natijalarni ishlash.

1. Optron kirish xarakteristikasini quring va $I_{KIR}=10 mA$ qiymatiga mos U_{KIR} kirish kuchlanishi U_{KIR} qiymatini aniqlang.

3.2. Diodli va fotovoltaj rejimlar uchun optron uzatish xarakteristikalarini quring va $I_{KIR}=10 mA$ qiymatida tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentini K_I aniqlang.

3.3. Diodli optronda signal tarqalishining o'rtacha kechikish vaqtini hisoblab

$$\text{toping: } t_{o'rt\ kech} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{ort}}{2} + \frac{t_{kam}}{2} \right).$$

3.4. Tranzistorli optron uzatish xarakteristikasini quring va $I_{KR}=10$ mA qiymatida tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentini K_I aniqlang.

Nazorat savollari:

1. Ichki fotoeffekt deb qanday hodisaga aytiladi?
2. Diod fototoki hosil bo'lish jarayonini tushuntirib bering. Bu jarayonni qaysi parametr izohlab beradi?
3. Nima sababli fototranzistor sezgirligi fotodiod sezgirligidan yuqori?
4. Fotodiod inertsionligini sababi nima ?
5. Fototranzistor inertsionligiga sabab nimada ?
6. Yorug'lik diodi ishlash printsipini tushuntirib bering?
7. Nima uchun optronlar elektr zanjirlarni ajratishda qo'llaniladi?

12- Laboratoriya ishi.

Umumiy emitter ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorni statik VAX larini tadqiq etish. H-parametrlarini hisoblash

Ishning maqsadi. Umumiy emitter (UE) ulanish sxemasida bipolyar tranzistor (BT) larning asosiy statik xarakteristikalari va parametrlarini tadqiq etish, xarakteristikalarni o'lchash va tajriba natijalarini qayta ishlash uslubi bilan tanishish.

1. Boshlang'ich ma'lumotlar.

Grafik ko'rinishda ifodalangan tok va kuchlanish orasidagi bog'liqlik tranzistor statik xarakteristikalari deb ataladi. Umumiy emitter ulanish sxemasida mustaqil o'zgaruvchilar sifatida baza toki i_B va kollektor – emitter kuchlanishi u_{KE} tanlanadi, shunda:

$$\begin{cases} u_{EB} = f(i_B, u_{KE}) \\ i_K = f(i_B, u_{KE}) \end{cases} \quad (12.1).$$

Ikki o'zgaruvchili funktsiya grafik ko'rinishda xarakteristikalar oilasi kabi tasvirlanadi.

BT kirish xarakteristikalari oilasi 12.1a- rasmda, chiqish xarakteristikalar oilasi 12.1b-rasmda keltirilgan. Xarakteristikalarning har biri quyidagi bog'liqlik bilan ifodalanadi:

$$u_{EB} = f(i_B), u_{KE} = const, u_{KE} = const \text{ bo'lganda} \quad (12.2)$$

$$i_K = f(u_{KE}), i_B = const \text{ bo'lganda} \quad (12.3)$$

Kichik amplitudali signallar bilan ishlanganda $I_{Bm}, U_{BE}, I_{Km}, U_{KE}, i_B(0)$ va $U_{KE}(0)$ qiymatlar bilan beriladigan ixtiyoriy ishchi nuqta atrofidagi noxiziqli bog'liqliklar (12.1-12.3), chiziqli tenglamalar bilan almashtirilishi mumkin, masalan tranzistorning h- parametrlar tizimidan foydalanib quyidagicha mumkin:

$$\begin{cases} U_{BE} = h_{11} I_{Bm} + h_{12} U_{KE} \\ I_{Km} = h_{21} I_{Bm} + h_{22} U_{KE} \end{cases} \quad (12.4)$$

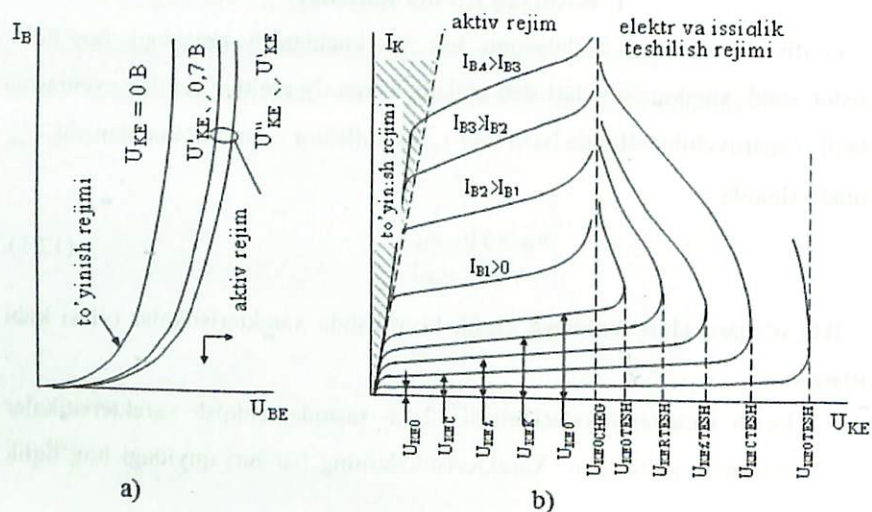
bu yerda $h_{11E} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B}$, $u_{KE} = const$ bo'lganda,

$$h_{21E} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B}, u_{KE} = const \text{ bo'lganda,}$$

$$h_{12E} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta u_{KE}}, i_B = const \text{ bo'lganda,} \quad (12.5)$$

$$h_{22E} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{KE}}, i_B = const \text{ bo'lganda,}$$

h- parametrlar (12.5) formulalar yordamida xarakteristikalar oilasidan aniqlanishi mumkin (h_{11E} va h_{12E} – kirish xarakteristikalar oilasidan, h_{21E} va h_{22E} – chiqish xarakteristikalar oilasidan).

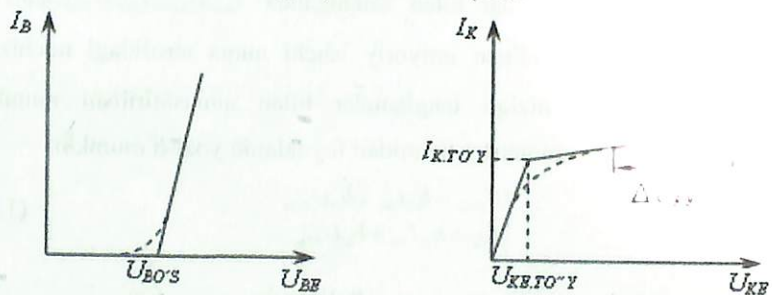


a)

b)

12.1-rasm. UE ulanish sxemasidagi BTni statik VAX lari

Amaliy hisoblarda ko'pincha BT statik xarakteristikalarini o'zaro bog'lanish qonunlaridan ham keng foydalanishadi (12.2-rasm).



12.2-rasm. UE ulanish sxemasidagi BTni amaliy VAX lari.

Approksimatsiyalangan kirish xarakteristiklari uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{cases} u_{BE} < U_{BO'S} \text{ bo'lganda } - i_B = 0 \\ u_{BE} > U_{BO'S} \text{ bo'lganda } - i_B = \frac{u_{BE} - U_{BO'S}}{r_{KIR}} \end{cases} \quad (12.6)$$

Chiqish xarakteristiklari uchun esa:

$$i_K = \begin{cases} \frac{u_{KE}}{r_{K TOY}}, & U_{KE} < U_{KE TOY}, \quad (\text{to'y. - rejimi}) \\ \beta i_B + \frac{u_{KE}}{r_K}, & (\text{aktiv - rejim}) \end{cases} \quad (12.7)$$

12.6 va 12.7 formulalarda $U_{BO'S}$ - emitter o'tishdagi bo'sag'aviy kuchlanish, r_{KIR} - tranzistor kirish qarshiligining o'rta qiymati ($r_{KIR} \approx r'_B$), $r_{K TOY}$ - to'yinish rejimidagi tranzistor chiqish qarshiligi (boshlang'ich sohada).

$$r_{K TOY} = \frac{\Delta u_{KE}}{\Delta i_K}, i_B = const \text{ va } u_{KE} < U_{KE TOY} \quad (12.8)$$

r_K^* - aktiv rejimda chiqish qarshiligining o'rta qiymati.

$$r_K^* = \frac{\Delta u_{KE}}{\Delta i_K}, i_B = const \text{ va } u_{KE} < U_{KE TOY} \text{ bo'lganda} \quad (12.9)$$

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq.

2.1. Tranzistor tuzilishi va chegaraviy parametrlari bilan tanishib chiqing, tranzistor haqidagi ma'lumotlarni yozib oling, o'lchash uchun jadval tayyorlang.

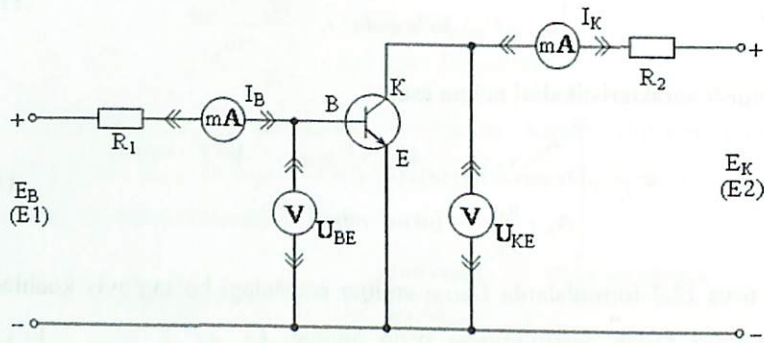
12.1 – jadval. Kirish va boshqarish xarakteristiklari.

| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| E_B, V | | | |
| U_{BE}, V | | | |
| I_B, mkA | | | |
| I_K, mA | | | |

12.2 – jadval. Tranzistor chiqish xarakteristiklari.

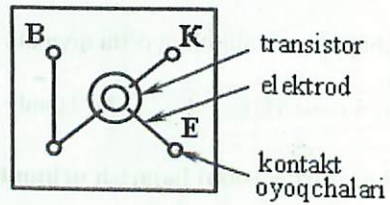
| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| I_B, mkA | | | |
| u_{KE}, V | | | |
| i_K, mA | | | |

12.3 – rasmda keltirilgan o'lchash sxemasini yig'ing. Tranzistor chiqimining sxemasi 12.4 – rasmda keltirilgan. Rezistor qarshiliklari $R_1 = (5-10) \text{ k}\Omega$ va $R_2 = (510-1000) \Omega$.



12.3-rasm. BT da yasalgan UE sxemasi.

yuqoridan ko'rinishi



12.4- rasm. Tranzistor chiqimining sxemasi.

2.2. $u_{KE} = 5V$ o'zgarmas kuchlanish qiymatida tranzistorning kirish va chiqish xarakteristiklarini o'lchang. O'lchash natijalarini jadvalga kiriting.

2.3. Chiqish xarakteristikalar oilasini o'lchang. Chiqish xarakteristikalar oilasini baza tokining $i_B = 0 \text{ mA}$ qiymatidan boshlab har $50 \mu\text{A}$ o'lchang. Kollektor toki bu vaqtda ko'rsatilgan chegaraviy oshmasligi kerak; u_{KE} kuchlanish qiymatining o'zgarish oralig'i shunday bo'lishi kerakki, aktiv ($u_{KE} > u_{BE}$) va to'yinish ($u_{KE} < u_{BE}$) rejimlarida 3-5 ta nuqta olish mumkin bo'lsin.

3. O'lchash natijalarini ishlash.

3.1. Kirish, boshqaruv va chiqish xarakteristikalar oilasi grafigini quring.

$u_{KE} = 5V$, $i_B = 100 \mu\text{A}$ nuqtada tranzistor parametrlarini aniqlang:

$$h_{11E} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B}, h_{21E} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B}, h_{22E} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{KE}} \quad (12.10).$$

3.2. Baza toki $100 \mu\text{A}$ bo'lganda chiqish xarakteristikasini quring. Chiziqli bo'lak approksimatsiyani amalga oshirib $U_{KE TOY}$, $I_{K TOY}$, $r_{K TOY}$, r_k larni hisoblang.

Nazorat savollari:

1. BT UE ulanish sxema ishlash printsipti, emitter va kollektor p-n o'tishlar, baza sohasi ahamiyati haqida gapirib bering.
2. Emitter toki tashkil etuvchilari nomini ayting va ularning yo'nalishlarini p-n-p hamda n-p-n turli BT uchun ko'rsating.
3. Baza toki tashkil etuvchilari nomini ayting va ularning yo'nalishlarini p-n-p hamda n-p-n turli BT uchun ko'rsating.
4. I_{KB0} va I_{KE0} qanday toklar? Ular qaysi zaryad tashuvchilar harakati bilan hosil bo'ladi?
5. UE sxemada ulangan BT chiqish xarakteristikalar oilasida aktiv, berk va to'yinish sohalarini ko'rsating.
6. Ideal BT elektr modeli sxemasini chizing va uning parametrlari fizik mohiyatini tushuntiring.
7. BT invers ish rejimi deb nimaga aytiladi?
8. Nima uchun UE sxemada ishlayotgan BT baza elektrodidagi kuchlanishni uning kollektoridagi kuchlanishdan avval uzish mumkin emas?

13-Laboratoriya ishi.

Umumiy baza ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorni statik VAX larini tadqiq etish. H-parametrlarini hisoblash

Ishning maqsadi. Umumiy baza (UB) ulanish sxemasida BT larning asosiy statik xarakteristikalarini va parametrlarini tadqiq etish, xarakteristikalarini o'lash va tajriba natijalarini qayta ishlash uslubi bilan tanishish.

1. Boshlang'ich ma'lumotlar.

Grafik ko'rinishda ifodalangan tok va kuchlanish orasidagi bog'liqlik tranzistor statik xarakteristikalarini deb ataladi. Umumiy baza ulanish sxemasida mustaqil o'zgaruvchilar sifatida emitter toki i_E va kollektor - baza kuchlanishi u_{KB} tanlanadi, shunda:

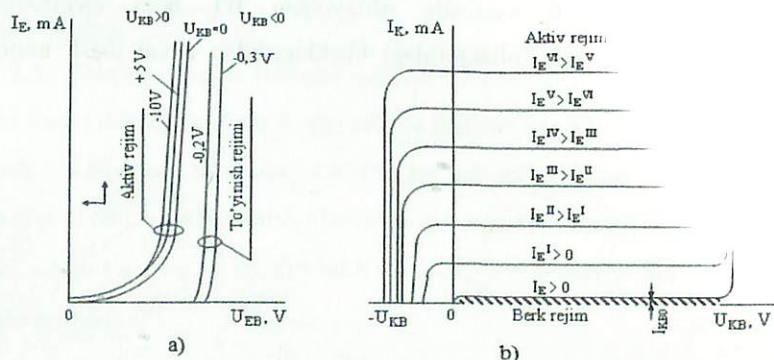
$$\begin{cases} u_{EB} = f(i_E, u_{KB}) \\ i_K = f(i_E, u_{KB}) \end{cases} \quad (13.1).$$

Ikki o'zgaruvchili funktsiya grafik ko'rinishda xarakteristikalar oilasi kabi tasvirlanadi.

BT kirish xarakteristikalarini oilasi 13.1a- rasmda, chiqish xarakteristikalarini oilasi 13.1b-rasmda keltirilgan. Xarakteristikalarining har biri quyidagi bog'liqlik bilan ifodalanadi:

$$u_{EB} = f(i_E), u_{KB} = const, \text{ bo'lganda} \quad (13.2)$$

$$i_K = f(u_{KB}), i_E = const, \text{ bo'lganda}$$



13.1-rasm. BT kirish va chiqish xarakteristikalarini oilasi.

Kichik amplitudali signallar bilan ishlanganda $I_{BE}, U_{EB}, I_{KM}, U_{KB}, i_E(0)$ va $U_{KB}(0)$ qiymatlar bilan beriladigan ixtiyoriy ishchi nuqta atrofidagi nochiqli bog'liqliklar (13.1-13.3), chiziqli tenglamalar bilan almashtirilishi mumkin, masalan tranzistorning h- parametrlar tizimidan foydalanib yozish mumkin:

$$\begin{cases} U_{EB} = h_{11} I_{Em} + h_{12} U_{KBm} \\ I_{Km} = h_{21} I_{Em} + h_{22} U_{KBm} \end{cases} \quad (13.4)$$

bu yerda $h_{11B} = \frac{\Delta u_{EB}}{\Delta i_E}$, $u_{KB} = const$ bo'lganda

$$h_{21B} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_E}, u_{KB} = const \text{ bo'lganda}$$

$$h_{12B} = \frac{\Delta u_{EB}}{\Delta u_{KB}}, i_E = const \text{ bo'lganda} \quad (13.5).$$

$$h_{22B} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{KB}}, i_E = const \text{ bo'lganda}$$

h- parametrlar (13.5) formulalar yordamida xarakteristikalar oilasidan aniqlanishi mumkin (h_{11B} va h_{12B} - kirish xarakteristikalar oilasidan, h_{21B} va h_{22B} - chiqish xarakteristikalar oilasidan).

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq.

2.1. Tranzistor tuzilishi va chegaraviy parametrlari bilan tanishib chiqing, tranzistor haqidagi ma'lumotlarni yozib oling, o'lash uchun jadval tayyorlang.

13.1 - jadval. Kirish va boshqarish xarakteristikalarini

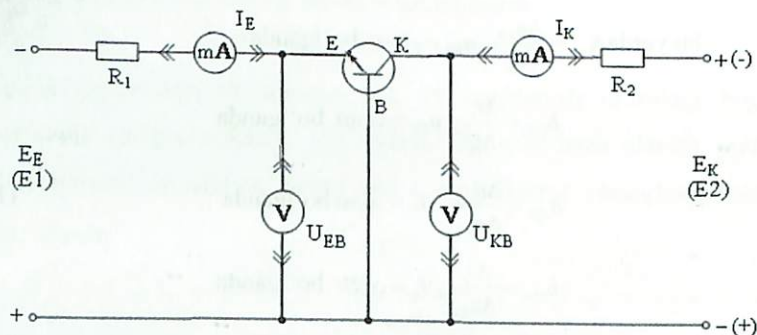
| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

13.2 - jadval. Tranzistor chiqish xarakteristikalarini.

| | | | |
|---------------------|--|--|--|
| $I_E, \text{ mA}$ | | | |
| $u_{KB}, \text{ V}$ | | | |
| $i_K, \text{ mA}$ | | | |

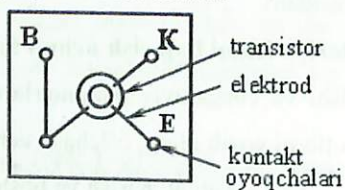
13.2 – rasmda keltirilgan o‘lchash sxemasini yig‘ing. Tranzistor chiqimlarining sxemasi 13.3 – rasmda keltirilgan. Rezistor qarshiliklari $R_1 = (270-510)$ Ohm va $R_2 = (510-1000)$ Ohm.

2.2. $u_{KB} = 5V$ o‘zgarish kuchlanish qiymatlarida tranzistorning kirish va boshqarish xarakteristikalarini o‘lchang. O‘lchash natijalari va hisoblarni 13.1 - jadvalga kiriting.



13.2-rasm. BT da yasalgan UB ulanish sxemasi.

yuqoridan ko‘rinishi



13.3- rasm Tranzistor chiqimlarining sxemasi

2.3. Chiqish xarakteristikalar oilasini o‘lchang. Chiqish xarakteristikalar oilasini emitter tokining $i_E = 0$ mA qiymatidan boshlab har 4 mA qadamda o‘lchang. Kollektor toki bu vaqtda ko‘rsatilgan chegaraviy qiymatdan oshmasligi kerak; u_{KB} kuchlanish qiymatining o‘zgarish oralig‘i shunda o‘lchash kerakki, aktiv ($u_{KB} > 0$) va to‘yinish ($u_{KB} < 0$) rejimlarida 3-5 ta nuqta olish mumkin bo‘lsin.

3. O‘lchash natijalarini ishlash.

3.1. Kirish, boshqaruv va chiqish xarakteristikalar oilasi grafisini quring.

$u_{KB} = 5 V$, $i_E = 8$ mA nuqtada tranzistor parametrlarini aniqlang:

$$h_{11B} = \frac{\Delta u_{EB}}{\Delta i_E}, h_{21B} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_E}, h_{22B} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{KB}}$$

3.2. Emitter toki 8 mA bo‘lganda chiqish xarakteristikasini quring. Chiziqli –bo‘lak approksimatsiyani amalga oshirib $U_{KB,TOY}$, $I_{K,TOY}$, $r_{K,TOY}$, r_K larni hisoblang.

Nazorat savollari:

1. BT UB ulanish sxema ishlash printsipi, emitter va kollektor p-n o‘tishlar, baza sohasi ahamiyati haqida gapirib bering.
2. Emitter toki tashkil etuvchilari nomini ayting va ularning yo‘nalishlarini p-n-p hamda n-p-n turli BT uchun ko‘rsating.
3. Baza toki tashkil etuvchilari nomini ayting va ularning yo‘nalishlarini p-n-p hamda n-p-n turli BT uchun ko‘rsating.
4. I_{KB0} va I_{KE0} qanday toklar? Ular qaysi zaryad tashuvchilar harakati bilan hosil bo‘ladi?
5. UB sxemada ulangan BT chiqish xarakteristikalar oilasida aktiv, berk va to‘yinish sohalarini ko‘rsating.
6. Ideal BT elektr modeli sxemasini chizing va uning parametrlari fizik mohiyatini tushuntiring.
7. BT invers ish rejimi deb nimaga aytiladi ?

14- Laboratoriya ishi.

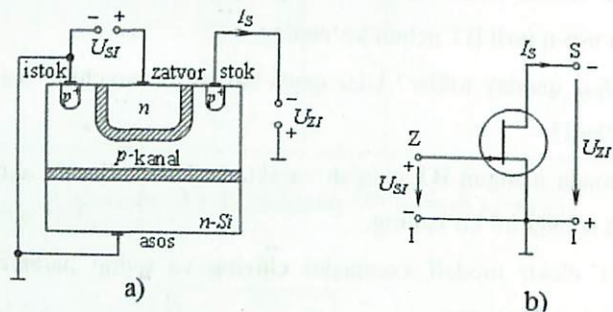
Maydonli tranzistor statik xarakteristikalarini tadqiq etish.

H-parametrlarini hisoblash

Ishning maqsadi. Maydoniy transistor (MT) statik xarakteristikalarini va differensial parametrlarini o'rganish, tranzistor ishiga temperaturaning ta'sirini tadqiq etish.

1. Boshlang'ich ma'lumotlar.

Laboratoriya ishida tuzilishi va sxemalarda shartli belgilanishi 14.1- rasmda keltirilgan kanali p- turli maydoniy tranzistor tadqiq etiladi.



14.1-rasm. Maydoniy tranzistorning ulanish sxemasi.

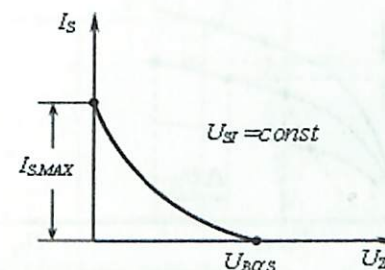
Stok toki zatvoriga kuchlanish berish orqali boshqariladi, ya'ni boshqarilayotgan p-n o'tishga teskari kuchlanish $U_{zi} > 0$ beriladi. U_{zi} dagi berkitish kuchlanishi ortgan sari hajmiy zaryad sohasining kengligi ortib boradi. Berilgan U_{st} kuchlanish qiymatida kanal kengligi kichrayadi, ummimmiy zaryad kamayadi, demak stok bilan istok oralig'idagi stok toki I_s kamayadi. Boshqarish xarakteristikasi $I_s = f(U_{zi})$ keltirilgan.

Boshqaruvchi p-n o'tishning hajmiy zaryad sohasi va asos o'tish orasidagi p-n o'tish birikkandagi (stok toki I_s nolga teng bo'ladigan) kuchlanishi qiymati bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$ deb ataladi.

To'yinish rejimida ishlayotgan maydoniy tranzistor boshqaruv xarakteristikasini quyidagi bog'liqlik bilan approksimatsiyalash qulay.

$$I_s = I_{smax} \left(\frac{1 - U_{zi}}{U_{BO'S}} \right)^2 \quad (14.1),$$

bu yerda maksimal stok toki zatvor - istok kuchlanishi $I_{smax} - U_{zi} = 0$ ga mos keluvchi boshlang'ich stok toki.



14.2-rasm. Maydoniy tranzistorning VAX.

Boshqaruv xarakteristikasidan (14.2- rasm) xarakteristika tikligi aniqlanishi mumkin:

$$S = \left. \frac{dI_s}{dU_{zi}} \right|_{U_{st} = const}$$

(14.1) approksimatsiyadan foydalanilganda tiklik quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \frac{2I_{smax}}{U_{BO'S}} \left(1 - \frac{U_{zi}}{U_{BO'S}} \right) \quad (14.2).$$

Maydoniy tranzistor chiqish xarakteristikalar oilasi 14.3 - rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning boshlang'ich sohasi ($U_{st} < U_{st TO'Y}$) chiziqli rejimga mos keladi. Bu rejimda kanal butun istok-stok oralig'ida mavjud bo'ladi. $U_{st} > U_{st TO'Y}$ uchun U_{st} ortgan sari, chiziqli qonunga mos ravishda stok toki $I_s = \frac{U_{st}}{R_k}$ ham ortadi.

$U_{st} > U_{st TO'Y}$ da tranzistor to'yinish rejimiga o'tadi, bu sohada stok toki I_s kuchli bog'liq bo'lmaydi. Ikki rejim chegarasi hisoblangan

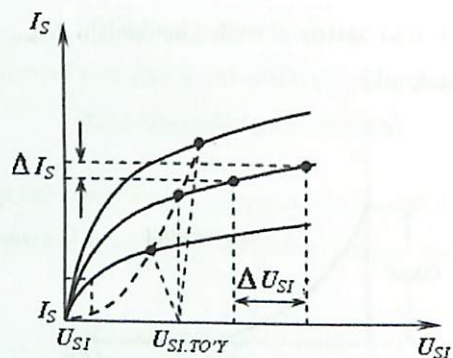
zatvordagi kuchlanish U_{zi} ga bog'liq bo'ladi va

$$U_{st TO'Y} = U_{zi} - U_{BO'S}$$

14.3 - rasm) chiqish qarshiligi aniqlanishi

mumkin:

$$r_{chIQ} = \left. \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_s} \right|_{U_{st} = const}$$



14.3-rasm. Maydoniy tranzistor chiqish xarakteristikalar oilasi.

Bu kattalik to'yinish rejimida hisoblansa, katta qiymatga ega bo'ladi, shuning uchun tranzistor kuchaytirgich sifatida ishlatilayotganda sxemaning sokinlik nuqtasi shu rejimda tanlanadi. Chiziqli rejimda tranzistor chiqish qarshiligi zatvordagi kuchlanish U_{ZI} ga bog'liq va taxminan tanlangan ishchi nuqtada U_{SI} kuchlanishini I_S tokka nisbati ko'rinishida yoki 14.3 – formuladan aniqlanishi mumkin:

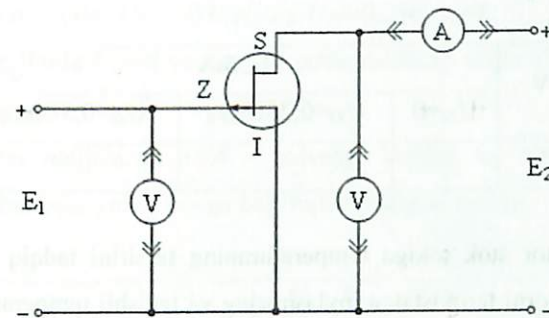
$$R_k = \frac{R_{k0}}{1 - \sqrt{\frac{U_{ZI}}{U_{BO'S}}}}, \quad (14.3),$$

bu yerda $R_{k0} = \frac{U_{BO'S}}{3I_{Smax}}$.

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq.

2.1. 14.4- rasmda keltirilgan sxema, o'lchash asboblari KPI103 maydoniy tranzistor pasport ko'rsatmalari bilan tanishib chiqing. Tranzistor chiqimlari ko'rinishini chizib oling va tadqiq tranzistorning chegaraviy parametrlari $U_{SI,CHEG}$, $I_{S,CHEG}$, P_{CHEG} qiymatlarini oling. 14.4 – rasmda keltirilgan sxemani yig'ing.

2.2. Stok kuchlanishining $U_{SI}=1/3 U_{SI,CHEG}$ va $2/3 U_{SI,CHEG}$ qiymatlarida ikkita boshqaruv xarakteristikasini o'lchang ($U_{SI,CHEG}$ qiymati pasport ko'rsatmalaridan olinadi). O'lchash natijalarini 14.1 – jadvalga kiriting va undan foydalanib boshqaruv xarakteristikasini quring. Tajribada U_{ZI} kuchlanish qiymatini 0 dan bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$ gacha o'zgartiring.



14.4-rasm. Maydoniy tranzistorning U_{ZI} ulanish sxemasi.

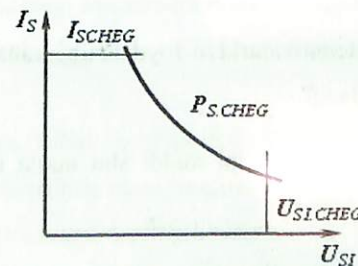
2.3. Zatvordagi kuchlanishning uchta qiymatida ($U_{ZI}=0; 0,25U_{BO'S}; 0,5U_{BO'S}$) chiqish xarakteristikalar oilasi $I_S=f(U_{SI})$ ni o'lchang.

Tajriba o'tkazishdan avval $I_S - U_{SI}$ koordinatalar tizimida tranzistorning ruxsat etilgan ishchi rejimi sohalarini belgilab oling (14.5 - rasm).

14.1 – jadval.

| U_{ZI}, V | I_S, mA | |
|-------------|--------------------------|--------------------------|
| | $U_{SI}=1/3 U_{SI,CHEG}$ | $U_{SI}=2/3 U_{SI,CHEG}$ |
| | | |

Izoh: $R_{S,CHEG}$ chizig'ini qurish uchun U_{SI} kuchlanishining 0 dan $U_{SI,CHEG}$ qiymatlari oralig'ida ixtiyoriy bir nechta qiymatlari tanlanadi va shu nuqtalarda tok toki $I_S=R_{S,CHEG}/U_{SI}$ hisoblanadi.



14.4-rasm. Stok kuchlanishni tok kuchiga bog'liqlik grafigi.

Tajribada olingan nuqtalarni 14.2 – jadvalga kiriting va tayyorlangan grafikda ularni belgilang (14.5 - rasm). Bunda tranzistor uchun ishlash ruxsat etilgan sohadan chiqib ketmaslikka e'tibor bering.

14.2 – jadval.

| U_{SI}, V | I_S, mA | | |
|-------------|------------|-----------------------|----------------------|
| | $U_{ZI}=0$ | $U_{ZI}=0,25U_{BO'S}$ | $U_{ZI}=0,5U_{BO'S}$ |
| | | | |

2.4. Tranzistor stok tokiga temperaturaning ta'sirini tadqiq etish. Tadqiq etilayotgan tranzistorni termostatga joylashtiring va tegishli temperatura qiymatini o'rating, stok kuchlanishning $U_{SI}=1/3U_{SI,CHEG}$ qiymatida va $T=40^{\circ}C$ va $80^{\circ}C$ temperaturalarda ikkita boshqaruv xarakteristikasi $I_S=f(U_{ZI})$ ni o'lchang.

O'lchash natijalarini 14.3 – jadvalga kiriting va ulardan foydalanib $T=40^{\circ}C$ va $80^{\circ}C$ temperaturalardagi ikkita boshqaruv xarakteristikasi $I_S=f(U_{ZI})$ ni quring.

14.3 – jadval.

| U_{ZI}, V | I_S, mA | |
|-------------|-----------------|-----------------|
| | $T=40^{\circ}C$ | $T=80^{\circ}C$ |
| | | |

3. Tajribada olingan natijalarni ishlash.

3.1. 2.2. banda o'lchangan boshqaruv xarakteristikalarini 14.1 – ifoda yordamida approksimatsiyalang. Approksimatsiya natijalarini qurilgan $I_S=f(U_{ZI})$ grafigida aks ettiring.

3.2. Boshqaruv xarakteristikalaridan foydalanib, tranzistor tikl $U_{SI,CHEG}$ ishchi nuqtada aniqlang:

$$S = \left. \frac{\Delta I_S}{\Delta U_{ZI}} \right|_{U_{SI}=const}, S \text{ qiymatini xuddi shu nuqta uchun 14.2}$$

yordamida ham aniqlang.

3.3. 2.3 – banda o'lchangan chiqish xarakteristikalar oilasida $U_{SI TO'Y}$ $U_{BO'S}$ oraliqqa mos keluvchi, chiziqli rejim bilan to'yinish rejimi orasidagi chegarani ko'rsating.

3.4. Chiqish xarakteristikalar oilasidan foydalanib, quyidagi ishchi nuqtalar uchun tranzistor chiqish qarshiligini aniqlang:

- to'yinish rejimida ($U_{SI}=1/3U_{SI,CHEG}$, $U_{ZI}=0,25U_{CHEG}$);

- chiziqli rejimda $U_{SI}=0$ va zatvor kuchlanishining uchta qiymatida ($U_{ZI}=0$; $0,25U_{BO'S}$; $0,5U_{BO'S}$).

Hisoblashlar natijalarini 14.4 – jadvalga kiriting va ulardan foydalanib chiziqli rejim uchun r_{CHIQ} ning U_{ZI} ga bog'liqlik grafigini quring.

14.4 – jadval.

| U_{ZI}, V | $R_{CHIQ}, k\Omega$ | |
|-----------------------|-------------------------|------------|
| | $U_{SI}=1/3U_{SI,CHEG}$ | $U_{SI}=0$ |
| $U_{ZI}=0$ | | |
| $U_{ZI}=0,25U_{CHEG}$ | | |
| $U_{ZI}=0,5U_{CHEG}$ | | |

3.5. 2.4 – banda o'lchangan boshqaruv xarakteristikalarida, turli temperaturalarda o'lchangan boshqaruv xarakteristikalari kesishadigan termo barqaror nuqtaning I_{ST} va U_{ZIT} koordinatalarini aniqlang.

Nazorat savollari:

- Zatvori p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorni tasvirlang va ishlash mexanizmini tushuntiring.
- Maydoniy tranzistor ish rejimlarini aytib bering. Har qaysi rejimda tranzistor zatvori va stoki orasidagi kuchlanish munosabatlari qanday bo'ladi?
- Maydoniy tranzistorlarda qanday differentsial parametrlar tizimi qo'llaniladi va nima sababli?
- Zatvori p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor uzatish xarakteristikasini tasvirlang va tushuntirib bering.
- Zatvori p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor chiqish xarakteristikalar oilasini tasvirlang va tushuntirib bering.
- Turli temperaturalarda o'lchangan zatvori p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor uzatish xarakteristikasini tasvirlang. Bu xarakteristikalarda temperaturaga barqaror nuqtalarning mavjudligi nima bilan tushuntiriladi?

15- Laboratoriya ishi.

Kanali induksiyalangan metall-dielektrik-yarimo'tkazgich (MDYa)-tranzistor xarakteristikalarini tadqiq etish. Parametrlarini hisoblash

Ishning maqsadi. MDYa tranzistorlarni statik rejimda ishlash xossalarini o'rganish.

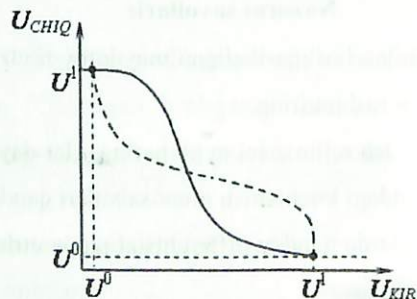
1. Boshlang'ich ma'lumotlar.

Bu ishini bajarishda stok toki zanjiridagi qarshilik qiymatining uzatish xarakteristikasi ko'rinishiga ta'sirini o'rganib chiqing. Kvazi chiziqli yuklama sifatida turli maydoniy tranzistorlar qo'llanilganda uzatish xarakteristikalar turlicha bo'lishiga ahamiyat bering.

Mantiqiy signallar sathlarini aniqlashda kalitning uzatish xarakteristikasi $U_{CHIQ}=f(U_{KIR})$ dan foydalanilishiga e'tibor bering (15.1- rasm).

Mantiqiy nol U^0 hamda mantiqiy bir U^1 sathlar uzatish xarakteristikasi va uning ko'zguli aksi (punktir chiziq) kesishgan nuqtalardan aniqlanadi.

$\Delta U = U^1 - U^0$ mantiqiy signallarning sathlar farqi deb ataladi.



15.1-rasm. Yarimo'tkazgich (MDYa)-tranzistor xarakteristikasi

2. Laboratoriya ishini bajarish uchun topshiriq.

2.1. MDYa tranzistorda yasalgan kalit uzatish xarakteristikasiga qarshiligining ta'sirini $U_{CHIQ}=f(U_{KIR})$ tadqiq etish.

n- turdagi kanali induksiyalangan MDYa tranzistorda bajarilgan kalit sxemasi 15.2- rasmda keltirilgan. Sxema $E_2 = 9V$ manbadan ta'minlanadi. Kirish kuchlanishi U_{KIR} roslanuvchi E_1 kuchlanish manbaidan beriladi. Chiqish kuchlanishi U_{CHIQ} va iste'mol qilinayotgan tokni o'lchash uchun raqamli voltmeter

va ampermetrlardan foydalaning. VT1 sifatida K176JIII1 mikrosxemadagi n-kanalli tranzistorlarning birini oling. Ishlash qulay bo'lishi uchun keltirilgan mikrosxema printsiplial sxemasini chizib oling va elektrolari raqamlarini belgilab oling.

Tajribani quyidagi tartibda olib borish tavsiya etiladi:

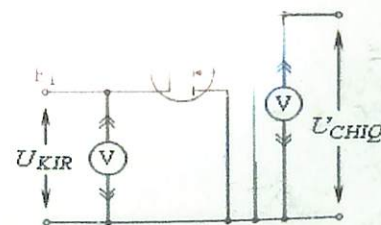
- MDYa tranzistor stok zanjiriga chiziqli rezistor $R=51 k\Omega$ ni ulang;
- kuchlanish manbai qiymatini $E_2=9 V$ qilib o'rning;
- kirish kuchlanishini 0 dan 9V gacha o'zgartirib borib, $U_{CHIQ}=f(U_{KIR})$ va $I_{IST}=f(U_{KIR})$ bog'liqligini o'lchang;
- qarshilikning $R=10 k\Omega$ va $3.5 k\Omega$ qiymatlari uchun o'lchashlarni takrorlang;
- tajriba natijalaridan foydalanib $U_{CHIQ}=f(U_{KIR})$ bog'liqlik grafiklarini quring.

3. Tajribada olingan natijalarni ishlash.

3.1. 2.2- badda olingan uzatish xarakteristikalarini quring.

3.2. Har bir kalit uchun mantiqiy signal U^0 va U^1 sathlari va mantiqiy signallar sathlar farqi $\Delta U = U^1 - U^0$ ni aniqlang.

Olingan natijalarni 15.1 - jadvalga kiriting.



15.2-rasm. Yarimo'tkazgich (MDYa)-tranzistor ulanish sxemasi.

15.1 – jadval.

| Parametr, Yuklama turi | U_0, V | U_1, V | $\Delta U, V$ | $P_{O'RT}, mW$ |
|------------------------|----------|----------|---------------|----------------|
| Qarshilikli yuklama | | | | |
| $R_{YU}=51 k\Omega$ | | | | |
| $R_{YU}=10 k\Omega$ | | | | |
| $R_{YU}=3.5 k\Omega$ | | | | |

3.3. Mantiqiy nol va mantiqiy bir holatlarida manbadan iste'mol qilinayotgan quvvatning o'rtacha qiymatini aniqlang:

$$P_{O'RT} = \frac{1}{2}(P^0 + P^1); P^{0,1} = I_{IST}^{0,1} E_M \quad (15.1)$$

Nazorat savollari:

1. Yuklama sifatida qarshilik ulangan kalit parametrlarining yuklamadagi qarshilik qiymatiga bog'liqligini tushuntiring.
2. Nima sababli MDYa tranzistorlarda yasalgan kalit statik holatlarda manbadan quvvat iste'mol qilmaydi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B., Maxsudov J.T., Tulyaganov A.A., Toshmatov Sh.T. Elektronika va sxemotexnika (darslik) Toshkent: «Aloqachi», 2017 y., 376 b.
2. X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova, X.X. Bustanov, E.V. Ob'edkov, Sh.T. Toshmatov. Elektronika. Darslik. T.: Fan va texnologiya, 2011 y., 400 b.
3. X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova, X.X. Bustanov, E.V. Ob'edkov, Sh.T. Toshmatov. Elektronika. Darslik. T.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2012 y., 432 b.
4. Multisim User Guide. National Instruments, 2007 y.
5. Robert L. Boylestad. Introductory Circuit analysis. 2014-Pearson Education Limited, 1091 p.
6. Stephon Brown, Zvonko Vranesic. Fundamentals of Digital Logic with Verilog Design. 2014-The Mc Grow-Hin Companies. 847 p.
7. Behzad Razavi. Fundamentals of Microelectronics. 2nd edition. 2014 y. John Wiley&Sons. 932 p.
8. LabVIEW: Elektronika fanidan laboratoriya praktikumi. Laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko'rsatmalar. T. TATU: «Aloqachi», 2010 y., 78 b.
9. В.М. Пролейко. Базовые лекции по электронике (в 2-х томах). ТЕХНОСФЕРА. Москва. 2009 г.
10. С.Н.Лехин. Схемотехника ЭВМ. Санкт-Петербург, 2010 г.

Internet resurslari va saytlari

1. <http://moodle.tuit.uz>.
2. <http://www.intuit.ru>.
3. <http://www.ziyonet.uz>.
4. www.edu.uz.

MUNDARIJA

| | |
|---|----|
| Kirish | 3 |
| I BOB. Elektronika va sxemalar 1 fanining maqsadi va vazifalari. | |
| 1.1. Elektron qurilmalar va sxemalarning o'rni va ahamiyati. Hozirgi zamon elektronika sohasidagi yetuk olimlarning qo'shgan hissalar. Analog va raqamli tizimlar va ular orasidagi tafovutlar. Zamonaviy elektronikadagi diskret qurilmalardan integral sxemalargacha rivojlanishining tarixiy davrlari va rivojlanish istiqbollari..... | 5 |
| 1.2. Elektron sxema simulyatorlari. Elektron sxema simulyatorlarining turlari, afzalliklari va qo'llanilishi. Ma'lumotlar o'zgartiruvchi standart sxemalarni qamragan analog tizimlar dunyosi bilan kompyuterlar tizimlarining o'zaro ta'sirlari bilan bog'liq muammolar..... | 9 |
| II BOB. Elektr kattaliklar va elektr zanjirlarning asosiy elementlari. | |
| 2.1. Asosiy elektr kattaliklar (zaryad, tok, kuchlanish, energiya, quvvat) va ularning o'zaro munosabatlari. Elektr sxemaning asosiy passiv elementlari (rezistorlar, induktivlik g'altaklar, kondensatorlar) belgilanishi va xususiyatlari..... | |
| 2.2. Elektr zanjirlarning asosiy elementlari. Aktiv elementlarni ideallashtirib almashtirish..... | |
| 2.3. Om qonuni. Om qonuni asosida asosiy elektr sxemalar tahlili. Vaqt doimiylari va reaktiv qarshiliklarning farqi. Sig'im va induktiv reaktiv qarshiliklarga chastota va fazaning ta'siri..... | |
| III BOB. Elektr zanjirlarni hisoblash usullari. | |
| 3.1. Elektr sxemalar uchun Kirxgof qonunlari. Elektr sxemalarni Kirxgofning 1 va 2-qonunlari asosida hisoblash | 35 |

| | |
|---|-----|
| 3.2. Elementlarni ketma-ket va parallel ulanishlari. Ekvivalent almashtirish usuli va superpozitsiya (ustlash yoki jamlash) usuli..... | 45 |
| 3.3. Elektr zanjirlarning kontur toklar va tugun potentsiallar usullaridagi tahlili | 51 |
| 3.4. Tevenin (Ekvivalent kuchlanish manbai) va Norton teoremasi asosida tahlil | 63 |
| IV BOB. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash. | |
| 4.1. Elektr zanjirlarning sinusoidal signal ta'siridagi xususiyatlarini hisoblash. Sinusoidal elektr tebranishlar. Garmonik tok zanjirlarining umumiy tavsiflari | 66 |
| 4.2. RL va C zanjirlarning AChX va FChX larni hisoblash. Chastotaviy tavsiflar. To'rtqutublilik | 74 |
| V BOB. Elektr zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar. | |
| 5.1. RC va RL zanjirlarda o'tkinchi jarayonlar. Vaqt doimiylari, o'tkinchi va statsionar ta'sirlar va dempferlash (so'nish). R, L va C dan tuzilgan sodda sxemalarni loyihalash | 79 |
| 5.2. RC va RL zanjirlarda o'tkinchi jarayonlarni operator usulida hisoblash | 85 |
| VI BOB. Laboratoriya ishlari. | |
| 1 – Laboratoriya ishi. Universal laboratoriya stendi yordamida Om qonunini tasdiqlash | 92 |
| 2 – Laboratoriya ishi. Real kuchlanish generatorining yuklama xarakteristikalarini tadqiq etish | 98 |
| 3 – Laboratoriya ishi. Rezistiv kuchlanish bo'lgichini tadqiq etish | 104 |
| 4 – Laboratoriya ishi. RL va RC - zanjirlardagi garmonik tebranishlarni tadqiq etish | 109 |
| 5 – Laboratoriya ishi. Ketma-ket tebranish konturini tadqiq qilish | 122 |
| 6 – Laboratoriya ishi. Parallel tebranish konturini tadqiq qilish | 132 |

| | |
|---|------------|
| 7– Laboratoriya ishi. RL va RC zanjirlardagi oʻtkinchi jarayonlarni tadqiq etish | 139 |
| 8– Laboratoriya ishi. Differentsiallovchi va integrallovchi zanjirlarni tadqiq etish | 145 |
| 9– Laboratoriya ishi. Yarimoʻtkazgichli diod parametrlari va xarakteristikalarini tadqiq etish | 153 |
| 10– Laboratoriya ishi. Stabiltron xarakteristikasi va parametrlarini tadqiq etish | 161 |
| 11– Laboratoriya ishi. Optronni tadqiq etish | 164 |
| 12– Laboratoriya ishi. Umumiy emitter ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorni statik VAX larini tadqiq etish. H-parametrlarini hisoblash..... | 171 |
| 13– Laboratoriya ishi. Umumiy baza ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorni statik VAX larini tadqiq etish. H-parametrlarini hisoblash | 176 |
| 14– Laboratoriya ishi. Maydonli tranzistor statik xarakteristikalarini tadqiq etish. H-parametrlarini hisoblash | 180 |
| 15– Laboratoriya ishi. Kanali induksiyalangan metall-dielektrik-yarimoʻtkazgich (MDYa)-tranzistor xarakteristikalarini tadqiq etish. Parametrlarini hisoblash | 186 |
| Foydalanilgan adabiyotlar | 189 |

**Ismailov Sh.K., Setmetov N.U.,
Samandarov B.Gʻ., Ismoilov Sh.H.**

Elektronika va sxemalar 1

Oʻquv qoʻllanma

Toshkent - “METHODIST NASHRIYOTI” - 2024

Muharrir: Bakirov Nurmuhammad

Texnik muharrir: Tashatov Farrux

Musahhih: Shoumarova Oqila

Dizayner: Ochilova Zarnigor

Bosishga 10.07.2024.da ruxsat etildi.

Bichimi 60x90. “Times New Roman” garniturasida.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabogʻi 13. Nashr bosma tabogʻi 12,25.

Adadi 300 nusxa.

*“METHODIST NASHRIYOTI” MCHJ matbaa boʻlimida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, Shota Rustaveli 2-vagon tor koʻchasi, 1-uy.*



+99893 552-11-21

Nashriyot roziligisiz chop etish taʼqiqlanadi.

ISBN 978-9910-03-209-7



9 789910 032097

