

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI  
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

---



G'.B.ESHONQULOV, D.A.TALIPOV

**ELEKTRONIKA VA  
SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH**

**Kitob quyidagi ko'rsatilgan  
muddatda topshirilishi shart**

**Oldingi foydalanishlar  
miqdori**

--	--

r.



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

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI  
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

G.B.ESHONQULOV, D.A.TALIPOV

**ELEKTRONIKA  
VA SIGNALLARNI  
QAYTA ISHLASH**

**DARSLIK**

Toshkent  
"Ma'rifat"  
2025

ji  
n  
si  
  
b  
n  
o,  
y  
ii

si  
iv  
ta

ig  
ey  
32  
li;  
ot  
an

UO'K: 621.37(075.8)+621.38(075.8)

KBK: 32.85ya73

E 99

**Eshonqulov G.B., Talipov D.A. Elektronika va signallarni qayta ishlash. Darslik. –T.: "Ma'rifat", 2025. 344 bet.**

"Elektronika va signallarni qayta ishlash" fani 60530900 – Fizika, 60530911 – Astronomiya ta'lim yo'nalishlari o'quv rejasidagi asosiy mutaxassislik fanlaridan biri hisoblanadi.

Hozirgi kunda axborot makonlarining juda kengayib ketishi, ma'lumot almashish tizimlarining takomillashib borishi natijasida axborotni qabul qilish, qayta ishlash, saqlash va uzatish masalalari dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu holatni hisobga olgan holda soha mutaxassislaridan ma'lumotlarni uzatish, qabul qilish, qayta ishlash va saqlash jarayonlarini amalga oshirishda qo'llaniladigan radiofizik qurilmalar va asboblarning elementlar bazasi, ishlash prinsipi hamda qo'llanish sohalari to'g'risida umumiy tasavvurga ega bo'lishi talab qilinadi. Ushbu darslikda elektr zanjiri va radioelektron qurilmalardagi jarayonlarning xususiyatlari va ularni tahlil qilish metodlari keltirilgan. Tahlil spektral tahlil qilish metodiga asoslangan. Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda 60530900 – Fizika, 60530911 – Astronomiya ta'lim yo'nalishlari o'quv rejasiga mazkur fan kiritilgan. Mazkur darslikdan yosh o'qituvchilar, magistr va doktorantlar ham foydalanishi mumkin.

UO'K: 621.37(075.8)+621.38(075.8)

KBK: 32.85ya73

E 99

#### Taqrizchilar:

**Zikrillaev N.** – Islom Karimov nomidagi TDTU professori, fizika-matematika fanlari doktori

**Kasimov A.** – O'zbekiston milliy universiteti Fizika fakulteti Fotonika kafedrasini professori, fizika-matematika fanlari doktori

ISBN: 978-9910-709-46-3

© "Ma'rifat" nashriyoti, Toshkent, 2025 y.

## Kirish

Fan va texnikaning insonlar va ularni o'rab turgan dunyo to'g'risidagi axborotlarni uzatish, qabul qilish va qayta ishlash uchun elektromagnit to'lqin hodisalardan foydalanish masalalari bilan shug'ullanuvchi keng sohasi elektronika va signallarni qayta ishlashni o'z ichiga oladi.

Axborotlarni o'zaro almashishga bo'lgan talab har doim mavjud bo'lib kelgan. Insoniyatning taraqqiy etishi bilan bunday ehtiyoj ham o'z - o'zidan ortib bormoqda. Har kuni ommoviy axborot vositalari (gazeta, jurnal, radio, televideniye, internet, aloqa almashish qurilmalari va boshqalar) orqali qay darajada katta hajmdagi ma'lumotlarni butun dunyoda istiqomat qiluvchi odamlarga yetkazib berilayotganini tasavvur qilib ko'ring.

Radioelektronika (ilgari radiotexnika deb atalgan) fan va texnikaning ma'lum bir sohasi sifatida asosan Aleksandr Sergevich Popov (1859 - 1905yy.) tomonidan 1895-yilda elektromagnit to'lqinlar yordamida ma'lumot uzatilgandan so'ng vujudga kelgan. Shuningdek, ushbu sohada italyan



A.S. Popov



fizigi Gulelmo Markoni (*Guglielmo Marconi*; 1874 - 1937yy) ham katta ishlar qilgan. Elektromagnit to'lqinlar yordamida uzatish g'oyasi birdaniga yo'q joydan paydo bo'lmagan. A.S. Popov tajribasidan ancha avval radioelektronikaga bevosita aloqador bir qator kashfiyotlar qilingan.

G. Marconi Jumladan, Italyan olimi A. Volta tomonidan 1800 - yilda elektr tokining elektrokimyoviy manbai, ya'ni galvanik element va batareyaning kashf etilishi; 1820 - yilda T.X. Ersted elektr tokining magnit ta'sirini kashf etishi va Amper tomonidan shu yillarning o'zida o'ram holatidagi



A. Volta



simdan tok o'tayotganida uning magnit ta'sirining kuchayishi ko'rsatib berilgan; 1831 - yilda M. Faradey tomonidan elektromagnit induksiya hodisi kashf etildi; 1832 - yilda P.L. Shilling tomonidan elektron telegraf ixtiro qilindi;

M. Faradey 1837 - yilda S. Morze tomonidan Morze alifbosi axborot uzatish uchun joriy etildi; 1873 - yilda ingliz olimi D.K. Marsten tomonidan

DENOV TASSIRKORLIK  
VA PEDAGOGIKA  
INSTITUTI ARM  
№ 34224

elektromagnit maydon nazariyasini ishlab chiqishi va e'lon qilishi (bu nazariyaga ko'ra elektromagnit maydon-bir vaqtda vaqt bo'yicha o'zgaruvchi elektr va magnit maydonlarning o'zaro bog'liq holda mavjud bo'lishi); 1880-yilda nemis fizik olimi H.Hertz tajribada elektromagnit to'lqinlarni hosil qilib kuzatdi. Bu va shunga o'xshash bir qator kashfiyotlar



H.R.Hertz axborotlarni uzatish uchun radiotexnik qurilmalarning yaratilishiga asos bo'ldi.

A.S.Popov dunyoda birinchi elektromagnit to'lqinlar qabul qiluvchi qurilmasining ish jarayonini ko'rsatib berganidan beri o'tgan vaqt davomida radiotexnika va elektronika shu darajada taraqqiy etdiki, hozirgi kunda u qo'llanilmaydigan biror bir sohani qidirib topish juda qiyin. Zamonaviy fan, texnika va ishlab chiqarishda elektronika vositalari va usullarining tatbiqisiz tasavvur etish esa hech qanday ma'noga ega bo'lmay qoladi.

Elektronika bizning hayotimizda shu darajada chuqur o'rin egallaganki, bu odatiy holatga aylanib qolgan. Buni biz kundalik turmushimizda foydalanadigan radio, televideniya, internet, kundan kunga tez o'sib borayotgan avtomatlashtirilgan xizmat ko'rsatish sohalari, turli maqsadlarga mo'ljallangan elektron hisoblash texnikalarida ko'rishimiz mumkin.

Elektronika inson faoliyatining deyarli barcha ko'rinishlariga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Shuning uchun ham, zamonaviy tabiiy, texnika va ko'pgina gumanitar fanlar sohalari bo'yicha ta'lim jarayonida elektronika, axborot tashuvchi signallarni qayta ishlashni o'rganish zaruriy elementga aylandi.

Bizning davrimizga kelib elektronika juda tez taraqqiy etmoqda. O'tgan asrning 60 - yillarida elektron lampalar o'rniga yarimo'tkazgich asboblari (diodlar, tranzistorlar) kirib kelgan bo'lsa, 70 - yillarida esa integral sxemalar amaliyotga joriy qilindi. Ularning o'rnini esa katta integral sxemalar egallamoqda. Bunda bitta yarimo'tkazgich kristallida yuzlab va minglab elementlar o'zaro bog'lanib, ma'lum bir funksional vazifalarni bajaruvchi funksional sxemalar shakllantirilmoqda.



J.K.Maksvell

Mazkur kursning maqsadi talabalarga elektronika va signallarni qayta ishlashda qo'llaniladigan elementlar bazasining turlari hamda ulardan turli maqsadlarda foydalanish usullari, qurilma va asboblarni yaratish texnologiyasini o'rgatish, shuningdek ushbu jarayonda ro'y beradigan asosiy fizikaviy qonuniyatlar bilan tanishtirish orqali ularni amaliy faoliyatida elektronika va radiofizika usullaridan turli tajribalarni o'tkazishda foydalanish ko'nikmalarini shakllantirishdan iboratdir.

### Axborot uzatish tizimlarining asosiy tushunchalari

Elektronika va signallarni qayta ishlash kursi elektromagnit hodisalar yordamida axborotlarni uzatish, qabul qilish va qayta ishlash masalalari bilan shug'ullanadi.

Odatda axborot deganda, ko'pchilik odamlar o'zaro fikr almashayotgan vaqtda bir - birlariga bildiradigan ma'lumotlarni tushunadilar. Amalda har qanday ma'lumot bu jarayon, voqea, tabiiy hodisadir. Keng ma'noda tushuniladigan bo'lsa, uni quyidagicha ta'riflash mumkin:

*Axborot* – bu insonni o'rab turgan dunyo va uning o'zi haqida ma'lumotlarni to'plashdir.

Bu ma'lumotlarni uzatish, taqqoslash, o'zgartirish, saqlash yoki shu vaqtning o'zida ulardan foydalanish mumkin. Bu ma'lumotlarni almashish faqat insonlar o'rtasida bo'lmay, inson - qurilma, qurilma - qurilma, qurilma - inson ko'rinishida ham amalga oshirish mumkin.

Umuman olganda, axborotni uzatish turli shaklda amalga oshirilishi mumkin. Qandaydir bir shaklda uzatilgan axborot *xabar* deb ataldi. Masalan: Agar axborot xat, telegramma yoki SMS orqali yuborilayotgan bo'lsa, xabar xat, telegramma yoki SMSning teksti bo'ladi. Axborot og'zaki ko'rinishda uzatilsa, vaqt bo'yicha o'zgaruvchan funksiya bo'lgan *to'vush xabar* bo'ladi. Bu kabi misollarni ko'plab keltirish mumkin. Bu televideniya tasvirlari, masofadan boshqariluvchi apparatlarga yuboriladigan buyruqlar, hisoblash sistemalaridan chiqadigan ma'lumotlar va boshqalar.

Xabarni uzatishda har doim xabar yuboruvchi va xabarni oluvchini ko'rsatish mumkin. Xabar yuboruvchi va oluvchilar faqat inson bo'lmasligi mumkin.

Xabar yuboruvchi rolini turi obyektlar holatini nazorat qilishda foydalaniladigan xilma - xil datchiklar, operatorlar va boshqa qurilmalar ham bo'lishi mumkin.

Qabul qiluvchilar: inson, operatorlar, qayd qilish qurilmalari va boshqalar bo'lishi mumkin. Barcha holat uchun umumiy bu har qanday xabar yuboruvchi xabarni shakllantiradi yoki yaratadi. Bu kerakli so'zlarni tanlash orqali ham yozish; zarur iboralar yordamida telefonda gaplashish bo'lishi mumkin. Ular xabar yuboruvchining fikrlarini ifodalaydi. Shuning uchun har bir xabar uzatuvchini *axborot manbai* deb ataladi. Xabarni qabul qiluvchi yoki xabar yuborilgan obyekt *axborot oluvchi* deb ataladi.

Xabarlar uzoq masofalarga moddiy tashuvchi yordamida uzatiladi. Xat orqali xabar yuborilganda qog'oz moddiy tashuvchi vazifasini bajaradi. Og'zaki usulda xabar tovush to'lqinlarining havoda tarqalish jarayoniga binoan uzatiladi. Radiotexnikada bunday moddiy tashuvchi vazifasini elektromagnit to'lqinlar bajaradi.

*Elektromagnit to'lqin nima?* Bu haqda siz umumiy fizika kursida ma'lumot olgansiz, ya'ni elektromagnit to'lqinlarning xususiyati va xossalari to'g'risidagi ma'lumotlarni o'rgangansiz. Shuning uchun biz elektromagnit to'lqinlar to'g'risida to'xtalib o'tirmaymiz. Sizga eslatish maqsadida quyidagilarni aytishimiz mumkin: O'tkazgichdan elektr toki o'tayotgan vaqtda o'tkazgich atrofida magnit maydoni hosil bo'ladi. O'tkazgichdan o'tayotgan tok ortganida hosil bo'lgan magnit maydoni energiyasi ham ortadi, tok kamayganda esa magnit maydoni energiyasi ham kamayadi. Bunda magnit maydon energiyasi manbaga qaytadi.

Ammo tok qiymati va yo'nalishining o'zgarish chastotasi ortib borishi manbadan energiyaning o'tkazgich atrofidagi maydonga o'tishi va qaytishi faqat o'tkazgich yaqinidagi masofada amalga oshadi. Energiyaning bir qismi elektromagnit to'lqinlar ko'rinishida atrofga tarqaladi.

Elektromagnit to'lqinlarning asosiy parametrlari: bu to'lqin uzunligi  $\lambda$ , chastotasi  $f$  va tebranish davri  $T$ .

Bu kattaliklar o'zaro quyidagicha bog'langan

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f},$$

bu yerda  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

Katta energiyaning nurlantirish uchun o'tkazgichning uzunligi nurlanishning to'lqin uzunligiga teng bo'lishi kerak.

$$\frac{l}{\lambda} = 1$$

Demak, energiyani effektiv nurlanishi uchun chastota qanchalik katta bo'lsa shunchalik kichik uzunlikdagi o'tkazgich kerak bo'lar ekan.

Radioelektronikada hozirgi kunda foydalanilayotgan chastotalar diapazoni  $10 \div 10^{13}$  Hz ga teng.

Turli to'lqin uzunligiga ega to'lqinlar yer atrofida va kosmik fazoda turlicha tarqaladi. Yuqorida ta'kidlanganidek, nurlanish chastotasi qanchalik katta bo'lsa, nurlantiruvchi antenna o'lchami shunchalik kichik bo'ladi. Undan tashqari chastota qanchalik katta bo'lsa, kerakli yo'nalishda to'lqinlar nurlanishi shunchalik yaxshi amalga oshadi. Bu esa manbaning quvvatini oshirmay turib axborotni uzatish masofasini uzaytirish imkonini beradi.

Shuningdek, chastota qanchalik katta bo'lsa, unga boshqa elektromagnit nurlanishlar (momoqaldiraq, atrofda razryadlar, tramvay, trolleybus, elektropoezdlar kontaktlarining uzilishi) ta'siri shunchalik kichik bo'ladi. Bundan tashqari ushbu ta'sirlar xalaqit beruvchilar hisoblanadi.

Radiotexnikada foydalanilayotgan chastotalar diapazonining kengayishi stansiyalar va kanallar soni ortishi bilan ham bog'liq. Chunki har bir axborot manbai va qabul qiluvchi juftlik uchun alohida *ishchi chastota* bo'lishi kerak. Axborot manbaining *ishchi chastotasi* deb axborot uzatilayotgan chastotasiga aytiladi (masalan, teleko'rsatuvlar metrli, detsimetrli chastotalarda olib boriladi).

Shunday qilib biz axborot, xabar, axborot manbai va qabul qiluvchi, ishchi chastota tushunchalari bilan tanishdik.

#### Axborot uzatish tizimlari

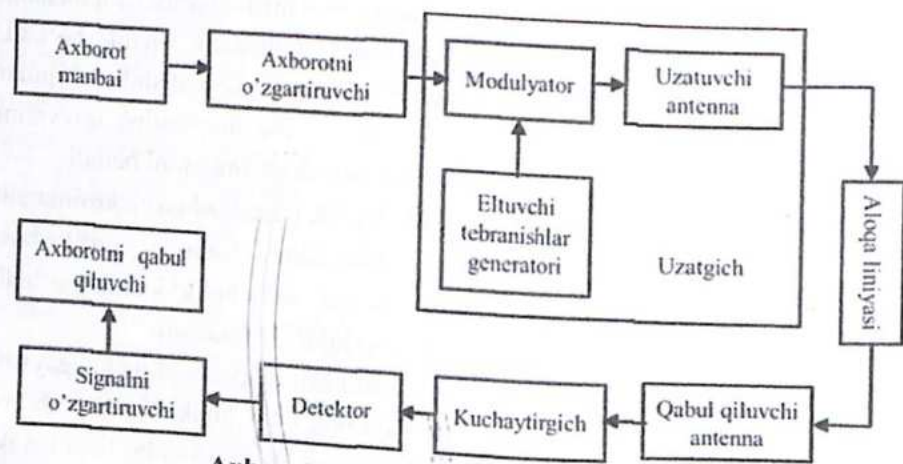
Yuqorida radioelektronika elektromagnit hodisalar asosida axborot uzatish, qabul qilish, uni qayta ishlash masalalari bilan shug'ullanadi deyilgan edi. Ularning barchasi fizik jarayondir.

Har qanday jarayon tez yoki sekin o'tishi mumkin. Shuning uchun jarayonning o'tish tezligiga qarab uzatish, qabul qilish va qayta ishlashning

turlicha usullaridan foydalaniladi. Shuningdek, olingan natijalarni tahlil qilish ham turlicha amalga oshiriladi.

Axborot uzatishda foydalaniladigan usul va shakllarning ko'pligiga qaramay, ularning hammasi uchun radioelektronika nuqtayi nazaridan, bu jarayonda asosiy elementlar sifatida axborot manbai, axborotni qabul qiluvchi va ularni o'zaro bog'lovchi kanal ishtirok etadi.

Axborot manbai, bog'lovchi kanal, axborotni qabul qiluvchi sxemasi bo'yicha axborotni uzatish jarayonini ta'minlash uchun qo'shimcha radiotexnik qurilma va asboblari kerak bo'ladi. Axborotni uzatish va qabul qilish jarayonida foydalaniladigan asboblari va qurilmalar majmuasi *axborot uzatish tizimi* deb ataladi.



**Axborot uzatish va qabul qilish tizimi**

Radio, teleko'rsatuv, uyali aloqa tizimining ishlashini ko'rib chiqamiz. Diktor yoki telefonda gapirayotgan kishi axborot manbai vazifasini bajaradi. Mikrofon ovozi vaqt bo'yicha o'zgartiruvchi kuchlanish (yoki tok) ga aylantiradi. Demak, mikrofon axborotni bir ko'rinishdan boshqa ko'rinishga aylantiruvchi qurilma vazifasini bajaradi. Mana shu mikrofondan shakllangan kuchlanish *uzatuvchi signal* deb ataladi.

Bu signal uzatuvchi qurilmaga kelib tushadi. Uzatuvchi qurilma axborotni tashuvchi tebranishlar generatori, modulyator va uzatuvchi antennadan tashkil topgan.

Yuqorida biz o'tkazgichdan yuqori chastotali tok o'tayotganda elektromagnit to'lqinlar hosil bo'lishi to'g'risida fikr yuritgan edik. Demak, biz texnik qurilmalar yordamida yuqori chastotada o'zgaruvchi elektr toki tebranishlarini hosil qilishimiz zarur. Bunday qurilmalar yuqori chastotali tebranishlar generatori deb ataladi. Odatda, garmonik tebranishlardan foydalanamiz. Ularni

$$I(t) = I_m \sin(2\pi ft + \varphi)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin. Bu yerda  $I_m$  - tebranishlar amplitudasi,  $f$  - tebranishlar chastotasi,  $\varphi$  - tebranishlar boshlang'ich fazasi.

Bu kattaliklar garmonik tebranishlarning *parametrlari* deb ataladi. Tebranishning o'zi esa *tashuvchi tebranish* deb ataladi. Tashuvchi tebranishda axborot bo'lmaydi. Demak, uzatuvchi qurilmaga uzatilishi kerak bo'lgan signal kirib kelgan vaqtda unda dastlab yuqori chastotali tashuvchi tebranish mavjud bo'lar ekan. Endi bu tashuvchi yuqori chastotali tebranishni nurlantirishdan oldin unga ma'lumot signalini kiritish kerak bo'ladi. Bu ikki signalning o'zaro qo'shilishi natijasida *modulyatsiyalangan signal* hosil bo'ladi. Modulyatsiya *modulyator* deb ataluvchi qurilma yordamida amalga oshiriladi.

*Modulyatsiya o'zi nima?*

Tashuvchi tebranish parametrlaridan birortasining vaqt bo'yicha sekin-asta o'zgartirilishi *modulyatsiya* deb ataladi.

Tashuvchi yuqori chastotali tebranish asosan uchta parametrga ega ekanligidan kelib chiqib, hozirgi kunda qaysi parametr o'zgartirilayotganiga qarab radiotexnikada asosan 3 xil ko'rinishdagi modulyatsiya qo'llaniladi: *chastotaviy, amplitudaviy va fazaviy modulyatsiya*.

Modulyatsiyalangan tebranishlar *radiosignal* deb ataladi va aloqa liniyasidagi nurlantiruvchi antenna orqali fazoga tarqatiladi.

Axborot uzatishning ikkinchi bosqichi bu signalni qabul qilishdir. Radiosignal qabul qiluvchi antennaga kelib tushgach, unda elektr tebranishlar hosil qiladi. Bu tebranishlar *qabul qilingan signal* deb ataladi.

Bu signal ideal holda uzatuvchi antenna tomonidan nurlanayotgan modulyatsiyalangan signal shakliga to'la mos bo'lishi kerak.

Xabarni olish uchun avval qabul qilingan signaldan yuborilgan modulyatsiyalovchi signalni ajratib olish kerak. Bu ish qabul qilingan signalni

## I BOB. ELEKTR ZANJIRI VA ULARNING TURLARI

### 1.1 Elektr zanjiri

Axborotlarni uzatish, qabul qilish va qayta ishlash jarayonida turli xil qurilma va asboblardan keng foydalaniladi. Bu qurilma va asboblarning turli funksiyalarni bajaruvchi elementlarni o'z ichiga olgan elektron qurilma hisoblanadi. Elektron qurilmalarni yasashda ularda qo'llaniladigan elementlar bajaradigan funksiyasiga qarab turlicha ulanadi va mos holda elektr zanjirini hosil qiladi.

Umumiy fizika kursidan ma'lumki, zaryad tashuvchilarning tartibli harakati *elektr toki* deb ataladi. Amalda zaryad tashuvchilarning tartibli harakatini hosil qilish uchun energiya manbai va uning iste'molchisidan iborat berk konturni hosil qilish kerak. Manba va iste'molchi o'tkazgichlar orqali o'zaro bog'lanadi hamda berk kontur hosil qilishi talab qilinadi. Bunday berk kontur *elektr zanjiri* deb ataladi. Elektr zanjiridagi elektromagnit jarayonlar elektr yurituvchi kuch (EYuK), tok va kuchlanish kabi kattaliklar yordamida ifodalanadi.

Iste'molchi sifatida turli qarshilik, sig'im, induktiv g'altak, diod, tranzistor, mikrosxemalar va boshqa ko'rinishdagi elementlar olinishi mumkin.

Elektr zanjirini o'rganish ikkita yondashuv asosida amalga oshiriladi - *energetik va informatsion*. Energetik yondashuv elektromagnit energiyani hosil qilish, qayta ishlash, uzatish va qo'llash bilan bog'liq fizikaviy jarayonlarni o'rganadi hamda u zanjirning bir qismida tok hamda kuchlanishni aniqlash bilan bog'liq. Informatsion yondashuv esa elektr signalini shakllantirish, qayta ishlash, uzatish va qabul qilishdagi fizik jarayonlarni o'rganadi hamda u zanjirning biror tashqi ta'sirga javob bera olishi bilan bog'liq.

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, elektr zanjiri uchun umumiy holda quyidagicha ta'rif berish mumkin:

Elektr toki o'tish yo'lini hosil qiluvchi ma'lum bir shaklda o'zaro bog'langan, elektr tokini ishlab chiqish, uzatish, qabul qilish va qayta ishlash uchun mo'ljallangan qurilma va obyektlar to'plami *elektr zanjiri* deyiladi.

detektorlash orqali amalga oshiriladi. *Detektorlash* – amalda modulyatsiyaga teskari jarayon. Shuning uchun ba'zi adabiyotlarda bu jarayon *demodulyatsiya* deb ham ataladi. Bu jarayon *detektor* deb nomlanuvchi qurilma orqali amalga oshiriladi.

Agar qabul qilingan signal amplitudasi yetarli darajada katta bo'lsa, detektorlash oson amalga oshiriladi. Ammo amalda qabul qiluvchi antennaga tarqatuvchi antennadan nurlangan energiyaning juda kichik qismi yetib keladi. Shuning uchun qabul qilingan radiosignal avval kuchaytirilib, keyin detektorga uzatiladi. Signalni kuchaytirish *kuchaytirgich* deb ataluvchi maxsus qurilma yordamida amalga oshiriladi. Qabul qilinib detektorlangan signal yuborilgan axborot ko'rinishiga keltirib o'zgartirish vazifasini dinamik bajaradi va axborot tovush ko'rinishida tinglovchiga, ya'ni qabul qiluvchiga yetkazib beriladi.

Barcha real qurilmalarda qabul qilingan axborot yuborilgandan biroz farqlanadi. Chunki bog'lovchi kanalni tashkil etuvchi qurilmalarda turli ta'sirlar ro'y beradi. Ular bu qurilmalarda foydalanilgan aktiv yoki reaktiv elementlar tomonidan ko'rsatilgan ta'sirlar hisoblanadi. Axborot simsiz aloqa orqali uzatishda tashqi ta'sirlar yanada kuchliroq bo'ladi. Chunki bunda qurilmalardagi ta'sirlarga atmosfera razryadlari, tokli kontaktlar va ishlab chiqarish ta'sirlari qo'shiladi.

Butun gap signal deganda nima tushunishimiz kerak degan savolga javob berishga qaratilgan edi.

Xulosa sifatida quyidagi ta'rifni keltiramiz. Har qanday moddiy xabar tashuvchi bo'lgan *fizik jarayon signal* deb ataladi.

Bu ta'rifga ko'ra, agar xabar tashuvchi elektr kuchlanishi yoki toki bo'lsa - elektr signali, elektromagnit to'lqinlar bo'lsa - radiosignal tushuniladi.

Elektr zanjiri elektr sxemasi orqali ifodalanadi. *Elektr sxemasi*—bu elektr zanjirning grafik tasviri bo'lib, u zanjirni tashkil qiluvchi element va qurilmalar hamda ularni bog'lovchilarni aks ettiruvchi shartli belgilardan iborat.

### 1.2 Elektr zanjiri elementlari

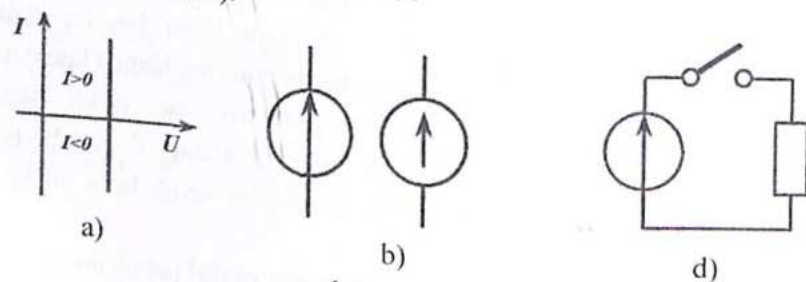
Elektr zanjiri tarkibiga kiruvchi va unda ma'lum bir funksiyani bajaruvchi alohida qurilma yoki obyekt *elektr zanjiri elementlari* deb ataladi.

Barcha elektr zanjirlarini tashkil qiluvchi elementlarni ikki turga ajratish mumkin: *aktiv va passiv*.

Elektr energiyasini ishlab chiqarish yoki ulardan o'tayotgan signal energiyasini kuchaytirib berish xususiyatiga ega bo'lgan elementlar *aktiv elementlar* deyiladi. Ularga EYuK va tok manbalari, tranzistorlar, analog va raqamli mikrosxemalar, elektron lampalar, lazerlar va boshqalar kiradi.

Passiv elementlar energiya ishlab chiqarmaydi, aksincha ular energiyani iste'mol qiladi. Ularga qarshilik (rezistor), induktivlik g'altak, sig'im va ulovchi simlar kiradi. Passiv elementlar elektr energiyasini iste'mol qiladi, yig'adi va qayta uzatadi.

Aktiv elementlarni tahlil qilishda ko'p hollarda *ideal energiya manbai* tushunchasidan foydalaniladi. *Ideal EYuK manbasi* deganda ichki elektr qarshiligi nolga teng bo'lgan o'zgaruvchan yoki o'zgarmas EYuK manbai tushuniladi (1.1a - rasm).

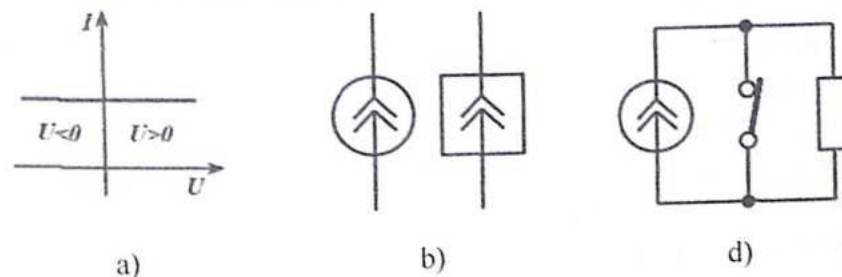


1.1 - rasm

Bunday manbaning tashqi klemmalari orasidagi kuchlanish EYuKga teng bo'lib, nagruzka (iste'molchi) qarshiligiga bog'liq bo'lmaydi. Nagruzka qarshiligiga bog'liq holda manbadan oqayotgan tok qiymati o'zgaradi. Om qonuniga ko'ra  $U = IR_n$ ,  $I = \frac{U}{R_n}$ , agar  $R_n = 0$  bo'lsa, u holda  $I = \infty$  bo'ladi,

bu yerda  $U$  bu manbaning tashqi klemmalari orasidagi kuchlanish. Ularning sxemada belgilanishi 1.1b - rasmda keltirilgan. Kuchlanish manbaidagi kuchlanish vaqt bo'yicha ixtiyoriy ravishda o'zgarishi mumkin. Xususiyl holda  $U(t) = U = const$  bo'lsa, bunday manba *o'zgarmas kuchlanish manbai* deyiladi. Kuchlanish manbaining sxemaga ulanishi 1.1d - rasmda keltirilgan.

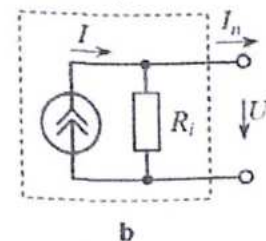
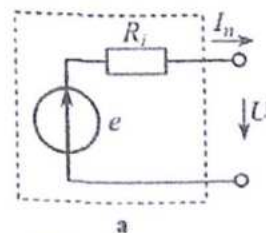
*Ideal tok manbasi* deganda ichki elektr qarshiligi cheksiz katta bo'lgan o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tok manbai tushuniladi ( $R_i = \infty$ ). Bunday manbaga ulangan nagruzkadan oqayotgan tok uning qarshiligi qiymatiga bog'liq bo'lmaydi (1.2a - rasm).



1.2 - rasm

Ideal tok manbalarining sxemada belgilanishi 1.2b - rasmda keltirilgan. Manbadagi tok vaqt bo'yicha ixtiyoriy ravishda o'zgarishi mumkin. Xususiyl holda  $I(t) = I = const$  bo'lsa, bunday manba *o'zgarmas tok manbai* deyiladi.

Ideal tok manbaini sxemaga ulanishi 1.2d - rasmda keltirilgan.



1.3-rasm

Ixtiyoriy real EYuK yoki tok manbasi aniq bir qiymatga ega bo'lgan  $R_i$  - ichki qarshilikka ega. Ko'p hollarda elektr zanjirlarni hisoblashda bu ichki qarshilikni e'tiborga olishga to'g'ri keladi. Energiya manbasining ichki qarshiligini hisobga olish zarur bo'lgan sxemalarda manbalar 1.3 - rasmda ko'rsatilganidek belgilanadi.

Demak, real EYuK manbasi ideal manba va unga ketma-ket ulangan ichki qarshilik ko'rinishida (1.3a - rasm), real tok manbasi esa ichki qarshiligi o'ziga parallel ulangan ideal tok manbasi ko'rinishida (1.3b - rasm) belgilanar ekan.

Ko'rinadiki, real EYuK manbasining ichki qarshiligi qanchalik kichik bo'lsa u shunchalik ideal EYuK manbaiga yaqin bo'ladi. Real tok manbasining ichki qarshiligi nagruzka qarshiligiga nisbatan qanchalik katta bo'lsa, u shu darajada ideal tok manbaiga yaqin bo'lar ekan.

Aktiv elementlardan farqli holda, passiv elementlarda elektr energiyasining boshqa turdagi energiyaga aylantirilishi hisobiga energiya sarfi ro'y beradi. Passiv elementlar bir - biridan manba energiyasini boshqa ko'rinishdagi energiyaga aylantirishlari bilan farqlanadi. Rezistorda elektr energiya issiqlik energiyasiga, kondensatorda elektr maydon energiyasiga, induktiv g'altakda magnit maydon energiyasiga aylanadi.

Rezistor - maxsus tayyorlangan o'tkazgich bo'lib, aniq bir qiymatga teng qarshilikka ega bo'ladi. Rezistorlarning asosiy xususiyati bu, elektr tokining o'tishiga to'sqinlik qilishidir. Shuningdek, rezistor elektr energiyasini qaytmaydigan issiqlik energiyasiga aylantiradi. Rezistorning qarshiligi tok o'tkazuvchi qatlamning materialiga, uning geometrik o'lchamlari va temperaturasiga bog'liq:

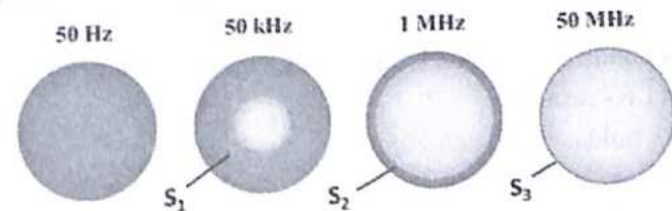
$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad R = R_0(1 + \alpha t) \quad (1.1)$$

bu yerda  $\rho$  - materialning solishtirma qarshiligi,  $l$  - o'tkazgichning uzunligi,  $S$  - ko'ndalang kesim yuzasi,  $R_0$  - o'tkazgichning  $t = 0^\circ\text{C}$  bo'lgandagi qarshiligi,  $\alpha = 1/273$  issiqlik koeffitsiyenti,  $t$  - o'tkazgichning temperaturasi. Ko'pchilik holda o'tkazgich qarshiligining temperaturaga bog'liqligini real o'lchashlarda hisobga olmasa ham bo'ladi.

O'tkazgichning qarshiligi undan o'tayotgan tokning chastotasiga bog'liq. Qarshilikni hisoblashda uning temperaturaga bog'liqligi inobatga olinmasa ham, chastotaga bog'liqligini hisobga olishga to'g'ri keladi. Chunki sirt effekti (skin effekti) tufayli rezistorning o'zgaruvchan tokka qarshiligi o'zarmas tokka nisbatan katta bo'ladi. Chastotaning ortishi o'tkazgich qarshiligining ortishiga olib keladi. O'zgarmas tok o'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasining hamma joyidan o'tadi. Shuning uchun o'zgarmas tokning zichligi o'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasining hamma joyida bir xil bo'ladi (1.4 - rasm).

O'zgaruvchan tokning zichligi esa o'tkazgich sirtiga yaqin joylarda markaziga nisbatan katta bo'ladi. Nisbatan katta chastotalarda tok o'tkazgich

sirti yaqinidagi yupqa qatlam ( $S_1, S_2, S_3$ )lardan o'tadi (1.4 - rasm). O'tkazgichning qarshiligi o'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasiga teskari proporsional bo'lganligi uchun (1.1) ifodaga ko'ra effektiv yuzaning kichrayishi qarshilikni ortishiga olib keladi.



1.4 - rasm. O'tkazgich ko'ndalang kesimi bo'yicha zaryad tashuvchilarning joylashishi

Misol uchun, mis simning qarshiligi 1 MGs chastotada o'zgarmas tokdagi qarshilikka nisbatan 4 marta, 10 MGs chastotada esa 12 marta ortadi.

O'tkazgichning o'zgarmas tokka nisbatan qarshiligini *elektr qarshilik*, o'zgaruvchan tokka nisbatan qarshiligini esa *aktiv qarshilik* deb atash qabul qilingan. Qarshilikning o'lchov birligi:

$$1 \text{ Om} = 1 \text{ V/A.}$$

Qarshilikka teskari kattalik *o'tkazuvchanlik* deb ataladi:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad (1.2)$$

SI sistemasida o'tkazuvchanlik birligi *Simens* deb qabul qilingan.

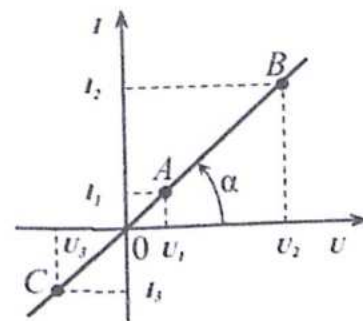
Qarshilik elektr zanjirining ideal elementi sifatida *volt - amper xarakteristika* deb ataluvchi tokning unga qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligi bilan xarakterlanadi.

Agar volt - amper xarakteristika

chiziqli bo'lsa, qarshilik *chiziqli*, aks holda *nochiziqli qarshilik* deb ataladi.

Chiziqli qarshilikning volt - amper xarakteristikasi  $\alpha = \text{arctg} \frac{1}{R}$  qiyalik

burchagiga ega to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi (1.5 - rasm) va uning har qanday nuqtasida



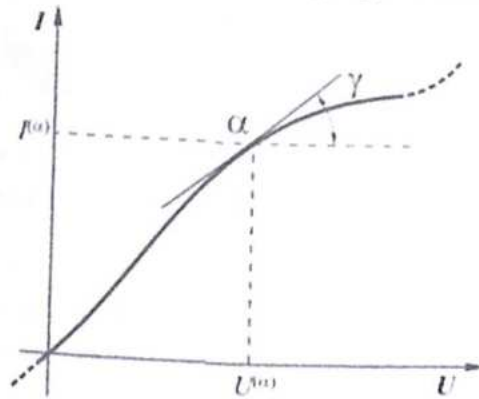
1.5 - rasm

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_3}{I_3} = R = \text{const} \quad (1.3)$$

bo'lib, qarshilik unga qo'yilgan kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. Volt - amper karakteristikada tok yoki kuchlanish qiymati aniqlangan nuqta - *ishchi nuqta* deb ataladi.

Nochiziqli qarshilikda xarakteristika murakkab ko'rinishga ega bo'lishi mumkin (1.6 - rasm).

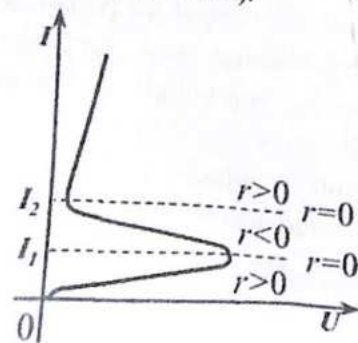
Bu holda egri chiziqning holatini avvaldan belgilangan nuqtalar atrofida aniqlab olish uchun quyidagi kattaliklarni kiritish qulay hisoblanadi:  $R_0$  o'zgarmas tok bo'yicha qarshilik va  $r$  differensial qarshilik (o'zgaruvchan tok bo'yicha qarshilik). Birinchisi tanlangan nuqtadagi potentsiallar farqini tokka nisbatidan aniqlanadi



1.6 - rasm

$R_0 = \frac{U^{(\alpha)}}{I^{(\alpha)}}$ , differensial qarshilik esa  $r = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{\alpha}$  ga teng bo'lib, tanlangan  $\alpha$  ishchi nuqtada egri chiziqqa o'tkazilgan urinmaga bog'liq kattalik hisoblanadi  $\text{tg } \gamma = 1/r$ .

Doimiy (statistik) qarshilik har doim musbat bo'ladi, differensial qarshilik esa musbat ( $r > 0$ ), manfiy ( $r < 0$ ) yoki nolga teng ( $r = 0$ ) bo'lishi mumkin (1.7 - rasm).



1.7 - rasm

Qarshilik tomonidan elektr energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylantirganda ajraladigan oniy quvvat:

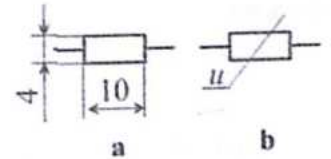
$$P_R = I \cdot U = I^2 R = GU^2 \quad (1.4)$$

bu yerda  $G$  - o'tkazuvchanlik,  $\Delta t = t - t_1$  vaqt oralig'ida qarshilik tomonidan issiqlik energiyasiga aylantiriladigan elektr energiyasi:

$$W_R = \int_{t_1}^t P_R dt = \int_{t_1}^t I^2 R dt = \int_{t_1}^t GU^2 dt \quad (1.5)$$

Agar  $I(t) = I = \text{const}$  bo'lsa, u holda  $W_R = I^2 R(t - t_1)$  ga teng. Bu ifoda *Joul - Lens* qonunining integral shaklda yozilishi hisoblanadi.

1.8a - rasmda chiziqli qarshilikning, 1.8b - rasmda nochiziqli qarshilikning shartli grafik belgilanishi keltirilgan. Bu rasmda keltirilgan raqamlar sxemada keltiriladigan element shartli belgisining o'lehamlarini bildiradi. Masalan, rezistor shartli belgisi sxemada balandligi 4 mm, bo'yi 10 mm qilib chiziladi.



1.8 - rasm

*Induktiv g'altak* - dielektrik karkasga joylashtirilgan kichik qarshilikga ega bo'lgan sim o'ramlaridan iborat. Induktiv g'altakning asosiy xususiyati magnit maydon energiyasi to'plashi yoki elektr maydon energiyasini magnit maydon energiyasiga aylantirishdan iborat.

*G'altakning induktivligi (L)* karkasning o'lehamlari va shakliga, o'ralgan sim diametri, o'ramlar soni, qanday o'ralganligi va o'zak materialiga, himoya ekrani mavjudligiga bog'liq:

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l} \quad (1.6)$$

bu yerda  $\mu_0$  - magnit doimiysi,  $\mu$  - o'zak materialining magnit singdiruvchanligi,  $l$  - g'altakning uzunligi,  $N$  - o'ramlar soni,  $S$  - g'altakning ko'ndalang kesimi yuzasi.

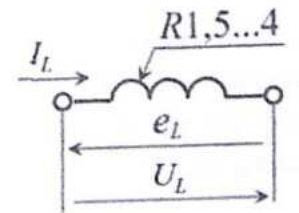
O'lehov birligi: Genri - [Gn]. Shartli grafik ko'rinishida belgilanishi 1.9 - rasmda keltirilgan.

Faradeyning elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra o'zinduksiya EYuKi:

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI_L) \quad (1.7)$$

bu yerda  $\Phi = LI$  - magnit oqimi. Agar induktivlik chiziqli bo'lsa, u holda

$$e_L = -L \frac{dI_L}{dt} \quad (1.8)$$



1.9 - rasm

DENOV TADBIRKORLIK  
VA PEDAGOGIKA  
INSTITUTI ARM  
№ 34224

Induktivlikda kuchlanishning musbat yo'nalishi tokning musbat yo'nalishi bilan mos tushadi va EYuK ga teskari bo'ladi (1.9 - rasm), ya'ni  $U_L = -e_L$ , u holda (1.8) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$U_L = L \frac{dI_L}{dt}. \quad (1.9)$$

Bundan ko'rinadiki, induktivlikning o'zgarish tok bo'yicha qarshiligi nolga teng. Yuqoridagi (1.9) - ifodadan tokning kuchlanishga bog'liqligini topamiz:

$$I_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t U_L dt. \quad (1.10)$$

Induktivlikdagi oniy quvvat

$$P_L = U_L I_L = LI_L \frac{dI_L}{dt}. \quad (1.11)$$

Ko'rinadiki, induktivlik orqali o'tgan tok  $I_L$  va induktivlikda hosil bo'lgan tok  $\frac{dI_L}{dt}$  ishoralari o'zaro mos bo'lsa, oniy quvvat musbat bo'ladi. Bu esa induktivlik zanjirdan energiya olayotganligini bildiradi. Agar toklar ishoralari mos tushmasa, u holda oniy quvvat manfiy bo'lib, induktivlik o'zida avval to'plagan energiyani zanjirga qayta uzatadi.

Induktivlikda ixtiyoriy vaqt momentida to'plangan energiya quyidagicha aniqlanadi:

$$W_L = \int_{-\infty}^t P_L dt = L \int_0^{I_L} I_L dI_L = \frac{LI_L^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}. \quad (1.12)$$

Kondensator bu dielektrik (izolyator) bilan ajratilgan kondensator qoplamalari deb ataladigan ikkita elektroddan iborat qurilma. Kondensatorning asosiy xususiyati elektr maydon eneriyasini to'playdi va uning sig'imi

$$C = \frac{q}{U_C} \quad (1.13)$$

ga teng bo'ladi. Qoplamalarni ajratib turgan dielektikka bog'liq holda kondensator *keramik, qog'oz, plyonka, havo* va boshqa nomda ataladi.

Kondensatorning sig'imi asosan qoplamalar yuzasi, ular orasidagi masofa va qoplamalari orasidagi dielektrikning xususiyatiga bog'liq:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (1.14)$$

bu yerda  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$  elektr doimiysi,  $\epsilon$  - dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi (dielektrik koeffitsiyenti),  $S$  - qoplama yuzasi,  $d$  - qoplamalar orasidagi masofa.

O'lchov birligi Farada - [F].

Kondensator qoplamalaridagi tok va kuchlanishning oniy qiymatlarini aniqlaylik:

$$I_C = \frac{dq}{dt}. \quad (1.15)$$

Biroq  $dq = d(CU_C)$  ga teng. U holda

$$I_C = \frac{d(CU_C)}{dt}. \quad (1.16)$$

Agar kondensator sig'imi chiziqli bo'lsa, u holda oniy tok

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt} \quad (1.17)$$

ga teng. Bu ifoda *Maksvell qonuni* deb ataladi. Maksvell qonunidan ko'rinadiki, doimiy tok bo'yicha kondensator sig'imi cheksiz katta.

Sig'imdagi kuchlanishning tokka bog'liqligini aniqlaymiz. Yuqoridagi (1.17) ifodadan

$$U_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I_C dt \quad (1.18)$$

kelib chiqadi, bu yerda  $t = -\infty$  bo'lganda kondensatoridagi kuchlanish  $U_C(-\infty) = 0$  ga teng bo'ladi deb hisoblash mumkin.

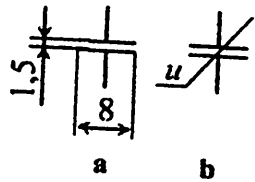
Agar kondensatorning zaryadlanishi  $t_0$  vaqt momentidan boshlab kuzatilayotgan bo'lsa, u holda

$$U_C = U_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I_C dt \quad (1.19)$$

Bunda birinchi tashkil etuvchi integral  $t_0$  vaqt momentidagi kondensatoridagi kuchlanishni beradi, u holda (1.19) ifodadan

$$U_c = \frac{1}{C} \int_{-t}^t I_c dt + \frac{1}{C} \int_{-t}^t I_c dt \quad (1.20)$$

kelib chiqadi. Kondensatordagi oniy quvvat



1.10 - rasm

$$P_c = U_c I_c = C U_c \frac{dU_c}{dt} \quad (1.21)$$

ga teng.

Agarda kondensatordagi kuchlanish ishorasi  $dU_c/dt$  hosila ishorasi bilan mos tushsa, kondensatordagi oniy quvvat musbat bo'lib, u

zaryadlanadi. Agar ishoralar mos tushmasa, u holda kondensator o'zi to'plagan energiyasini zanjirga qaytarib beradi, ya'ni zaryadsizlanadi.

Kondensatorda ixtiyoriy vaqt momentida to'plagan energiya

$$W_c(t) = \int_{-\infty}^t P_c dt = \int_{-\infty}^t U_c \frac{dU_c}{dt} dt = C \int_0^{U_c} U_c dU_c = \frac{C U_c^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (1.22)$$

ga teng.

Kondensatorning elektr sxemasida shartli grafik ko'rinishida belgilanishi 1.10 - rasmda keltirilgan, bunda  $a$  - chiziqli,  $b$  - esa nochiziqli kondensator hisoblanadi.

### 1.3 Elektr zanjirining real elementlari

Elektr zanjiri elementlaridan tok o'tayotganda ularning tashqi ulanish nuqtalari orasida potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Bu potentsiallar farqining qiymati o'tayotgan tok kuchiga bog'liq. Demak, elektr zanjirining barcha elementlari qandaydir qarshilikka ega. Bu qarshilik *aktiv* yoki *reaktiv* bo'lishi mumkin.

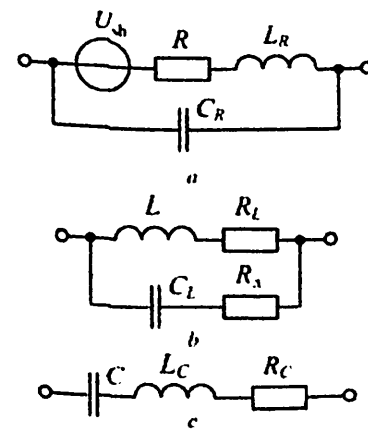
Agar elementdan tok o'tganda qaytmas energiya sarfi ro'y bersa, bunday elementlarning qarshiligi *aktiv qarshilik* bo'ladi.

Agar sarf qilingan energiyaning qaytishi kuzatilsa, bunday elementning qarshiligi *reaktiv qarshilik* bo'ladi.

Rezistorlar *aktiv qarshilikka*, induktiv g'altak va kondensator *reaktiv qarshilikka* ega. To'g'ri ideal holatda rezistor faqat aktiv qarshilikka, induktiv g'altak faqat induktivlikka, kondensator faqat sig'imga ega deb qarash mumkin.

Aslida har qanday real element ana shu uchta parametr bo'yicha birgalikda tavsiflanadi. Masalan, rezistor aktiv qarshilikdan tashqari bir vaqtda tok o'tkazuvchi qatlamning induktivligiga va uni elektr zanjiriga ulashda foydalanilgan o'tkazgichlar orasidagi sig'imga ham ega bo'ladi. Induktiv g'altak induktivlikdan tashqari, o'z navbatida aktiv qarshilikka va o'ramlararo sig'imga ega bo'ladi. Kondensator sig'imdan tashqari induktivlikka ega, chunki u alohida - alohida o'tkazgichlardan shakllangan. Undan tashqari, dielektrik qatlami qizishi natijasida qaytmas energiya sarfi sodir bo'ladi. Bu hol kondensatorda aktiv qarshilik mavjudligini ko'rsatadi.

Ko'p hollarda passiv elementlarni ideallashtirish mumkin. Bu holda elementning asosiy xususiyatini xarakterlovchi parametr hisobga olinadi, ya'ni rezistorida aktiv qarshilik, induktiv g'altakda induktivlik, kondensatorda sig'im. Shunga mos ravishda real elementlar hisoblashlarda ularning ekvivalenti bo'lgan *almashtirish sxemasiga* o'zgartiriladi. Ekvivalent sxema bilan almashtirish sxemasini farqlash lozim. Ikkita turli sxema o'zaro *ekvivalent* deyiladi, agar ulardan birini ikkinchisiga almashtirish natijasida zanjirning qolgan qismidagi tok kuchi va kuchlanish qiymatlari o'zgarmasa. Faqat shu holda ekvivalent almashtirish amalga oshirildi deb aytish mumkin.



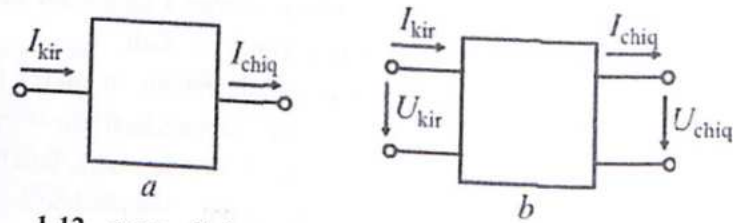
1.11 - rasm

Quyidagi 1.11 - rasmda rezistor ( $a$  - rasm), induktiv g'altak ( $b$  - rasm) va kondensator ( $c$  - rasm) uchun *almashtirish sxemalari* keltirilgan. Bu yerda  $L_R$  - rezistorning induktivligi,  $C_R$  - rezistorning sig'imi,  $U_{sh}$  - rezistorning shovqin kuchlanishi,  $R_L$  - induktivlik g'altagi simining qarshiligi,  $R_C$  - dielektrikdagi yo'qotish qarshiligi,  $C_L$  - induktiv g'altak sig'imi,  $L_C$  - kondensator induktivligi,  $R_C$  - kondensatorda yo'qotish qarshiligi. Demak, rezistor bir vaqtning o'zida induktivlik va sig'imga ham ega ekan. Ko'rinib turibdiki, foydalanilayotgan element va uning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda ideallashtirish chegarasi belgilanadi. Bu chegaradan tashqarida

ishlatilgan ideallashtirish elektr zanjirni hisoblashda katta xatoliklarga olib keladi.

#### 1.4 Elektr zanjirlari turlari

Radiotexnik zanjirning aktiv va passiv elementlari *ikki, to'rt* va *ko'p qutbli* ulanishga ega bo'lishi mumkin. 1.12 - rasmda ularning sxematik belgilanishi keltirilgan.



1.12 - rasm. Elektr zanjirlari: *a* - ikki qutbli, *b* - to'rt qutbli

*Ikki qutblilar* bitta kirish va bitta chiqish elektrodiga ega bo'lib, ularga rezistorlar, kondensatorlar, induktiv g'altaklar, turli diodlar, elementlarni o'zaro ulovchi simlar va antenna, mikrofon boshqa shunga o'xshash elementlar kiradi.

*To'rt qutblilar* juft kirish va juft chiqish elektrodlariga ega bo'ladi. Amalda ko'pincha to'rt qutbli element ichida sodir bo'layotgan jarayonlarni tahlil qilmasdan, uning kirish va chiqishidagi signallar orasidagi bog'lanishni aniqlashning o'zi yetarli bo'ladi. Shuningdek, ularning kirish va chiqish xarakteristikalarini ham o'rganish mumkin.

*Ko'p qutblilar* odatda, ma'lum bir vazifani bajarishiga mo'ljallangan qurilma ko'rinishdagi to'rttadan ko'p kirish va chiqishga ega bo'lgan element bo'lishi mumkin. Bunday element chiqishidagi signallarni bir necha iste'molchiga uzatish uchun tarmoqlanish ro'y berib, chiqish elektrodleri soni ko'p bo'ladi.

Barcha turdagi elektr zanjirlarini *parametrlari mujassamlashgan* va *parametrlari tarqoq* (zanjir bo'yicha taqsimlangan) elektr zanjirlariga ajratish mumkin.

Parametrlari mujassamlashgan zanjirlarda elementlarning geometrik o'lchamlari zanjirga ta'sir etuvchi signalning to'lqin uzunligidan yetarlicha kichik bo'ladi, ya'ni  $l \ll \lambda$ . Bu zanjirlar xuddiki o'lchamga ega

bo'lmaganday va ularning elementlari fazoning bitta nuqtasida yig'ilganday bo'ladi hamda ularda faza siljishi kichik bo'ladi:  $\Delta\varphi < 2\pi$ . Ushbu zanjirlarda ro'y beradigan jarayonlar oddiy differensial tenglamalar orqali ifodalanib, ulardagi tok kuchi va kuchlanish faqat vaqtga bog'liq funksiya ko'rinishida bo'ladi.

Parametrlari tarqoq zanjir o'lchami unga ta'sir etuvchi signalning to'lqin uzunligi tartibida va undan katta bo'ladi, ya'ni  $l \geq \lambda$ . Bu kabi zanjirlarda tok va kuchlanish nafaqat  $t$  vaqtning, balki  $x$  koordinataning ham funksiyasi bo'ladi. Ularga eng sodda misol sifatida ikkita simdan iborat uzatish liniyasi, antenna yoki kosmik fazoni keltirish mumkin. Agar liniyaning ko'ndalang o'lchamlari  $a \ll \lambda_{\min}$  bo'lsa, uni hisobga olmasa ham bo'ladi. Biroq liniyaning uzunligi  $l > \lambda_{\min}$  bo'lsa, uni tashlab yuborish mumkin emas, sababi tok kuchi va kuchlanishning oniy qiymati liniyaning turli nuqtalarida turlicha bo'ladi. Bunday zanjirning xususiyatlarini mujassamlashgan qarshilik, induktivlik va sig'im kabi ifodalab bo'lmaydi, sababi zanjirning har bir elementar qismi qarshilik, induktivlik va sig'im xususiyatlariga ega va bu parametrlar zanjir uzunligi bo'yicha turlicha taqsimlangan. Parametrlari zanjir bo'yicha taqsimlangan zanjirlardagi jarayonlar xususiy hosilali differensial tenglamalar orqali ifodalanadi.

Zanjir elementlari parametrlarining ularga qo'yilgan kuchlanish va ulardan o'tayotgan tokka, shuningdek tok yo'nalishiga bog'liq belgilariga qarab elektr zanjirlari umumiy holda uch toifaga ajraladi:

- Chiziqli elektr zanjirlar;
- Nochiziqli (chiziqli bo'lmagan) elektr zanjirlar;
- Parametrik zanjirlar.

#### 1.5 Chiziqli elektr zanjirlari

Agar zanjir elementlarining parametrlari (qarshiligi, induktivligi, sig'imi) unga qo'yilgan kuchlanishga, o'tayotgan tokka va tok yo'nalishiga bog'liq bo'lmasa, bunday zanjir *chiziqli elektr zanjiri* deb ataladi. Bu zanjirdagi jarayonlarni doimiy koeffitsiyentli chiziqli differensial yoki integral tenglamalar orqali ifodash mumkin. Bunday zanjirlarda va uni tashkil etuvchi elementlarda ularga qo'yilgan kuchlanish va o'tayotgan tok o'rtasida o'zaro

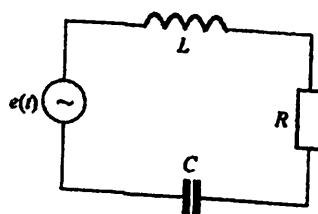
chiziqli bog'lanish kuzatiladi, ya'ni tok qiymati kuchlanish o'zgarishiga proporsional o'zgaradi.

Chiziqli zanjirning volt - amper xarakteristikasi koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, chiziqli funksiya bilan ifodalanadi (1.5 - rasmga qarang).

Chiziqli zanjirlarning ba'zi xossalari ko'rib chiqamiz.

### Chiziqli zanjirlarning asosiy xossalari

1-xossa. Chiziqli zanjirdagi jarayonlar o'zgaras ko'effitsiyentli differensial tenglamalar bilan ifodalanadi.



1.13 - rasm

Quyidagi zanjirni misol qilib keltiramiz. Parametrlari mujassamlashgan, qarshilik  $R$ , induktivlik  $L$  va sig'im  $C$ , shuningdek EYuK manbai  $e(t)$  dan iborat sodda ketma - ket ulangan zanjir mavjud (1.13 - rasm). U holda, undagi jarayonlar quyidagi

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} \int Idt = e(t) \quad (1.23)$$

tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamani har ikki tomonini differensiallab,

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = \frac{d}{dt} e(t) \quad (1.24)$$

ni hosil qilamiz. (1.24) ifoda yuqorida keltirilgan ta'rifga mos keladi.

Ma'lumki, birinchi tartibli  $n$  ta differensial tenglamalar sistemasini  $n$  - tartibli bitta differensial tengama bilan almashtirish mumkin. Shunga ko'ra,  $n$  ta sodda zanjirdan iborat bo'lgan murakkab zanjir uchun quyidagi tenglama o'rinli:

$$a_n \frac{d^n I}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} I}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dI}{dt} + a_0 I = f(t), \quad (1.25)$$

bu yerda  $f(t)$  - qandaydir tashqi ta'sir.

Agar, (1.25) tenglamadagi barcha  $a_n$  ko'effitsiyentlar o'zgaras bo'lsa, u holda ushbu tenglama o'zgaras parametrli chiziqli sistemani tavsiflaydi.

Aksincha, (25) ifodaning  $a_n$  ko'effitsiyentlaridan kamida bittasi vaqtning funksiyasi bo'lsa, u holda ifoda o'zgaruvchan parametrli sistema yoki parametrik zanjirni xarakterlaydi.

Agar  $a_n$  ko'effitsiyentlarning kamida bittasi tok (kuchlanish)ning funksiyasi bo'lsa, u holda biz nochiziqli sistemaga ega bo'lamiz.

Elementlarning chiziqlilik xossasini, ularning ma'lum bir chastota ( $\omega = const$ ) uchun volt - amper xarakteristikasi chiziqlilikining natijasi deb talqin etish mumkin.

2 - xossa. Chiziqli zanjirlar uchun, ularga tashqi kuchlar qo'yilganda mustaqillik prinsipi o'rinli yoki boshqacha aytganda superpozitsiya prinsipi o'rinli.

Bu prinsipni quyidagicha namoyish etish mumkin. Agar, chiziqli sistemaga bir nechta tashqi ta'sirlar  $f_i(t)$ ,  $i=1,2,3,\dots$ , qo'yilsa, u holda bunday sistemani o'zgarishini har bir alohida ta'sir uchun topilgan yechimlar yig'indi (superpozitsiya)si orqali tavsiflash mumkin. Sodda uchun  $f_1(t)$  ning berilgan qiymatida

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f_1(t) \quad (1.26)$$

tenglamani qanoatlantiruvchi zanjirni ko'raylik. Bu tenglamani yechimi  $y_1(t)$  bo'lsin, bunda  $y_1(t)$  sifatida tok, kuchlanish va zaryad bo'lishi mumkin. Shu sistemaga  $f_2(t)$  ta'sir qo'yilganda esa, undagi jarayonlarni ifodalovchi tengama quyidagi ko'rinishda

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f_2(t) \quad (1.27)$$

bo'ladi va uning yechimi  $y_2(t)$  bo'ladi.

Endi bir vaqtning o'zida, sistemaga ikki tashqi  $f_1(t)$  va  $f_2(t)$  ta'sirlar qo'yilsa, bu sistemani ifodalovchi tenglamani ko'rinishi quyidagicha

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = f_1(t) + f_2(t) \quad (1.28)$$

bo'ladi. Uning yechimi  $y_3(t)$  bo'ladi.

Agar sistema chiziqli bo'lsa, u holda

$$y_3(t) = y_1(t) + y_2(t) \quad (1.29)$$

munosabat o'rinli bo'ladi. Agar sistema nochiziqli bo'lsa,

$$y_3(t) \neq y_1(t) + y_2(t). \quad (1.30)$$

3-xossa. Chiziqli zanjirlarda chastotalar spektrining o'zgarishi ro'y bermaydi.

Bu xossa integrallash va differensiallash operatsiyalarining chiziqiligidan kelib chiqadi. 1.13 - rasmdagi zanjirga qo'yilgan tashqi ta'sir  $f(t) = e(t)$ , zanjirdan o'tayotgan tok bilan chiziqli bog'langan uchta had - rezistor, g'altak va sig'implardagi kuchlanish tushuvlari orqali tavsiflanadi. Bu holda

$$I(t) = I \sin \omega t,$$

bo'lsa, unda

$$U_R = RI \sin \omega t, \quad (1.31)$$

$$U_L = L \frac{dI(t)}{dt} = LI\omega \cos \omega t, \quad (1.32)$$

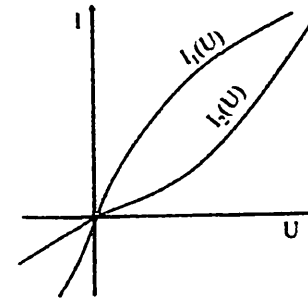
$$U_C = \frac{1}{C} \int I(t) dt = -\frac{1}{\omega C} I \cos \omega t. \quad (1.33)$$

Agar  $f(t)$  murakkab xarakterli bo'lsa, ifoda Furye qatoriga yoyiladi va yuqorida keltirilganlar asosida har bir tashkil etuvchilar yagona va o'zgarmas chastotali yechimni beradi.

Shunday qilib, elektr zanjirning chiziqli ekanligini eng sodda belgisi undan sinusoidal signal o'tganida sinusoidallicha qolishi hisoblanadi, bunda signalning faqat amplitudasi va fazasi (vaqt bo'yicha siljishi) o'zgarishi mumkin, chastota esa o'zgarmasdan qoladi. Bu xususiyat muhim bo'lib, kirish va chiqish signallarini Furye tenglamalari yordamida qatorga yoyib o'rganishni amalga oshirish mumkinligini ko'rsatadi.

### 1.6 Chiziqli bo'lmagan elektr zanjirlari

Agar zanjir parametrlari (qarshiligi, induktivligi, sig'imi) unga qo'yilgan kuchlanishga, o'tayotgan tokka va tok yo'nalishiga bog'liq bo'lsa, bunday zanjir *chiziqli bo'lmagan elektr zanjiri* deb ataladi. Bunday zanjirlarda qo'yilgan kuchlanish, o'tayotgan tok kuchi yoki tok yo'nalishi o'zgarishi zanjir parametrlarining o'zgarishiga olib keladi. Uning volt - amper xarakteristikasi egri chiziq ko'rinishida bo'ladi (1.14 - rasm).



1.14 - rasm. Chiziqli bo'lmagan zanjir xarakteristikasi

Chiziqli bo'lmagan zanjirlar quyidagi xossalarga ega:

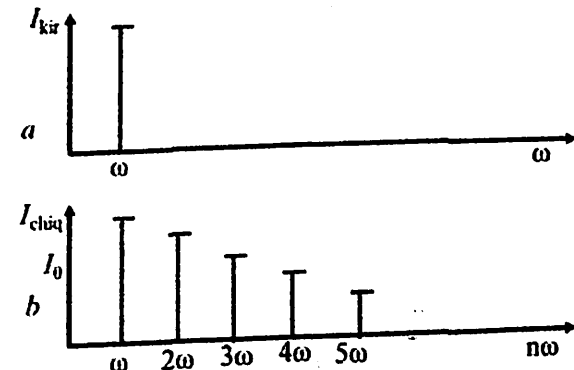
1-xossa. Chiziqli bo'lmagan elektr zanjirlaridagi jarayonlar murakkab chiziqli bo'lmagan differensial tenglamalar yordamida tavsiflanadi.

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y = y(t) \quad (1.34)$$

bu yerda  $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$  koeffitsiyentlarning hech bo'lmaganda bittasi  $u(t)$  ga bog'liq bo'ladi.

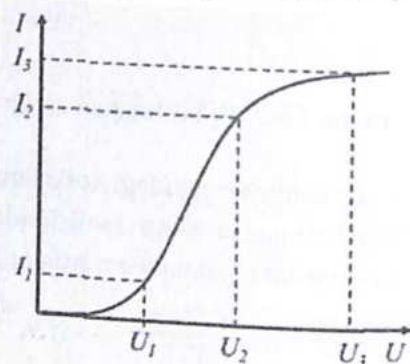
2 - xossa. Chiziqli bo'lmagan zanjirlarda superpozitsiya prinsipini qo'llab bo'lmaydi.

3 - xossa. Chiziqli bo'lmagan zanjirlarda signalning chastotaviy spektri o'zgaradi. Bu xususiyatni 1.15 - rasmda keltirilgan kirish va chiqish signallari spektrogrammalari orqali tushuntirish mumkin. Ko'rinadiki, nochiziqli zanjir kirishiga  $\omega$  chastotali garmonik signal ta'sir etsa, uning chiqishida  $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$  chastotali signallar paydo bo'lishi mumkin.



1.15 - rasm. Zanjir kirishi (a) va chiqishidagi signal spektri (b)

Boshqa tarafdin, nohiziqli zanjirlarda har doim signalning chastotalar spektrida o'zgarishlar sodir bo'ladi. Bu tasdiq parametrik zanjirlar uchun ham o'rinli. Bunda nohiziqli sistemadagi o'zgargan signal tarkibi nafaqat vaqtga, balki amplitudaga ham bog'liq bo'ladi. Agar masalan, nohiziqli zanjir uchun 1.16 - rasmdagi kabi  $U_3 = U_1 + U_2$  ga teng bo'lsa ham,  $I_3 \neq I_1 + I_2$  bo'ladi.



1.16 - rasm. Chiziqli bo'lmagan zanjirning o'tish xarakteristikasi

Nohiziqli elektr zanjirlar volt - amper xarakteristikasi murakkab ko'rinishga ega bo'lib, analitik tavsiflash imkoni yo'q. Chunki bunday volt - amper xarakteristikasini tavsiflashda foydalanish mumkin bo'lgan matematik funksiyaning o'zi mavjud emas. Shuning uchun ko'pincha chiziqli bo'lmagan zanjirlarni tahlil qilishda aproksimatsiya usulidan foydalaniladi. *Aproksimatsiya* - bu haqiqiy xarakteristikani soddalashtirilgan xarakteristika bilan almashtirishdir. Bunday aproksimatsiyalashning turli usullari mavjud. Biz ularning ba'zilari bilan keyinroq tanishib chiqamiz.

### 1.7 Parametrik zanjirlar

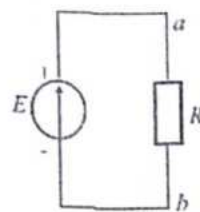
Radiotexnik qurilmalarda parametrlari tashqi ta'sir yordamida beriladigan qonuniyatlar asosida o'zgaradigan elementlar keng qo'llaniladi. Bunday elementlar parametrik elementlar, ular qatnashgan zanjirlar *parametrik zanjirlar* deyiladi. Tashqi ta'sir bo'lmagan holda bunday zanjirlar chiziqli zanjirlardan farq qilmaydi.

Parametrik elementga misol sifatida mikrofonni ko'rsatish mumkin. Mikrofonning qarshiligi uning membranasi ko'rsatiladigan bosimga bog'liq holda o'zgaradi. Tovush tembri o'zgarsa, mikrofon qarshiligi o'zgaradi.

Natijada mikrofon zanjirida oqayotgan tok tovush chastotasiga mos o'zgaruvchan tokka aylanadi.

### 1.8 Elektr zanjirlarining asosiy qonunlari

EYuK, kuchlanish, tok va qarshilikni o'zaro bog'lovchi asosiy qonunlar



bu Om va Kirxgof qonunlari hisoblanadi. Bu qonunlar yordamida elektr zanjirini tahlil qilish va hisoblash mumkin. Shuning uchun bu qonunlar elektr zanjirlarining asosiy qonunlari hisoblanadi.

*Om qonuni* o'tkazgichning bir qismida tok va kuchlanish orasidagi bog'lanishni ifodalaydi:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.35)$$

Demak, zanjirning bir qismi uchun Om qonuni qarshilikka tushgan kuchlanish va undan o'tuvchi tok orasidagi to'g'ri proporsionallikni ifodalaydi. Masalan:

$$I = GU \text{ yoki } U = \frac{I}{G} \quad (1.36)$$

bu yerda  $G$  - o'tkazuvchanlik, ya'ni qarshilikka teskari bo'lgan kattalik.

*Kirxgofning birinchi qonuni*: tugundagi oniy toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum_k I_k = 0 \quad (1.37)$$

bu yerda  $k$  - tugunga ulangan o'tkazgich (tarmoq) nomeri.

Bunda tugunga kirayotgan toklar musbat, tugundan chiqayotganlari esa manfiy hisoblanadi. (1.37) tenglama *tugundagi tok balans* ifodasi deyiladi. Kirxgofning birinchi qonuni zaryadning saqlanish qonuni natijasi hisoblanadi, ya'ni unga ko'ra elektr zanjirining ixtiyoriy nuqtasida zaryad to'planmaydi va sarf bo'lmaydi.

*Kirxgofning ikkinchi qonuni konturdagi kuchlanish va EYuK orasidagi bog'lanishni ifodalaydi*: har qanday yopiq kontur uchun barcha kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisi shu konturda ta'sir qiluvchi barcha EYuKlarning algebraik yig'indisiga teng.

$$\sum_l I_l R_l = \sum_k \xi_k \quad (1.38)$$

bu yerda  $k$  - qaralayotgan konturga ulangan o'tkazgich (tarmoq) nomeri.

Bu tenglama konturdagi kuchlanish balansi ifodasi deyiladi. Kirxgofning ikkinchi qonuni energiyaning saqlanish qonuni natijasi hisoblanadi.

Elektr energiyasining saqlanish qonunidan quvvat balansi kelib chiqadi. Zanjirdagi manbalar quvvatlari yig'indisi iste'molchilar tomonidan ishlatilgan quvvatlar yig'indisiga teng:

$$\sum U_k I_k = \sum I_k^2 R_k, P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (1.39)$$

Elektr zanjirlarini hisoblash bo'yicha misollar.

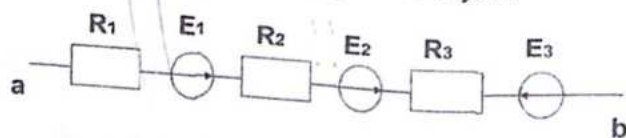
1 - misol: Energiya manbai va nagruzkadan tashkil topgan sodda elektr zanjirini ko'raylik.

Om qonuniga asosan bu zanjir uchun  $I = \frac{U}{R}$ ;  $U = I \cdot R$ ;  $R = \frac{U}{I}$ ; ifodalarni yozish mumkin. Shuningdek

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_0 + R}; U = V_a - V_b.$$

bu yerda  $R_0$  - manbaning ichki qarshiligi,  $R_0 + R$  zanjirning to'liq qarshiligi.

2 - misol. Nisbatan murakkabroq zanjirni ko'raylik.



Bundan

$$V_b = V_a - IR_1 + E_1 - IR_2 + E_2 - IR_3 - E_3;$$

$$E_1 + E_2 - E_3 + (V_a - V_b) = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

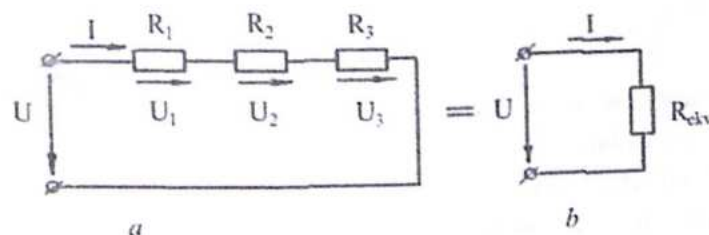
$$I = \frac{(V_a - V_b) + E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U + \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{j=1}^m R_j}$$

Hosil bo'lgan ifoda umumlashgan Om qonuniga mos bo'lib, to'liq zanjir uchun Om qonuni bo'ladi.

## 1.9 Ekvivalent almashtirishlar

Aksariyat hollarda elektr zanjirlarini ekvivalent sxemaga almashtirish ularni soddalashtirish va hisoblashlarni osonlashtirishga olib keladi. Almashtirish sxemasida elementlarni ketma - ket, parallel va aralash ulash qo'llaniladi. Ikkita sodda ekvivalent almashtirishga oid misolni ko'rib chiqamiz.

1. O'tkazgichlarni ketma - ket ulash (a - hol).



Bunday zanjirlar uchun 3 ta qonuniyat kuzatiladi:

a) Zanjirning barcha elementlaridan bir xil tok oqadi:  $I_1 = I_2 = I_3$ ;

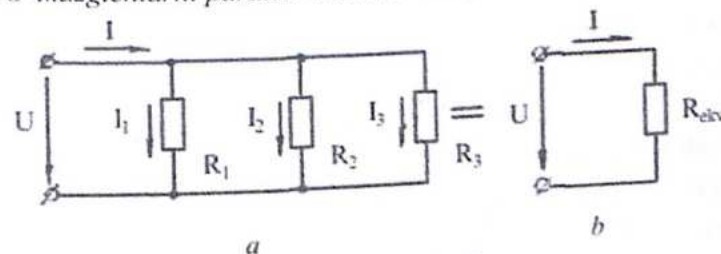
b) Kirxgofning 2 - qonuniga ko'ra

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3);$$

s) zanjirning umumiy ekvivalent qarshiligi  $R_{kv} = R_1 + R_2 + R_3$  bo'ladi (b

- hol). Bundan  $U = IR_{kv}$  kelib chiqadi.

2. O'tkazgichlarni parallel ulash (a - hol).



Bu holatda ham 3 ta qonuniyat kuzatiladi:

a) Kirxgofning 1-qonuniga ko'ra  $I = I_1 + I_2 + I_3$  parallel ulangan elementlardan o'tayotgan toklarning yig'indisi zanjirning umumiy qismidan oqayotgan tokka teng.

b) Parallel ulangan barcha elementlarga bir xil kuchlanish qo'yilgan bo'ladi:  $U = U_1 = U_2 = U_3$ .

Om qonuniga ko'ra  $I_1 = \frac{U}{R_1}$ ;  $I_2 = \frac{U}{R_2}$ ;  $I_3 = \frac{U}{R_3}$ ;

s) Ekvivalentlik shartidan  $\frac{U}{R_{ekv}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$  kelib chiqadi.

Tenglikni ikkala tomonini  $U$  ga bo'lib, hosil bo'lgan  
 $\frac{1}{R_{ekv}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$  ifodada sodda matematik amalni bajarish orqali.

$R_{ekv} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$  ni hosil qilamiz ( $b$  - hol).

Elektr zanjirlari uni tashkil qiluvchi elementlarning ketma - ket, parallel va aralash ulanishlari asosida hosil qilinishi mumkin. Yuqorida ko'rib chiqilgan 2 xil ekvivalent almashtirish yordamida har qanday zanjirda ekvivalent almashtirishlarini amalga oshirish mumkin. Natijada har qanday murakkab bo'lgan zanjir manbaga ketma - ket ulangan ekvivalent qarshilikli sodda zanjirga aylanadi va uni hisoblash osonlashadi.

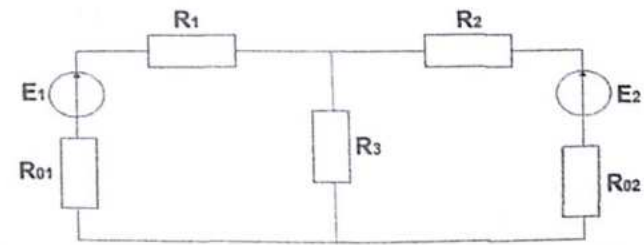
Elektr zanjirlarida bir vaqtda bir nechta elektr manbasi bo'lishi mumkin. Bunday zanjirlarni o'rganish va tahlil qilishda superpozitsiya prinsipidan foydalaniladi. Bunday holda zanjirning har bir qismida oqayotgan tok shu qismda har bir manba tomonidan hosil qilinayotgan toklarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

Murakkab zanjirlarni hisoblashda quyidagi ikkita qoidaga rioya qilinadi:

1) sxemaning har bir shaxobchasida alohida manbalar tomonidan hosil qilinayotgan tok va uning yo'nalishi aniqlanadi. Buning uchun ko'rilayotgan manbadan boshqa manbalar yo'q, zanjirda faqat ularning ichki qarshiliklari ishtirok etadi deb faraz qilinadi;

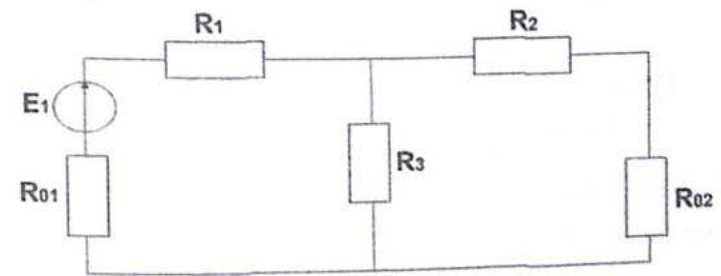
2) har bir manba tomonidan zanjirning tegishli shaxobchasida hosil qilinayotgan toklarning algebraik yig'indisini aniqlash orqali bu shaxobchadagi real tok qiymati aniqlanadi.

Misol: Quyidagi murakkab zanjir sxemasi berilgan bo'lsin.



Bu yerda  $R_{01}$  qarshilik  $E_1$  manbaning,  $R_{02}$  esa  $E_2$  esa manbaning ichki qarshiligi.

Yuqorida taklif qilingan qoida tadbiiq qilinsa, ko'rilayotgan zanjir quyidagi ko'rinishga keladi.



Zanjirning bir qismidagi  $R_2$  va  $R_{02}$  qarshiliklar o'zaro ketma - ket ulanib,  $R_3$  esa qarshilik ularga parallel ulangan. Zanjirning bu qismi uchun ekvivalent qarshilikni hisoblaymiz:

$$R'_{ekv} = \frac{R_3(R_2 + R_{02})}{R_3 + R_2 + R_{02}}$$

Zanjirning umumiy qarshiligi quyidagiga teng:

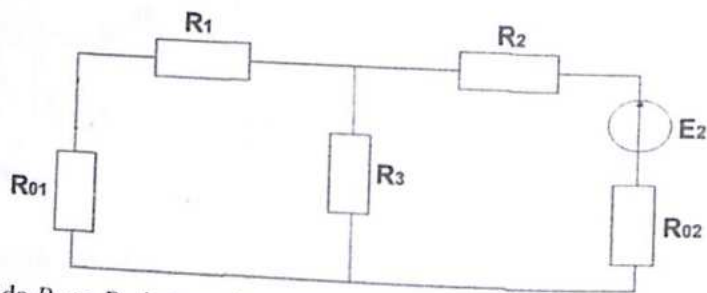
$$R'_{um} = R_{01} + R_1 + R'_{ekv} = R_{01} + R_1 + \frac{R_3(R_2 + R_{02})}{R_3 + R_2 + R_{02}}$$

Zanjirning  $R_1$  va  $R_{01}$  qismidan oqayotgan tok uchun

$$I'_1 = \frac{E_1}{R'_{um}} = \frac{E_1}{R_{01} + R_1 + \frac{R_3(R_2 + R_{02})}{R_3 + R_2 + R_{02}}}$$

ni hosil qilamiz.  $I'_3 = \frac{E_1 - I'_1(R_{01} + R_1)}{R_3}$ . Natijada  $I'_2 = I'_1 - I'_3$  bo'ladi.

Endi  $E_1$  yo'q deb faraz qilsak, zanjir quyidagi ko'rinishga keladi.



Bu holda  $R_1$  va  $R_{01}$  ketma - ket ulangan bo'lib, ularga  $R_3$  parallel ulangan. Bu zanjir uchun I - bosqichda bajarilgan ishlarni amalga oshiramiz.

$$R_{ekv}'' = \frac{R_3(R_1 + R_{01})}{R_3 + R_1 + R_{01}}; \quad R_{um}'' = R_2 + R_{02} + \frac{R_3(R_1 + R_{01})}{R_3 + R_1 + R_{01}};$$

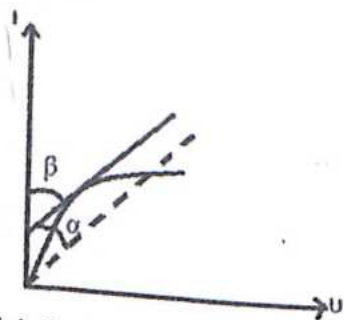
$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + R_{02} + \frac{R_3(R_1 + R_{01})}{R_3 + R_1 + R_{01}}}; \quad I_3'' = \frac{E_2 - I_2''(R_2 + R_{02})}{R_3}; \quad I_1'' = I_2'' - I_3''.$$

Endi biz zanjirning har bir qismidan oqayotgan real toklarni hisoblash imkoniga ega bo'ldik.

$$I_1 = I_1' - I_1''; \quad I_2 = I_2' - I_2''; \quad I_3 = I_3' + I_3''.$$

### 1.10 Elektr zanjirlarining chiziqli bo'lmagan elementlari

Agar zanjirni tashkil etayotgan elementlar ichida qarshiligi tokka va kuchlanishga bog'liq bo'lgan element ishtirok etayotgan bo'lsa bunday zanjir *chiziqli bo'lmagan zanjir* bo'ladi.



1.17 - rasm. Chiziqli bo'lmagan elementlarda kuchlanishning o'zgarmas va o'zgaruvchan tashkil etuvchilarining qarshiliklari

Bunday zanjirning xarakteristikasi egri chiziqli bo'ladi. Demak, chiqish signali kirish signalining nochiziqli funksiyasi bilan tavsiflanuvchi zanjirlar *chiziqli bo'lmagan zanjirlar* deb atalar ekan.

Zanjirning chiziqli bo'lmagan (nochiziqli) elementlariga yarimo'tkazgichli materiallar asosida yasalgan asboblari kiradi. Bu elementlar yordamida elektr signallarini kuchaytirish, ixtiyoriy ko'rinishdagi signallarni hosil qilish va kuchaytirish, hisoblash amallarini bajarish, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish va aksincha, tok va kuchlanishni stabillash, ularni differensiallash va integrallash kabi amallarni bajarish mumkin. Shuning uchun nochiziqli zanjirlar real sharoitda foydalanilayotgan qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Nochiziqli zanjirlarni hisoblashda ularda avval aytib o'tilgan ikki xil qarshilik mavjud bo'lishini inobatga olish kerak.

Birinchisi, bu Om qonuni bilan aniqlanadigan zanjirning o'zgarmas tokka nisbatan qarshiligi bo'lib, u *statik qarshilik* deb ataladi.

Ikkinchisi, bu zanjirning o'zgaruvchan tokka qarshiligi bo'lib, u *differensial qarshilik* deb ataladi.

Statik qarshilik quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$R_0 = \frac{U}{I} = \operatorname{tg} \alpha; \quad (1.40)$$

bu yerda  $\alpha$  - tok o'qi bilan to'g'ri chiziqdan iborat  $R_0$  qarshilik xarakteristikasi orasidagi burchak (1.17 - rasm).

Differensial qarshilik esa kuchlanishning o'zgarishini tokning o'zgarishiga nisbati orqali aniqlanadi:

$$R_d = \frac{dU}{dI} = \operatorname{tg} \beta; \quad (1.41)$$

bu yerda  $\beta$  - tok o'qi bilan nochiziqli zanjirning volt - amper xarakteristikasini tavsiflovchi egri chiziqning tegishli ishchi nuqtasiga o'tkazilgan urinma orasidagi burchak (1.17 - rasm).

Nochiziqli zanjirlarni hisoblashda ikki xil usuldan: *analitik* va *grafik* usullardan foydalaniladi.

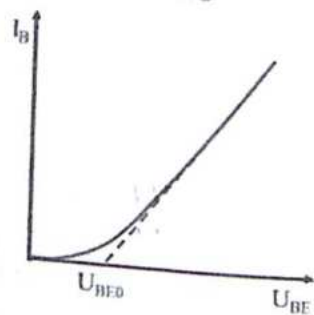
*Analitik usul* - bu zanjirning volt - amper xarakteristikasini matematik funksiyalar yordamida analitik tavsiflashdir. Nochiziqli zanjirlarning volt - amper xarakteristikasi ancha murakkab shaklga ega bo'lib, ularni ko'pincha

analitik funksiyalar yordamida aniq tasvirlash imkoni bo'lmaydi. Shuning uchun haqiqiy xarakteristika unga yaqinroq bo'lgan soddalashgan xarakteristika bilan almashtiriladi. Bu usul *aproximatsiya* deb ataladi. Volt-ampere xarakteristikani *aproximatsiya* qilishning turli ko'rinishlari mavjud. Ular ichida bo'lakli - chiziqli *aproximatsiya* va darajali qator (polinom) orqali *aproximatsiya* usullari keng qo'llaniladi.

Shu ikkita asosiy usulni ko'rib chiqamiz.

### 1. Bo'lak - chiziqli *aproximatsiya*

Bu usulda haqiqiy xarakteristika bo'laklardan (kesmalar) tashkil topgan siniq chiziq ko'rinishidagi xarakteristika bilan almashtiriladi. Misol tariqasida real bipolyar tranzistorning kirish xarakteristikasining ikkita bo'lak - to'g'ri chiziq ko'rinishidagi *aproximatsiyasi* 1.18 - rasmda ko'rsatilgan. *aproximatsiya* qilish asosan ikkita kattalikka bog'liq: nohiziqli element (tranzistor) xarakteristikasining boshlanish kuchlanishi ( $U_{BE0}$ ) va qiyalik koeffitsiyenti  $S = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{dI}{dU}$ .



1.18 - rasm. Bo'lak - chiziqli *aproximatsiyasi*

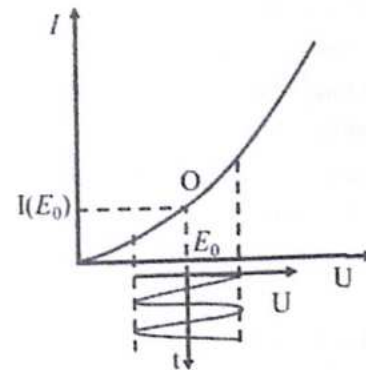
Bo'lak - chiziqli *aproximatsiyada* to'g'ri kesim tenglamasi quyidagiga teng:

$$I_{bo'l} = \begin{cases} 0, & U_{BE} \leq U_{BE0} \\ S(U_{BE} - U_{BE0}), & U_{BE} > U_{BE0} \end{cases} \quad (1.42)$$

To'g'ri chiziqli kesmalar soni ortishi bilan *aproximatsiya* aniqligi oshadi.

### 2. Darajali qator (polinom) *aproximatsiyasi*

Bu usul nohiziqli VAX ni darajali qator yoki koordinatalari  $E_0, I(E_0)$  bo'lgan *ishchi nuqta* atrofidagi polinom ko'rinishda tavsiflashdan iborat (1.19 - rasm).



1.19 - rasm. Nohiziqli elementning VAX va uning polinom *aproximatsiyasi*

Matematik analiz kursidan O nuqta atrofi uchun qator ko'rinishidagi quyidagi ifoda to'g'ri bo'ladi:

$$I[E_0 + U(t)] = I(E_0) + \alpha U(t) + \beta U^2(t) + \gamma U^3(t) + \dots \quad (1.43)$$

bu yerda  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  koeffitsiyentlar bo'lib, ular quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$\alpha = \left( \frac{dI}{dU} \right)_{U=E_0}; \quad \beta = \frac{1}{2!} \left( \frac{d^2 I}{dU^2} \right)_{U=E_0}; \quad \gamma = \frac{1}{3!} \left( \frac{d^3 I}{dU^3} \right)_{U=E_0} \quad (1.44)$$

VAXni berilgan shakli uchun  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  koeffitsiyentlar qiymati asosan siljish kuchlanishi  $E_0$  kattaligiga, ya'ni *ishchi nuqtaning o'rniga* bog'liq bo'ladi. Demak, qatorlar soni *aproximatsiya* aniqligiga qarab belgilanadi, ya'ni qancha qator soni ko'p bo'lsa, shuncha aniqlik yuqori bo'ladi. Odatda qatorning ikkinchi yoki uchinchi darajasi bo'lganda *aproximatsiya* aniq bo'ladi. Aniqlikni orttirish uchun nuqtalarning bittasi *ishchi nuqta* bilan moslashtiriladi, qolgan nuqtalar esa diapazon chegarasida tanlab olinadi.

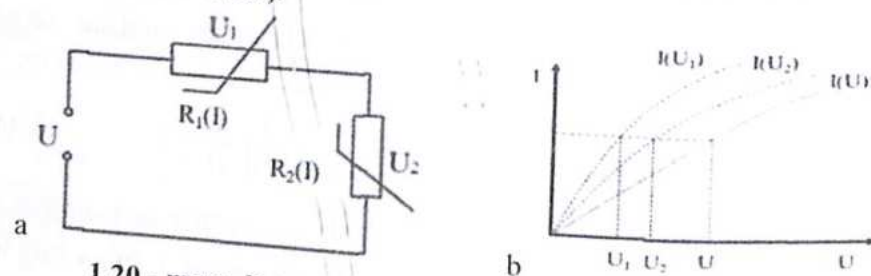
Umuman, barcha elementlar u yoki bu darajada nohiziqlidir. Chunki tabiatda sof chiziqli element yo'q. Chiziqli element yoki chiziqli zanjirlar deganda bu fikr talab qilinayotgan aniqlik va ko'rilyotgan masala yoki

o'tkazilayotgan tajribaning fizik sharoitlari doirasida to'g'ri bo'ladi. Masalan, oddiy metall o'tkazgichning qarshiligi undan kichik tok o'tayotganda sodir bo'ladigan tokning biroz ortishi yoki kamayishi natijasida amalda o'zgarmaydi. Bundan o'tkazgichda kichik tok o'tayotganda uning qarshiligi o'tayotgan tok qiymatiga bog'liq emas degan fikr tug'ilmasligi kerak. Chunki tok ta'sirida qarshilikning o'zgarishi shu darajada kichkina bo'ladiki, boshqa ta'sirlar (issiqlik, nurlanishlar va boshqalar) natijasida hosil bo'ladigan o'zgarishlarga nisbatan sezilarsiz bo'lib qoladi. Agar tok kuchini katta qiymatlar oralig'ida o'zgartirsak, o'tkazgichning qarshiligi sezilarli darajada o'zgaradi.

Real sharoitda nohiziqli zanjirlarni tahlil qilish uchun ko'pincha asosan grafik usuldan foydalanilishini aytib o'tgan edik. Shuning uchun biz ham sodda nohiziqli zanjirda grafik usulda qo'llashni ko'rib chiqamiz.

Zanjirda foydalanilgan ixtiyoriy nohiziqli elementning volt - amper xarakteristikasi yordamida zanjirga qo'yilgan kuchlanish berilgan bo'lsa, undan o'tayotgan tok kuchini yoki aksincha, tok ma'lum bo'lsa zanjirga qo'yilgan kuchlanishni aniqlash mumkin.

Dastlab ikkita nohiziqli element ketma - ket ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz (1.20a - rasm).



1.20 - rasm. Ketma - ket ulangan nohiziqli element zanjiri xarakteristikalari

Bizga ikkala elementning volt - amper xarakteristikasi  $I(U_1)$  va  $I(U_2)$  berilgan bo'lsin (1.20b - rasm). Ma'lumki, ketma - ket ulangan elementlardan bir xil tok oqadi. Shuningdek Kirxgoffning ikkinchi qonuniga asosan, zanjirga qo'yilgan kuchlanish zanjir elementlaridagi kuchlanishlar yig'indisiga teng.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots \quad (1.45)$$

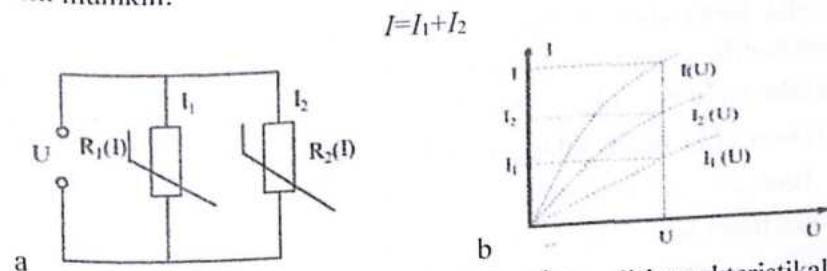
Har bir elementga qo'yilgan kuchlanishni topish uchun zanjirning volt - amper xarakteristikasini hosil qilish zarur. Buning uchun tokning har xil

qiymatlarida absissa o'qi bo'ylab ikkala elementga qo'yilgan kuchlanishlar yig'indisiga teng bo'lgan nuqtalarni topib, ular asosida yakuniy volt - amper xarakteristikasini chizamiz. Yakuniy xarakteristika asosida biz zanjirga qo'yilgan ixtiyoriy kuchlanish ta'sirida zanjirdan oqayotgan tok qiymatini topishimiz mumkin.

Buning uchun absissa o'qida zanjirga qo'yilgan kuchlanish qiymatiga mos nuqta topib, bu nuqtadan absissa o'qiga perpendikulyar bo'lgan chiziq o'tkaziladi va uni yakuniy xarakteristika bilan kesishguncha davom ettiriladi. Perpendikulyarning yakuniy xarakteristika bilan kesishgan nuqtasidan absissa o'qiga paralel bo'lgan chiziq o'tkaziladi. Bu chiziq zanjirdagi elementlarning hammasiga tegishli xarakteristikalarni kesib o'tadi. Kesishish nuqtalaridan absissa o'qiga tushirilgan perpendikulyarlar har bir elementda hosil bo'layotgan potensial tushuviga mos  $U_1, U_2$  qiymatlarni beradi.

Agar faqat zanjirdan oqayotgan tok qiymati berilgan bo'lsa, u holda ordinata o'qida bu tok qiymatiga mos nuqta topib, bu nuqtadan absissa o'qiga paralel to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Bu chiziq zanjir elementlari xarakteristikalarini kesib o'tadi. Kesishish nuqtalaridan absissa o'qiga perpendikulyar chiziqlar tushirish orqali  $U, U_1$  va  $U_2$  kuchlanishlar topiladi. Chunki  $U_1 + U_2 = U$ .

Endi elementlar parallel ulangan zanjirni ko'ramiz (1.21a - rasm). Bu elementlarning volt - amper xarakteristikalari  $I_1(U)$ ,  $I_2(U)$  va zanjirga qo'yilgan kuchlanish  $U$  berilgan bo'lsin (1.21b - rasm). Absissaning  $U$  ga to'g'ri keladigan nuqtasidan chiqarilgan perpendikulyar ikkala element xarakteristikalarini kesishish nuqtasi orqali ulardan oqayotgan toklar qiymati topilishi mumkin:



1.21 - rasm. Parallel ulangan nohiziqli element zanjiri xarakteristikalari

Bunday holda zanjir uchun umumiy xarakteristika faqat zanjirdan oqayotgan tok berilgan bo'lib, zanjirga qo'yilgan kuchlanish va zanjir elementlaridan oqayotgan toklarni topish kerak bo'lgan holda chiziladi. Boshqa hollarda bunga zarurat yo'q.

### 1.11 Garmonik o'zgaruvchi tok

Inson faoliyatining deyarli barcha sohasida asosan o'zgaruvchan tok yoki kuchlanishdan foydalaniladi. Ishlab chiqarish jarayonida ishlatiladigan barcha qurilmalarda o'zgaruvchan sinusoidal (garmonik) tokdan foydalaniladi. Chunki sinusoidal o'zgaruvchan tokni olish elektr energiyani hosil qilish usullarining ichida eng arzoni hisoblanadi. O'zgaruvchan elektr tok o'tkazgichlari aylanib turuvchi qurilmalar yordamida oson hosil qilinadi va bu tok davriy o'zgaruvchan xarakterga ega bo'lib, davriy funksiyalar yordamida tavsiflanadi. Shuningdek, bunday funksiyalar ular ustida ko'plab differensiallash va integrallash o'tkazilgandan so'ng tiklanadigan funksiyalar. Shuning uchun ishlab chiqarishda ishlatiladigan tok va kuchlanish garmonik bo'lib, quyidagi funksiyalar ko'rinishida tavsiflanadi.

$$\begin{aligned} I &= I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \\ U &= U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (1.46)$$

bu yerda  $I_m$ ,  $U_m$ ,  $\omega = 2\pi f$ ,  $\varphi_0$  lar garmonik tok yoki kuchlanishni xarakterlovchi doimiy kattaliklardir.

Garmonik tokni xarakterlovchi kattaliklar *faza*, *amplituda* va *chastota* hisoblanadi. Ularni ko'rib chiqamiz.

*Faza* deb jarayonning ayni shu vaqt momentidagi holatiga aytiladi. Radiofizikada faza tushunchasi garmonik tok uchun qo'llaniladi va vaqtning ayni shu momentida tokning qiymatini aniqlovchi matematik kattalik (trigonometrik funksiyaning argumenti) hisoblanadi. Shunday qilib, sinusoidal tok uchun ( $I_m = const$ ) faza  $\varphi = \omega t + \varphi_0$  ga teng bo'lsa,  $t = 0$  ga to'g'ri keluvchi kattalik *boshlang'ich faza*  $\varphi_0$  deyiladi.

Boshlang'ich faza vaqtni hisoblash nuqtasi o'rniga bog'liq bo'ladi. Masalan, hisob boshi  $\Delta t$  ga siljigan bo'lsin. U holda  $t$  ning o'rniga  $t' = t + \Delta t$  qo'llaniladi. Natijada (1.46) - ifodadagi  $\sin(\omega t + \varphi_0)$  o'rniga

$\sin[\omega(t' - \Delta t) + \varphi_0] = \sin[\omega t' + (\varphi_0 - \omega \Delta t)]$  yozilib,  $\varphi_0 - \omega \Delta t$  doimiy kattalik yangi boshlang'ich faza ma'nosini beradi.

Agar bitta jarayon kuzatilayotgan bo'lsa, boshlang'ich faza ahamiyatga ega emas, sababi vaqtning boshlang'ich momentini har doim tanlash mumkin. Ikki va undan ortiq jarayon kuzatilayotgan bo'lsa, fazalar farqi tushunchasi kiritiladi. Agar ikkita jarayon bir xil chastotada ro'y berayotgan bo'lsa:

$$I_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1), \quad I_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (1.47)$$

fazalar farqi

$$\Delta \varphi = \omega t + \varphi_1 - \omega t - \varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1.48)$$

ga teng kattalik bo'ladi. Ko'rinadiki, fazalar farqi bu holda boshlang'ich nuqtani tanlab olishga bog'liq emas.

(1.47) ifodada  $I_m$  - tok amplitudasi bo'lib, u garmonik jarayonning noldan maksimumgacha o'zgarishiga teng.  $f = \frac{1}{T}$  tebranish chastotasi bo'lib,

1 sekund davomidagi tebranishlar soniga teng.  $T$  - tebranish davri.

O'zgaruvchan tok oqayotgan zanjirlarni tahlil qilishdagi eng katta noqulaylik, bunda tok va kuchlanishning oniy qiymatlaridan foydalanish zarurligidir. Bu noqulaylikdan qutulish uchun tok va kuchlanishning oniy qiymatlari o'rniga ularning *o'rtacha ta'sir etuvchi qiymatlaridan* foydalaniladi.

Tok kuchi yoki kuchlanishning tebranish davri davomidagi o'rtacha kvadratik qiymati o'zgaruvchan tok yoki kuchlanishning *o'rtacha ta'sir etuvchi qiymati* deb ataladi:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt}; \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 dt}. \quad (1.49)$$

Sinusoidal tok uchun

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 \sin^2 \omega t dt}. \quad (1.50)$$

Agar  $\sin^2 \omega t = 1 - \frac{\cos 2\omega t}{2}$  hamda  $\int_0^T \cos 2\omega t dt = 0$  bo'lishini hisobga olsak, u

holda (1.49) dan  $\int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_m^2}{2} \int_0^T dt - \frac{I_m^2}{2} \int_0^T \cos 2\omega t dt = \frac{I_m^2}{2} T$  kelib chiqadi.

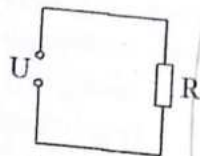
Bu ifodani (1.50) formulaga qo'ysak

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (1.51)$$

hosil bo'ladi.

Xuddi shu usulda hisoblasak, kuchlanish uchun  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$  kelib chiqadi.

### 1.12 Garmonik o'zgaruvchan tokning elektr zanjiri elementlaridan o'tishi



1.22 - rasm

Elektr zanjiri elementlari deganda asosan qarshilik, yoki induktivlik, yoki sig'imga ega bo'lgan elementlar tushuniladi. Chunki barcha elementlar bu uchta parametrdan bittasi yoki ikkitasi, yoki uchtasiga ega bo'lishi mumkin. Shuning uchun o'zgaruvchan tokning rezistordan, induktiv g'altakdan va kondensatordan o'tishida sodir bo'ladigan jarayonlarni ko'rib chiqamiz.

1) Zanjir rezistor elementdan tuzilgan (1.22 - rasm) va unga kuchlanish qo'yilgan bo'lsin. Om qonuniga ko'ra zanjirdan o'tayotgan tokning oniy qiymati

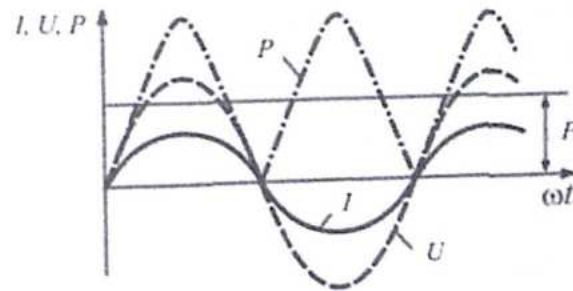
$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.52)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m \sin(\omega t + \varphi_0)}{R} = I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.53)$$

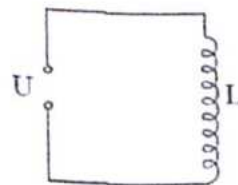
ga teng bo'ladi. (1.52) va (1.53) formulalarni o'zaro taqqoslash natijasida quyidagi xulosa kelib chiqadi:

- rezistor elementlardan tuzilgan zanjirlarda tok kuchlanish singari sinuslar qonuni bo'yicha o'zgarib, tok va kuchlanish orasida faza siljishi ro'y

bermaydi (1.23 - rasm). Demak, rezistor elementlarda tok va kuchlanish bir xil fazada tebranar ekan.



1.23 - rasm



1.24 - rasm

2) Zanjir induktiv g'altakdan tashkil topgan (ideal induktiv g'altakdan) bo'lib, faqat induktivlikka ega bo'lsin (1.24 - rasm).

G'altakdan

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.54)$$

o'zgaruvchan tok oqmoqda. Bu tok g'altakda o'zinduksiya EYuKini hosil qiladi:

$$e_L = -L \frac{dI}{dt} = -\omega L I_m \cos(\omega t + \varphi_0) = E_m \sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.55)$$

(1.55) ifodada  $\sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) = 1$  bo'lganda, o'zinduksiya EYuKi amplitudasi  $E_m = I_m \omega L$  ga teng bo'ladi.

Kirxgoffning ikkinchi qonuniga asosan

$$U_L = -e_L = -\omega L I_m \sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.56)$$

kelib chiqadi. Agar  $E_{Lm} = U_{Lm}$  ekanligini hisobga olsak

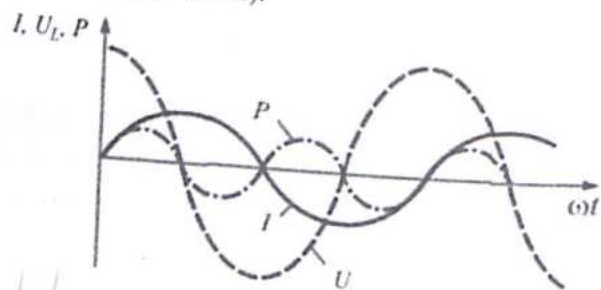
$$U_L = U_{Lm} \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.57)$$

hosil bo'ladi.  $\sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) = 1$  bo'lganda  $U_{Lm} = I_m \omega L$  bo'ladi. Bundan

$I_m = \frac{U_{Lm}}{\omega L}$  kelib chiqadi. Bu tenglikning ikkala tomonini  $\sqrt{2}$  ga bo'lsak va (1.51)

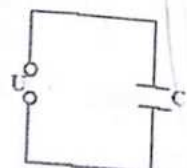
ni hisobga olsak,  $I = \frac{U}{\omega L}$  bo'ladi. Tok va kuchlanishning o'rtacha ta'sir etuvchi qiymatlari  $\omega L = X_L$  g'altakning reaktiv yoki induktiv qarshiligi deb ataladi. Agar  $\omega = 2\pi f$  ekanligini hisobga olsak g'altakning induktiv qarshiligi chastotaning ortishiga proporsional ortar ekan. (1.54) va (1.57) formulalarni o'zaro qiyoslash natijasida quyidagi xulosa kelib chiqadi:

- induktiv g'altakdan o'zgaruvchan tok o'tganda undagi kuchlanish sinuslar qonuni bo'yicha o'zgarib, faza bo'yicha g'altakdagi tokdan  $\pi/2$  qadar oldinda bo'ladi (1.25 - rasm).



1.25 - rasm

3) Endi sig'im elementidan tashkil topgan zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tganda sodir bo'ladigan jarayonni ko'rib chiqamiz (1.26 - rasm).



1.26 - rasm

Kondensatorga

$$U_c = U_{cm} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.58)$$

o'zgaruvchan kuchlanish berilayotgan bo'lsin.

Zaryadlarning harakati

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1.59)$$

tokni hosil qiladi. Ikkinchi tomondan  $q = C \cdot U_c$  ekanligi ma'lum. Demak,

$dq = C \cdot dU_c$ . (1.58) formulaga  $dq$  ning bu qiymatini qo'ysak  $I = C \frac{dU_c}{dt}$  hosil bo'ladi. Unda kondensatorga uzatilayotgan kuchlanish uchun

$$I = C \frac{d[U_{cm} \sin(\omega t + \varphi_0)]}{dt} = \omega C U_{cm} \cos(\omega t + \varphi_0) = I_m \sin\left(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.60)$$

kelib chiqadi. Demak, sig'im elementidan tashkil topgan zanjirdan oqayotgan tok  $I_{cm} = \omega \cdot C \cdot U_{cm}$  bo'lar ekan. Bu tenglikning ikkala tomonini  $\sqrt{2}$  ga bo'lsak

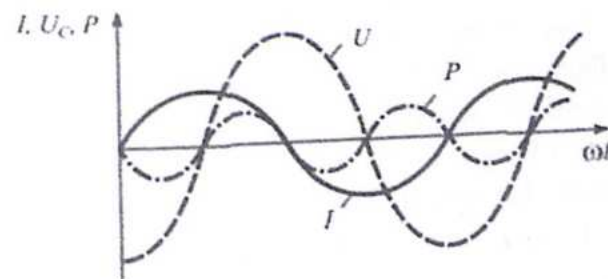
sig'im elementlaridan tuzilgan zanjir uchun tok va kuchlanishning o'rtacha ta'sir etuvchi qiymatlari bo'yicha Om qonuni hosil bo'ladi  $I = \omega \cdot C \cdot U$ . Agar

$$\omega C = \frac{1}{X_c} \text{ deb belgilasak } I = \frac{U_c}{X_c} \text{ bo'ladi. } X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \text{ -kattalik}$$

kondensatorning reaktiv yoki sig'im qarshiligi deb ataladi va u chastotaga teskari proporsional.

(1.58) va (1.60) formulalarni o'zaro qiyoslash natijasida quyidagi xulosa kelib chiqadi:

- ideal kondensatoridan tuzilgan zanjirdan o'tayotgan tok qo'yilgan kuchlanish kabi sinuslar qonuni bo'yicha o'zgaradi va qo'yilgan kuchlanishga nisbatan faza bo'yicha  $\pi/2$  qadar oldinda bo'ladi (1.27 - rasm).



1.27 - rasm

### 1.13 Chiziqli zanjirdagi jarayonlarni tahlil qilish metodlari

Elektr zanjirda ro'y beradigan jarayonlarni tahlil qilish uchun uning kirishiga berilgan signalga zanjirning javobini aniqlash zarur. Ta'sirga javob kuchlanish  $U(t)$  va tok  $I(t)$  ni vaqtning turli momentlaridagi qiymatlari ko'rinishida ifodalanadi. Yuqorida ko'rilganidek, garmonik signallarning chiziqli zanjirdan o'tishini tahlil qilishda Kirxgof qonunlari, konturdagi tok metodi, tugundagi potentsiallar metodi, ekvivalent generator metodi kabi murakkab bo'lmagan usullardan foydalaniladi. Ushbu metodlar chiziqli zanjirning kirishiga ixtiyoriy ta'sirlarni tahlil qilish uchun ham o'rinli. Biroq, radiotexnika va elektronikada shakli va spektral tarkibi hamda bir qancha parametrlar orqali ifodalanuvchi impuls signallari bilan ishlashga to'g'ri keladi.

Elektr zanjiriga signallarning ta'sirini tahlil qilishda klassik, operator, chastotaviy va superpozitsiya metodlaridan keng foydalaniladi.

### Klassik metod

Bu metod impuls ko'rinishidagi signallarning chiziqli zanjirdan o'tishida differensial tenglamalarni tuzish va yechishga asoslangan. Bu metod sodda va qulay bo'lib, chiziqli zanjirdagi jarayonning fizik mohiyatini oson tushuntirib beradi. Biroq u zanjirdagi jarayonlarni tahlil qilishda hosil qilingan uchinchi va undan yuqori darajadagi differensial tenglamalarni yechishda murakkablik tug'diradi.

Agar murakkab zanjirga spektral tarkibiga ko'ra yetarlicha murakkab bo'lgan signal ta'sir qilayotgan bo'lsa, u holda spektral va operator metodlarini qo'llash qulaylik yaratadi.

### Spektral metod

Chiziqli zanjirlarning xossalari *chastotaviy uzatish koeffitsiyenti* degan kattalik orqali aniqlash mumkin. Buning uchun chiziqli zanjir (to'rt qutbli sistema) kirishiga ta'sir berib, chiqish signalini olish va ular orasidagi bog'lanishni ko'rib chiqish zarur.

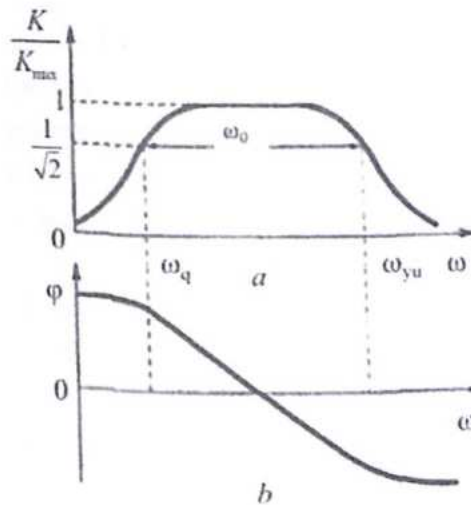
Buning uchun kirish va chiqishdagi garmonik kuchlanishlarni umumiy qabul qilingan kompleks amplitudalar orqali ifodalaymiz:

$$U_{kir} = \dot{U}_{kir}(\omega) = U_{kir}(j\omega), \quad U_{chiq} = \dot{U}_{chiq}(\omega) = U_{chiq}(j\omega). \quad (1.61)$$

Bir xil chastotadagi kirish va chiqish garmonik signallari kompleks amplitudalari nisbati chiziqli zanjirning *chastotaviy uzatish koeffitsiyenti* (odatda *uzatish koeffitsiyenti*)ni aniqlaydi:

$$K(\omega) = \dot{K}(\omega) = K(i\omega) = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)}. \quad (1.62)$$

Chastotaviy uzatish koeffitsiyentining modulini  $K(\omega) = |K(\omega)|$  chiziqli zanjirning *amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikasi* (AChX), uning argumentini esa  $\varphi(\omega)$  - *fazachastotaviy xarakteristika* (FChX) deyiladi. Odatda AChX bitta maksimumga ega bo'ladi, FChX esa chastotaga bog'liq ravishda monoton o'zgaruvchi funksiya ko'rinishida bo'ladi (1.28 - rasm). Ko'rinadiki, signal chastotasining ma'lum bir sohasida chiziqli zanjirning ta'sirga javobi kamaya boshlaydi. Shunga ko'ra *o'tkazish sohasi* (ishchi chastota sohasi) degan tushuncha kiritiladi. O'tkazish sohasi uzatish



1.28 - rasm

quvvat bo'yicha uzatish koeffitsiyenti moduli ikki marta kamayadi.

1.28a - rasmdan ko'rinadiki, o'tkazish sohasi  $\omega_q$  - quyi chastotadan  $\omega_{yu}$  - yuqori chastotagacha davom etadi va  $\Delta\omega_0 = \omega_{yu} - \omega_q$  ifoda bilan aniqlanadi. Amaliy hisoblashlarda esa zanjirning o'tkazish sohasi  $f = \omega/2\pi$  ekanligini hisobga olgan holda

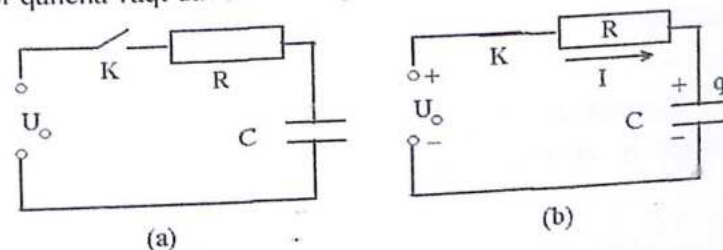
$$\Delta f_0 = f_{yu} - f_q \quad (1.63)$$

tenglik bilan aniqlanadi.

Ayni shu o'tkazish sohasi uchun kirish va chiqish signallari orasidagi faza siljishi 1.28b - rasmdan aniqlanadi.

### 1.14 RC - zanjirdagi o'tish jarayonlari

R qarshilik orqali o'zgarmas kuchlanish manbai  $U_0$  ga ulangan C kondensator qancha vaqt davomida zaryadlanadi (1.29 - rasm)?



1.29 - rasm

koeffitsiyentining moduli o'zining maksimal qiymatining  $1/\sqrt{2}$  qismidan kam bo'lmagan chastota sohasi orqali aniqlanadi. Shuning uchun amaliy hisoblashlarda  $K/K_{max}$  normallashtirilgan uzatish koeffitsiyenti modulidan foydalanish qulay. O'tkazish sohasi aniqlanadigan  $1/\sqrt{2} = 0,707$  qiymat tasodifan kiritilgan emas. Sababi, o'tkazish sohasi chegarasida chiqish va kirish quvvatlari nisbatiga teng bo'lgan

Kalit  $K$  ulanganda (1.29b - rasm) zanjirda tok hosil bo'ladi va  $C$  kondensator zaryadlana boshlaydi. Kondensatoridagi zaryad orta borishi bilan zanjirdagi tok kamaya boradi. Zaryadlanish jarayoni kondensatoridagi kuchlanish, manba kuchlanishi  $U_0$  ga tenglashguncha davom etadi. Buning uchun zarur bo'lgan zaryad  $q_0 = CU_0$  kondensator qoplamlarida to'plangandan so'ng, zanjirda tok oqimi to'xtaydi, ya'ni o'tish jarayonlari tugaydi.

Kondensator yuqori qoplamasidagi zaryadni  $q$  bilan belgilaymiz. Zaryadlanish jarayonida  $q$  o'zgaradi. Yuqori qoplamadagi zaryadning o'zgarish tezligi  $dq/dt$  bo'lib, zanjirdagi  $I$  tok kuchini aniqlaydi:

$$I = dq/dt \quad (1.64)$$

(1.64) formula 1.29b - rasmda ko'rsatilgan tokning yo'nalishiga mos keladi. Bunda (1.64) formuladagi tokning musbat qiymatiga kondensator yuqori qoplamasidagi zaryadning ortishi mos keladi, ya'ni  $dq/dt > 0$ .

Ko'rilayotgan ketma - ket zanjirda  $U_R$  qarshilik va  $U_C$  kondensatoridagi kuchlanishlarning yig'indisi zanjirga qo'yilgan kuchlanish  $U_0$  ga teng, ya'ni:

$$IR + U_C = U_0 \quad (1.65)$$

Bu ifodaga  $I$  tokning (1.64) ifodadagi ko'rinishini qo'yib, ixtiyoriy vaqt momentida kondensatoridagi kuchlanish  $U_C = q/C$  ekanligini e'tiborga olsak, u quyidagi qo'rinishda bo'ladi:

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = U_0 \quad (1.66)$$

$q(t)$  funksiya uchun hosil qilingan ushbu differensial tenglama kondensator zaryadining vaqtga bog'liqligini aniqlaydi. Zanjirga qo'yilgan kuchlanish kondensatorida to'plangan natijaviy zaryad  $q_0$  ning sig'imga nisbatiga  $U_0 = q_0/C$  teng ekanligini hisobga olib, (1.66) ni quyidagicha ko'rinishda yozsa bo'ladi

$$dq/dt = (q_0 - q)/RC \quad (1.67)$$

Agar qoplamdagi zaryad  $q$  o'rniga, ixtiyoriy vaqt momentidagi zaryad  $q$  ning natijaviy zaryad  $q_0$  dan qanchalik farq qilishini xarakterlovchi

$$Q = q_0 - q \quad (1.68)$$

boshqa o'zgaruvchi kiritilsa, (1.67) differensial tenglamani bizga yaxshi ma'lum bo'lgan ko'rinishga keltirsa bo'ladi. (1.68) dan  $dq/dt = -dQ/dt$  ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, (1.67) tenglama (1.68) almashtirishdan so'ng quyidagi ko'rinishga keladi

$$dQ/dt = -Q/RC \quad (1.69)$$

(1.69) tenglama yetishmovchi zaryadning o'zgarish tezligi o'zining qiymatiga proporsional ekanligini ko'rsatadi. Bunday tenglamaning yechimi eksponensial funksiya hisoblanadi:

$$Q(t) = A \exp(-t/RC) \quad (1.70)$$

O'zgarmas  $A$  kattalikni boshlang'ich shartlardan aniqlaymiz. Vaqtning boshlang'ich momenti  $t = 0$  da kondensator zaryadlanmagan ( $q = 0$ ) va (1.68) ga asosan yetishmovchi zaryad  $Q = q_0$ . Shunday qilib, (1.70) tenglamadagi o'zgarmas  $A$  kattalik kondensator qoplamasidagi natijaviy zaryad  $q_0$  ga teng.

1.30 - rasmda  $Q(t)$  ning vaqtga bog'lanish grafigi shtrixlangan chiziq bilan ko'rsatilgan. (1.70) formuladan,  $RC$  ko'paytma,  $Q(t)$  ning qiymati  $e$  marta kamayadigan vaqt intervali  $\tau$  ga teng ekanligi ko'rinadi:

$$Q(\tau) = q_0/e, \tau = RC \quad (1.71)$$

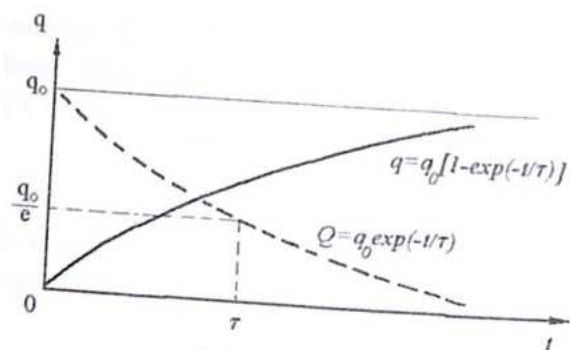
Ko'rilayotgan jarayon uchun kondensator zaryadi  $q$  ning vaqtga bog'liqligi (1.68) formuladan, unga (1.70) formuladagi  $Q(t)$  uchun ifodani qo'yish orqali, topiladi:

$$q(t) = q_0 \{1 - \exp(-t/\tau)\} \quad (1.72)$$

Bu ifoda kondensator zaryadlanayotgan ixtiyoriy vaqt momenti uchun zanjirdagi tok kuchini aniqlash imkonini beradi. (1.64) formulaga asosan, tok  $dq/dt$  hosilaga teng, shunday bo'lsa, (1.72) dan:

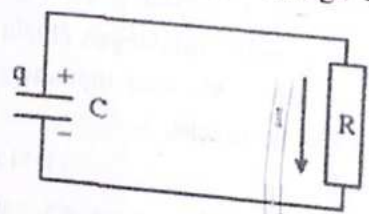
$$I(t) = \frac{q_0}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = \frac{U_0}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1.73)$$

Kondensator zaryadlanayotganda, vaqtning boshlang'ich momentida (kalit ulanganda), tokning qiymati maksimal va keyinchalik vaqt o'tishi bilan u, eksponensial kamayib boradi. Uning o'zgarish qonuniyati 1.30 - rasmdagi  $Q(t)$  ning grafigi ko'rinishida bo'ladi.



1.30 - rasm

Kondensatorning  $R$  qarshilik orqali zaryadsizlanish (razryadlanish) da bo'ladigan jarayonlarni aynan yuqoridagidek ko'rib chiqish mumkin. Vaqtning boshlang'ich momentida sig'imi  $S$  bo'lgan kondensator  $U_0$  kuchlanishga teng zaryadga ega bo'lsin, ya'ni  $q_0 = CU_0$ . Kalit ulanganda



1.31 - rasm

zanjirda tok paydo bo'ladi va u, kondensator razryadlangani sari kamayib boradi (1.31 - rasm). Avval ko'rib o'tganimizdek, kondensatorning yuqori qoplamasidagi zaryadni  $q$  deb belgilasak, u holda 1.31 - rasmda ko'rsatilgan tok yo'nalishiga

$$I = -dq/dt \quad (1.74)$$

ifoda mos keladi, ya'ni  $I$  tokning musbat qiymatida kondensatorning yuqori qoplamasidagi zaryadi kamayadi:  $dq/dt < 0$ . Ixtiyoriy vaqt momentida kondensatoridagi kuchlanish  $U_C = q/C$  qarshilikdagi kuchlanish  $U_R = IR$  ga teng bo'lganidan, (1.74) ga asosan

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC}q \quad (1.75)$$

Ushbu tenglamaning biz ko'rayotgan boshlang'ich shartlarga mos yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$q(t) = q_0 \exp(-t/\tau), \quad \tau = RC \quad (1.76)$$

chunki  $t = 0$  momentda kondensator zaryadi  $q_0$  ga teng. Kondensator razryadlanishida, zanjirdagi tokning vaqtga bog'liq o'zgarishi ham, xuddi yuqoridagidek eksponensial ko'rinishda bo'ladi:

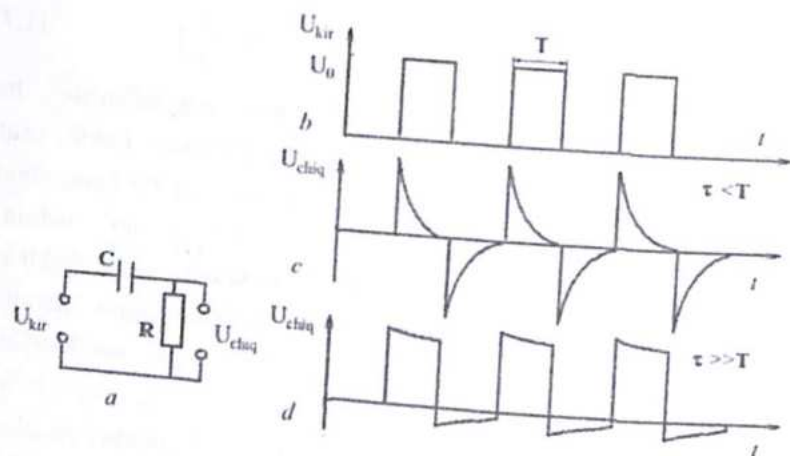
$$I(t) = -\frac{dq}{dt} = \frac{q_0}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = \frac{U_0}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (1.77)$$

Topilgan yechimlardan ko'rinadiki, ham zaryadlanish, ham razryadlanish jarayonlari cheksiz uzoq vaqt davom etar ekan. Lekin, vaqtga bog'lanishi eksponensial manfiy ko'rsatkichli ko'rinishda bo'lgan, shunga o'xshash ko'plab jarayonlardagidek, biz ko'rayotgan hol uchun - kondensatorning zaryadlanishi yoki zanjirdagi tokning o'zgarishi chekli vaqt davomida ro'y beradi va faqat uning qolgan nisbatan kam qismining o'zgarishiga cheksiz ko'p vaqt ketadi. Shu chekli vaqtni xarakterlovchi parametr sifatida  $\tau = RC$  kattalik qaraladi va u zanjirning vaqt doimiysi deyiladi.  $\tau$  vaqt intervalida ko'rilayotgan kattalik  $e \approx 2,72$  marta kamayadi.

Agar qiymati ixtiyoriy (cheklangan, katta son) marta o'zgaradigan vaqt intervali bilan qiziqadigan bo'lsak, u vaqt  $\tau$  dan faqat son ko'paytmasiga farq qiladi. Masalan, razryadlanayotgan kondensator qoplamalarida zaryadning mingdan bir (0,001) qismi qolishi uchun kerak bo'ladigan vaqt  $\tau \cdot \ln 10 \approx 7\tau$  ga teng.

Ixtiyoriy real sistemalarda o'tish jarayoni chekli vaqt intervalida davom etadi, bunday deyish faqatgina ko'rilayotgan kattalik qiymati sistemaning issiqlik fluktuatsiyalariga mos sathigacha kamaymaguncha davom etadigan jarayonlar uchun ma'noga ega.

$RC$  - zanjir kirishiga beriladigan (1.32 - rasm) to'g'ri burchakli impuls ko'rinishidagi o'zgaruvchan kuchlanishni  $RS$  - zanjir qanday o'zgartirishini tahlil qilish yuqorida, biz tanishgan o'tish jarayonlarini tushintirishga imkon beradi. Har bir impulsning boshlanishi zanjir kirishiga, impuls davri  $T$  ga teng vaqtga ulangan,  $U_0$  o'zgarimas kuchlanish manbaiga mos keladi (1.32 - rasm). Bunda (1.73) formulaga asosan, zanjirda, kondensator zaryadlanishi bilan kamayib boruvchi tok hosil bo'ladi. Agar kondensatorning zaryadlanish vaqti  $\tau = RC$ , kirishdagi to'g'ri burchakli impuls davri  $T$  dan ancha kichik ( $\tau < T$ ) bo'lsa, u holda zaryadlanish toki to'g'ri burchakli impuls tugashidan oldin tugaydi. Zanjir kirishiga berilayotgan, to'g'ri burchakli impuls orqa frontiga to'g'ri kelgan vaqt momentida, kuchlanish sakrab nolga aylanadi. Bu zanjirning kirish klemmalari qisqa tutashtirilgan degan ma'noga ega.  $R$  va  $C$  lardan iborat zanjir qisqa tutashtirilgan bo'lib, kondensator  $R$  qarshilik orqali razryadlanish boshlaydi.



1.32 - rasm

Razryadlanish toki kuchlanishining yo'nalishida, zaryadlanish toki kuchlanishining yo'nalishiga teskari bo'ladi. Shuning uchun,  $R$  qarshilikdagi chiqish kuchlanishining qutblari zaryadlanish va razryadlanishda qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi (1.32c - rasm). Chiqish kuchlanishi impulslarining ham musbat, ham manfiy qutblari qiymatlari  $\tau < T$  da bir xil bo'ladi, chunki (1.73) va (1.76) formulalarga asosan,  $R$  qarshilik orqali kondensatorning  $U_0$  gacha zaryadlanishi ham, bu qarshilik orqali o'tayotgan tok ham, har ikki holda bir xil.

Agar kondensatorning zaryadlanish vaqti  $\tau$ , kirishdagi to'g'ri burchakli impuls davri  $T$  dan katta ( $\tau \gg T$ ) bo'lsa, u holda kondensator, impuls orqa fronti kelgan vaqt momentda,  $U_0$  kuchlanishgacha zaryadlanmagan bo'ladi. Aytilgan hol uchun  $R$  qarshilikdan olinayotgan chiqish kuchlanishining grafigi 1.32d - rasmda keltirilgan. Chiqish kuchlanishi impulsning manfiy qutbi endi kam, sababi kondensator razryadlanish toki, zaryadlanish toki qiymatidan kichik. Bundan ko'rinadiki,  $\tau \gg T$  da  $RC$  - zanjirdagi chiqish kuchlanishining shakli kirish kuchlanishinikidan kam farq qilar ekan.

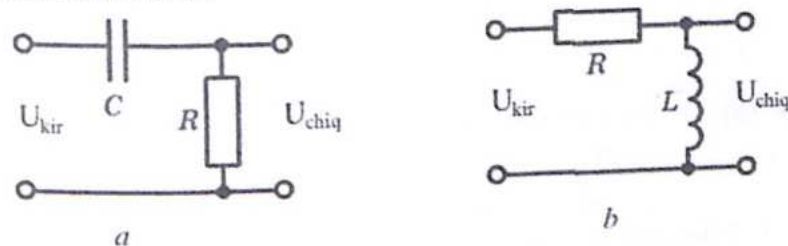
### 1.15 Signallarni differensiallash va integrallash

Axborotni uzatuvchi turli radioelektron qurilma va sistemalarda signallarni differensiallovchi va integrallovchi elektr zanjirlari keng qo'llaniladi. Matematik analiz kursidan ma'lumki, yuqoridagi operatsiyalar chiziqli bo'lib, faqat chiziqli elektr zanjirlarida amalga oshiriladi.

Agar zanjirning chiqish kuchlanishining oniy qiymati kirish kuchlanishining differensialiga mutanosib bo'lsa, bunday zanjir differensiallovchi, agar u kirish kuchlanishining integraliga mutanosib bo'lsa, integrallovchi zanjir deyiladi.

#### 1.15.1 Differensiallovchi zanjir

1.33 - rasmda keltirilgan sodda  $RC$  va  $RL$  zanjirlar yordamida signallarni differensiallash mumkin.



1.33 - rasm. Differensiallovchi  $RC$  va  $RL$  zanjirlar

$RC$  - zanjir kirishiga  $U_{kir}$  kuchlanish qo'yilgan bo'lsin. Chiqish kuchlanishi  $U_{chiq}$  qarshilikdan olinadi. U holda  $U_C + U_R = U_{kir}$ , lekin  $U_C = \frac{1}{C} \int Idt$  va  $U_R = IR$  bo'lgani uchun  $U_{kir} = \frac{1}{C} \int Idt + IR$ , almashtirishlar bajarsak

$$U_{kir} = \frac{1}{CR} \int RI dt + IR = \frac{1}{CR} \int U_{chiq} dt + U_{chiq}, \quad (1.78)$$

bu yerda  $\tau = RC$  - zanjirning vaqt doimiysi deb belgilash kiritib, so'ngra tenglamaning har ikki tomonidan vaqt bo'yicha hosila olsak, (1.78) ifoda quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\frac{dU_{kir}}{dt} = \frac{1}{\tau} U_{chiq} + \frac{dU_{chiq}}{dt}. \quad (1.79)$$

Agar,  $\frac{1}{\tau} U_{chiq} \gg \frac{dU_{chiq}}{dt}$  bo'lsa (bu  $\tau$  ning juda kichik qiymatlarida o'rinni), u holda (1.79) ifodada ikkinchi hadni hisobga olmaslik mumkin:

$$\frac{dU_{kir}}{dt} \approx \frac{1}{\tau} U_{chiq} \text{ va } U_{chiq} \approx \tau \frac{dU_{kir}}{dt}. \quad (1.80)$$

Bundan ko'rinadiki, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishining hosilasiga teng, ya'ni signalni differensiallash o'rinni bo'ladi.

Har qanday zanjir uchun shunday chastotani aniqlash mumkinki, kirish signalining chastotasi bu chastotadan kichik bo'lsa, signal zanjirdan o'tayotganida differensialanadi, ya'ni buziladi. Agar signal chastotasi bu chastotadan katta bo'lsa, signal zanjirdan buzilmay o'tadi. Ana shu chastotani *zanjirning chegaraviy chastotasi* deyiladi. Bu chegaraviy chastota zanjir vaqt doimiysiga nisbatan teskari qiymatga ega:

$$\omega_{cheg} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \quad (1.81)$$

$\frac{1}{\tau} U_{chiq} \ll \frac{dU_{chiq}}{dt}$  shart bajarilganda esa (bu  $\tau$  ning juda katta qiymatlarida o'rinni), (1.79) ifodadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{dU_{kir}}{dt} = \frac{dU_{chiq}}{dt} \quad \text{yoki} \quad U_{kir} = U_{chiq} \quad (1.82)$$

U holda bunday zanjir o'tish zanjiriga aylanadi, ya'ni bunday zanjir orqali o'tgan signal kirish signalini takrorlaydi. Bunday zanjir kuchaytirgichlarning kaskadlarini bog'lash uchun ishlatilishi mumkin.

Differensiallovchi RC - zanjirning chastotaviy uzatish koeffitsiyentini aniqlash uchun undan o'tuvchi tokning kompleks amplitudasini quyidagicha yozamiz:

$$I = \frac{U_{kir}}{R + 1/j\omega C} \quad (1.83)$$

Chiqish signali qarshilikdan olingani uchun, kuchlanish amplitudasi  $U_{chiq} = IR$  ga teng. U holda chastotaviy uzatish koeffitsiyenti

$$K(\omega) = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = \frac{IR}{I(R + 1/j\omega C)} = \frac{jR\omega C}{1 + jR\omega C} \quad (1.84)$$

$$K(\omega) = \frac{(\omega RC)^2}{1 + (\omega RC)^2} + j \frac{\omega RC}{1 + (\omega RC)^2} = a + jb$$

ga teng bo'ladi. Differensiallovchi RC - zanjirning vaqt doimiysi  $\tau = RC$  ekanligini e'tiborga olsak, chastotaviy uzatish koeffitsiyenti

$$K(\omega) = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} = \frac{1}{1 + 1/(j\omega\tau)} \quad (1.85)$$

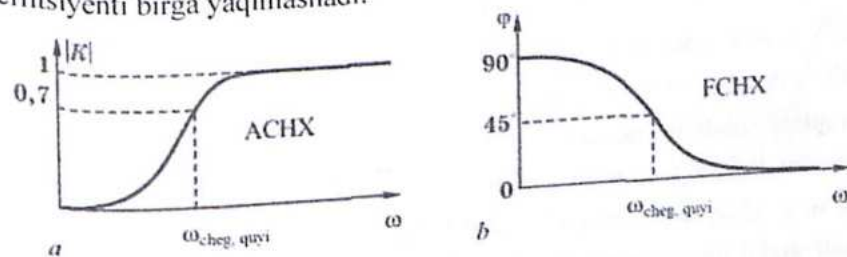
ekanligi kelib chiqadi. Chastotaviy uzatish koeffitsiyentining moduli differensiallovchi RC - zanjirning amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikasini beradi:

$$K(\omega) = |K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (1/\omega\tau)^2}} \quad (1.86)$$

(1.84) ifodadan differensiallovchi RC - zanjirning fazaviy xarakteristikasi yoki faza siljishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{b}{a} = \arctg \frac{1}{\omega\tau} = \arctg \frac{1}{\omega RC} \quad (1.87)$$

1.34a - rasmda differensiallovchi RC - zanjirning amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikasi keltirilgan. Agar zanjirga berilayotgan signalning chastotasi  $\omega$  nolga intilsa, u holda kondensatorning qarshiligi ( $X_C = 1/\omega C$ ) cheksiz qiymatga intiladi. Bu holda 1.33a - rasmdagi zanjirda kirish kuchlanishi  $U_{kir}$  ta'sirida o'tayotgan tok nolga intiladi va mos holda qarshilikdan olinayotgan chiqish kuchlashi  $U_{chiq}$  kam bo'ladi. Chastotaning qarshilikdan olinayotgan chiqish kuchlashi kamayib, zanjirdagi tok ortadi va ortishi bilan esa, kondensator qarshiligi kamayib, zanjirdagi tok ortadi va qarshilikdagi kuchlanish osha boshlaydi. Shunga mos holda uzatish koeffitsiyenti ham ortadi. Chastotaning yetarlicha katta qiymatga ortishi natijasida kondensator qarshiligi nolga intilib (xuddi qisqa tutashuv o'xshab), kirish kuchlanishi qiymatining barchasi chiqishga uzatiladi hamda uzatish koeffitsiyenti birga yaqinlashadi.



1.34 - rasm

1.34a - rasmdan ko'rinadiki, differensiallovchi RC - zanjir o'tkazish sohasi quyi chastota bilan chegaralangan. O'tkazish sohasining quyi chegaraviy chastotasi  $\omega_{cheg}$  qiymatini aniqlash uchun uzatish koeffitsiyenti moduli ayni shu chastotada maksimum qiymatdan  $\sqrt{2}$  marta kamayishi kerakligini esga olamiz va (1.86) ifodadan:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(1/\omega\tau)^2}}$$

bundan

$$\sqrt{1+(1/\omega\tau)^2} = \sqrt{2} \text{ yoki } \omega_{q.cheg} = \frac{1}{\tau}. \quad (1.88)$$

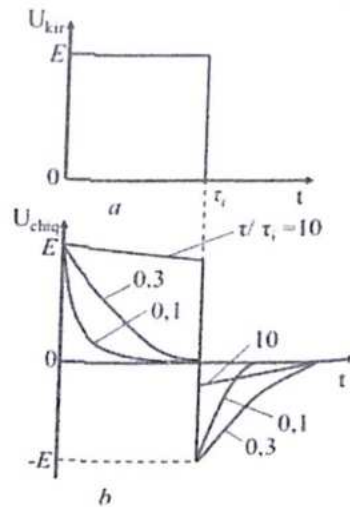
ya'ni quyi chegaraviy chastota qaralayotgan zanjirning vaqt doimiysi bilan aniqlanadi.

1.34b - rasmda fazaviy xarakteristika keltirilgan bo'lib, signalning zanjirdan o'tishida qancha faza siljishiga ega bo'lishini ko'rsatadi. Chegaraviy chastotadan kichik sohada RC - zanjirdan o'tayotgan signal so'nadi.

RC - zanjirga to'g'ri burchakli impuls ta'sir qilganda o'tish jarayonlarining fizik mohiyati avvalgi mavzuda (1.32 - rasm) tahlil qilingan edi. Amplitudasi E, davomiyligi  $\tau$ , bo'lgan to'g'ri burchakli impulsning differensiallovchi zanjirdan o'tishini tahlil qilaylik (1.35 - rasm). Elektronika va signallarni qayta ishlashda to'g'ri burchakli videoimpulsning yuqori chastotasi  $\omega_i = 2\pi/\tau$ , qiymat bilan chegaralanadi, bu yerda  $\tau$ , - to'g'ri burchakli impulsning davom etish vaqti (1.35a - rasm). Unda  $\omega_i > \omega_{q.cheg}$  munosabati uchun  $\tau \ll \tau_i/2\pi$  yoki  $\tau \ll \tau$ , ni yozish mumkin.

1.35b - rasmda zanjirning vaqt doimiysi  $\tau$  va kirish impulsi davomiyligi  $\tau_i$ , ning turli qiymatlari nisbati uchun chiqish signali ko'rinishi keltirilgan. Ko'rinadiki,  $\tau/\tau_i = 10$  bo'lganda chiqish kuchlanishi shakli kirish signali shakli bilan deyarli mos keladi.

$\tau/\tau$ , munosabat qiymatining kamayishi bilan zaryadlanish hisobiga chiqish impulsi cho'qqisi ortib boradi va  $t > \tau$ , bo'lganda teskari qiymatli impuls hosil bo'ladi. Demak,  $\tau/\tau_i$ , nisbat qiymatining kamayishi bilan chiqish impulsi davom etishi yetarlicha kichik, shakli esa ikkita qarama - qarshi o'tkir



1.35 - rasm

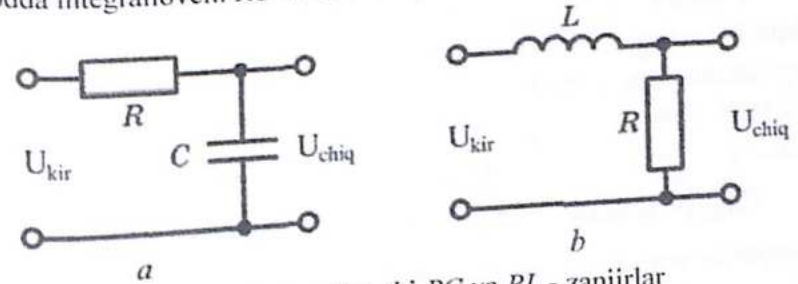
burchakli impuls ko'rinishida bo'ladi.  $\tau/\tau_i = 0.1$  bo'lganda RC - zanjir kirish impulsini differensiallovchi deb hisoblanadi.

RL - zanjir (1.33b - rasm) ham ayni shu xarakteristikalarga ega bo'ladi, faqat unda zanjirning vaqt doimiysi  $\tau = L/R$  bilan aniqlanadi.

Shuni qayd etish kerakki, radioelektron qurilmalarda (masalan, kuchaytirgichlarda)  $\tau/\tau_i$ , ning katta qiymatlarida chiziqli RC - zanjir doimiy va o'zgaruvchan toklarni ajratuvchi, ya'ni yuqori chastotalar filtri sifatida,  $\tau/\tau_i$ , ning kichik qiymatlarida esa - differensiallovchi zanjir sifatida qo'llaniladi.

### 1.15.2 Integrallovchi zanjirlar

Sodda integrallovchi RC va RL - zanjirlar 1.36 - rasmda keltirilgan.



1.36 - rasm. Integrallovchi RC va RL - zanjirlar

RC - zanjirdagi jarayonlarni ko'rib chiqaylik. Bu holda chiqish signali kondensatordan olinadi va

$$U_{kir} = U_{chiq} + IR \quad (1.89)$$

chiqish signali  $U_{chiq} = \frac{1}{C} \int Idt$  ga teng, mos almashtirishlarni bajarsak

$$U_{chiq} = \frac{1}{RC} \int RIdt = \frac{1}{\tau} \int RIdt \quad (1.90)$$

kelib chiqadi, bu ifodani vaqt bo'yicha differensiallab,

$$\tau \frac{dU_{chiq}}{dt} = IR \quad (1.91)$$

hosil bo'ladi, (1.91) ni (1.89) qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz.

$$U_{kir} = U_{chiq} + \tau \frac{dU_{chiq}}{dt} \quad (1.92)$$

Agar, (1.92) tenglamadagi  $\tau$  ning qiymati juda katta bo'lsa,  $U_{chiq} \ll \tau \frac{dU_{chiq}}{dt}$  bo'ladi, u holda  $U_{kir} \approx \tau \frac{dU_{chiq}}{dt}$  va chiqish kuchlanishi

$$U_{chiq} \approx \frac{1}{\tau} \int U_{kir} dt \quad (1.93)$$

ko'rinishda aniqlanadi. Bundan ko'rinadiki, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanining integraliga teng, ya'ni signalni *integrallash* o'rinli bo'ladi.

Agar, (1.92) tenglamadagi  $\tau$  ning qiymati juda kichik bo'lsa

$$U_{chiq} \gg \tau \frac{dU_{chiq}}{dt} \text{ u holda } U_{kir} \approx U_{chiq} \quad (1.94)$$

holat sodir bo'ladi. Natijada bunday zanjir o'tish zanjiriga aylanadi, ya'ni ushbu zanjir orqali o'tgan signal kirish signalini takrorlaydi.

Integrallovchi RC - zanjirning chastotaviy uzatish ko'effitsiyentini aniqlash uchun tokning kompleks amplitudasining kompleks kirish kuchlanishi orqali yozamiz:

$$I = \frac{U_{kir}}{R + (1/j\omega C)} \quad (1.95)$$

Chiqish kuchlanishi  $U_{chiq} = I/j\omega C$  ga teng ekanligini hisobga olsak, chastotaviy uzatish ko'effitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K(\omega) = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = \frac{I/j\omega C}{U_{kir}} = \frac{U_{kir}/j\omega C}{U_{kir}[R + (1/j\omega C)]} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad (1.96)$$

Amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikani olish uchun (1.96) ifodadan modul olinadi:

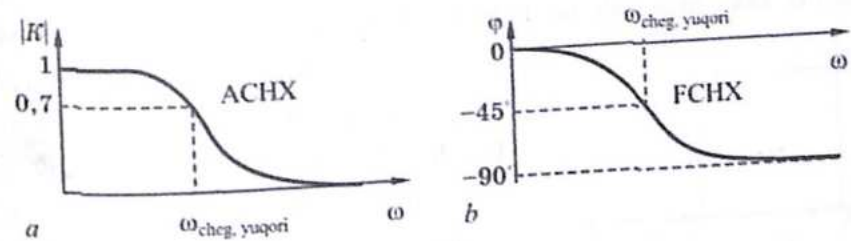
$$K(\omega) = |K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (1.97)$$

RC - zanjirning fazaviy xarakteristikasi (9) ifodadan quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \arctg(-\omega RC) = \arctg(-\omega\tau) \quad (1.98)$$

1.37a - rasmda integrallovchi RC - zanjirning amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikasi keltirilgan. Ko'rinadiki, integrallovchi zanjir o'tkazish sohasi yuqori chastota bilan chegaralangan. Kirish signali chastotasi ortishi bilan chastotaviy uzatish ko'effitsiyenti kamayishi kuzatiladi. Bunga sabab, 1.36a -

rasmdagi zanjirda signal chastotasi ortishi bilan kondensatorning qarshiligi kamayadi va bu umumiy qarshilikning kamayishiga hamda (1.95) orqali aniqlanuvchi tokning ortishiga olib keladi. Natijada qarshilikda kuchlanish tushuvi ortib, chastota ortishi bilan kondensatorda kuchlanish tushuvi kamayishiga hamda uzatish ko'effitsiyentining kamayishiga olib keladi.



1.37 - rasm

O'tkazish sohasining yuqori chegaraviy chastota  $\omega_{yu.cheg}$  qiymatini aniqlash uchun uzatish ko'effitsiyenti moduli ayni shu chastotada maksimum qiymatdan  $\sqrt{2}$  marta kamayishi kerakligini esga olamiz va (1.97) ifodadan:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

bundan

$$\sqrt{1 + (\omega\tau)^2} = \sqrt{2} \text{ yoki } \omega_{yu.cheg} = \frac{1}{\tau}, \quad (1.99)$$

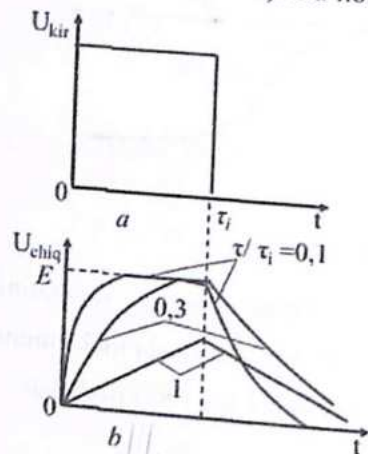
ya'ni yuqori chegaraviy chastota qaralayotgan RC - zanjirning vaqt doimiysi bilan aniqlanadi.

1.37b - rasmda fazaviy xarakteristika keltirilgan bo'lib, signalning RC - zanjirdan o'tishida qancha faza siljishiga ega bo'lishini ko'rsatadi. Ko'rinadiki, chastota ortishi bilan kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi faza siljishi  $-90^\circ$  ga intiladi. Sababi, yuqorida ta'kidlanganidek, chastota ortishi bilan kondensatorning qarshiligi ( $X_C = 1/\omega C$ ) kamayib, umumiy qarshilik rezitiv (rezistor) xarakterga ega bo'ladi. Bu esa zanjirda kirish tok va kuchlanish orasidagi faza siljishi nolga intilishini bildiradi. Kondensatordan olinuvchi chiqish kuchlanishi esa undan o'tayotgan tokdan doimo  $90^\circ$  ortda qoladi. Agar bu tok (ya'ni zanjirdagi umumiy tok) kirish kuchlanishiga sinfaz

bo'lsa, u holda kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi faza farqi  $-90^\circ$  ga teng bo'ladi. Chegaraviy chastotadan katta sohada  $RC$  - zanjirdan o'tayotgan signal so'nadi.

$RL$  - zanjir (1.36b - rasm) ham ayni shu xarakteristikalariga ega bo'ladi, faqat unda zanjirning vaqt doimiysi  $\tau = L/R$  bilan aniqlanadi.

Integrallovchi zanjir kirishga to'g'ri burchakli impuls ta'sir qilayotgan bo'lsin (1.38a - rasm). Bu holda ham  $\tau/\tau_i$ , munosabat katta ahamiyatga ega.



1.38 - rasm

1.38b - rasmdan ko'rinadiki,  $\tau/\tau_i = 0,1$  bo'lganida chiqish kuchlanishi shakli kirish kuchlanishi shakli bilan mos keladi.  $\tau/\tau_i$  munosabat qiymati 0.5 va undan katta qiymatlargacha ortishi bilan, chiqish kuchlanishi  $E$  qiymatgacha o'sishga ulgurmaydi va uning shakli sezilarli darajada buziladi.

1.37a - rasmdan ko'rinadiki, integrallovchi zanjir kirish signalining yuqori chastotali tashkil etuvchisini o'tkazmaydi va shunga ko'ra elektr

sxemalarda tekislovchi yoki past chastotalar filtri sifatida ishlatiladi.

### 1.16 Tebranish konturlari

Elektron texnikada ko'p hollarda signallarni qabul qilish sistemasining kirish zanjiriga kelayotgan signalning u yoki bu garmonik tashkil etuvchisini ajratib olish zarurati tug'iladi. Bu maqsad uchun ishlatiladigan sxemalar tanlovchi yoki ajratib beruvchi sxemalar deb ataladi. Bunday sxemalar chastotaga bog'liq bo'lgan zanjirlarga ega bo'lishi zarurdir. Tebranish konturlari ushbu xususiyatga ega bo'lgan zanjir bo'lib, radioelektron qurilmalarning asosiy zanjirlaridan biri hisoblanadi.

Tebranish konturlari radiouzatish va radio qabul qilish qurilmalarida keng ishlatiladi. Ular yordamida yuqori chastotali elektr toki hosil qilinadi yoki murakkab tebranishlarning kerakli chastota spektri ajratib olinadi.

Induktiv g'altak va kondensatordan tuzilgan berk elektr zanjiri tebranish konturi deb ataladi. Tebranish konturi tarkibida aktiv qarshilik ham mavjud.

U tebranish konturini tashkil qilgan ulash simlari va kondensatorning dielektrikidagi energiya yutilishi hamda induktiv g'altakning o'ramlaridagi energiya yo'qotilishini ifodalaydi.

Induktiv g'altak va kondensatordan tashkil topgan bunday zanjirda tebranishlar qanday sodir bo'ladi? Bu masalani dastlab ideal tebranish konturida, ya'ni parametrlari faqat  $L$  induktivlik va  $C$  kondensatordan iborat bo'lgan konturda ko'rib chiqamiz. Ideal konturda energiya yo'qotishi bo'lmaydi deb faraz qilinadi.

### 1.17 Ideal tebranish konturidagi erkin tebranishlar

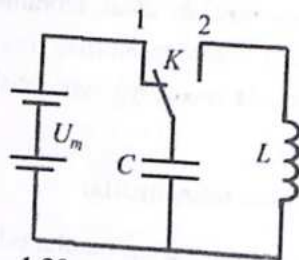
Bizga ideal kontur berilgan bo'lsin. Kondensatorni tashqi manba bilan zaryadlab induktiv g'altakka ulaganimizda, konturda ro'y beradigan fizik jarayonlarni ko'rib chiqamiz.

1.39 - rasmda keltirilgan sxemada kalitni 1 - holatga ulasak, kondensator manbaining kuchlanishi  $U_m$  ga teng kuchlanishgacha zaryadlanadi, ya'ni  $U_c = U_m$ . Kondensator qoplamalari orasidagi yig'ilgan elektr maydon energiyasi

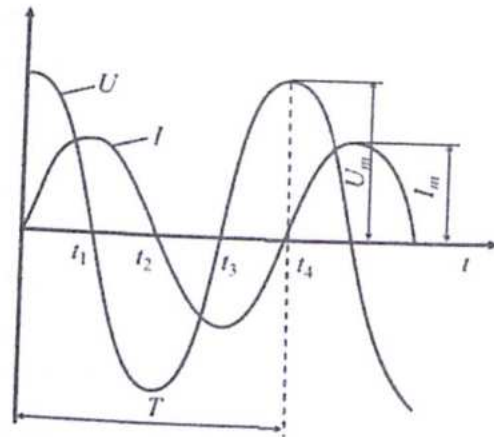
$$W_{mc} = \frac{CU_m^2}{2} \quad (1.100)$$

ga teng bo'ladi. Kalitni 2 - holatga ulasak, u holda kondensator ulanishi bilan induktiv g'altak orqali zaryadsizlana boshlaydi. Demak, zanjirda tok paydo bo'ladi. Bunda tok manbai rolini zaryadlangan kondensator, unga ulangan nagruzka qarshiligi rolini induktiv g'altak o'ynaydi. Zanjirda tok paydo bo'lishi bilan bir vaqtda induktiv g'altakda o'zinduksiya EYuK vujudga keladi. Ma'lumki, bu EYuK tok yo'nalishiga teskari yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun ham konturda tok sekin - asta ko'tarilib boradi.

Kondensator zaryadsizlangan sari uning qoplamalari orasidagi  $U_0$  kuchlanish ham kamaya boradi. Demak, bu qoplamalar orasidagi elektr maydon energiyasi ham kamaya boradi. Bu energiya induktiv g'altakning magnit maydon energiyasiga aylana boradi va elektr maydon energiyasi kamaygan sari magnit maydon energiyasi orta boshlaydi. Kondensator to'la zaryadsizlanib undagi kuchlanish nolga tenglashganda, kondensatorning elektr maydon energiyasi to'la ravishda g'altakning magnit maydoni energiyasiga aylanadi.



1.39 - rasm. Tebranish konturi



1.40 - rasm. Tebranish konturidagi tok va kuchlanish grafigi

Bu vaqtda zanjirdagi tok o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Shu vaqtda g'altakda

$$W_{ml} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (1.101)$$

magnit maydoni energiyasi to'plangan bo'ladi.

Shu momentdan boshlab zanjirdagi tok kamaya boshlaydi, lekin butunlay to'xtab qolmaydi. Chunki Lens qoidasiga ko'ra, g'altakning o'zinduksiya EYuK o'z ishorasini o'zgartirib zanjirda tok oqishi davom etishini ta'minlab turadi. Mana shu momentdan boshlab g'altakda to'plangan magnit maydon energiyasini kondensatorning elektr maydon energiyasiga aylanishi boshlanadi. Endi manba rolini g'altak, nagruzka rolini kondensator o'ynaydi. Zanjirda oqayotgan tok razryadlangan kondensator orqali o'tib, uni zaryadlay boshlaydi. Tok oqishining yo'nalishi o'zgarmaganligi tufayli zaryadlanayotgan kondensatorning kuchlanishning qutblari dastlabki holatdagiga nisbatan teskari bo'ladi. Ma'lum bir vaqt o'tgach, zanjirda oqayotgan tok nolga teng bo'lib qoladi va g'altakda magnit maydon energiyasi to'la ravishda kondensatorning elektr maydon energiyasiga aylanadi. Shundan keyin yana kondensator zaryadsizlana boshlaydi. Faqat endi tokning oqish yo'nalishi teskari yo'nalishda bo'ladi. Konturdagi mavjud tok, kuchlanish va o'zinduksiya EYuK larining o'zgarish jarayoni xuddi avvalgidek ro'y beradi.

Ma'lum bir vaqt o'tgach, konturda boshlang'ich vaqtdagi holat tiklanadi. Shundan keyin keyingi sikl qaytariladi.

Biz ko'rib chiqqan konturdagi jarayonlarning grafik ko'rinishi 1.40 - rasmda berilgan. Demak, konturda tok, kuchlanish va o'zinduksiya EYuK larining davriy o'zgarishi ro'y berar ekan. Konturdagi jarayonlarni vaqt oralig'i ketma - ketligida ro'y berishini ko'rib chiqaylik.

Boshlang'ich vaqt  $t=0$  da  $U_C$  maksimal,  $I$  - minimal qiymatga ega.  $0 < t < t_1$  vaqtda oralig'ida kondensatorning zaryadsizlanishi va tokning ortishi ro'y beradi.  $t=t_1$  vaqt momentida  $U_C=0$  bo'lib, tok o'zining eng katta qiymati  $I=I_m$  ga erishadi.  $t_1$  vaqt momentidan boshlab konturdagi tok kamaya boshlaydi, biroq uning yo'nalishi o'zgarishsiz qoladi. Kondensator esa yana zaryadlana boshlaydi va uning qoplamalarida teskari ishorali kuchlanish hosil bo'ladi (grafikda kuchlanish egri chizig'i absissa o'qidan pastda bo'ladi).

$t=t_2$  vaqtda konturdagi tok  $I=0$  nolga erishib, kondensatorning kuchlanish  $U_C$  bo'yicha yana maksimal qiymatga teng bo'ladi. Bunda g'altakning to'liq magnit maydoni energiyasi kondensatorning elektr maydoni energiyasiga aylanadi.  $t_2$  vaqt momentidan boshlab kondensator razryadlana boshlaydi, qarama - qarshi yo'nalishga o'tgan tok qiymati esa orta boradi.

$t=t_3$  vaqtda kondensator to'liq zaryadsizlanib,  $U_C=0$  nol,  $I$  esa modul bo'yicha maksimal qiymatga erishadi.  $t_3-t_4$  vaqt oralig'ida kondensatorning zaryadlanishi va mos holda tokning kamayishi kuzatiladi.

$t=t_4$  vaqtda konturning boshlang'ich holati tiklangan bo'ladi. Shunday qilib, konturda tok va kuchlanishning davriy o'zgarishi ro'y beradi. Konturda ro'y beradigan tok va kuchlanishning bu ko'rinishdagi davriy o'zgarishi *elektr tebranishlari* deb ataladi. Umuman olganda, konturda kechayotgan butun jarayon, ya'ni kondensator elektr maydoni energiyasini g'altakning magnit maydon energiyasiga va aksincha, g'altak magnit maydoni energiyasini kondensator elektr maydoni energiyasiga davriy ravishda aylantirish jarayoni *elektromagnit tebranishlar* deb ataladi.

Ro'y bergan elektr tebranishlari sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarib, tok va kuchlanish orasida  $90^\circ$  ga teng faza siljishi mavjud:

$$I = I_m \sin \omega_{erk} t, \quad U_c = U_m \cos \omega_{erk} t = U_m \sin(\omega_{erk} t + 90^\circ) \quad (1.102)$$

bu yerda  $\omega_{erk}$  - konturdagi erkin tebranishlar burchak chastotasi.

Avvaldan jamlangan energiya hisobiga konturda sodir bo'ladigan tebranishlar *erkin tebranishlar* deb ataladi. Demak, biz yuqorida ko'rgan jarayon erkin tebranishlar hosil bo'lish jarayoni ekan.

Kondensatoridagi elektr maydoni va induktiv g'altakdagi magnit maydoni energiyalarining maksimal qiymatlarini tengligidan foydalanib erkin tebranishlar chastotasi  $\omega_{erk}$  ni topishimiz mumkin.

$$W_{mc} = W_{ml} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (1.103)$$

Bundan

$$CU_m^2 = LI_m^2$$

kelib chiqadi.

Om qonuniga ko'ra, zanjirdan oqayotgan tok kondensator yoki g'altakdan oqayotgan tokka teng bo'ladi. Chunki ular ketma - ket ulangan.

$$I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U_m}{X_C} \quad (1.104)$$

Agar  $X_C = \frac{1}{\omega_{erk} C}$ ;  $X_L = \omega_{erk} L$  ekanligini inobatga oladigan bo'lsak

(1.104) dan

$$I_m = \frac{U_m}{\omega_{erk} L} = U_m \omega_{erk} C \quad (1.105)$$

kelib chiqadi. Bu ifodani (1.103) formulaga qo'ysak,

$$CU_m^2 = \frac{LU_m^2}{\omega_{erk}^2 L^2} \quad (1.106)$$

bo'ladi va undan

$$C = \frac{1}{\omega_{erk}^2 L}$$

kelib chiqadi. Natijada erkin tebranishlar chastotasi

$$\omega_{erk} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1.107)$$

ga teng bo'ladi. Agar

$$\omega_{erk} = 2\pi f_{erk}$$

ekanligi hisobga olinsa,

$$f_{erk} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.108)$$

bo'ladi.  $f$  - tebranishlar xususiy chastotasi.

(1.108) dan ko'rinadiki, konturdagi kondensator sig'imi va induktivlik qancha katta bo'lsa, xususiy tebranishlar chastotasi shuncha kichik bo'ladi. Tebranishlar davri uchun

$$T_{erk} = \frac{1}{f_{erk}} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1.109)$$

ifoda kelib chiqadi.

Demak, tebranishlar chastotasi va davri faqat  $L$  hamda  $C$  ning qiymatlariga bog'liq ekan. Agar induktivlik Genrilarda, sig'im Faradlarda ifodalansa, chastota Herslarda, davr sekundlarda o'lchanadi.

(1.103) ifodadan foydalanib, konturdagi tokning maksimal qiymtini aniqlash mumkin:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \frac{U_m}{\rho} \quad (1.110)$$

bu yerdagi  $\sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$  - konturning *to'lqin yoki xarakteristik qarshiligi* deb ataladi.

Bu qanday qarshilik? Buning uchun  $X_L$  va  $X_C$  larni ko'rib chiqish kerak.

Ma'lumki,  $X_L = \omega_{erk} L$ . Erkin tebranishlar chastotasi o'rniga (1.107) ifodasini qo'ysak,

$$X_L = \frac{L}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho \quad (1.111)$$

bo'ladi.

Xuddi shuningdek,

$$X_C = \frac{1}{\omega_{erk} C} = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho \quad (1.112)$$

ekanligi ma'lum bo'ladi.

Ko'rinib turibdiki, konturning to'liqin qarshiligi kondensator yoki induktiv g'altakning erkin tebranishlar chastotasidagi reaktiv qarshiligiga teng ekan, ya'ni

$$X_L = X_C = \rho \quad (1.113)$$

Shuni ham qayd qilib o'tish kerakki, ideal konturda hosil bo'ladigan erkin tebranishlar istalgancha uzoq vaqt o'zgarmas amplituda bilan davom etadi.

### 1.18 Real konturlarda erkin tebranishlar

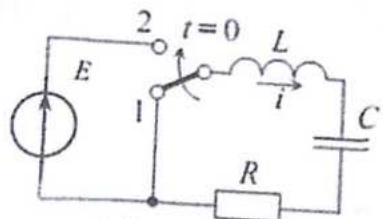
Ideal konturdan farqli o'laroq, real konturda elektromagnit energiyaning bir qismi issiqlik va boshqa turdagi energiyalarga aylanishi tufayli energiya yo'qotilishi sodir bo'ladi. Bu energiya yo'qotilishi asosan kontur elementlarining aktiv qarshiliklarida ro'y beradi. Konturning umumiy aktiv qarshiligi elementlar qarshiliklari yig'indisiga teng:

$$R = R_L + R_C \quad (1.114)$$

Bu qarshilik konturdagi yo'qotish qarshiligi deb ataladi.

Real konturlarda erkin tebranishlar xuddi ideal konturdagidek sodir bo'ladi. Faqat ular orasidagi prinsipial farq shundan iboratki, real konturda kondensator elektr maydoni to'raligicha g'altak magnit maydoni energiyasiga, g'altak magnit maydoni energiyasi esa kondensator elektr maydoni energiyasiga aylanmaydi. Natijada konturdagi tok amplitudasi sekin - asta kamayib boradi. Amplitudasi vaqt o'tishi bilan kamayib boruvchi tebranishlar *so'nuvchi tebranishlar* deb ataladi.

Bizga 1.41 - rasmda keltirilgan sxemadagi kontur berilgan bo'lsin.  $t = 0$  vaqt momentida kalit 1 - holatdan 2 - holatga ulansin. Bunda tebranish konturi EYuKi  $E$  ga teng bo'lgan manbaga ulanadi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra:



1.41 - rasm

$$U_L + U_C + U_R = E \quad (1.115)$$

Tebranish konturini tashkil qiluvchi elementlardagi kuchlanish tushuvi ifodasini e'tiborga olsak,

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int Idt + IR = E \quad (1.116)$$

Ushbu ifodani differensiallasak, quyidagini hosil qilamiz:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = 0 \quad (1.117)$$

(1.117) ifodani ikkala tomonini ham  $L$  ga bo'lib yuborsak, u holda

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = 0 \quad (1.118)$$

ifodani hosil qilamiz. Bunda  $\delta = \frac{R}{2L}$  - konturdagi tebranishning so'nish

darajasi (yutilish koeffitsiyenti),  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  - konturning xususiy chastotasi

begilashlarini kiritsak, (4) ifoda quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\delta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = 0 \quad (1.119)$$

Tebranishlar nazariyasida (1.119) ifoda chiziqli ishqalanishga ega *chiziqli ossilyator tenglamasi* deb ataladi. U bir jinsli, ikkinchi tartibli, birinchi darajali differensial tenglamadir. Uning yechimini  $I(t) = Ae^{kt}$  ko'rinishida qidiramiz.

$I(t)$  ifodasini (1.119) tenglamaga olib borib qo'ysak,  $\frac{dI}{dt} = kAe^{kt}$ ,  $\frac{d^2 I}{dt^2} = k^2 Ae^{kt}$  ekanligini e'tiborga olsak,  $k$  ga nisbatan xarakteristik tenglama hosil qilanadi:

$$k^2 + 2\delta k + \omega_0^2 = 0 \quad (1.120)$$

(1.120) xarakteristik tenglamaning ildizi quyidagiga teng bo'ladi:

$$k_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = -\delta \pm \beta \quad (1.121)$$

Demak, (1.119) differensial ifodaning umumiy yechimi:

$$I(t) = A_1 e^{k_1 t} + A_2 e^{k_2 t} = e^{\delta t} (A_1 e^{\beta t} + A_2 e^{-\beta t}) \quad (1.122)$$

$A_1$  va  $A_2$  doimiylarni aniqlash uchun boshlang'ich shartdan foydalanamiz:  $t = 0$  vaqt momentida zanjir yopiladi va unda  $I = 0$ ,  $L \frac{dI}{dt} = E$ .

U holda (1.121) va (1.122) ifodalardan:

$$I(0) = A_1 + A_2 \text{ yoki } A_2 = -A_1 \quad (1.123)$$

$$L \left. \frac{dI}{dt} \right|_{t=0} = L(A_1 k_1 + A_2 k_2) = 2A_1 \beta L = E \text{ yoki } A_1 = \frac{E}{2\beta L} \quad (1.124)$$

kelib chiqadi. Boshlang'ich shartni hisobga olsak, umumiy yechim

$$I(t) = \frac{E}{2\beta L} e^{-\delta t} (e^{\beta t} + e^{-\beta t}) = \frac{E}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} e^{-\delta t} (e^{\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t} + e^{-\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t}) \quad (1.125)$$

ko'rinishga ega. U real konturlarda tebranishlarning haqiqatdan ham so'nuvchi ekanligi va so'nish eksponensial qonun bo'yicha kamayib borishini ko'rsatadi.

Bir qancha hollarni ko'rib chiqaylik.

1.  $\delta = 0$  bo'lsin. U holda (1.120) ifodaning ildizi mavhum ( $\beta = \pm j\omega_0$ ) bo'lib qoladi va (1.125) tenglamaning yechimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$I(t) = \frac{E}{\omega_0 L} \frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} = \frac{E}{\omega_0 L} \sin \omega_0 t \quad (1.126)$$

Mos holda kondensator va induktiv g'altakdagi kuchlanish:

$$U_L(t) = L \frac{dI}{dt} = L \frac{E}{\omega_0} \omega_0 \cos \omega_0 t = E \cos \omega_0 t$$

$$U_C(t) = \frac{1}{C} \int I dt = -\frac{E}{LC\omega_0^2} \cos \omega_0 t = -E \cos \omega_0 t \quad (1.127)$$

ga teng. Bu tenglamalar konturdagi xususiy tebranish ifodasi bo'lib, u garmonik funksiyalar orqali ifodalanadi. Ko'rinadiki, tebranishlarning amplitudasi boshlang'ich shartlar bilan, chastota esa kontur elementlarining parametrlari bilan aniqlanadi. Reaktiv elementlardagi tok va kuchlanish amplitudasi faza bo'yicha  $\pi/2$  ga siljigan (1.40 - rasm).

2.  $\delta^2 < \omega_0^2$  bo'lsin. U holda (1.120) ifodaning ildizlari mavhum miqdor bo'ladi.

$$\beta = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = j\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = j\omega \quad (1.128)$$

bu yerda  $\omega$  konturda hosil bo'ladigan tebranishlarning chastotasi deyiladi. Uning mohiyati quyidagicha: agar  $\delta = 0$  bo'lsa,  $\omega = \omega_0$  bo'ladi. Bu esa konturdagi energiya yutilishi nafaqat tebranish amplitudasiga, balki chastotasiga ham ta'sir qilishini ko'rsatadi.

(1.128) ni hisobga olsak, (1.125) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I(t) = \frac{E}{2j\omega L} e^{-\delta t} (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) = \frac{E}{\omega L} e^{-\delta t} \sin \omega t \quad (1.129)$$

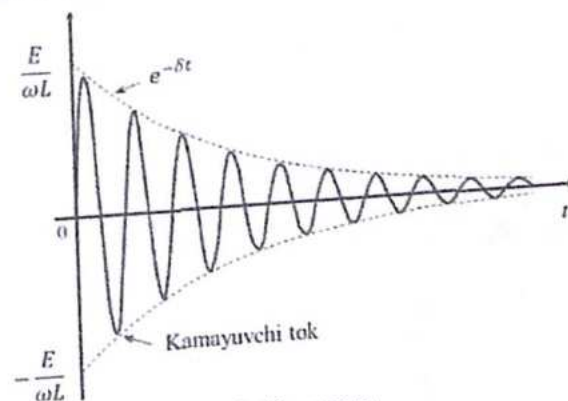
Ko'rinadiki, konturda eksponensial ravishda so'nuvchi garmonik tebranishlar hosil bo'ladi. uning ko'rinishi 1.42 - rasmda keltirilgan. (1.128) ga ko'ra hosil bo'ladigan tebranishlarning chastotasi konturning xususiy tebranishlar chastotasidan doimo kichik bo'ladi.

$\delta^2 < \omega_0^2$  shartga ushbu kattaliklarning belgilanishini qo'ysak, u holda

$$\left(\frac{R}{2L}\right)^2 < \frac{1}{LC} \text{ yoki } \frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ yoki } R < 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\rho \quad (1.130)$$

Demak, konturning yo'qotish qarshiligi uning xarakteristik qarshiligi ikkilangan qiymatidan kichik bo'lsa, konturda so'nuvchi garmonik tebranishlar kuzatiladi.

So'nish koeffitsiyenti  $\delta$  - ga teskari qiymat konturning vaqt doimiysi deb ataladi:  $\tau = \frac{1}{\delta} = \frac{2L}{R}$ . Son jihatdan  $\tau$  shunday vaqt oralig'iki, bu vaqt davomida konturdagi tok amplitudasi  $e$  marta kamayadi. Boshqacha qilib aytganda, shu vaqt oxirida tok amplitudasi boshlang'ich qiymatidan 63 foizga kam qiymatga ega bo'ladi.

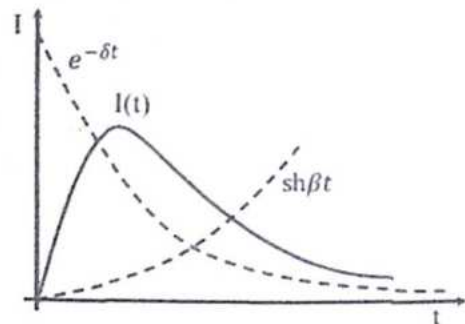


1.42 - rasm

3.  $\delta^2 > \omega_0^2$  ga teng bo'lsin. Bunda  $\beta > 0$ ,  $R > 2\rho$  bo'lib, (1.120) ifoda ikkita haqiqiy ildizga ega bo'ladi. (1.125) umumiy yechim quyidagicha bo'ladi:

$$I(t) = \frac{E}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} e^{-\delta t} (e^{\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t} + e^{-\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} t}) = \frac{E}{L\beta} e^{-\delta t} \text{sh } \beta t \quad (1.131)$$

Ko'rinadiki, konturdagi tok giperbolik sinus qonuni bilan o'zgaradi va davriy bo'lmaydi. Bunday tebranishlar *aperiodik tebranish* deb ataladi. 1.43 - rasmda jarayonning grafigi keltirilgan.

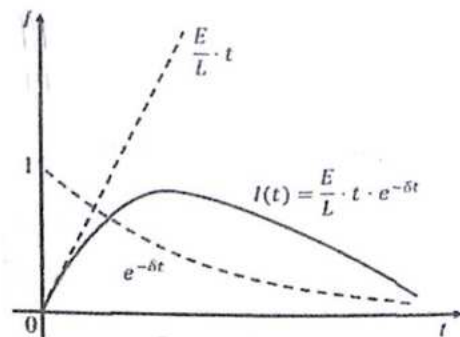


1.43 - rasm. Aperiodik jarayon

4.  $\delta^2 = \omega_0^2$  ga teng bo'lsin. Bunda  $\beta = 0$ ,  $R = 2\rho$  bo'lib, (1.120) ifoda bitta ildizga ega bo'ladi:  $k = -\delta$ .  $\beta = 0$  bo'lgani uchun (1.125) ifoda  $0/0$  ko'rinishdagi aniqmaslikka ega bo'lib qoladi va uni Lopital qoidasiga ko'ra ochsak:

$$I(t) = \frac{E}{L} \cdot t \cdot e^{-\delta t} \quad (1.132)$$

Ko'rinadiki, bu holda tebranish amplitudasi avvalgilarga o'xshab eksponensial qonun bo'yicha so'nadi, tebranish qonuni esa giperbolik sinus qonunidan chiziqli qonungga o'tadi. U davriy bo'lmaydi va *kritik tebranish* deb ataladi. Uning grafigi 1.44 - rasmda keltirilgan.



1.44 - rasm

Xulosa qiladigan bo'lsak, real konturda har doim ham davriy tebranishlar hosil bo'lmay ekan. Davriy tebranishlarning hosil bo'lishi uchun konturning aktiv qarshiligi yetarlicha kichik bo'lishi kerak, chunki tebranishning aperiodik yoki davriy bo'lishi  $R$  va  $2\rho$  kattaliklar munosabatiga bog'liq. Agar reaktiv qarshiliklar yig'indisi konturning yo'qotish qarshiligidan katta bo'lsa ( $R < 2\rho$ ) tebranish davriy ko'rinishga, agar ular kichik bo'lsa ( $R > 2\rho$ ), tebranish aperiodik ko'rinishga ega bo'ladi.

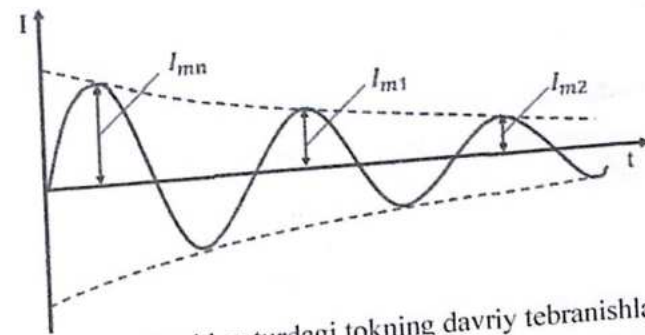
Konturda hosil bo'ladigan davriy tebranishlarning chastotasi uning xususiy chastotasidan farq qiladi. Agar konturda energiya yutilishi kam bo'lsa, bu farqni hisobga olmaslik mumkin, ya'ni  $\omega = \omega_0$ .

### 1.19 Tebranish konturining parametrlari

Real konturdagi erkin tebranishlarni konturning so'nish koeffitsiyenti va vaqt doimiysidan tashqari logarifmik so'nish dekrementi, so'nish koeffitsiyenti, asllik kabi parametrlar orqali ham tavsiflash mumkin.

Ixtiyoriy momentda konturda mavjud bo'lgan energiyaning qanday qismi tebranish davrining yarmiga teng vaqt ichida issiqlikka aylanishini ko'rsatadigan kattalik *logarifmik so'nish dekrement* deb ataladi.

Logarifmik dekrement tokning ketma - ket keladigan 2 ta bir xil ishorali qiymatlar nisbatining natural logarifmiga teng.



1.45 - rasm. Real konturdagi tokning davriy tebranishlari

$$\theta = \ln \left| \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \right| \quad (1.133)$$

Agar 1.45 - rasmda  $I_{m1} = I_{mn} e^{-\delta t_1}$ ,  $I_{m2} = I_{mn} e^{-\delta t_2}$  va  $t_2 = t_1 + T_{crk}$  bo'lsa, u

holda

$$\theta = \ln \left( \frac{I_{mn} \cdot e^{-\delta t}}{I_{mn} e^{-\delta t_1} \cdot e^{-\delta t_2}} \right) = \ln \left( \frac{1}{e^{-\delta(t_2 - t_1)}} \right) = \delta T_{erk} \quad (1.134)$$

bo'ladi. Bu ifodaga  $\delta = \frac{R}{2L}$  va  $T_{erk} = 2\pi\sqrt{LC}$  qiymatlarini qo'ysak,

$$\theta = \frac{2\pi R\sqrt{LC}}{2L} = \pi R\sqrt{\frac{C}{L}} = \pi \frac{R}{\rho} \quad (1.135)$$

kelib chiqadi. Bu yerda  $\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{\rho}$ .

So'nish koeffitsiyenti ma'no jihatidan logarifmik dekrementga o'xshash bo'lib,

$$d = \frac{\theta}{\pi} = \frac{R}{\rho} \quad (1.136)$$

ifoda orqali aniqlanadi. Ko'rinib turibdiki so'nish logarifmik dekrementdan  $\pi$  marta kichik qiymatga ega bo'lib, amaliyotda keng qo'llaniladi. Energetik jihatidan u konturda to'plangan to'liq enegriyaning bitta tebranish davrida yo'qotiladigan o'rtacha miqdorini belgilaydi:

$$d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_R}{W_L} \quad (1.137)$$

Konturning muhim xarakteristikalaridan biri bu uning aslligidir. So'nishga teskari bo'lgan qiymat *konturning aslligi* deb yuritiladi.

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\rho}{R} \quad (1.138)$$

Demak, konturning aslligi qancha katta bo'lsa, konturda shuncha kam energiya yo'qotiladi. Logarifmik so'nish dekrementi va asllilik orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$\theta = \frac{\pi}{Q} \quad (1.139)$$

Shunday qilib, real konturdagi erkin tebranishlarni tavsiflovchi beshta parametr bilan tanishildi.

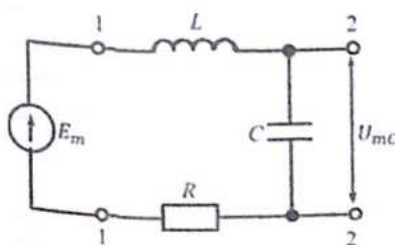
### 1.20 Yakka konturlarning turlari

Elektronika va elektrotexnikada amalda so'nuvchi tebranishlar umuman ishlatilmaydi. So'nmas tebranishlar esa keng qo'llaniladi. Tebranish konturida

so'nmas tebranishlar hosil qilish uchun unga davriy ravishda uning aktiv qarshiliklarida yo'qolayotgan energiyaga teng miqdordagi energiyani uzatib turish zarur. Odatda bunday kontur o'zgaruvchan EYuK manbaiga ulanadi.

Agar manba va kontur elementlari o'zaro ketma - ket elektr zanjirini hosil qilsa, bunday kontur *ketma - ket kontur* deb ataladi. Agar generator va kontur elementlari o'zaro parallel elektr zanjirini hosil qilsa, bunday kontur *parallel kontur* deb ataladi. Demak ikki xil yakka kontur mavjud ekan.

#### 1.20.1 Ketma - ket tebranish konturlaridagi o'tish jarayonlari



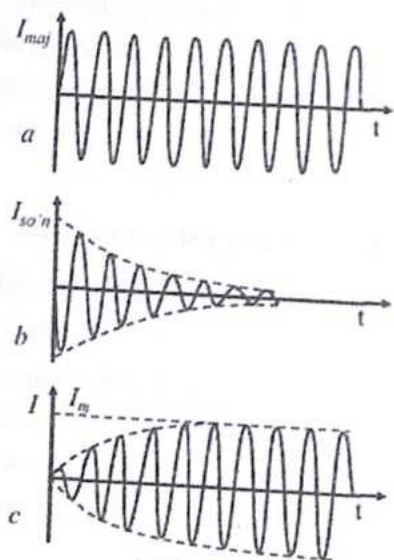
1.46 - rasm

Faraz qilaylik,  $t = 0$  vaqt momentida konturga ketma-ket  $E(t) = E_m \sin \omega t$ , bo'lgan ideal sinusoidal EYuK manbai ulansin (1.46 - rasm). EYuK ning o'zgarish chastotasi  $f = \omega/2\pi$  bo'lsin va uni konturning erkin tebranishlar chastotasiga teng deb hisoblaylik.

Manba ulangan vaqt momentidan boshlab konturdagi kondensator va induktiv g'altakda mos holdagi energiya to'plana boshlaydi hamda zanjirda tok paydo bo'ladi. Yuqorida aytilganidek, reaktiv elementli zanjirlardagi induktiv g'altakdagi tokning va kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanishning qiymati birdaniga o'zgarishi mumkin bo'lmaganligi tufayli zanjirda paydo bo'lgan tokning amplitudasi ham asta - sekin orta boradi. *Bu holda konturda qanday jarayonlar ro'y beradi?*

Konturga EYuK manbai ulangan momentdan boshlab konturda bir vaqtda ikkita tebranma jarayon vujudga keladi. Birinchisi, bu doimiy  $I = I_m \sin \omega t$  amplitudali va chastotasi EYuK chastotasi  $f = \omega/2\pi$  ga teng majburiy tebranish (1.47a - rasm). Ikkinchisi esa amplitudasi  $I_{erk} = -I_m \sin \omega t$  bo'lgan so'nuvchi erkin tebranish (1.47b - rasm). Bu ikki tebranishning boshlang'ich amplitudalari son jihatdan o'zaro teng, boshlang'ich fazalari esa qarama - qarshi bo'ladi. Shuning uchun  $I$  va  $I_{erk}$  ning ifodalaridan:  $I_m = -I_m$ . Superpozitsiya prinsipiga asosan konturdagi natijaviy tok bu ikki tokning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi va uning amplitudasi eksponensial qonun

bo'yicha ortib borib,  $I_m$  ga teng bo'lgan turg'un amplitudaga intilib boradi (1.47c - rasm).



1.47 - rasm

Tok amplitudasining bunday o'sib borishi *o'tish jarayoni* deb ataladi. Nazariy jihatdan o'tish jarayoni cheksiz uzoq vaqt davom etadi. Amalda esa o'tish jarayoni zanjirning vaqt doimiysi bilan belgilanib,  $(3 \div 5)\tau$  ga teng vaqt ichida

tugallangan hisoblanadi.  $\tau = \frac{1}{\delta} = \frac{2L}{R}$  -

konturning *vaqt doimiysi*. Bu vaqt ichida natijaviy tokning amplitudasi  $(0.95 \div 0.99)I_m$  qiymatga erishadi.

Konturdagi o'tish jarayonining davomiyliigi konturning yo'qotish qarshiligining qiymati (1.114) ga bog'liq.

Chunki konturning vaqt doimiysi qanchalik kichik bo'lsa, undagi o'tish jarayoni shunchalik tez tugallanadi.

Misol uchun induktivliklari va sig'imlari bir xil, ammo yo'qotish qarshiliklari turlicha bo'lgan konturni olaylik:  $L_1 = L_2$ ;  $C_1 = C_2$ ;  $R_1 > R_2$  bo'lsin,  $\tau = \frac{2L}{R}$  formulasidan  $\tau_1 < \tau_2$  ekanligi kelib chiqadi. Demak, birinchi konturda o'tish jarayoni ikkinchi konturga nisbatan vaqtli tugallanar ekan. Agar  $R_1 = 2R_2$  bo'lsa, birinchi konturda o'tish jarayoni ikkinchi zanjirga nisbatan 2 barobar kichik vaqt oralig'ida tugallanadi.

Konturlardagi fizik jarayonlarni tahlil qilishda undagi tebranishlar o'rnatilgan, ya'ni doimiy amplitudaga ega deb hisoblanadi.

### 1.20.2 Kuchlanish rezonansi

Ketma - ket konturda biz  $R, L, C$  elementlari ketma - ket ulangan zanjirga egamiz (1.46 - rasm). Bu yerda  $R$  qarshilik odatda induktiv g'altak yasalgan simlardagi omik yo'qotishlarni ifodalaydi. Kondensatorning yo'qotish qarshiligi kichik, shuning uchun uni e'tiborga olmaymiz.

Bu zanjirning *to'liq kirish qarshiligi* yoki *impedansi* quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = R + R_L + R_C \quad (1.140)$$

Ma'lumki, bu qarshilik mavhum qismga ham ega. Shuning uchun uni biz kompleks ko'rinishda ifodalashimiz mumkin.

$$Z_{kir} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1.141)$$

$$= R + j(X_L - X_C) = R + jX$$

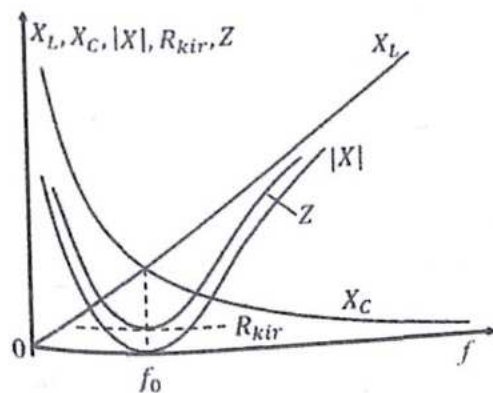
bu yerda  $R$  - kirish qarshiligining aktiv,  $X = X_L - X_C$  - kirish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi.

Konturning to'la qarshiligi kirish qarshiligining moduli orqali aniqlanishi mumkin:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (1.142)$$

Bu yerda biz 4 ta kattalikka egamiz. Ular  $X_L, X_C, |X|, Z$ .

Bu kattaliklarning hammasi chastotaga bog'liq hisoblanadi. Ularning chastotaga bog'liqlik grafiklari 1.48 - rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinishicha  $f_0$  chastotada to'liq qarshilikning reaktiv tashkil etuvchisi nolga ( $X = 0$ ) aylanib, (1.141) ifodaga ko'ra to'liq qarshilik  $Z = R$  bo'lib qolar ekan.



1.48 - rasm

etuvchisi nolga aylanishidan foydalanib  $f_0$  ni topamiz:

Generatorning chastotasi  $f_0$  ga nisbatan katta yoki kichik chastota tomonga o'zgarishi konturni to'liq qarshiligining ortishiga olib keladi. Chastota  $f < f_0$  bo'lganda to'liq qarshilikning reaktiv tashkil etuvchisi sig'im qarshiligi xarakteriga ega bo'ladi,  $f > f_0$  bo'lganda esa induktiv qarshilik xarakteriga ega bo'ladi. To'liq qarshilikning reaktiv tashkil

$$X = X_L - X_C = 0 \text{ yoki } \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (1.143)$$

Bundan  $\omega_0^2 = 1/LC$ ,  $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ ,  $f_0 = 2\pi\sqrt{LC}$  kelib chiqadi.

Bu tenglik avval erkin tebranishlar chastotasi uchun chiqarilgan ifodaning o'zi  $f_{erk} = 2\pi\sqrt{LC}$ . Bu holatdan quyidagi xulosani chiqarish mumkin:

agar generatordagi tebranishlar chastotasi konturdagi erkin tebranishlar chastotasiga teng bo'lsa, konturning to'liq qarshiligi konturning aktiv qarshiligi  $R$  ga teng minimal qiymatga ega bo'ladi. Bu vaqtda konturdagi tok va generatorning EYuK faza bo'yicha mos bo'ladi. Chunki to'liq qarshilik faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lib, aktiv qarshilikdan o'zgaruvchan tok o'tayotganida esa tok va kuchlanish orasida faza siljishi bo'lmaydi.

Bunday hodisa *rezonans* deb ataladi va  $f_0$  chastota esa *rezonans chastotasi* deyiladi. Rezonans vaqtida elektr va magnit maydon energiyalari yig'indisi o'zgarmaydi. Elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga, magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanishi uzluksiz amalga oshib turadi. Manbadan kelayotgan energiya esa konturning aktiv elementlarida yo'qolayotgan energiyani qoplab turadi. Hosil bo'lgan bunday sharoit natijasida tebranish konturida *so'nmas tebranish* saqlanadi.

Om qonunidan foydalanib konturdagi tok amplitudasi va fazasining ixtiyoriy chastotadagi qiymatini hisoblab topishimiz mumkin:

$$I_m = \frac{E_m}{Z} = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (1.144)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (1.145)$$

Rezonans vaqtida  $Z = R$ , bo'lgani uchun konturda hosil bo'ladigan tokning amplitudasi:

$$I_{rez} = \frac{E_m}{R} \quad (1.146)$$

bo'ladi.

Rezonans vaqtida kondensatordagi kuchlanish tushuvi  $U_{mC} = X_C I_m$  va induktiv g'altakdagi kuchlanish tushuvi  $U_{mL} = X_L I_m$  ga teng bo'ladi. Agar 1.17 - mavzudagi (1.11) va (1.112) ifodalarni hisobga olsak, u holda

$$U_{mL} = U_{mC} = \rho I_m = \frac{\rho E_m}{R} = Q E_m \quad (1.147)$$

kelib chiqadi. Chunki  $Q = \frac{\rho}{R}$  edi. Bu tenglikdan

$$\frac{U_{mL}}{E_m} = \frac{U_{mC}}{E_m} = Q \quad (1.148)$$

hosil bo'ladi.

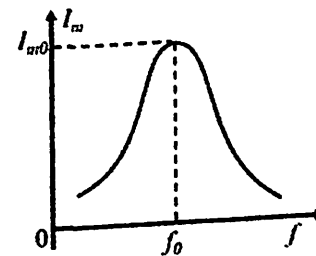
Shunday qilib, quyidagi xulosaga kelamiz. Rezonans vaqtida ketma - ket tebranish konturidagi kondensator va induktiv g'altakdagi kuchlanishlar modul bo'yicha o'zaro teng bo'lib, bu kuchlanish manbaning EYuK idan  $Q$  marta katta bo'ladi. Shuning uchun ketma - ket konturdagi rezonansni *kuchlanish rezonansi* deb ataladi.

### 1.20.3 Ketma-ket tebranish konturining amplituda-chastotaviy xarakteristikasi

Om qonuniga ko'ra zanjir qarshiligining o'zgarishi zanjirdagi tokning o'zgarishiga olib keladi. Ketma - ket kontur to'liq qarshiligining chastotaga bog'liqlik grafigidan (1.48 - rasm) chastota ortishi bilan dastlab to'liq qarshilik kamayib borishi, chastota rezonans chastotaga tenglashganda minimal qiymatga erishishi hamda chastotani orttirish davom ettirilganda konturni to'liq qarshiligining ortib borishi ma'lum bo'lgan edi.

Ana shu xulosaga asosan (1.144) ifodaga ko'ra konturdagi tokning chastotaga bog'liqlik grafigini chizamiz (1.49 - rasm).

1.49 - rasmdan ko'rinib turibdiki, konturdagi tokning o'zgarishi konturning to'liq qarshiligini o'zgarishiga mos bo'lib, rezonans chastotada maksimal qiymatga erishadi. Chunki bu vaqtda konturning to'liq qarshiligi eng kichik qiymatga ega bo'lar edi. Yana shu



1.49 - rasm

narsa ko'rinib turibdiki, chastota rezonans chastotadan qanchalik ko'p chetlashsa, tok amplitudasi shunchalik kichik bo'lar ekan.

Odatda, konturlarni hisoblashda rezonans chastotaga yaqin chastotalarda ro'y beradigan o'zgarishlarni hisobga olish amaliy ahamiyatga ega. Bu o'zgarishlar *kichik buzilishlar* deb ataladi va ular ro'y beradigan kichik buzilishlar sohasi aniqlanadi. Chastotaning rezonans chastotadan qancha qiymatga chetlashganini ko'rsatuvchi  $\Delta f = f - f_0$  kattalik *absolyut buzilish* deb ataladi. Absolyut buzilishdan tashqari yana umumlashgan buzilish va nisbiy buzilish deb nomlangan kattaliklardan ham foydalaniladi.

*Umumlashgan buzilish* konturning reaktiv qarshiligini uning yo'qotish qarshiligiga nisbati sifatida aniqlanadi. Konturning reaktiv qarshiligi  $X = X_L - X_C$  edi. Rezonans boshqa ixtiyoriy chastotadagi konturning kirish reaktiv qarshiligi quyidagiga teng:

$$X(\omega) = \omega L - \frac{1}{\omega C} = \omega_0 L \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{1}{\omega \omega_0 LC} \right) = \rho \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (1.149)$$

(1.141) ifodadagi to'liq qarshilik ifodasini (1.149) orqali quyidagicha yozib olamiz:

$$Z_{kr} = R \left[ 1 + j \frac{\rho}{R} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] = R \left[ 1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] = R(1 + j\xi) \quad (1.150)$$

bu yerda  $\xi = Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$  - umumlashgan buzilish,  $Q$  - konturning aslligi,  $\omega_0$

- konturning xususiy yoki rezonans chastotasi.

(1.149) ifodani e'tiborga olsak, konturdan o'tayotgan tok ifodasi (1.144) quyidagiga teng bo'ladi:

$$I = \frac{E_m}{Z} = \frac{E_m}{R(1 + j\xi)} = I_{rez} \frac{1}{(1 + j\xi)} \quad (1.151)$$

(1.151) va (1.146) ni hisobga olsak, tok bo'yicha chastotaviy uzatish koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_I(\xi) = \frac{I}{I_{rez}} = \frac{1}{1 + j\xi} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} e^{j\varphi} \quad (1.152)$$

Konturning aslligi qiymati katta bo'lgan hollarda ( $Q \gg 1$ )  $\omega_0 = \omega_{rez} \approx \omega$  ga ega bo'lamiz va rezonans chastotasiga nisbatan kichik absolyut buzilishlar qiymatlarida umumlashgan buzilishni quyidagicha yozish mumkin:

$$\xi = Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = Q \frac{\omega + \omega_0}{\omega} \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \approx Q \frac{2\omega(\omega - \omega_0)}{\omega \omega_0} = 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \quad (1.153)$$

bu yerda  $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\Delta f}{f_0}$  - nisbiy buzilish deb ataladi.

(1.153) ifodani (1.152) ga olib borib quyib, kichik absolyut buzilishlar uchun chastotaviy uzatish koeffitsiyenti modulini topamiz:

$$K_I(\Delta\omega) = |K_I(\xi)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right)^2}} \quad (1.154)$$

Ushbu funksiya konturning amplitudaviy - chastotaviy xarakteristikasi yoki *rezonans xarakteristikasini* ifodalaydi. Konturning *rezonans xarakteristikasi* deb tokning ixtiyoriy chastotadagi qiymatini rezonans chastotadagi tok qiymatiga nisbatiga aytiladi.

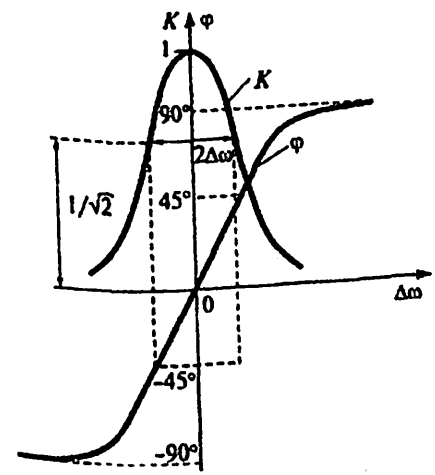
(1.153) va (1.145) ifodalardan foydalanib kichik absolyut buzilishlar uchun faza siljishi topiladi:

$$\varphi = \arctg \xi = \arctg \left( 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) \quad (1.155)$$

va u tebranish konturning faza chastotaviy xarakteristikasi bo'ladi.

Ketma - ket tebranish konturning amplitudaviy va fazaviy xarakteristikalari 1.50 - rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki, absolyut buzilishlar  $\Delta\omega = 0$  bo'lganda yoki rezonans vaqtida uzatish koeffitsiyenti eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Konturning chastotaviy xarakteristikasidan yana shu narsa ko'rinib turibdiki, u tanlash xususiyatiga ega ekan. Demak, kontur yordamida



1.50 - rasm

kerakli chastotaga ega bo'lgan toklarni ajratib olish mumkin bo'ladi.

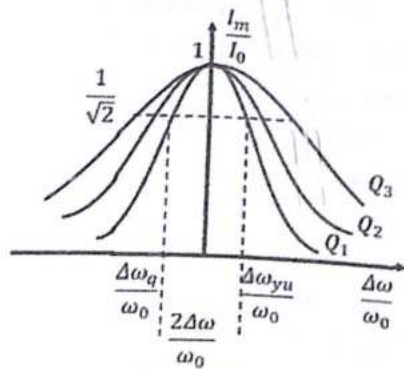
Chastotaning rezonans chastotadan har qanday og'ishi uzatish koeffitsiyenti qiymatining kamayishiga olib keladi. Konturning muhim parametrlaridan biri uning o'tkazish sohasidir. Konturning o'tkazish sohasi deb rezonans chastota yaqinidagi shunday chastotalar oralig'iga aytiladiki, bu oraliqda konturning uzatish koeffitsiyenti  $\sqrt{2}$  marta kamayadi.

Umumlashgan buzilish  $\xi = \pm 1$  bo'lganda signal amplitudasi  $\sqrt{2}$  marta kamayadi. Demak, signalning  $\sqrt{2}I_{rc}$  qiymatga mos keladigan chastotalar oralig'i konturning o'tkazish sohasini belgilaydi. Konturning o'tkazish sohasini chastotaviy xarakteristika grafigidan ham aniqlash mumkin. Buning uchun tokning maksimal qiymatini  $\sqrt{2}$  ga bo'lib, hosil bo'lgan qiymat sathida gorizontaal chiziq o'tkazamiz (1.50 - rasm). Bu chiziq xarakteristikani kesib o'tgan nuqtalar orqali o'tkazish sohasi chegaralarini aniqlaydi.

Umuman olganda konturning o'tkazish sohasi  $2\Delta\omega$  ga teng,  $\xi = 1$  bo'lganda (1.153) ifodadan

$$2\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad (1.156)$$

bo'ladi. Konturning o'tkazish sohasi uning aslligiga bog'liq. Asllikning ortishi bilan ( $Q_1 > Q_2 > Q_3$ ) ketma - ket tebranish konturining o'tkazish sohasi torayib boradi va uning chastota tanlash xususiyati ortadi (1.51 - rasm).



1.51 - rasm

Shuni aytish kerakki, konturga biror rezistor ulansa, uning o'tkazish sohasi kengayadi. Chunku bunda konturning aslligi yomonlashadi. Shuning uchun tashqi generator ichki qarshiligini konturning aslligiga ta'sirini o'rganish muhim hisoblanadi. Manba vazifasini bajaruvchi tashqi generatorning ichki qarshiligi kompleks kattalik bo'lib, quyidagiga teng:

$$\dot{Z}_i = R_i + jX_i. \quad (1.157)$$

Ko'rinadiki, u faqat konturda energiya yo'qolishini orttirib qolmay, konturning rezonans chastotasini ham o'zgartiradi. Bunga sabab

generatorning ichki qarshiligi ta'sirida konturning aslligi kamayadi. Agar ichki qarshilik sof aktiv qarshiligidan iborat desak ( $X_i = 0, \dot{Z}_i = R_i$ ), konturning ekvivalent aslligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$Q_c = \frac{\rho}{R + R_i} = \frac{Q}{1 + \frac{R_i}{R}} \quad (1.158)$$

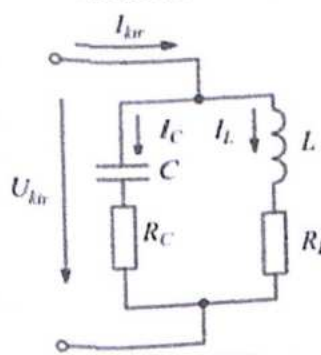
Ko'rinib turibdiki, ketma - ket tebranish konturlarida ichki qarshiligi kichik bo'lgan generatorlar ishlatilishi kerak. Chunki generator ichki qarshiligining ortishi bilan konturning effektiv aslligi kamayib boradi. O'z navbatida bu o'tkazish sohasini kengayishiga va natijada chastotalarni tanlash xususiyatining yomonlashishiga olib keladi. Bu holat ketma - ket tebranish konturlarini keng ko'lamda qo'llanishiga xalaqit beradi. Bunday konturlar asosan radioqurilmalarning kirish zanjirlarida va asllik o'lchagichlarida ishlatiladi.

#### 1.20.4 Parallel tebranish konturlari

Elementlari tashqi generatorga parallel ulangan konturlar *parallel tebranish konturlari* deyiladi (1.52 - rasm). Bunday tebranish konturiga ulangan generator undan tashqarida bo'ladi.

Parallel kontur uchun quyidagilar o'rinli:

$$U = U_1 = U_2, I = I_L + I_C, \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \quad (1.159)$$



1.52 - rasm

bu yerda  $\dot{Z}_1 = R_1 + j\omega L; \dot{Z}_2 = R_2 - \frac{j}{\omega C}$ .

Konturning kirish qarshiligi kompleks kattalik bo'lib, u quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi

$$\dot{Z}_{kr} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{E_m - \dot{I}_m R_i}{\dot{I}_m} \quad (1.160)$$

Kontur shaxobchalarining parallelligidan

$$\dot{Z}_{kr} = \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{(R_1 + j\omega L)(R_2 - j/\omega C)}{R_1 + j\omega L + R_2 - j/\omega C} = \frac{(R_1 + j\omega L)(R_2 - j/\omega C)}{R_1 + R_2 + j(\omega L - 1/\omega C)} \quad (1.161)$$

kelib chiqadi.

Amalda ishlatiladigan parallel konturlarda har doim  $R_1 \gg R_c$ , konturning aslligi juda katta qiymatlarni qabul qiladi va rezonans chastotasi sohasida  $R_1 \ll \omega L$ ,  $R_2 \ll 1/\omega C$ . Shuning uchun parallel kontur karakteristikalarini hisoblash paytida aktiv qarshilikdagi yo'qotishlarni hisobga olmaslik mumkin. Bunday yo'l bilan olingan natijalar haqiqiy natijalardan juda kam farq qiladi. U holda (1.161) ifodadan aniqlanuvchi to'liq kirish qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{Z}_{kir} \approx \frac{(j\omega L)(-j/\omega C)}{R + j(\omega L - 1/\omega C)} = \frac{L/C}{R + j(X_L - X_C)} = \frac{\rho^2}{R + jX} \quad (1.162)$$

bu yerda  $R = R_1 + R_2$  - umumiy yo'qotish qarshiligi.

(1.150) ifodani e'tiborga olsak, to'liq qirish qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{Z}_{kir} = \frac{\rho^2}{R(1 + j\xi)} = \frac{\rho^2}{R(1 + \xi^2)} - j \frac{\xi \rho^2}{R(1 + \xi^2)} = R_{kir} + jX_{kir} \quad (1.163)$$

bu yerda  $R_{kir} = \frac{\rho^2}{R(1 + \xi^2)}$ ,  $X_{kir} = -\frac{\xi \rho^2}{R(1 + \xi^2)}$ .

Ma'lumki, rezonans vaqtida  $\xi = 0$  ( $\Delta\omega = 0$ ) bo'ladi va (1.163) ifodadan kirish qarshiligi rezonans qarshilikka teng bo'lib qolishini ko'rishimiz mumkin:

$$Z_{rez} = \frac{\rho^2}{R} = Q\rho = RQ^2 \quad (1.164)$$

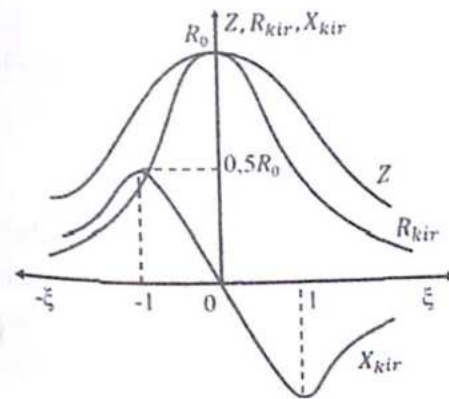
Parallel konturning to'liq qarshiligini kirish qarshiligining moduli sifatida aniqlasak bo'ladi:

$$Z = |\dot{Z}_{kir}| = \frac{\rho^2}{R\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{Z_{rez}}{\sqrt{1 + \xi^2}} \quad (1.165)$$

Shunday qilib, biz 3 ta,  $Z$ ,  $R_{kir}$ ,  $X_{kir}$  kattaliklarga ega bo'ldik. Bu kattaliklarning uchchalasi ham umumlashgan buzilishga bog'liq.

Bu kattaliklarning umumlashgan buzilish  $\xi$  ga bog'liqlik grafigi 1.53 - rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, parallel konturlarda to'liq qarshilikning ham aktiv, ham reaktiv tashkil etuvchilari buzilish sohasiga bog'liq ekan. Bu degani ular manba generatorning chastotasiga

bog'liq bo'ladi. Ketma - ket konturlarda faqat to'liq qarshilikning reaktiv tashkil etuvchisi chastotaga bog'liq edi.



1.53 - rasm

1.53 - rasmdan yana shu narsani ko'rish mumkinki, umumlashgan buzilishning ortishi bilan parallel konturning to'liq qarshiligi kamayib boradi. Agar  $\omega < \omega_0$  ( $\xi = 0$ ) bo'lsa,  $X_L < X_C$  bo'ladi. Demak, elementlardan o'tayotgan toklar uchun  $I_L > I_C$  o'rinli bo'ladi va to'liq qarshilik  $Z$  induktiv xarakterga ega bo'ladi. Agar  $\omega > \omega_0$  bo'lsa,  $X_L > X_C$  bo'lib,  $I_L < I_C$  bo'ladi va to'liq

qarshilik  $Z$  sig'im xarakteriga ega bo'ladi.

Rezonans vaqtida  $X_L = X_C$  bo'ladi va konturning ikkala shaxobhasidan bir xil tok oqadi:  $I_{mC} = I_{mL}$ . Kontur qarshiligida quvvat yo'qoladi. Shu bilan bir vaqtda manbadan  $P_k$  ga teng  $P_{gen} = \frac{I_m^2 Z}{2}$  quvvat kelib turadi. Bu quvvatlarning o'zaro tengligidan foydalanib, konturdagi tok bilan zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok orasidagi nisbatni topishimiz mumkin:

$$P_k = P_{gen} = \frac{I_{mL}^2 R}{2} = \frac{I_m^2 Z}{2}, \quad I_{mL}^2 R = I_m^2 Z \quad (1.166)$$

Bundan

$$\frac{I_{mL}^2}{I_m^2} = \frac{Z}{R} = \frac{\rho Q}{R} = Q^2 \quad (1.167)$$

Tenglikning ikki tomonini kvadrat ildizdan chiqarsak

$$\frac{I_{mL}}{I_m} = Q \quad \text{yoki} \quad \frac{I_{mC}}{I_m} = Q \quad (1.168)$$

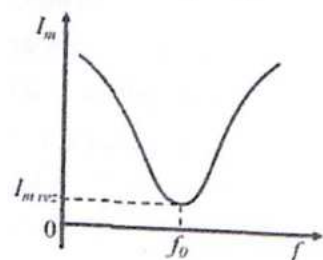
kelib chiqadi.

Demak, rezonans vaqtida generatoridan konturga kelayotgan tokdan generator tarmoqlaridagi tok  $Q$  marta katta bo'ladi, ya'ni tarmoqlardan o'tadigan tok  $Q$  marta ortadi. Shuning uchun parallel tebranish konturdagi rezonans tok rezonansi deb ataladi.

Kirish qarshiligi, undagi tok va kuchlanish chastotaga bog'liq holda turli qiymatlarni qabul qiladi. Zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok amplitudasini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin.

$$I_m = \frac{E_m}{Z + R_i} \quad (1.169)$$

bu yerda  $Z = \frac{\rho Q}{\sqrt{1 + \xi^2}}$  konturning to'liq qarshiligi.



1.54 - rasm

Agar  $R_i = \text{const}$  deb hisoblab, konturdagi tokning chastotaga bog'liqlik grafigini chizadigan bo'lsak (1.54 - rasm), rezonans chastotasida tok minimal qiymatiga ega bo'lishini ko'ramiz:

$$I_{mrvz} = \frac{U_m}{Z_{rvz}} = \frac{U_m}{Q^2 R} \quad (1.170)$$

Chastotaning rezonans chastotadan har qanday og'ishi konturda tokning ortishiga olib keladi, chunki bu holda konturning to'liq qarshiligi kamayadi.

Konturning chiqish kuchlanishi quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$U_{mk} = E_m - I_m R_i = \frac{E_m Z}{R_i + Z} \quad (1.171)$$

Bu kuchlanish bir vaqtning o'zida kirish kuchlanishi bo'lib hisoblanadi.

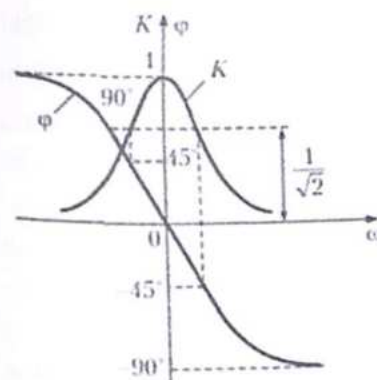
Konturning uzatish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$K(\Delta\omega) = \frac{U_{mk}}{U_{mrvz}} = \frac{Z}{Z_{rvz}} = \frac{Z_{rvz}}{Z_{rvz} \sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2Q\Delta\omega/\omega)^2}} \quad (1.172)$$

Ko'rinadiki, rezonans chizig'i konturdagi umumlashgan buzilishga bog'liq. Faza chastotaviy xarakteristikani olish uchun (1.163) ifodadan foydalansak

$$\varphi = \arctg \frac{X_{kr}}{R_{kr}} = -\arctg \xi = -\arctg (2Q\Delta\omega/\omega) \quad (1.173)$$

ekanligi kelib chiqadi. Parallel tebranish konturining amplitudaviy va chastotaviy xarakteristikalari 1.55 - rasmda keltirilgan. Unda ham xuddi ketma - ket konturda bo'lgani kabi o'tkazish sohasi quyidagi formuladan aniqlanadi:



1.55 - rasm

$$2\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad (1.174)$$

Parallel tebranish konturidan generatoring ichki qarshiligi  $R_i$  konturning to'liq qarshiligi tartibida yoki undan katta bo'lgan hollarda foydalanish mumkin ( $R_i \geq Z$ ).

Ba'zi hollarda rezonans chastotasini o'zgartirmagan holda o'tkazish sohasini kengaytirish zarurati tug'iladi. Buning uchun

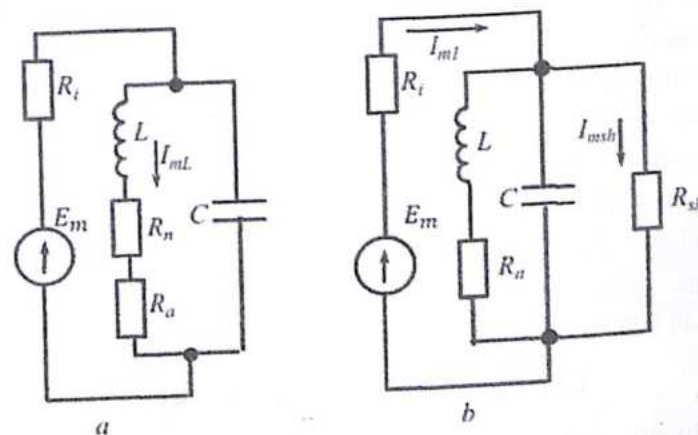
konturning aslligini kamaytirish kerak. Konturning aslligini kamaytirish yo'qotish qarshiligini oshirish orqali amalga oshiriladi.

Ikki xil usul bilan konturning o'tkazish sohasini kengaytirish mumkin.

1 - usul. Konturga ketma - ket ravishda qo'shimcha aktiv qarshilik ( $R_a$ ) kiritib, yo'qotish qarshiligi oshirish va asllikni kamaytirish usuli (1.56a - rasm)

$$Q_{kv} = \frac{\rho}{R_n} = \frac{\rho}{R + R_a} = \frac{\omega_0 L}{R + R_a} \quad (1.175)$$

Ko'rinadiki, bu holda asllik kamayib, konturning o'tkazish sohasi ortadi. Shuni qayd etish kerakki,  $R_a$  qarshilik parallel konturning rezonans qarshiligini kamaytiradi va ketma - ket konturning rezonans qarshiligini esa orttiradi.



1.56 - rasm

Masalan,  $R_a = R$  bo'lsa, asllik ikki marta kamayib, o'tkazish sohasi ikki marta ortadi. Bu holda  $R_a$  qarshilik sof aktiv qarshilik tabiatiga ega bo'lishi talab qilinadi, aks hola u ham chastotaga bog'liq bo'lib, konturning rezonans chastotasini o'zgartiradi. Amalda buni bajarish qiyin bo'lganligi sababli bu usul noqulay hisoblanadi.

2 usul. Konturga parallel ravishda uni shuntlovchi  $R_a$  qarshilik ulash usuli (1.56b - rasm). Bu usul ancha qulay hisoblanadi va amalda keng qo'llaniladi. Bunda energiya isrofi ortadi va konturning aslligi kamayadi hamda mos ravishda o'tkazish sohasi kengayadi. Shuntlovchi qarshilikni parallel ulashda kontur zanjirini uzish talab etilmaydi, shunga ko'ra o'tkazish sohasini kengaytirishning bu usuli qarshilikni ketma - ket ulashga qaraganda ancha qulay hisoblanadi.

### 1.21 Bog'langan tebranish konturlari

O'zaro energiya almashinishi mumkin bo'lgan konturlar sistemasi bog'langan tebranish konturi deb ataladi. Konturlar orasida energiya almashinishi turlicha amalga oshishi mumkin. Almashinadigan energiya turiga qarab konturlar orasidagi bog'lanish uch turga ajratiladi:

- induktiv bog'lanish;
- sig'im bog'lanish;
- galvanik bog'lanish.

Induktiv bog'lanishda konturlar orasidagi o'zaro energiya almashinishi induktiv g'altakning magnit maydoni orqali amalga oshadi.

Sig'imli bog'lanishda konturlar orasidagi o'zaro energiya almashinishi kondensatorning elektr maydoni orqali amalga oshadi.

Galvanik bog'lanishda energiya almashish oddiy elektr toki hisobiga amalga oshadi. Elektronika va elektrotexnikada asosan yuqoridagi ikki turdagi bog'langan konturdan iborat sistemalar ko'p ishlatiladi.

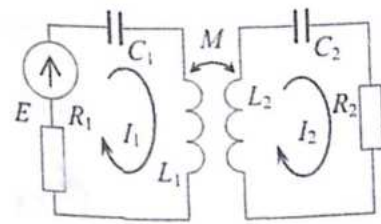
Manba generatorga ulangan kontur birlamchi kontur, energiya uzatilayotgan kontur ikkilamchi kontur deb yuritiladi.

#### 1.21.1 Konturlar orasidagi bog'lanishlar

Amaliyotda keng tarqalgan bog'lanish bu induktiv va sig'im bog'lanishlaridir. Induktiv bog'lanish avtotransformator va transformator

bog'lanishlarga bo'linadi. Sig'im bog'lanishi ichki sig'im bog'lanish va tashqi sig'im bog'lanishiga ajraladi. Konturlar orasidagi o'zaro bog'lanish miqdor jihatidan bog'lanish koeffitsiyenti orqali xarakterlanadi. Sof induktiv yoki sof sig'im holida ushbu koeffitsiyentni aniqlaymiz.

#### 1. Transformator (o'zaro induktiv) bog'lanish



1.57 - rasm

Bu turdagi bog'lanish sxemasi 1.57 - rasmda keltirilgan. Unda  $M$  - o'zaro induksiya koeffitsiyenti. Faraz qilaylik,  $C_1$  kondensator tashqi manba orqali zaryadlansin. Agar tashqi manba uzilsa, birlamchi konturdan ikkilamchi konturga energiya  $I_1$  tok tomonidan  $L_1$  g'altakda hosil

qilinadigan magnit maydoni orqali uzatiladi. Bunda  $L_1$  g'altakda hosil bo'lgan kuchlanish

$$U_{L_1} = -L_1 \frac{dI_1}{dt} \quad (1.176)$$

ga teng bo'lib, u hosil qilgan magnit oqimi  $L_2$  g'altak bilan o'zaro ta'sirlashib, unda

$$U_{L_2} = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (1.177)$$

o'zinduksiya EYuK ining hosil bo'lishiga olib keladi.

Birinchi konturdan ikkinchi konturga energiya uzatilish jarayoni yoki ikkinchi konturning birinchi kontur bilan bog'lanish darajasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$k_{12} = \frac{U_{12}}{U_{L_1}} = \frac{M}{L_1} \quad (1.178)$$

Agar boshlang'ich holatga qaytib,  $C_2$  kondensator zaryadlansa va yuqoridagi ketma - ketlik takrorlansa, u holda birinchi konturning ikkinchi konturga bog'lanish darajasi, ya'ni ikkinchi konturning uzatish koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$k_{21} = \frac{U_{21}}{U_{L_2}} = \frac{M}{L_2} \quad (1.179)$$

Ushbu koeffitsiyent ikkinchi konturdan birinchi konturga energiya uzatilishini ifodalaydi.

Bog'lanish darajalari  $k_{12}$  va  $k_{21}$  larning geometrik o'rtacha qiymati konturlarning o'zaro bog'lanish koeffitsiyenti deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$k = \sqrt{k_{12} \cdot k_{21}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (1.180)$$

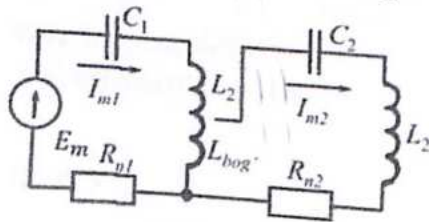
(1.180) ifodani  $\omega$  chastotaga ko'paytirib bo'linsa, o'zaro bog'lanish koeffitsiyentining umumlashgan ifodasi hosil bo'ladi:

$$k = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2}} = \frac{X_{bog'}}{\sqrt{X_1 \cdot X_2}} \quad (1.181)$$

bu yerda  $X_{bog'} = \omega M$  - bog'lanish qarshiligi,  $X_1 = \omega L_1$  - birinchi g'altakning induktiv qarshiligi,  $X_2 = \omega L_2$  - ikkinchi g'altakning induktiv qarshiligi.

### 2. Avtotransformator bog'lanish

Avtotransformator bog'lanishda birlamchi konturdan ikkilamchi konturga energiya ikkala kontur uchun umumiy bo'lgan induktiv g'altak orqali amalga oshiriladi. Bizga  $L_1, C_1, R_1, L_{bog'}$  elementlardan iborat birlamchi va  $L_2, C_2, R_2, L_{bog'}$  elementlardan tashkil topgan ikkilamchi konturdan iborat sistema berilgan bo'lsin (1.58 - rasm).



1.58 - rasm

Agar birlamchi konturda  $I_{m1}$  tok oqayotgan bo'lsa, ikkilamchi konturda  $I_{m2}$  tok paydo bo'ladi.  $I_{m2}$  tok  $L_2$  dan tok o'tganda paydo bo'ladigan o'zinduksiya EYuK tomonidan hosil bo'ladi.

Bu yerda konturlar orasidagi bog'lanish  $L_{bog'}$  ga bog'liq. Umumiy induktivlik  $L_{bog'}$  qanchalik katta bo'lsa, konturlar orasidagi bog'lanish shu darajada kuchli bo'ladi. Chunki  $L_{bog'}$  qanchalik katta bo'lsa, o'zinduksiya EYuK shunchalik katta bo'ladi va u hosil qiladigan  $I_{m2}$  tok ham shunchalik katta bo'ladi. O'z navbatida  $I_{m2}$  tok  $L_{bog'}$  dan o'tib, o'ziga tegishli

o'zinduksiya EYuK ni hosil qiladi. Bu o'zinduksiya EYuK i birlamchi konturga ta'sir qilib, uning ish rejimini o'zgartiradi.

Bu holda o'zaro bog'lanish koeffitsiyenti ifodasi quyidagiga teng:

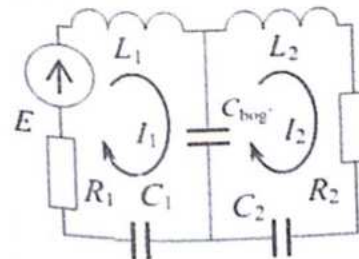
$$k = \frac{L_{bog'}}{\sqrt{L_1(L_2 + L_{bog'})}} \quad (1.182)$$

bu yerda bog'lanish qarshiligi  $X_{bog'} = \omega L_{bog'}$  ga teng.

Bunday bog'lanish sistemasining asosiy kamchiligi, konturlar orasidagi bog'lanishni tekis o'zgartirishni amalga oshirishning qiyinligidadir. Shuning uchun ham bunday sxemalar amaliyotda juda kam ishlatiladi.

### 3. Ichki sig'im bog'lanish

Bu usulda konturlar orasidagi bog'lanish  $C_{bog'}$  kondensatori yordamida amalga oshiriladi (1.59 - rasm). Bu kondensator ikkala kontur uchun umumiy bo'lib, ikkilamchi konturdagi  $I_{m2}$  tok bu kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanish bilan belgilanadi. Bu kuchlanish birlamchi kontur bo'ylab oqayotgan  $I_{m1}$  tok



1.59 - rasm

tufayli hosil bo'ladi. Kontur orasidagi bog'lanish darajasi  $C_{bog'}$  kondensatorning  $C_1$  kondensatorga nisbatan qiymatiga bog'liq.  $C_{bog'}$  ning sig'imi  $C_1$  ga nisbatan qanchalik kichik bo'lsa,  $C_{bog'}$  dagi kuchlanish shunchalik katta bo'ladi. Natijada bog'lanish shunchalik kuchli bo'ladi.

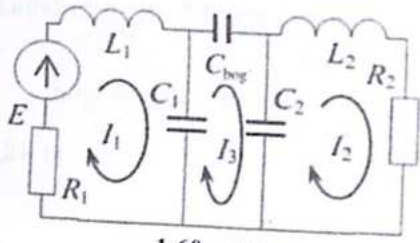
Bu holda o'zaro bog'lanish koeffitsiyenti ifodasi quyidagiga teng:

$$k = \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{C_{bog'}} \quad (1.183)$$

bu yerda bog'lanish qarshiligi  $X_{bog'} = \frac{1}{\omega C_{bog'}}$  ga teng.

Asosiy kamchiligi, bu bog'lanishni boshqarishning noqulayligida. Shuning uchun bunday bog'lanish nisbatan kam ishlatiladi.

### 4. Tashqi sig'im bog'lanishi



1.60 - rasm

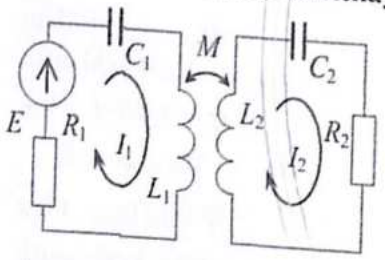
Bu usulda konturlar orasidagi bog'lanish ikkala konturni tutashiruvchi kondensator yordamida amalga oshiriladi (1.60 - rasm). Bu  $C_{bog}$  kondensatorning sig'imi qanchalik katta bo'lsa, ikkilamchi konturga u orqali o'tadigan tok shunchalik katta bo'ladi. Demak, bog'lanish shunchalik kuchli bo'ladi.

Umumiy holda tashqi sig'im bog'lanish uchun bog'lanish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$k = \frac{C_{bog'}}{\sqrt{C_1 C_2}} \quad (1.184)$$

bu yerda bog'lanish qarshiligi  $X_{bog'} = \frac{1}{\omega C_{bog'}}$  ga teng.

1.21.2 Kiritilayotgan qarshilik va kritik bog'lanish



Agar bog'langan tebranish konturidagi birlamchi konturga tashqi signal generatori ulansa, unda dastlab o'tish jarayonlari ro'y beradi, ma'lum vaqt o'tganidan so'ng undagi erkin jarayonlar so'nib, faqat majburlovchi jarayonlar qoladi. Buning natijasida birlamchi konturdan ikkilamchi konturga davriy ravishda energiya uzatila boshlaydi.

O'zaro transformator bog'lanishli ikkita konturdan iborat sistemani ko'rib chiqaylik. Majburiy tebranishlar tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{m1} \dot{Z}_1 + j\omega M \dot{I}_{m2} &= \dot{U}_{m1} \\ \dot{I}_{m2} \dot{Z}_2 + j\omega M \dot{I}_{m1} &= 0 \end{aligned} \quad (1.185)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= R_1 + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = R_1 + jX_1; \\ \dot{Z}_2 &= R_2 + j \left( \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) = R_2 + jX_2 \end{aligned} \quad (1.186)$$

(1.185) tenglamalar sistemasidan  $\dot{I}_{m2}$  aniqlab, uni sistemaning birinchi ifodasiga quyib, soddalashtiramiz:  $\dot{I}_{m2} = -j \frac{\omega M}{\dot{Z}_2} \dot{I}_{m1}$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{m1} &= \dot{I}_{m1} \dot{Z}_1 + j\omega M \left( -j \frac{\omega M}{\dot{Z}_2} \dot{I}_{m1} \right) = \dot{I}_{m1} (R_1 + jX_1) + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + jX_2} \dot{I}_{m1} = \\ &= \dot{I}_{m1} R_1 + j \dot{I}_{m1} X_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} R_2 \dot{I}_{m1} - j \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + jX_2} X_2 \dot{I}_{m1} = \\ &= \dot{I}_{m1} \left[ \left( R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} R_2 \right) + j \left( X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} X_2 \right) \right] = \dot{I}_{m1} \dot{Z}_{ekv} \end{aligned} \quad (1.187)$$

bu yerda  $\dot{Z}_{ekv} = R_{ekv} + jX_{ekv}$  bo'lib, ekvivalent to'liq qarshilik deyiladi, unda

$$R_{ekv} = R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} R_2 = R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} R_2 = R_1 + R_{kir} \quad (1.188)$$

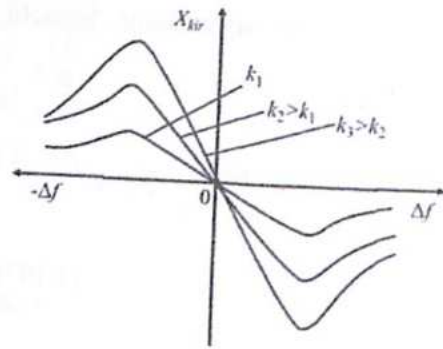
$$X_{ekv} = X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} X_2 = X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} X_2 = X_1 + X_{kir} \quad (1.189)$$

ga teng. Bu yerda  $R_{kir} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} R_2$  - kiritilayotgan aktiv qarshilik;

$X_{kir} = -\frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} X_2$  - kiritilayotgan reaktiv qarshilik deb ataladi.

Kiritilayotgan reaktiv qarshilik ifodasidagi "minus" ishora, bu qarshilik birlamchi konturning reaktiv qarshiligiga nisbatan qarama - qarshi xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Bu ifodalardan ko'rinib turibdiki, kiritilayotgan aktiv qarshilik faqat chastotaga bog'liq bo'lmay, yana bog'lanish koeffitsiyentiga ham bog'liq. Rezonans vaqtida kiritilayotgan aktiv qarshilikning maksimal qiymati  $R_{kir} = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}$  bo'ladi. Buzilishning ixtiyoriy qiymatida kiritilayotgan aktiv qarshilik  $R_{kir}$  kamayadi. Kiritilayotgan reaktiv qarshilik ham chastota va o'zaro induktivlik  $M$  ga bog'liq bo'lib, rezonans vaqtida nolga aylanadi.



1.61 - rasm

Bog'langan konturlarning reaktiv qarshiligini chastotaga bog'liqlik grafigi parallel konturlarning reaktiv qarshiligini chastotaga bog'liqlik grafigiga o'xshash, ammo yo'nalishi bog'lanish koeffitsiyenti qiymatiga  $k_1 < k_2 < k_3$  qarab turlicha bo'ladi (1.61 - rasm).

Bog'langan konturlarda ham buzilish manfiy bo'lganda

kiritilayotgan reaktiv qarshilik induktiv xususiyatga, buzilish musbat bo'lganda esa u sig'im xususiyatga ega bo'ladi.

Yuqoridagi mulohazalardan quyidagicha xulosaga kelish mumkin:

- kiritilayotgan aktiv qarshilik birlamchi konturdagi tok qiymatini kamaytiradi;
- kiritilayotgan reaktiv qarshilik konturning buzilishini o'zgartiradi.

Rezonans paytida ikkala konturda ham reaktiv qarshiliklar nolga teng bo'lish sharti bajarilishi tufayli, ya'ni  $X_1 = 0$ ,  $X_2 = 0$  bo'lishi tufayli  $X_{kr} = 0$  bo'ladi. U holda (1.189) ifodadan  $X_{ekv} = 0$  ekanligi kelib chiqadi.

Shuning uchun rezonans paytida to'liq qarshilik faqat aktiv tashkil etuvchidan tashkil topgan bo'lib, eng kichik qiymatga ega bo'ladi:

$$Z = R_1 + R_{kr}. \quad (1.190)$$

Birlamchi va ikkilamchi konturlardagi  $I_{m1}$  va  $I_{m2}$  toklarning rezonans paytidagi qiymatlarini Om qonuniga asosan quyidagi ifodalar orqali aniqlash mumkin:

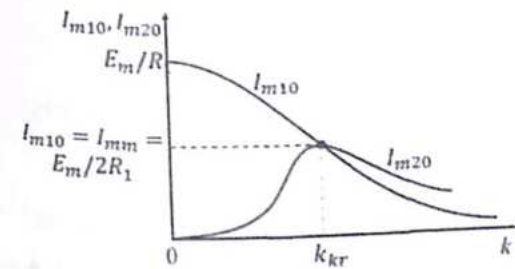
$$I_{m1} = \frac{E_m}{Z_{kr}} = \frac{E_m}{R_1 + R_{kr}} = \frac{E_m}{R_1 + \frac{\omega_0^2 M^2}{R_2}}, \quad (1.191)$$

$$I_{m2} = \frac{E_{m2}}{R_2} = \frac{I_{m1} \omega_0 M}{R_2}. \quad (1.192)$$

Rezonans paytida  $\omega = \omega_0$ ,  $Z_2 = R_2$  bo'ladi, natijada

$$E_{m2} = I_{m1} \omega_0 M$$

ga teng bo'lib, o'zaro induktivlik  $M$  ning ortishi birlamchi konturdagi  $I_{m1}$  tokning kamayishiga olib keladi.



1.62 - rasm

$M$  ortganda ikkilamchi konturdagi  $I_{m2}$  tok avval ortadi va maksimal qiymatiga yetgach, kamaya boshlaydi (1.62 - rasm).

$I_{m2}$  maksimal qiymatga erishgan vaqtdagi o'zaro induktivlikning qiymati *kritik qiymat* deb ataladi va  $M_{kr}$  deb

belgilanadi.  $M_{kr}$  ning qiymatini  $\frac{\omega_0 M_{kr}}{\sqrt{R_1 R_2}} = 1$  shartidan aniqlash mumkin:

$$M_{kr} = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega_0} \quad (1.193)$$

Agar  $M_{kr}$  ning (1.193) ifodasini kiritilayotgan aktiv qarshilik

$R_{kr} = \frac{\omega_0^2 M^2}{R_2}$  ga qo'ysak,  $M = M_{kr}$  bo'lgani tufayli

$$R_{kr} = \frac{\omega_0^2 M_{kr}^2}{R_2} = \frac{\omega_0^2 R_1 R_2}{R_2 \omega_0^2} = R_1 \quad (1.194)$$

kelib chiqadi.

Demak,  $M = M_{kr}$  bo'lganda kiritilayotgan aktiv qarshilik  $R_{kr} = R_1$  bo'lar ekan. Bu shart bajarilayotgan vaqtdagi bog'lanish koeffitsiyenti *kritik bog'lanish koeffitsiyenti* deb ataladi va  $k_{kr}$  deb belgilanadi.

Agar  $R_{kr} < R_{kr,r}$ , ya'ni  $k < k_{kr}$  bo'lganda bog'lanishni *kuchsiz bog'lanish* deyiladi.  $k > k_{kr}$  bo'lganda esa  $R_{kr} > R_{kr,r}$  bo'ladi va bog'lanishni *kuchli bog'lanish* deb ataladi.

O'zaro transformatorli bog'lanishda bog'lanish koeffitsiyenti uchun

$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$  deb yozgan edik.  $k = k_{kr}$ ,  $M = M_{kr} = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega_0}$  desak,

$$k_{kr} = \frac{M_{kr}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega_0 \sqrt{L_1 L_2}} = \sqrt{\frac{R_1 R_2}{\omega_0^2 L_1 L_2}} \quad (1.195)$$

bo'ladi.

$$\omega_0 L_1 = \rho_1, \quad \omega_0 L_2 = \rho_2 \quad \text{va} \quad \frac{R_1}{\rho_1} = d_1 = \frac{1}{Q_1}, \quad \frac{R_2}{\rho_2} = d_2 = \frac{1}{Q_2} \quad \text{ekanligini}$$

hisobga olsak,

$$k_{kr} = \sqrt{\frac{1}{Q_1 Q_2}} = \sqrt{d_1 d_2} \quad (1.196)$$

kelib chiqadi.

Demak, bog'langan konturlar orasidagi kritik bog'lanish ko'effitsiyenti ushbu konturlarning aslligiga bog'liq ekan. Konturlarning aslligi qanchalik katta bo'lsa,  $k_{kr}$  ning qiymati shunchalik kichik bo'lar ekan.

### 1.21.3 Bog'langan konturlarning AChX va o'tkazish sohasi

Bog'langan kontur AChX sining shakli faqat konturlar aslligiga bog'liq bo'lmay, bog'lanish ko'effitsiyentiga ham bog'liq bo'ladi. Bog'langan konturlar uchun AChX tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$K = \frac{2\eta_{bog'}}{\sqrt{(1 + \eta_{bog'}^2 - \xi^2)^2 + 4\xi^2}} \quad (1.197)$$

bu yerda  $\eta_{bog'} = \frac{k}{k_{kr}} = k\sqrt{Q_1 Q_2}$  bo'lib, bog'lanish faktori deb ataladi.

$$\xi = \xi_1 = \xi_2 = 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 2Q \frac{\Delta f}{f_0} \quad - \text{ bog'langan konturlarning umumlashgan}$$

buzilishi. Bu yerda 3 ta holat bo'lishi mumkin.

1.  $\eta_{bog'} < 1$  bo'lganda, bog'lanish kuchsiz, ya'ni  $k < k_{kr}$  bo'lib

$$K = \frac{2\eta_{bog'}}{1 + \eta_{bog'}^2} \quad (1.198)$$

bo'ladi.

2.  $\eta_{bog'} = 1$  bo'lganda kritik bog'lanish ro'y beradi, ya'ni  $k = k_{kr}$ . Bu holda

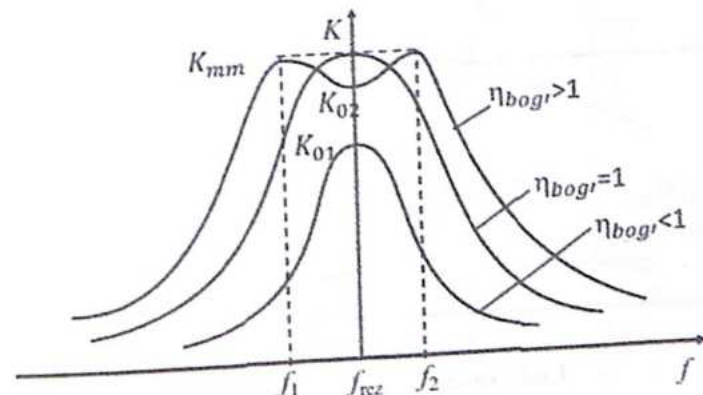
$$K = 1 \quad (1.199)$$

ekanligi kelib chiqadi.

3.  $\eta_{bog'} > 1$  bo'lganda bog'lanish kuchli bo'ladi, ya'ni  $k > k_{kr}$ . Bu holda

$$K = \frac{2\eta_{bog'}}{1 + \eta_{bog'}^2} \quad (1.200)$$

Demak, uzatish ko'effitsiyentining eng katta qiymati 1 bo'lishi mumkin ekan.

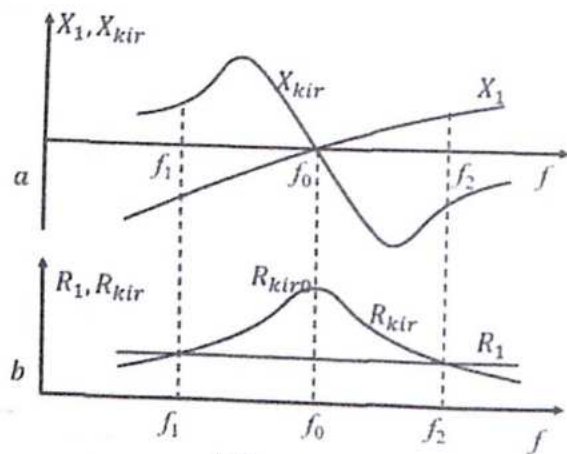


1.63 - rasm

1.63 - rasmda bog'lanish faktorining turli qiymatlari uchun (1.197) ifoda orqali aniqlanuvchi AChX keltirilgan. Bog'lanish kuchsiz va kritik bo'lgan hollarda AChX bitta maksimumga ega bo'ladi, ular faqat uzatish ko'effitsiyentining qiymati bilan farqlanadi. Bu holda kiritilayotgan qarshiliklarning ta'siri e'tiborga olinmaydi. Uchinchi holatda rezonans chastotada  $K < Q/2$ , bo'lishiga qaramay, 1 ga teng 2 ta maksimum hosil bo'ladi.

2 ta maksimum hosil bo'lishini quyidagicha tushuntirish mumkin. Rezonans paytida konturning reaktiv qarshiligi nolga teng bo'lishi haqida bir necha bor ishonch hosil qilgan edik. Agar  $X_1$  - birlamchi konturning reaktiv qarshiligi,  $X_{kr}$  - kiritilayotgan reaktiv qarshilik va  $R_1$  - birlamchi konturning aktiv qarshiligi,  $R_{kr}$  - kiritilayotgan aktiv qarshiliklarning chastotaga bog'liqlik grafigini (1.64 - rasm) ko'rib chiqadigan bo'lsak, chastotaning  $f_0 > f$  sohasida  $X_1$  - sig'im xususiyatiga,  $X_{kr}$  - induktiv xususiyatga ega bo'lib, qandaydir  $f_1$  - chastotada moduli bo'yicha o'zaro tenglashadi, bu vaqtda  $R_{kr} = R_1$  bo'lishini ko'ramiz. Bu holda ikkilamchi konturdagi tok tok

maksimal qiymatga erishadi. Bunda sistemaning aslligi  $f_0$  chastotadagidan katta bo'lganligi uchun, uzatish koeffitsiyenti qiymati maksimumga erishadi.



1.64 - rasm

Chastotaning  $f_0 < f$  sohasida esa, endi  $X_1$  - induktiv xususiyatga,  $X_{kir}$  - sig'im xususiyatiga ega bo'lib, ular  $f_2$  - chastotada moduli bo'yicha o'zaro tenglashadi va yana  $R_{kir} = R_1$  bo'lib qoladi, ya'ni shu chastotada  $I_{m2}$  tok maksimum qiymatga erishadi.

Rezonans chastota  $f_0$

da  $X_1 = 0$ ,  $X_{kir} = 0$  bo'lsa ham  $R_{kir} > R_1$  bo'ladi. Shuning uchun ham rezonans chastotada maksimal energiya uzatish amalga oshmaydi va AChX minimumga erishadi.

Uzatish koeffitsiyenti maksimal qiymatga erishadigan  $f_1$  va  $f_2$  chastotalar bog'lanish chastotalari deb ataladi. Ularni quyidagi ifodalar yordamida hisoblab aniqlash mumkin:

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1+k}}, \quad f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1-k}}. \quad (1.201)$$

Ulardan  $f_1$  - sustkash,  $f_2$  - tezkor chastota hisoblanadi. Bog'lanish qanchalik kuchli bo'lsa,  $f_0$  da uzatish koeffitsiyenti shu darajada kichik bo'ladi. Undan tashqari bog'lanishni ortishi bog'lanish chastotalarining surilishiga olib keladi,  $f_1$  - kamayadi,  $f_2$  - ortadi.

Bog'langan konturlarning o'tkazish sohasi xuddi yakka konturlardagidek  $\frac{K_{\max}}{\sqrt{2}}$  sathi bo'yicha aniqlanadi.

Umumlashgan buzilishning (1.153) ifodasidan rezonans chastotaga yaqin soha uchun

$$\left| \frac{\xi}{Q} \right| \approx 2 \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \quad (1.202)$$

ifoda orqali  $\eta_{bog'} \geq 1$  bo'lganda bog'langan konturning o'tkazish sohasini aniqlash mumkin. (1.197) ifodaning yechimi

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2\eta_{bog'}}{\sqrt{(1+\eta_{bog'}^2 - \xi^2)^2 + 4\xi^2}} \quad (1.203)$$

sifatida quyidagi tenglikni olishimiz mumkin:

$$\xi = \mp \sqrt{\eta_{bog'}^2 + 2\eta_{bog'} + 1} \quad (1.204)$$

Ushbu ifoda 1.63 - rasmdagi rezonans chizig'i  $1/\sqrt{2}$  qiymatdan katta yoki teng bo'ladigan hol uchun o'rinli.

Chegaraviy holda

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2\eta_{bog'}}{1 + \eta_{bog'}^2} \quad (1.205)$$

o'rinli bo'lib, unda  $\eta_{bog'} = 2.41$  ga tengligi kelib chiqadi.

Yuqoridagi bog'lanish faktori qiymatini (1.202) ifodaga olib borib qo'ysak,

$$\left| \frac{\xi}{Q} \right| = \frac{3.1}{Q} = 3.1d \quad (1.206)$$

ya'ni,  $\eta_{bog'} = 2.41$  bo'lganida bog'langan tebranish konturi o'tkazish sohasi yakka konturnikidan 3.1 marta katta bo'lishi kelib chiqadi.

Agar  $\eta_{bog'} = 1$  bo'lsa, u holda  $|\xi| = \sqrt{2}$  va  $|\xi|/Q = \sqrt{2}d$  bo'lib, bog'langan tebranish konturi o'tkazish sohasi yakka konturnikidan 1.41 marta katta bo'lishi kelib chiqadi

Ko'rinadiki, bog'langan tebranish konturlarida o'tkazish sohasining kengligi bog'lanish koeffitsiyentining qiymati bilan belgilanadi. Bu holatni bog'langan kontur o'tkazish sohasining turli bog'lanish darajasidagi kattaligini yakka konturning o'tkazish sohasi bilan taqqoslash orqali yaqqol kuzatish mumkin. Bu taqqoslash aslligi bir xil yakka va bog'langan konturlarida amalga oshiriladi. Shunday qilib, bog'langan tebranish konturlar o'tkazish sohasining kengligi, tanlash xususiyatining yuqoriligiga ko'ra yakka konturlardan farq qiladi.

Agar sistema uch yoki undan ortiq bog'langan konturlardan iborat bo'lsa, umumiy holda u bog'langan konturlar soniga mos rezonans chastotaga ega bo'lishi mumkin. Amaliyotda uchtadan ko'p bog'langan konturli zanjirlar deyarli qo'llanilmaydi.

#### Nazorat savollari

1. Elektr zanjiri deb nimaga aytiladi?
2. Elektr zanjiri turlari
3. Chiziqli elektr zanjirlari va ularning xossalari
4. Chiziqli bo'lmagan elektr zanjirlari va ularning xossalari
5. Parametrik zanjirlari va ularning xossalari
6. Parametrlari mujassamlashgan zanjirlar
7. Parametrlari tarqoq zanjirlar
8. Elektr zanjirlarining asosiy qonunlari
9. Elektr zanjirlarining asosiy xarakteristikalarini
10. Elektr zanjirlarining aktiv elementlari va ularning xususiyatlari
11. Elektr zanjirlarining passiv elementlari va ularning xususiyatlari
12. Ekvivalent almashtirishlar deganda nimani tushunasiz?
13. Chiziqli elektr zanjirlarni hisoblash usullari
14. Nochiziqli elektr zanjirlarni hisoblash usullari
15. Differensial qarshilik nima?
16. Chiziqli bo'lmagan zanjirlarni hisoblashda qanday usullar qo'llaniladi?
17. Nochiziqli elementning volt - amper xarakteristikasini chizing
18. Garmonik o'zgaruvchan tokning zanjir elementlaridan o'tishi
19. Differensiallovchi zanjirlar va ularning xossalari
20. Integrallovchi zanjirlar va ularning xossalari
21. Zanjirning vaqt doimiysi nima?
22. Tebranish konturlari va ularning tuzilishi
23. Ideal tebranish konturida tebranishlarni hosil bo'lishi
24. Erkin tebranishlarning asosiy parametrlari.
25. Ketma - ket tebranish konturi va uning asosiy parametrlari, xarakteristikalarini tushuntiring?
26. Kuchlanish rezonansi

27. Absolyut buzilish nima? Nisbiy buzilishga ta'rif bering. Umumlashgan buzilish nima?

28. Parallel tebranish konturi va uning asosiy parametrlari, xarakteristikalarini tushuntiring?

29. Tok rezonansi

30. Bog'langan tebranish konturlari: Bog'lanish turlari.

31. Bog'langan tebranish konturining ishlash prinsipi.

32. Bog'langan tebranish konturlarida kuchsiz, kritik va kuchli bog'lanishlar.

33. Bog'langan tebranish konturining asosiy parametrlari va AChXsi.

34. Bog'langan kontur AChX sida ikkita maksimum paydo bo'lishini tushuntiring.

35. Bog'langan kontur o'tkazish sijasini yakka kontur o'tkazish sohasi bilan solishtiring.

## 2 BOB. YARIMO'TKAZGICHLI ASBOBLAR

Elektr signallarini bir ko'rinishdan boshqa ko'rinishga, yoki bir turdan boshqasiga o'zgartirish uchun faqat passiv elementlardan tuzilgan zanjirlar yetarli emas. Bu o'zgarishlar signal quvvatini kuchaytirish, tebranishlarni hosil qilish, signal shaklini o'zgartirish yangi chastotali signalni hosil qilish va boshqa ko'rinishli xarakterga ega bo'lishi mumkin. Bunday o'zgarishlarni amalga oshirish uchun elektronika va elektrotexnikada chiziqli bo'lmagan xarakteristikalariga ega bo'lgan turli xil elementlardan keng foydalaniladi.

Uzoq vaqt davomida bunday elementlar sifatida elektrovakuum va gazli asboblardan foydalanib kelingan edi. Hozirgi vaqtga kelib, bunday o'zgarishlarni amalga oshirish uchun asosan yarimo'tkazgichli asboblardan: diodlar, taranzistorlar, mikroshemalar, katta integral sxemalar va boshqalar keng qo'llanilmoqda. Ularning afzallik tomoni bu o'lchamlarning kichikligi, energiya tejamligini, ishonchli va uzoq vaqt ishlashidir.

### Yarimo'tkazgich materiallar

Jismlarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyati bo'yicha o'tkazgichlar va dielektriklar ko'rinishida klassifikatsiyalashda oraliq holatdagi elektr o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega moddalarni qamrab olinmaydi. Bu nuqtayi nazardan kelib chiqqan holda moddalarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyati bo'yicha quydagicha klassifikatsiyalash maqsadga muvofiq:

O'tkazgichlar - solishtirma qarshiliklari  $10^{-5} \text{ Om} \cdot \text{cm}$  dan kichik;

Yarimo'tkazgichlar - solishtirma qarshiliklari  $10^{-5} \div 10^{10} \text{ Om} \cdot \text{cm}$ ;

Dielektriklar - solishtirma qarshiliklari  $10^{10} \text{ Om} \cdot \text{cm}$  dan katta.

Yarimo'tkazgichlar fizikasida  $1 \text{ cm}^3$  materialning solishtirma qarshiligini o'lchash qabul qilingan.

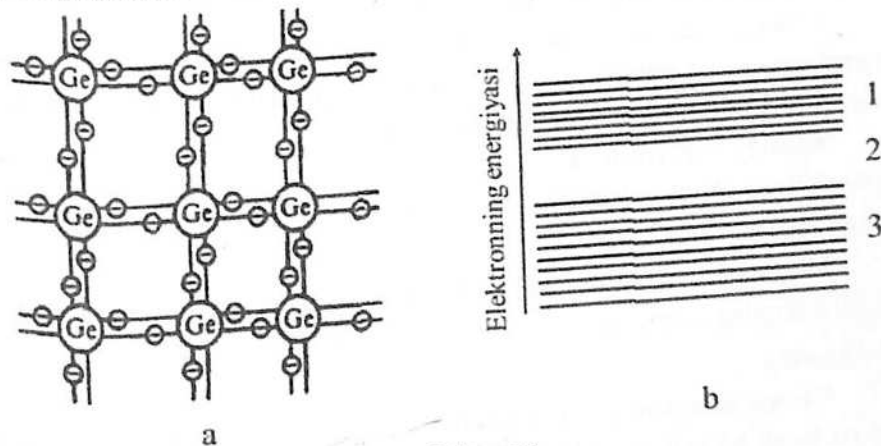
### 2.1 Elektro'tkazuvchanlik nazariyasining asosiy tushunchalari

Ma'lumki, atom yadro va uning atrofida aylanuvchi elektronlar qobig'idan iborat. Zamonaviy fizikada atomlardagi elektronlar ixtiyoriy qiymatga teng bo'lgan energiyaga ega bo'la olmasligi isbotlangan. Ular faqat ma'lum qiymatli, ya'ni diskret energiyalarga ega bo'lishlari mumkin bo'lib, bu ularning yadrodan qanchalik uzoq masofada joylashgan holda harakatlanishi bilan bog'liq. Demak, elektron atom yadrosiga qanchalik yaqin

joylashgan bo'lsa, uning energiyasi shu daraja kichik bo'lib, u shunchalik quyi energetik sathda joylashgan bo'ladi. Atom yadrosidan qanchalik uzoq joylashgan esa elektronlar kattaroq energiyaga ega bo'lib, yuqoriroq energetik sathlarda joylashadi.

Erkin atomlar diskret (uzlukli) energetik spektrga ega. Elektronlar bir sathdan ikkinchi sathga o'tishlari mumkin. Elektron quyi energetik sathdan yuqori energetik sathga o'tishi energiya yutilishi bilan, aksincha yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga o'tishi esa energiya ajralishi bilan amalga oshiriladi. Energiyaning yutilishi yoki ajralishi qat'iy belgilangan porsiyalar-kvantlar bilan amalga oshiriladi. Har bir energetik sathda ikkitadan ko'p elektron joylasha olmaydi. Energetik sathning "eng yuqori" sathiga *ionlashish energiyasi* mos keladi va bu energiyaga ega elektron *erkin elektron* hisoblanib, atomni tark etishi mumkin bo'ladi.

Agar turli elementlarning atomlarining tuzilishini qaraydigan bo'lsak, elektron bilan to'liq to'lgan (ichki) va to'lmagan (tashqi) qobiqlarni ajratish mumkin. To'lmagan qobiqlar yadro bilan kuchsiz bog'langan bo'lib, boshqa atomlar bilan oson ta'sirga kirishadi. Shuning uchun tashqi qobiqda joylashgan elektronlar *valent elektronlar* deyiladi.



2.1-rasm.

Alohida atomlarni o'zaro birikib, molekular hosil qilishda turli bog'lanishlar ishtirok etadi. Yarimo'tkazgichlarda qo'shni atomlarning valent elektronlarini o'zaro bog'lanishi hisobiga hosil bo'luvchi *kovalent bog'lanish*

nisbatan keng tarqalgan. Masalan, to'rtta valent elektroni bor germaniy atomi qo'shni to'rtta atom bilan kovalent bog'lanish hosil qiladi (2.1a-rasm).

Agar atomlar bog'langan holda bo'lsa, valent elektronlariga qo'shni atomlarning elektroni va yadrosining maydoni ta'sir qiladi, natijada atomning energetik sathlari energetik jihatdan o'zaro yaqin bo'lgan qator yangi energetik sathlarga bo'linadi. Bu energetik sathlarning har birida faqat ikkita elektron joylashishi mumkin. Elektronlar joylashishi mumkin bo'lgan sathlar birgalikda *ruxsat etilgan soha* deb ataladi (2.1b-rasm, 1 va 3). Ruxsat etilgan sohalar oralig'i *taqiqlangan soha* deb ataladi (2.1b-rasm, 2). Atomlarning quyi energetik sathlari odatda soha hosil qilmaydi, sababi qattiq jismda ichki qobiqlar tashqi qobiqlar bilan "ekranlanganligi" (to'silganligi) tufayli qo'shni atomlar bilan kuchsiz ta'sirlashadi. Umuman olganda qattiq jism energetik spektrida uchta sohani ko'rish mumkin: *ruxsat etilgan* (to'liq to'ldirilgan), *taqiqlangan* va *o'tkazuvchanlik* sohalar.

*Ruxsat etilgan soha* absolyut nol ( $T = 0^\circ K$ ) temperaturada barcha sathlari elektronlar bilan to'lganligi bilan xarakterlanadi. Unda yuqori to'ldirilgan soha *valent soha* deyiladi.

*Taqiqlangan soha* uning energetik diapazonida elektroni bor bo'lgan energetik sathlar yo'qligi bilan xarakterlanadi.

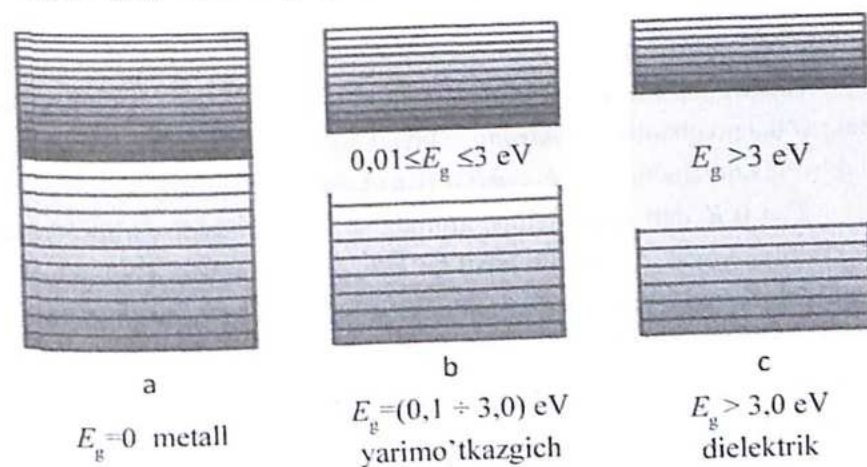
*O'tkazuvchanlik sohasi* atomdan ajaralib chiqish uchun yetarli energiyaga ega va tashqi maydon ta'sirida qattiq jism ichida harakatlana olishi mumkin bo'lgan elektronlari bilan xarakterlanadi.

Sohaviy tuzilishiga ko'ra moddalarni *metall* (*o'tkazgich*), *yarimo'tkazgich* va *dielektrlarga* bo'lish absolyut nol temperaturada amalga oshiriladi.

Metallarda o'tkazuvchanlik sohasi va valent soha qo'shilib ketadi ( $E_g = 0$ ), shuning uchun ular  $T = 0^\circ K$  da elektr o'tkuzuvchanlikka ega bo'ladi (2.2a-rasm).

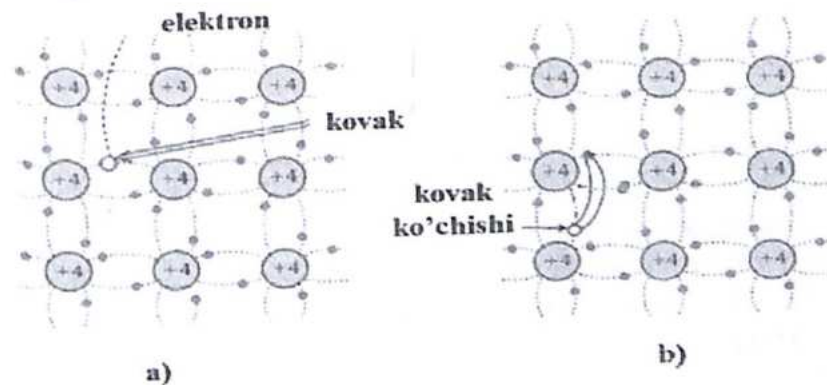
Yarimo'tkazgichlar va dielektrlarda  $T = 0^\circ K$  da o'tkazuvchanlik sohasi bo'sh bo'ladi va elektr o'tkazuvchanlik kuzatilmaydi. Ularning farqi taqiqlangan soha energiyasi miqdorining turlichaligida bo'ladi, ya'ni eng ko'p tarqalgan yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan sohasi energiyasi  $E_g = (0,1 \div 3,0)$  eV (kelajakda yasalishi kutilayotgan yuqori temperaturali yarimo'tkazgichli qurilmalarda  $E_g = (3 \div 6,0)$  eV), dielektrlarda  $E_g > 3,0$  eV

ga teng hisoblanadi (2b, c-rasm). Masalan: germaniy (Ge) taqiqlangan sohasining kengligi 0.72 eV ga. (Si) kremniy uchun 1.1 eV ga teng.



2.2-rasm

Yarimo'tkazgichlarda temperaturaning noldan farqli ma'lum bir qiymatidan boshlab bir qism elektronlar o'tkazuvchanlik sohasiga o'tish uchun yetarli energiyaga ega bo'ladi. Bu elektronlar *erkin* bo'lib (2.3a-rasm), yarimo'tkazgich – *elektro'tkazgich* xususiyatiga ega bo'ladi.



2.3-rasm

Elektronning valent sohasidan ketishi unda to'ldirilmagan energetik sathning paydo bo'lishiga olib keladi. Vakant (bo'sh) energetik sath *kovak* deb ataladi. Tashqi maydon bo'lmasa ham, qo'shni atomlarning valent elektronlari

bo'sh sathlarga (kovaklar o'rniga) o'tishi mumkin, natijada boshqa joyda kovak hosil bo'ladi. Valent elektronlarning bunday harakatini musbat zaryadlangan zarralar- ya'ni *kovaklarning harakati (ko'chishi)* sifatida qarash mumkin (2.3b-rasm).

Elektronlarning harakati bilan amalga oshiriladigan elektro'tkazuvchanlik *elektronli*, kovaklar harakati bilan kuzatiladigan elektro'tkazuvchanlik *esa-kovakli o'tkazuvchanlik* deyiladi.

$T = 0^\circ K$  dan farqli temperaturada sof va bir jinsli yarimo'tkazgichda elektron va kovak juft bo'lib hosil bo'ladi, ya'ni bunda kovak va elektronlar soni teng bo'ladi. Yarimo'tkazgichning issiqlik energiyasi tufayli juft zaryad tashuvchilar ko'rinishida hosil bo'lgan elektro'tkazuvchanligi *xususiy o'tkazuvchanlik* deb ataladi. Elektron-kovak juftligining hosil bo'lish jarayoni *juftlik generatsiyasi* deb ham ataladi. Shuningdek, juftlik generatsiyasi nafaqat issiqlik tufayli, balki harakatlanuvchi zarralarning kinetik energiyasi (to'qnashishda generatsiya), elektr maydoni energiyasi va yorug'lik energiyasi hisobiga ham hosil bo'lishi mumkinligini ta'kidlash lozim.

Kovalent bog'lanishning uzilishi natijasida hosil bo'lgan elektron va kovak yarimo'tkazgich hajmi bo'yicha elektron kovak bilan "tutib" olunmaguncha xaotik harakatlanadi. Bunda uzilgan bog'lar qayta tiklanadi hamda elektron va kovak zaryad tashuvchilari yo'qoladi. Uzilgan bog'lanishlarning tiklanish jarayoni, ya'ni elektronning kovakka o'tirib olishi- *rekombinatsiya* deb ataladi.

Zaryad tashuvchilarning generatsiya bo'lish paytidan boshlab rekombinatsiya bo'lishigacha ketgan vaqt *yashash vaqti*, ushbu yashash vaqti ichida bosib o'tgan masofasi esa *diffuzion uzunlik* deb ataladi. Har bir zarralarning yashash vaqti va diffuzion uzunligi turlicha bo'lganligi sababli, yarimo'tkazgichni baholashda o'rtacha yashash vaqti va o'rtacha diffuzion uzunlik tushunchalaridan foydalaniladi.

Diffuzion uzunlik kovak va elektronlar uchun quyidagiga teng:

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}; \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad (2.1)$$

bu yerda  $L_n$  va  $L_p$  - mos holda elektron va kovakning diffuzion uzunligi,  $\tau_n$  va  $\tau_p$  - mos holda elektron va kovakning o'rtacha yashash vaqti,  $D_n$  va  $D_p$  - mos holda elektron va kovakning diffuziya koeffitsiyentlari.

*O'rtacha yashash vaqti* yarimo'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining  $e$  marta ( $e \approx 2.7$ ) kamayishi uchun ketgan vaqtdan aniqlanadi.

Agar yarimo'tkazgichda elektr maydoni hosil qilsak, u holda xaotik harakatlanayotgan zaryad tashuvchilar maydon qutblariga nisbatan tartibli harakatlana boshlaydi, ya'ni kovaklar manbaning manfiy qutbiga, elektronlar musbat qutbiga qarab harakatlanadi. Bunda qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanuvchi zaryad tashuvchilar oqimi paydo bo'ladi va ular quyidagi tok zichligini hosil qiladi:

$$J_{ndr} = qN_n \mu_n E, \quad J_{pdr} = qN_p \mu_p E \quad (2.2)$$

$q$ -zaryad tashuvchi zaryadi (elektron),  $N_n, N_p$  - elektron va kovaklar soni,  $\mu_n, \mu_p$  - zaryad tashuvchilar harakatchanligi.

*Zaryad tashuvchilar harakatchanligi* bu kuchlanganligi  $1V/sm$  bo'lgan elektr maydonda o'rtacha yo'nalgan tezlik bilan xarakterlanuvchi fizik kattalik, ya'ni  $\mu = \frac{g_{o'rt}}{E}$ , bu yerda  $g_{o'rt}$  - zaryad tashuvchining o'rtacha tezligi.

Zaryad tashuvchilar qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanganligi uchun, natijaviy tok zichligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$J_{dr} = J_{ndr} + J_{pdr} = (N_n \mu_n + N_p \mu_p) qE \quad (2.3)$$

Yarimo'tkazgichlarda elektr maydoni va potensial gradiyenti ta'sirida zaryad tashuvchilarning harakati *dreyf* deb ataladi va mos holda hosil bo'lgan tok - *dreyf toki* deyiladi. Demak, dreyf toki (2.3) ifoda orqali aniqlanadi.

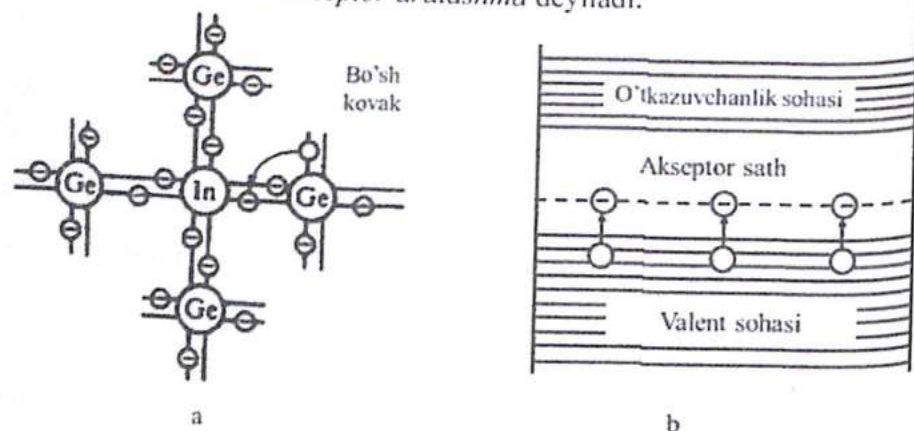
Konsentratsiya farqi hisobiga hosil bo'lgan harakat *diffuzion harakat* deb ataladi va mos holda hosil bo'lgan tok - *diffuziya toki* deyiladi.

### 2.1.1 Aralashmali yarimo'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik

Yarimo'tkazgichlarning elektr xususiyatlari undagi aralashma miqdoriga hamda kristallik panjarasidagi turli defektlarga, ya'ni panjaradagi bo'sh tugunlar, tugunlar oralig'idagi atom yoki ionlar bo'lishiga bog'liq. Aralashmalar odatda *akseptor* va *donor* turlarga bo'linadi.

*Akseptor aralashmalar.* Akseptor aralashmalar atomlari tashqaridan bir yoki bir nechta elektronni qabul qilib, manfiy ionga aylanish xususiyatiga ega.

Sof germaniy kristalliga III valentli indiy (In), bor (B) yoki alyuminiy (Al) elementlaridan biri kiritilgan bo'lsin. Bu holda aralashma element atomi qo'shni germaniy atomi bilan birikkanida bitta bog'lanish o'rniga elektron yetishmay (kovak) qoladi. Elektr jihatdan bu sistema neytral bo'ladi. Lekin tashqi issiqlik energiyasi hisobiga bo'sh (kovak) bog'lanish o'rniga qo'shni germaniy atomidan bog'langan elektron ko'chib o'tishi natijasida indiy atomi *qo'zg'almas manfiy ionga* aylanadi (2.4a-rasm). Elektron ko'chgan o'rnida kovak hosil bo'ladi. Shuning uchun bu yarimo'tkazgichda kovaklar soni elektronlar soniga nisbatan ortib, *kovak o'tkazuvchanlik* ko'payadi. Bunday yo'l bilan hosil qilingan yarimo'tkazgichlar *p-turdagi yarimo'tkazgichlar* deyiladi. Aralashma esa *akseptor aralashma* deyiladi.

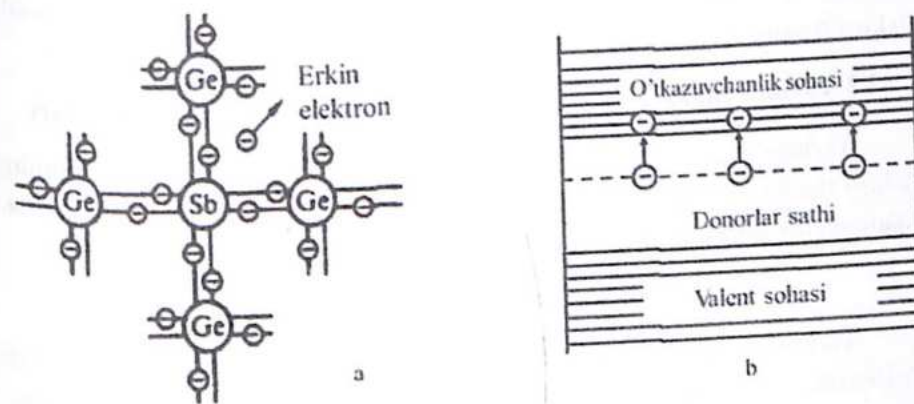


2.4-rasm

Agar aralashma miqdori kam bo'lsa, u atomlarni izolyatsiyalangan deb qarash mumkin. Bunda ularning energetik sathlari sohalarga bo'linmaydi va sohalar diagrammasida shtrix chiziqlar bilan belgilanadi (2.4b-rasm). Akseptor aralashmaning valent sathlari taqiqlangan sohaning quyida joylashgan bo'lib, elektronlarning valent sohadan bu sathga o'tib kovak hosil qilishi uchun kam energiya (0,01...0,05 eV) talab qilinadi. Past temperaturalarda elektronning taqiqlangan sohadan o'tish ehtimolligi valent sohadan akseptor aralashma sathiga o'tish ehtimolligidan bir necha marta kam bo'ladi.

*Donor aralashma.* Sof germaniy kristalliga 5 valentli surma (Sb), yoki margimush (mishyak As) yoki fosfor (P) elementi kiritilgan bo'lsin. Uning

4 ta valent elektroni germaniyning 4 ta valent elektroni bilan birgalikda o'zaro ta'sirlashib, ikkala element atomlari mustahkam kovalent bog'lanishni hosil qiladi (2.5a-rasm). Beshinchi ortiqcha elektron esa sust bog'langan bo'lib qoladi va u kovalent bog' hosil qilishda ishtirok etmaydi. Bu elektronni bog'lanishdan uzish uchun juda kam energiya kerak bo'ladi. Xona haroratida uni erkin elektron deb hisoblash mumkin. Bunda aralashma sifatida kiritilgan atom (Sb) *qo'zg'almas musbat ionga* aylanadi.



2.5- rasm

Donor aralashma energetik sathi taqiqlangan sohaning yuqori qismida joylashgan bo'ladi (2.5b-rasm). Ko'rinadiki, elektronni o'tkazuvchanlik sohasiga o'tkazish uchun kichik energiya berish yetarli. Aralashmadan ajralib chiqqan elektron o'tkazuvchanlik sohasiga o'tib elektron o'tkazuvchanlikni oshiradi. Bunday usul bilan hosil qilingan yarimo'tkazgichlar *n-turdagi yarimo'tkazgichlar* deb ataladi. Aralashma esa *donor aralashma* deb ataladi.

Demak, elektron o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan yarimo'tkazgichlar *n-tur yarimo'tkazgichlar* deb ataladi. Kovakli o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan yarimo'tkazgichlar *p-tur yarimo'tkazgichlar* deyiladi.

Yarimo'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar esa asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarga bo'linadi: *n-tur yarimo'tkazgichlarda* asosiy zaryad tashuvchilar bu elektronlar, *p-tur yarimo'tkazgichlarda* esa asosiy zaryad tashuvchilar – kovaklar bo'ladi. Ya'ni yarimo'tkazgich materialda qaysi zaryad tashuvchining konsentratsiyasi yuqori bo'lsa u *asosiy*, konsentratsiyasi kam bo'lgani esa *asosiy bo'lmagan* hisoblanadi. Mos holda

$n$ -tur yarimo'tkazgichlarda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar kovaklar,  $p$ -tur yarimo'tkazgichlarda esa asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar - elektronlar bo'ladi (2.6-rasm).

Shuni ta'kidlash kerakki, aralashmali yarimo'tkazgichlarda past temperaturalarda aralashmali o'tkazuvchanlik asosiy rol o'ynaydi. Temperatura ortishi bilan, xususiy o'tkazuvchanlik ortadi, sababi aralashma miqdori aralashmadagi barcha atomlarning ionlashishi bilan chegaralangan hisoblanadi. Shuning uchun yetarlicha yuqori temperaturalarda elektro'tkazuvchanlik doim xususiy o'tkazuvchanlik ko'rinishida bo'ladi.

## 2.2 Yarimo'tkazgichlarning asosiy xususiyati va xarakteristikalar

Yarimo'tkazgich qurilmalarning parametrlari materiallarning elektro'tkazuvchanligiga bog'liq bo'lib, qurilmaning alohida qismlaridan oqadigan tok qonuniyatlari bilan aniqlanadi.

### 2.2.1 Fermi sathi va temperatura potentsiali

Yarimo'tkazgich materialda bo'layotgan fizik hodisalarni o'rganishda *elektrokimyoviy potentsial* yoki *Fermi sathi* tushunchasi muhim vazifani bajaradi.

Metallar uchun *Fermi sathi*-bu jismning ixtiyoriy temperaturasida zaryadlangan zarraning bo'lish ehtimolligi 0.5 bo'lgan energetik sath hisoblanadi. Miqdor jihatidan Fermi sathi absolyut nol temperaturada metalldagi elektronning maksimal energiyasiga teng.

Umuman olganda, Fermi sathi qanchadir miqdor zaryad bor bo'lgan va elektr potentsiali gradiyentiga ega muhitda, massaga ega bo'lgan zaryadlangan zarrani o'tkazishda bajariladigan ish bilan xarakterlanadi. Shuning uchun yarimo'tkazgichlarda bu energiya zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi bilan belgilanadi. Fermi sathini bilgan holda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini hisoblash mumkin.

O'tkazuvchanlik sohasidagi elektronlar konsentratsiyasi

$$n = N_c e^{-(E_c - E_f)/(kT)} \quad (2.4)$$

ga teng, bu yerda  $E_f$  - Fermi sathi energiyasi,  $N_c = 2(2\pi m_n^* kT/h^2)^{3/2}$  - o'tkazuvchanlik sohasidagi holatlar effektiv zichligi,  $h$  - Plank doimiysi.

$m_n^*$  - elektronning effektiv massasi,  $E_c$  - o'tkazuvchanlik sohasining quyi chegarasi energiyasi,  $k$  - Bolsman doimiysi.

Valent sohadagi kovaklar konsentratsiyasi esa

$$p = N_v e^{-(E_v - E_f)/(kT)} \quad (2.5)$$

ga teng, bu yerda  $N_v = 2(2\pi m_p^* kT/h^2)^{3/2}$  - valent sohasidagi holatlar effektiv zichligi,  $E_v$  - valent sohaning yuqori chegarasi energiyasi,  $m_p^*$  - kovakning effektiv massasi.

(2.4) va (2.5) ifodalardan

$$np = N_c N_v e^{-(E_c - E_f)/(kT)} = N_c N_v e^{-\Delta E_g/kT} \quad (2.6)$$

kelib chiqadi, bu yerda  $\Delta E_g = E_c - E_v$  - taqiqlangan soha kengligi.

Ma'lum bir temperaturada (2.6) ifodadagi barcha tashkil etuvchilar doimiy bo'lib qoladi ( $T = const, N_c = const, N_v = const, \Delta E = const$ ), u holda

$$np = const \quad (2.7)$$

deyish mumkin.

Shunday qilib, ma'lum bir temperaturaga ega va muvozanat holatida bo'lgan o'tkazgichda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi doimiy kattalik bo'lib, u konsentratsiyaga ham, aralashma taqsimotiga ham bog'liq emas.

Kovakning effektiv massasi tushunchasi elektr maydonda kovak va elektron harakatining ko'rinishi turlichaligi bilan bog'liq ravishda kiritilgan. Asosiy farq shundaki, ikki turdagi zaryad tashuvchining effektiv massalari turlichadir. Shuni ta'kidlash kerakki, elektronni kristalldagi massasi vakuumdagi massasi bilan mos tushmaydi, natijada elektronning effektiv massasi tushunchasi kiritiladi.

Agar yarimo'tkazgichda xususiy zaryad tashuvchilar juft bo'lib hosil bo'lsa va ularning soni teng bo'lsa, u holda  $m_n^* = m_p^*$  bo'lganida, Fermi sathi taqiqlangan sohaning deyarli o'rtasida yotadi.

(2.4) va (2.5) tenglamalarni yechib, Fermi sathlari uchun quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$E_{f_n} \approx \frac{1}{2}(E_c + E_v) + kT \ln \frac{n}{n_i} = \frac{1}{2}(E_c + E_v) + kT \ln \frac{N_d}{N_c},$$

$$E_{f_p} \approx \frac{1}{2}(E_c + E_v) - kT \ln \frac{p}{p_i} = \frac{1}{2}(E_c + E_v) - kT \ln \frac{N_a}{N_v} \quad (2.8)$$

bu yerda,  $E_{f_n}$  va  $E_{f_p}$  - p va n-tur yarimo'tkazgichning Fermi sathlari,  $N_a, N_d$  - akseptor va donorlar konsentrsiyasi.

(2.8) ifodada energiyani zaryadga bo'lib yuborsak, u holda Fermi potentsiallarini aniqlaymiz:

$$\varphi_{f_n} = \frac{E_{f_n}}{q} \approx \frac{1}{2q}(E_c + E_v) + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d}{n_i} \approx \frac{E_c}{q} + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d}{N_c}$$

yoki

$$\varphi_{f_n} \approx \varphi_c + \varphi_i \ln \frac{N_d}{n_i} \approx \varphi_c + \varphi_i \ln \frac{N_d}{N_c} \quad (2.9)$$

$$\varphi_{f_p} = \frac{E_{f_p}}{q} \approx \frac{1}{2q}(E_c + E_v) - \frac{kT}{q} \ln \frac{p}{p_i} \approx \frac{E_v}{q} - \frac{kT}{q} \ln \frac{N_a}{N_v}$$

yoki

$$\varphi_{f_p} \approx \varphi_v - \varphi_i \ln \frac{N_a}{p_i} \approx \varphi_v - \varphi_i \ln \frac{N_a}{N_v} \quad (2.10)$$

bu yerda  $\varphi_i = \frac{kT}{q}$  - temperaturaviy potentsial,  $\varphi_c = \frac{1}{2q}(E_c + E_v)$  - elektr potentsiali (taqiqlangan soha o'rtasi potentsiali),  $\varphi_v = \frac{E_v}{q}$  va  $\varphi_i = \frac{E_v}{q}$  - mos holda o'tkazuvchanlik sohasi quyi va valent soha yuqori chegarasi potentsiali. (2.9) va (2.10) ifodalarning o'ng tomonidagi ikkinchi had yarimo'tkazgichning kimyoviy potentsiali deyiladi va u konsentrsiya miqdoriga bog'liq bo'ladi. umumiy holda Fermi sathi elektr va kimyoviy potentsiallarning yig'indisidan iborat bo'lganligi uchun, uning ikkinchi nomi - *elektrokimyoviy potentsial* deb ham yuritiladi.

Umuman olganda, yarimo'tkazgichda ma'lum bir turdagi elektro'tkazuvchanlik va elektr maydoni gradiyentini hosil qiluvchi konsentrsiya gradiyenti mavjud bo'ladi. Shunga ko'ra zaryad tashuvchilar harakati ikki jarayon orqali ro'y beradi: diffuziya (konsentrsiya gradiyenti

ta'sirida) va dreyf. Dreyf toki zichligi gradiyentini (2.3) ifoda bilan aniqlagan edik. Diffuzion toklar zichligi esa

$$J_{p,dif} = -qD_p \frac{dp}{dx}, \quad J_{n,dif} = +qD_n \frac{dn}{dx} \quad (2.11)$$

bu yerda  $dp/dx$  va  $dn/dx$  - zaryad tashuvchilar konsentrsiyasi gradiyenti,  $D_p$  va  $D_n$  - kovak va elektronning diffuziya koeffitsiyenti:

$$D_p = \mu_p kT/q = \varphi_i \mu_p, \quad D_n = \mu_n kT/q = \varphi_i \mu_n \quad (2.12)$$

Minus ishora elektronlarning kichik konsentrsiyali tomonga harakatlanishini bildiradi, shuningdek kovak musbat zaryadni tashigani uchun  $dp/dx < 0$  bo'lganida  $J_{p,dif}$  tok musbat bo'lishi kerak.

Shunday qilib, yarimo'tkazgichda to'liq tok zichligi diffuzion va dreyf toklari zichliklari yig'indisiga teng:

$$J = J_{dif} + J_{dr} = qD_n \frac{dn}{dx} - qD_p \frac{dp}{dx} + qp\mu_p E + qn\mu_n E \quad (2.13)$$

(2.13) ifodadan ko'rinadiki, tok zichligini aniqlash uchun konsentrsiya va maydon kuchlanganligi qiymatini bilish zarur.

## 2.2.2 Elektr o'tishlar

Yarimo'tkazgichlarda elektr o'tishlar - bu fizikaviy xususiyatlari farq qiluvchi ikkita soha chegara qatlamidir.

Turli elektro'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichning ikkita sohasi orasidagi o'tishlar *elektron-kovak o'tish* yoki *p-n o'tish* deb ataladi.

Bir turdagi elektr o'tkazuvchanlikka (n- yoki p-tur) ega, faqat konsentrsiyalari bilan farqlanuvchi ikki soha orasidagi o'tishlar *elektron- elektronli* ( $n^+ - n^+$  o'tish) yoki *kovak-kovakli* ( $p^+ - p^+$  o'tish) o'tishlar deb ataladi, bunda "+" ishorasi bir qatlamdagi shu turdagi zaryad tashuvchilar miqdori ikkilamchi qatlamga nisbatan yuqoriligini bildiradi.

Turli taqiqlangan soha kengligiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlar orasidagi o'tishlarni *geteroo'tishlar* deyiladi. Agar o'tishni hosil qiluvchi sohaning biri metall, ikkinchisi yarimo'tkazgich bo'lsa, bu yerda bo'ladigan o'tish *metall-yarimo'tkazgich o'tishi* deyiladi.

Shuni qayd etish kerakki, yarimo'tkazgichli qurilmalarda elektr o'tishlarni ikkita turli fizikaviy xususiyatga ega bo'lgan sohalarni mexanik

usulda kontakt qilib hosil qilib bo'lmaydi, lekin amalda fizik jarayonni tushuntirish uchun shu kabi abstrakt usuldan foydalaniladi.

### 2.3 P-n o'tish hodisasi

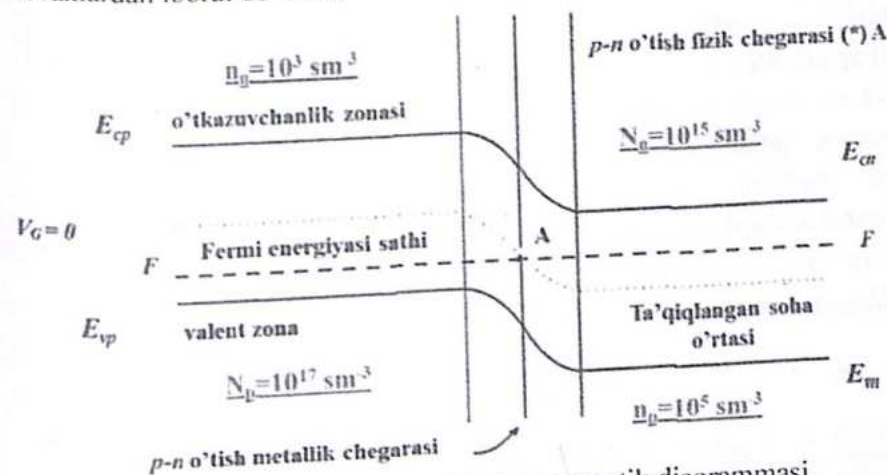
Yarimo'tkazgichli asboblarning ishlash prinsipi  $p-n$  o'tish hodisasiga asoslangan. O'tkazuvchanliklari turlicha bo'lgan yarimo'tkazgichlarning kontakt chegarasida hosil bo'ladigan hodisaga  $p-n$  o'tish deyiladi. Agar turlicha elektr o'tkazuvchanlikka ega ikki sohada asosiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi  $p_p \approx n_n$  ga teng bo'lsa, bunday o'tish *simmetrik*  $p-n$  o'tish deyiladi. Agar yarimo'tkazgich material sohalarida asosiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi turlicha ( $n_n \gg p_p$  yoki  $p_p \gg n_n$ ) va 100...1000 martagacha farq qilsa bunday o'tish *nosimmetrik*  $p-n$  o'tish deyiladi. Amalda nosimmetrik  $p-n$  o'tish keng tarqalgan.

$p-n$  o'tish nosimmetrik o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni chiziqli bo'lmagan qarshilikka ega bo'ladi. Lekin turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichlarni oddiy mexanik kontaktga keltirish  $p-n$  o'tishni hosil qilmaydi, chunki ular orasida ideal kontakt hosil qilish mumkin emas. Shuning uchun yagona yarimo'tkazgich kristalli olinib, u shartli ikki bo'lak deb qaraladi va bu bo'laklarda turli o'tkazuvchanlik hosil qilinadi. Bu ish bo'laklarning biriga donor, ikkinchisiga akseptor modda elementlarini kiritish orqali amalga oshiriladi.

2.6-rasmda  $p-n$  o'tishning grafik ko'rinishdagi sxemasi berilgan. Unda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi  $p-n$  o'tishning metallik chegarasiga nisbatan  $p$ -sohadan  $n$ -sohaga qarab o'zgaradi. Metallik chegarasi kengligi odatda 0,1 mkm bo'lishi adabiyotlarda keltirilgan.

Kontakt hosil qilingan boshlang'ich vaqtda  $n$ -sohada elektronlarning ( $N_n$ ),  $p$ -sohada kovaklarning konsentratsiyasi ( $N_p$ ) qarama-qarshi bo'lak qismidagiga ( $n_n$  va  $n_p$ ) nisbatan yuqori bo'ladi (2.6-rasm). Shuning uchun kontakt sohasida asosiy zaryad tashuvchilarning diffuziyasi vujudga keladi. Diffuziya natijasida  $n$ -sohadan elektronlarning  $p$ -sohaga,  $p$ -sohadan kovaklarning  $n$ -sohaga siljishi ro'y beradi. Zaryad tashuvchilarning bunday siljishi natijasida chegaraning  $n$ -sohasida musbat ortiqcha zaryadlar to'plami hosil bo'ladi. Bu zaryadlar to'plami donoirlarning qo'zg'almas musbat ionlari

va diffuzion ko'chish natijasida  $p$ -sohadan kelgan kompensatsiyalanmagan kovaklardan iborat bo'ladi.



2.6-rasm.  $p-n$  o'tishning energetik diagrammasi

bu yerda:  $N_p$ -  $p$  sohadaga asosiy zaryad tashuvchilar soni,  $N_n$ -  $n$  sohadaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar soni,  $n_p$ -  $p$  sohadaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar soni,  $E_{cn}$ ,  $E_{cp}$ - o'tkazuvchanlik zonasi energiyasi,  $E_{vn}$ ,  $E_{vp}$ - valent zonasi energiyasi,  $F$ - Fermi sathi energiyasi.

Xuddi shuningdek, chegaraning  $p$ -sohasida akseptorlarning manfiy qo'zg'almas ionlari va diffuziya natijasida  $n$ -sohadan siljib o'tgan kompensatsiyalanmagan elektronlardan iborat manfiy ortiqcha zaryadlar to'plami hosil bo'ladi. Natijada kontakt chegarasining ikki tomonida asosiy zaryad tashuvchilariga kambag'allashgan soha hosil bo'ladi (2.7-rasmda  $\Delta X$ ).

Chegaraning ikki tomonida to'plangan zaryad orasida (qo'zg'almas ionlar) zaryadlangan kondensator qoplamalari orasidagiga o'xshash *elektr maydon* (ichki elektr maydon) hosil bo'lib, bu maydonning yo'nalishi shundayki, u asosiy zaryad tashuvchilarning diffuzion ko'chishiga qarshilik qiladi. Maydon kuchlanganligining ortishi bilan kovaklarning  $p$ -sohadan  $n$ -sohaga va elektronlarning  $n$ -sohadan  $p$ -sohaga o'tishi kamayadi. Aksincha, ushbu maydon asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning ko'chishiga yordam beradi ular *dreyf* tokini hosil qiladi.

Chegaraning ikki tomonidagi zaryadlar to'plami orasida kontakt potensial farqi hosil bo'ladi

$$\varphi_k = \varphi_n - \varphi_p \quad (2.14)$$

Chegaraning ikki yonida hosil bo'lgan asosiy zaryad tashuvchilarga kambag'allashgan soha yarimo't-kazgichning  $n$ - va  $p$ - sohalarini ajratib turadi. Shuning uchun bu qatlamni *to'siq qatlam* deyiladi. Hosil bo'lgan potentsiallar ayirmasini *potensial to'siq* deyiladi va u Fermi sathining  $p$ - va  $n$ - sohalaridagi holatiga ko'ra quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi_k = \varphi_{F_n} - \varphi_{F_p} = \varphi_T \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} \quad (2.15)$$

bu yerda  $n_i$  - yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanlik konsentratsiyasi. Agar muvozanatli germaniy asosli aralashmali yarimo'tkazgich uchun  $N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,

$N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i = 2.55 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  va xona temperaturasida  $T = 300^\circ \text{K}$  potensial to'siq balandligi  $\varphi_k \approx 0.3 \text{ V}$  ga teng bo'ladi. Konsentratsiyaning o'zgarishiga qarab germaniy asosli yarimo'tkazgichlarda potensial to'siq balandligi 0,3-0,7 V, kremniylida esa 0,6-0,8 V qiymatni qabul qiladi.

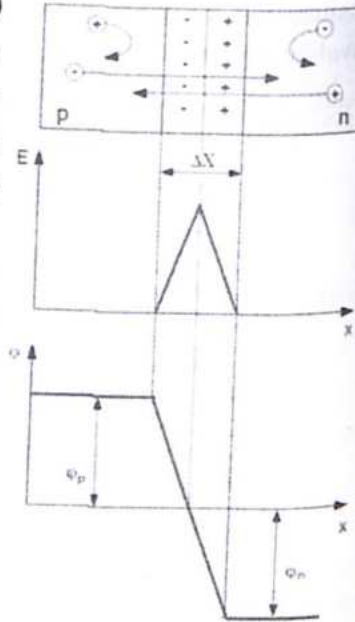
Xuddi shuningdek, simmetrik  $p$ - $n$  o'tish uchun kontakt soha kengligini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$\Delta X = l = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon \varphi_k}{e} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d}} \quad (2.16)$$

Nosimmetrik  $p$ - $n$  o'tish uchun  $N_a \gg N_d$  ekanligi hisobga olinsa, (2.16) dan kontakt soha kengligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta X = l = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon \varphi_k}{e} \frac{1}{N_d}} \quad (2.17)$$

Doimiy temperaturada  $p$ - $n$  o'tish *dinamik muvozanatda* bo'ladi. Dinamik muvozanat paytida har sekundda chegaradan bir xil miqdorda asosiy zaryad tashuvchilar diffuziya bo'lib o'tadi va xuddi shuncha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi maydon ta'sirida teskari tomonga o'tib turadi. Bu vaqtda



2.7-rasm

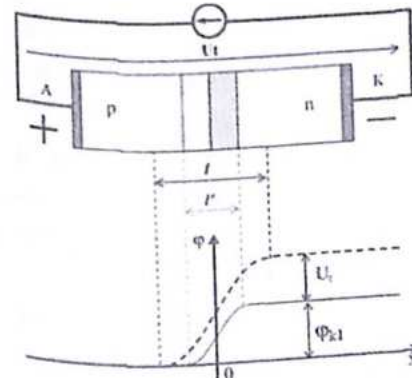
$$I_{diff} = I_{dreyf} \quad (2.18)$$

bo'ladi.  $P$ - $n$  o'tish sohasining qarshiligi  $n$ - va  $p$ -sohalar qarshiligiga nisbatan ancha katta bo'ladi, chunki bu sohada kontakt potentsiallar farqining elektr maydoni ta'siri ostida deyarli barcha tez harakat qiladigan asosiy zaryad tashuvchilar siqib chiqarilgan bo'ladi.

Endi dinamik muvozanatda bo'lgan  $p$ - $n$  o'tish sistemasining kuchlanishi  $U_i$  bo'lgan tashqi manbaga ulaymiz. Bunda potensial to'siqning balandligi o'zgarib, dinamik muvozanat buziladi. Natijada dreyf va diffuziya toklarining muvozanati ham buzilib, natijaviy tokning kattaligi tashqi manba kuchlanishiga bog'liq bo'lib qoladi. Bu bog'liqlikni grafik usuldagi tasviri  $p$ - $n$  o'tishning *volt-amper xarakteristikasi* deyiladi.

### 2.3.1 To'g'ri ulash

Dastlab tashqi manbaning musbat qismini yarimo'tkazgichning  $p$ -o'tkazuvchanlik sohasiga, manfiy qutbini  $n$ -o'tkazuvchanlik sohasiga ulaylik (2.8-rasm). Bunday ulanishda beriladigan kuchlanish *to'g'ri kuchlanish* deyiladi. Bu holda to'g'ri kuchlanish hosil qiladigan elektr maydon kuch chiziqlari kontakt potentsiallar farqi hosil qiladigan kuch chiziqlari yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Natijada potensial to'siq balandligi  $\varphi_{k1} = \varphi_k - U_i$  qiymatgacha pasayadi (2.8-rasm). Mos ravishda to'siq



2.8-pacm

kengligi quyidagicha o'zgarib:

$$l' = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon (\varphi_k - U_i)}{e} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d}} \quad (2.19)$$

$p$ - $n$  o'tish kengligi torayadi.

Bu o'z navbatida diffuziya tokining ortishiga olib keladi.

$$I = I_{diff} - I_{dreyf} > 0 \quad (2.20)$$

To'g'ri kuchlanish ortib borgan sari, potensial to'siq ham pasaya borib, unga mos holda ko'proq asosiy zaryad tashuvchilar potensial to'siqdan o'tadi.

To'g'ri kuchlanish berilganda potensial to'siqning pasayishidan tashqari to'siq sohaning qalinligi ham kamayib boradi. To'g'ri kuchlanish ma'lum bir qiymatga yetganda potensial to'siq butunlay yo'qoladi. To'g'ri kuchlanishning qiymati nolga yaqin bo'lganida to'siq sohaning qarshiligi juda katta bo'lib, potensial to'siq yo'qolgan vaqtda o'tishning qarshiligi juda kichik bo'lib qoladi.

To'g'ri kuchlanish berish natijasida pasaygan potensial to'siq orqali asosiy zaryad tashuvchilarning ular asosiy hisoblanmagan sohaga o'tishi zaryad tashuvchilarning *injeksiyasi* deyiladi. Zaryad tashuvchilar qaysi sohadan injeksiyalansa, bu sohani *emitter*, ular injeksiya natijasida o'tadigan sohani esa *baza* deyiladi. Demak, agar elektronlar injeksiyasini ko'radigan bo'lsak, *n*-soha emitter, *p*-soha baza bo'ladi. Kovak injeksiyasi uchun *p*-soha emitter, *n*-soha baza bo'ladi.

*p-n* o'tish orqali ikki xil tok: elektron toki va kovak toki oqadi. 2.8-rasmdagi sxemaning chap chekkasida (A) kovak toki maksimal qiymatga ega bo'lib, o'ng tomonga siljib borgan sari u elektronlarni rekombinatsiyalanishi hisobiga kamayib boradi va sistemaning o'ng chekkasiga yetganda minimal bo'ladi.

Elektron toki esa aksincha, sxemaning o'ng chekkasida (K) maksimal qiymatga ega bo'lib, sxemaning chap chekkasida nol bo'ladi. Ammo to'liq to'g'ri tok sxemaning ixtiyoriy qismida bir xil bo'ladi, chunki to'liq tok elektron va kovak toklari yig'indisidan iborat

$$I_{o'liq} = I_n + I_p = const. \quad (2.21)$$

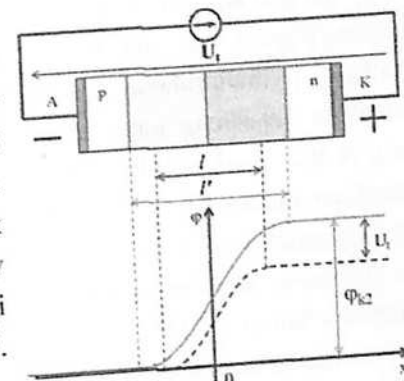
### 2.3.2 Teskari ulash

Endi tashqi manba qutblarini aksincha, musbat qutbini *n*-sohaga, manfiy qutbini *p*-sohaga ulaylik (2.9-rasm). Bunda potensial to'siq  $\varphi_{k2} = \varphi_k + U_t$  ga ortadi va mos ravishda qatlam kengligi ham quyidagicha kengayadi:

$$l^n = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon(\varphi_k + U_t) N_a + N_d}{e N_a N_d}} \quad (2.22)$$

Buning natijasida  $I_{dif} = 0$  bo'ladi, chunki endi tashqi kuchlanish elektr maydoni kuch chiziqlari, kontakt potentsiallar farqi hosil qiladigan kuch

chiziqlari yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Bunday ulanishda beriladigan kuchlanish *teskari kuchlanish* deyiladi. Bu holatda *p-n* o'tish orqali oqayotgan tok *teskari tok* deyiladi.  $I_{tesk} = I_{dreyf} - I_{dif}$  bo'ladi. Teskari tokning qiymati juda kichik bo'ladi, chunki u kam sonli asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning tashqi maydon ta'sirida siljishidan hosil bo'ladi. Teskari ulanishda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning "so'rib olinishi" *ekstraksiya* jarayoni deyiladi. Teskari kuchlanish ortishi bilan, potensial to'siqning ortib borishidan tashqari, to'siq qatlamining qalinligi ham ortib boradi.



2.9-pacm

Teskari kuchlanishning kichik qiymatidanoq teskari tok o'zgarmas bo'lib qoladi. Bunga sabab asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning soni chegaralangan bo'lib, bu vaqtda elektron-kovak juftliklarini hosil bo'lishi natijasida paydo bo'layotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning hammasi teskari tok hosil qilishda ishtirok etayotgan bo'ladi.

### 2.3.3 *P-n* o'tishning volt-ampere xarakteristikasi

Yarimo'tkazgichdan o'tayotgan tok umumiy holda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

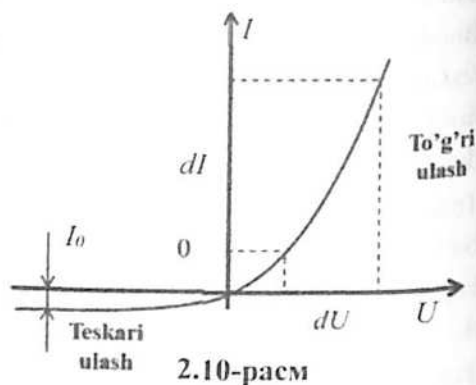
$$I = I_T \cdot \left( e^{\frac{U_t}{\varphi_T}} - 1 \right) \quad (2.23)$$

bu yerda  $\varphi_T = \frac{kT}{q}$  - temperaturaviy potensial,  $U_t$  - tashqi manba kuchlanishi,  $I_T$  - issiqlik toki. Issiqlik toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_T(T) = I_T(T_0) \cdot 2^{\frac{(T-T_0)}{T}} \quad (2.24)$$

bu yerda  $T_0 - I_T(T_0)$  tok o'lchanadigan boshlang'ish temperatura;  $T^*$  - issiqlik toki ikki marta ortadigan temperatura bo'lib, germaniy asosli material uchun 6-7°C, kremniyli uchun esa 8-10°C ni tashkil etadi.

To'g'ri kuchlanish voltning bir necha o'ndan bir ulushiga teng bo'lgan qiymatlaridayoq  $p-n$  o'tish sohasida yetarlicha katta miqdorda to'g'ri tok hosil bo'lib, volt-ampere xarakteristikaning keskin eksponensial o'sishi kuzatiladi (2.10-rasm). Shuning uchun to'g'ri kuchlanishning 1V atrofidagi qiymatida bir necha amper va undan



katta bo'lgan to'g'ri tok hosil bo'ladi. Xarakteristikaning katta qiyaligini hisobga olgan holda (2.23) ifodani quyidashi ko'rinishda yozish mumkin:

$$U_i = \varphi_i \left( \ln \frac{I}{I_0} + 1 \right) \quad (2.25)$$

Adabiyotlarda germaniy asosli yarimo'tkazgichda issiqlik toki kremniy asosligi nisbatan katta bo'lishi keltirilgan. Bundan (2.24) ga ko'ra kremniy asosli yarimo'tkazgichlarda to'g'ri kuchlanish qiymati katta bo'lishi, germaniy asosida esa kichik bo'lishi kelib chiqadi. Odatda bu farq 0.3-0.4 V ga teng.

$P-n$  o'tish volt-ampere xarakteristikasining noxiziqililigini baholash uchun uning to'g'ri va teskari ulash qarshiliklarini solishtirish qulay usul hisoblanadi. Buning uchun *differensial qarshilik* tushunchasi kiritiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{df} = \frac{dU}{dI} \quad (2.26)$$

Bu ifodadan xarakteristikaning *qiyalik koeffitsiyenti* quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \frac{1}{R_{df}} = \frac{dI}{dU} \quad (2.27)$$

Shu bilan birga ko'rinib turibdiki, teskari tok  $I_{tesk}$  ning qiymati teskari kuchlanishning ortib borishi bilan, juda sekin o'sib borar ekan.  $I_{tesk}$  ma'lum bir qiymatga yetgandan keyin  $U_{tesk}$  tez o'sa boshlaydi. Bu  $p-n$  o'tishda sodir bo'layotgan buzilishlarning boshlanishi sababli sodir bo'ladi.

Umuman olganda,  $p-n$  o'tish hodisasi ventel (bir tomonlama o'tkazuvchanlik) xususiyatiga ega, ya'ni to'g'ri kuchlanish qo'yilganda uning

qarshiligi kamayib, hosil bo'lgan to'g'ri tok keskin eksponensial qonun bo'yicha ortadi, teskari kuchlanish qo'yilganda esa teskari tok kamayib, o'tish qarshiligi ortadi.

## 2.4 Real $p-n$ o'tishdagi jarayonlar

Yuqorida keltirilgan holatlar ideal, simmetrik  $p-n$  o'tish uchun o'rinli edi. Bunda teskari tok teskari kuchlanishning kichik qiymatlaridan boshlab unga bog'liq bo'lmaydi (2.10-rasm). Biroq real  $p-n$  o'tish tahlil qilinganda teskari kuchlanish ortishi bilan teskari tokning sezilarli darajada ortishini ko'rish mumkin. Bu holat o'tish jarayonida zaryad tashuvchilarning  $p-n$  o'tish sohasida termogeneratsiyasi, kanal va sirqish toklarining mavjudligi bilan tushuntiriladi.

### 2.4.1 $P-n$ o'tishdagi sig'imlar

Yarimo'tkazgichlarda  $p-n$  o'tish hodisasi kuzatilayotganda elektro'tkazuvchanlik bilan birgalikda ma'lum bir qiymatli sig'im hosil bo'lishi ham kuzatiladi. Sig'im xususiyatlari  $p-n$  o'tish chegarasining ikki tomonida hosil bo'lgan qo'zg'almas zaryadlar (aralashma ionlari) va o'tish chegarasiga yaqin joylashgan harakatlanuvchi zaryadlar bilan tushuntiriladi. Bunda hosil bo'lgan sig'im ikki turga bo'linadi:

-to'siq (baryer) sig'imi,  $p-n$  o'tishda zaryadlarning qayta taqsimlanishini ifodalaydi;

-diffuzion sig'im,  $p-n$  o'tish yaqinida zaryadlarning qayta taqsimlanishini ifodalaydi.

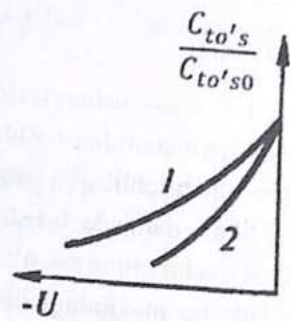
To'g'ri ulashda asosan diffuzion sig'im namoyon bo'lsa, teskari ulashda  $p-n$  o'tish yaqinida zaryadlar ko'chishi kam bo'lganligi uchun to'siq sig'imi asosiy vazifani bajaradi.

To'siq sig'imi  $p-n$  o'tishda kondensatorning ikki qoplamasiga o'xshash zaryad taqsimotini hosil qiluvchi donor va akseptor ionlarning mavjudligi bilan tushuntiriladi.

Umuman olganda, to'siq sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C_{to's} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{l_0} \sqrt{\frac{\varphi_k}{\varphi_k + |U|}} \quad (2.28)$$

bu yerda  $\varphi_k$  - kontakt potentsiallari farqi yoki potentsial to'siq,  $S, l_0 - U=0$  bo'lganda p-n o'tish yuzasi va kengligi.



2.11-rasm

To'siq sig'imini tashqi kuchlanishga bog'liqligi, ya'ni  $C_{to's} = f(U)$  volt-farada xarakteristikasi deyiladi. 2.11-rasmda volt-farada xarakteristikasi keltirilgan bo'lib, teskari kuchlanish qiymatining ortishi bilan o'tish qalinligi ortganligi tufayli p-n o'tishning to'siq sig'imi kamayishi kuzatiladi. Unda 1-hol sekin o'zgaruvchi o'tishga, 2-hol keskin p-n o'tishga to'g'ri keladi. P-n o'tishga to'g'ri ulash bo'lganida, to'siq sig'imi qalinlik kamayishi hisobiga ortadi va bunda asosiy vazifani diffuzion sig'im bajaradi. Diffuzion sig'im p-n o'tish sohalarda yig'ilgan asosiy bo'lmagan (injeksion) harakatchan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi o'zgarishi bilan bog'liq fizik jarayonlarni tushuntiradi. Diffuzion tok ortishi bilan, injeksion zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ortadi va p-n o'tish yaqinida zaryad to'plana boshlaydi. Bu hodisani diffuzion tok ta'sirida qo'shimcha sig'im paydo bo'ldi deb qarash mumkin.

Diffuzion sig'im quyidagicha aniqlanadi:

$$C_{diff} = \frac{dQ}{dU} = \frac{I \cdot \tau}{\varphi_T} \quad (2.29)$$

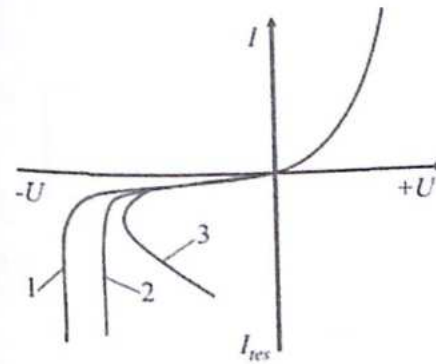
bu yerda  $\tau$  - uchib o'tish vaqti (yupqa baza uchun) yoki yashash vaqti (qalin baza uchun). Agar  $\tau = 5 \text{ mks}$ ,  $I = 10 \text{ mA}$ ,  $\varphi_T = 25 \text{ mV}$  bo'lsa  $C_{diff} = 2 \text{ mkF}$  ga teng bo'ladi. Bu to'siq sig'im qiymatidan yetarlicha katta qiymat hisoblanadi. Shuni qayd etish kerakki, p-n o'tishning to'siq sig'imi to'siq va diffuzion sig'imlar yig'indisiga teng. Agar (2.28) va (2.29) ifodalarni hisobga olsak:

$$C = C_{to's} + C_{diff} \quad (2.30)$$

#### 2.4.2 P-n o'tishdagi buzilishlar

Buzilish deganda teskari kuchlanishning ortishi bilan teskari ulanish sohasida differensial qarshilikning kamayishi natijasida teskari tokning ortish

jarayoni tushuniladi. Umuman olganda, **buzilish uch xil bo'ladi** (2.12-rasm): ko'chkisimon (1), tunnel (2) va issiqlik (3) buzilishi.



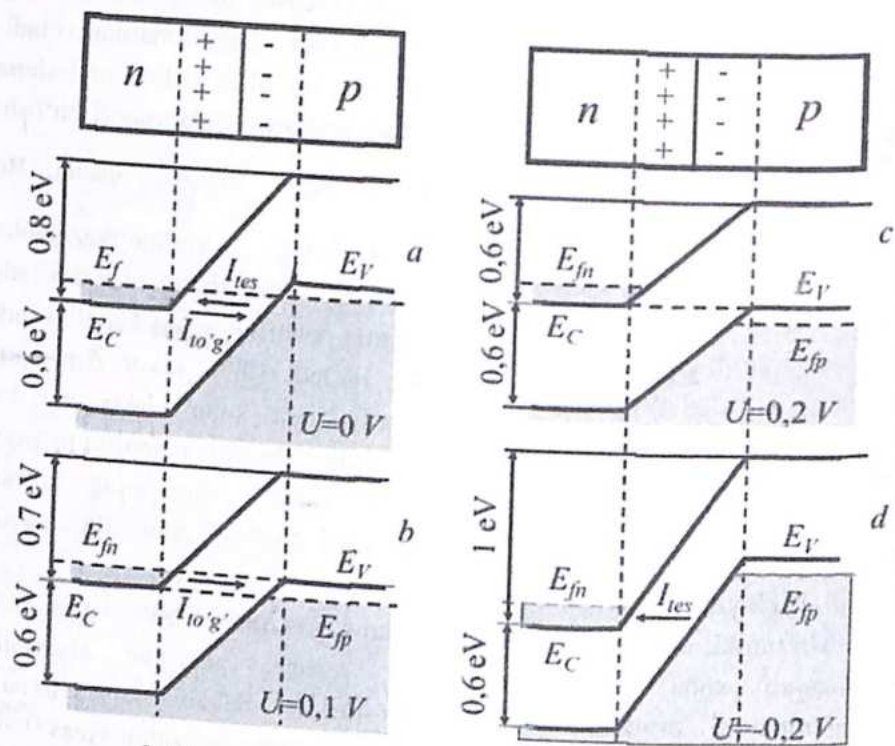
2.12-rasm

Tunnel effektida elektronlar p-n o'tish potentsial to'sig'idan o'zining energiyasini o'zgartirmasdan o'tadi. Bu effektini olish uchun aralashma konsentratsiyasi juda yuqori bo'lishi kerak, ya'ni  $10^{21} \frac{1}{\text{cm}^3}$  gacha. Bu ko'rinishdagi yarimo'tkazgichlar aynigan yarimo'tkazgichlar deyiladi. Ularda potentsial to'siq kengligi juda tor bo'ladi (0.01 mkm dan katta bo'lmagan), natijada p-n o'tish sohasida juda katta elektr maydon kuchlanganligi ( $10^8 \text{ V/m}$  tartibda) hosil bo'ladi. U holatda potentsial to'siqqa qarab harakatlanayotgan elektronning to'siqdan o'tib, uning boshqa tomonidagi Xuddi shu energiyali bo'sh joyni egallash ehtimolligi paydo bo'ladi. Bu hodisa fanda **tunnel effekti** deyiladi.

Ma'lumki, donor aralashma konsentratsiyasi ortishi bilan Fermi sathi taqiqlangan soha o'rtasiga nisbatan tepaga, akseptor aralashma konsentratsiyasi ortganida esa pastga suriladi. Sababi, konsentratsiya yuqoriligi tufayli donor va akseptor sathlar tor energetik sathni emas, balki butun bir zonani hosil qiladi va ular mos holda valent hamda o'tkazuvchanlik sohalari bilan birlashadi. Shuning hisobiga taqiqlangan soha kengligi kamayadi. Natijada konsentratsiya  $10^{21}$  ga yetganida Fermi sathi n-tur yarimo'tkazgichda o'tkazuvchanlik sohasida, p-tur yarimo'tkazgichda esa valent soha ichida joylashadi (2.13a-rasm).

Shuningdek, 2.13a-rasmdan ko'rinadiki, tashqi kuchlanish nolga teng bo'lganida Fermi sathlari ( $E_{fn} = E_{fp}$ ) o'zaro teng bo'ladi. Bu sohada elektronli yarimo'tkazgichning ruxsat etilgan sathlari kovakli yarimo'tkazgichning ruxsat etilgan sathlariga qarama-qarshi joylashgan. Soddalik uchun Fermi sathidan pastda joylashgan barcha ruxsat etilgan sathlar elektronlar bilan to'lgan, yuqoridagilari esa bo'sh deb hisoblaymiz. P-n o'tishning uncha katta bo'lmagan kengligi va yuqori maydon

kuchlanganligida tunnel effektiga ko'ra elektronlarning to'siqdan o'tishi uchun imkon yaratadi hamda mos ravishda to'g'ri va teskari tunnel tokini hosil qiladi.



2.13-rasm. Tunnel diodidagi p-n o'tishda tunnel toklari

Biroq buning uchun ushbu elektron joylashgan sathning qarama-qarshi tomonida elektron uchun bo'sh joy bo'lishi lozim. Tashqi kuchlanish nolga teng bo'lganda, sathlar to'la bo'lgani uchun bunga imkon yo'q.

2.13a-rasmda potensial to'siq balandligi 0.8 V, taqiqlangan soha kengligi 0.6 V bo'lgan tunnel diodi keltirilgan. Tashqi kuchlanish nolga teng bo'lganda qarama-qarshi tomonga bir xil miqdorda to'g'ri va teskari tunnel toklari o'tib turadi hamda bu holda natijaviy tok nolga teng.

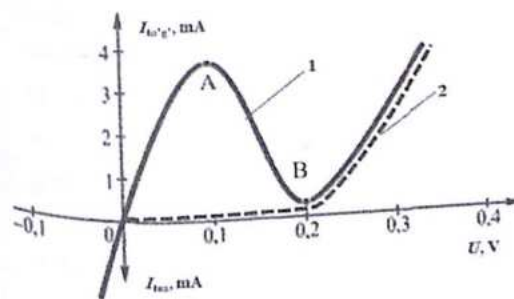
To'g'ri ulashda beriladigan tashqi kuchlanish  $U=0,1$  V ga teng bo'lsin (2.13b-rasm). Bunda potensial to'siq kattaligi 0.1 V ga kamayib, 0.7 V ni tashkil qiladi. Natijada n-tur yarimo'tkazgichning sathlari tepaga, p-tur yarimo'tkazgichni esa pastga siljiydi. Shu bilan birgalikda n-sohadagi

elektronlarning energetik sathlari p-sohadagi bo'sh sathlar ro'parasiga joylashib qoladi. Natijada elektronlarning n-sohadan p-sohaga tunnel effekti asosida o'tishiga sharoit yaratiladi va to'g'ri tunnel toki miqdori ortadi. Tunnel toki bilan birgalikda to'g'ri ulashda hosil bo'ladigan diffuziya toki ham mavjud. Bu holda to'liq tok quyidagiga teng:

$$I = I_{to'g'} - I_{tes} + I_{diff} \quad (2.31)$$

To'g'ri kuchlanishni  $U=0,2$  V ga oshirsak (2.13c-rasm) potensial to'siq kattaligi 0.2 V ga kamayib, 0.6 V ni tashkil qiladi. Bunda tunnel toki kamayadi, sababi n-sohadagi elektronlarning energetik sathiga p-sohada taqiqlangan soha energetik sathi to'g'ri keladi va elektronning tunnel effekti ta'sirida o'tishiga imkon qolmaydi. To'g'ri kuchlanishning yanada ortishi natijasida o'tishiga imkon qolmaydi. To'g'ri kuchlanishning yanada ortishi bilan birgalikda kam tunnel tokining nolgacha kamayishiga olib keladi. Shu bilan birgalikda kam miqdorda bo'lsa ham diffuziya toki mavjud. To'g'ri kuchlanishning yanada ortishi bilan diffuzion tokning oddiy dioddagi to'g'ri tok miqdorigacha ortishiga olib keladi.

Agar p-n o'tishga qo'yiladigan teskari kuchlanish  $U=-0,2$  V bo'lsa, u holda potensial to'siq to'liq balandligi 1 V ga yetadi (2.13d-rasm). Bunda teskari tunnel tokining ortganini ko'rishimiz mumkin. Bu n-sohada elektron bilan to'lmagan energetik sathlarning ko'payishi va p-sohadan tunnel effekti natijasida o'tgan elektronlarning uni to'ldirishi bilan bog'liq. Shuni hisobiga teskari tunnel toki katta qiymatgacha ortadi.



2.14-rasm

teng. To'g'ri kuchlanish  $U=0,1$  V gacha ortganida to'g'ri tunnel toki maksimal qiymatgacha ortadi (A nuqta). To'g'ri kuchlanish  $U=0,2$  V gacha ortganida 2.13c-rasmidagi holatga ko'ra to'g'ri tunnel toki keskin kamayadi, biroq (2.31) ga ko'ra diffuzion tok nolga teng bo'lmaganligi tufayli u minimumga (B

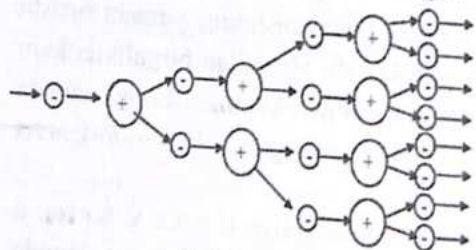
Tunnel effekti asosidagi p-n o'tishning volt-amper xarakteristikasi 2.14-rasmda keltirilgan (1-chiziq). Uning asosiy xususiyati shundaki, to'g'ri kuchlanishning qandaydir qiymatidan boshlab to'g'ri tunnel toki keskin kamayadi. Dastlab,  $U=0$  V bo'lganda tunnel toki nolga

nuqta) erishadi. Shunda VAXning AB qismida tunnel effekti natijasida  $p-n$  o'tish manfiy differensial qarshilikka ega bo'ladi:

$$R_s = \frac{dU}{dI} < 0 \quad (2.32)$$

To'g'ri kuchlanishning yanada ortishida  $p-n$  o'tish o'zining odatiy holiga qaytadi (2.14-rasm, 2-shtrix chiziq) va diffuzion tok ortadi. Teskari kuchlanish berilganda tunnel effekti ta'sirida o'tish  $p-n$  o'tishga nisbatan sezilarli darajada katta bo'lgan teskari tok hosil qilinadi (2.13d-rasm).

Ko'chkisimon buzilish sodir bo'lganda tok o'tishi sababi, bu teskari maydon ta'sirida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar tezlanish bilan



2.15-rasm

harakatlana boshlaydi va  $I_{tes}$  ma'lum bir qiymatga yetgandan keyin asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar kinetik energiyasi neytral atomlar bilan to'qnashganda ularni ionlashtirish uchun yetarli bo'lib qoladi. Natijada elastik urilish tufayli ionlanishning ko'chkisimon ko'payishi vujudga kelib (2.15-rasm), bu o'z navbatida  $p-n$  o'tishda zaryad tashuvchilarning ortib ketishi hamda teskari tokning ortishiga olib keladi. Ko'chkisimon buzilishni miqdor jihatidan baholash uchun ko'chkisimon ko'paytirish koeffitsiyentidan ( $M_k$ ) foydalaniladi. U bu jarayonda hosil bo'lgan tok  $p-n$  o'tish teskari tokidan necha marta katta bo'lishini ifodalaydi:  $I = M_k \cdot I_{tes}$ . Ko'chkisimon buzilish  $p-n$  o'tish kengligi yetarlicha katta bo'lgan, yuqori omli yarimo'tkazgichlarda kuzatiladi. Ko'chkisimon buzilishda kuchlanish yarimo'tkazgich temperaturasi bog'liq va uning ortishi bilan zaryad tashuvchining erkin yuugurish yo'li kamayganligi tufayli bo'ladi (2.12-rasm, 1-chiziq).

Tunnel va ko'chkisimon buzilishlar elektr buzilishi hisoblanadi. Elektr buzilishi qaytar jarayondir, chunki maydon kuchlanganligi yo'qolishi (kamayishi) bilan  $p-n$  o'tishda boshlang'ich holat tiklanadi.

Issiqlik buzilishi qaytmas jarayon hisoblanadi. Sababi, tok o'tishi natijasida yarimo'tkazgich qiziydi. "Qizish" natijasida esa kristall panjaraning

harakat tezligi ortadi va ko'plab valent elektronlar ajralib chiqa boshlaydi. Demak, teskari ulanish sohasida zaryad tashuvchilar soni orta boshlaydi. Agar  $p-n$  o'tishda ajraladigan issiqlikni yo'qotish chorasi ko'rilmasa, yarimo'tkazgichning kristall panjarasi yemriladi va issiqlik toki ortadi (2.12 rasm, 3-chiziq). Shuning uchun issiqlik buzilishi qaytmas jarayon deyiladi.

Yarimo'tkazgichli asboblarning xususiyatlari temperaturaga bog'liq, temperatura ortishi bilan to'g'ri tok ham, teskari tok ham ortadi. Ayniqsa, teskari tok keskin ko'payadi, chunki elektron-kovak juftliklarining hosil bo'lishi ko'payadi.

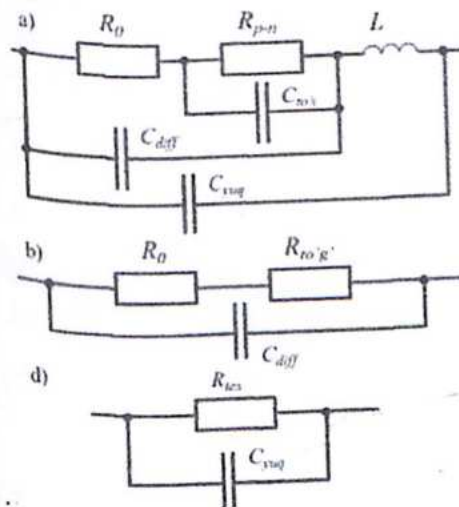
## 2.5 Yarimo'tkazgichli diodlar va ularning klassifikatsiyasi

$P-n$  o'tish hodisasi asosida ishlaydigan eng sodda yarimo'tkazgichli asbob yarimo'tkazgichli diod deyiladi. Biz yuqorida ko'rgan (2.10-rasm)  $p-n$  o'tishning volt-ampere xarakteristikasi amalda yarimo'tkazgichli diodning volt-ampere xarakteristikasi hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichli diodlarning xususiyatlari ularning parametrlari bilan belgilanadi. Parametrlar umumiy va maxsus (ma'lum bir turdagi diod uchun) ga bo'linadi. Umumiy parametrlarga quyidagilar kiradi:  $p-n$  o'tishning ruxsat etilgan temperaturasi, diod tomonidan tarqatiladigan quvvat, ruxsat etilgan to'g'ri va teskari toklar.

Yarimo'tkazgichli diodning to'liq ekvivalent sxemasi 2.16-rasmda keltirilgan. Bu yerda  $R_0$   $n$ - va  $p$ -sohalarning hamda bu sohalardagi kontaktlarning chiqishiga teng bo'lgan qarshiliklarning yig'indisiga teng.  $R_{p-n}$  nohiziq qarshilik bo'lib, to'g'ri ulashda kichik  $R_{to'g'}$  qiymatni, teskari ulashda esa yetarlicha katta  $R_{p-n} = R_{tes}$  qiymatni qabul qiladi.

Diffuzion sig'im (2.29) o'tishga to'g'ri kuchlanish ulashda  $p$ - va  $n$ -sohalarda harakatlanuvchi zaryadlar to'planishini ifodalaydi.  $P-n$  o'tishga



2.16-rasm

teskari kuchlanish qo'yishda to'siq sig'imi (2.28) paydo bo'ladi. Yuqori chastotalarda diodni sezilarli darajada shuntlovchi  $C_{yuq}$  sig'im mavjud. Bundan tashqari yuqori chastotali signallarda diodda induktivlik ( $L$ ) paydo bo'ladi. 2.16b- va 2.16d-rasmlarda yuqori chastotalarda diodning to'g'ri va teskari ulanishi uchun soddalashtirilgan ekvivalent sxemalar keltirilgan. Past chastotalarda esa diodning sig'imini hisobga olmaslik mumkin.

Yuqorida ko'rilgan issiqlik buzilishi bo'lmasligi uchun  $p-n$  o'tish temperaturasi ma'lum bir qiymatdan katta bo'lmasligi shart. Diod tarqatadigan quvvat  $P_{d\max} \geq IU$  shartdan aniqlanadi. Diod temperaturasi to'g'ri tokka bog'liq.  $P-n$  o'tish temperaturasi  $T_{to'g'ri\max}$  ga yetadigan to'g'ri tok  $I_{to'g'ri\max}$  -ruxsat etilgan to'g'ri tok deyiladi.

Diodning yana bir muhim parametri  $p-n$  o'tishda buzilish ro'y bermaydigan maksimal ruxsat etilgan teskari kuchlanish hisoblanadi. Odatda  $U_{tes\max} \leq 0.8 \cdot U_{tes}$  ga teng bo'ladi.

Bulardan tashqari, diodning volt-amper xarakteristikasidan aniqlanuvchi to'g'ri va teskari o'tish differensial qarshiligi (2.26) ham muhim parametr hisoblanadi.

Zamonaviy yarimo'tkazgichli diodlar fizik xususiyatlari, asosiy elektr parametrlari, konstruktiv-texnologik belgilari va yasalgan materiali bo'yicha klassifikatsiya qilinadi. Masalan: u yasalgan materiali bo'yicha klassifikatsiya qilinsa: *germaniyli, kremniyli* diodlar deyiladi.

Belgilangan vazifasi bo'yicha: *to'g'rilovchi, impulsli stabilitronlar, varikaplar* va boshqalar;

Ular ishini belgilovchi jarayonlarning fizik tabiati bo'yicha: *tunnel, fotodiod, yorug'lik diodi* va boshqalar;

O'tish sohasining turi bo'yicha: *nuqtaviy, yassi* diodlar.

Bu ajratishlar ichida eng asosiylari bo'lib kontakt *sohasining kengligi* va belgilangan *vazifa* bo'yicha ajratish turi hisoblanadi. 1-jadvalda diodlarni klassifikatsiyasi keltirilgan.

Klassifikatsiyalash belgisi	Diod nomi
$P-n$ o'tish yuzasi	Nuqtaviy Yassi
Yarimo'tkazgichli material	Germaniyli Kremniyli Arsenid galliyli
Qo'llanilish sohasi	To'g'rilovchi Universal Impulsli O'ta yuqori chastotali (O'YuCh diod) Stabilitron Varikap Teskari diod
Ishlash prinsipiga ko'ra	Ko'chkisimon Tunnel Gann diodi Shotki diodi Nurlanuvchi diod (yorug'lik diodi) Fotodiod Optojuftlik (optron)

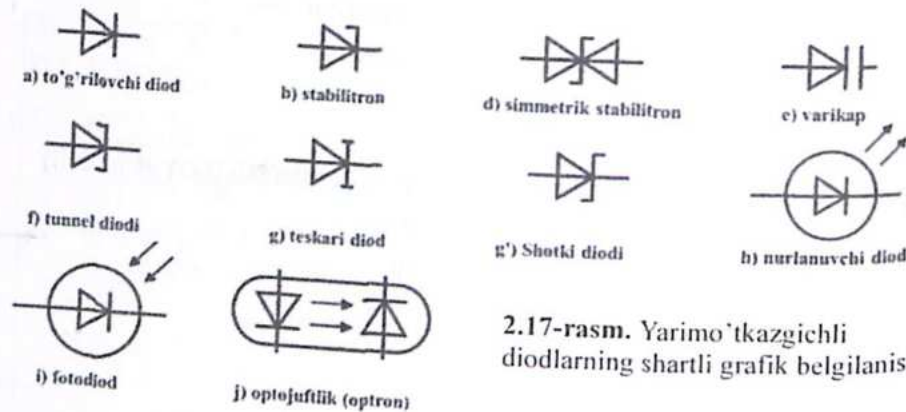
### 2.5.1 Yarimo'tkazgichli diodlarning turlari

*Nuqtaviy diod.* Nuqtaviy diodlarning kontakt yuzasi juda kichik bo'ladi. Ular nuqtaviy kontaktli payvandlash yo'li bilan hosil qilinadi.  $n$ -turdagi germaniy plastinkasiga berilliydan (ba'zi hollarda indiy bilan qoplangan) yasalgan uchli prujina payvandlanadi. Payvandlash esa yig'ilgan dioddan qisqa impulsli to'g'ri tok (bir necha amper tartibida) o'tkazish yo'li bilan bajariladi.  $P-n$  o'tish sohasi yuzasining kichikligi tufayli nuqtaviy diodlar juda kichik o'tish sig'imi (1 pF dan kichik) ga ega bo'ladi. Shuning uchun ular asosan yuqori chastotali qurilmalarda ishlatiladi.

*Yassi diodlar.* Bunday diodlar  $p-n$  o'tish yuzasining yetarlicha katta o'lchamga ega bo'lgani bilan xarakterlanib, ular katta tok va quvvatlarga mo'ljallangan. Ularning o'tish sig'imi ham katta bo'ladi. Shuning uchun yassi

diodlar 10 kHz gacha bo'lgan chastotalar sohasida foydalaniladi. Ular kichik quvvatli (1 Vt gacha), o'rta quvvatli (1 A gacha tok va 600 V gacha kuchlanishga mo'ljallangan) va katta quvvatli (2000 A gacha tokka mo'ljallangan) bo'ladi.

2.17-rasmda yarimo'tkazgichli diodlarning shartli grafik ko'rinishda belgilanishi keltirilgan



2.17-rasm. Yarimo'tkazgichli diodlarning shartli grafik belgilanishi

To'g'rilovchi diodlar o'zgaruvchan tokni to'g'rilashda qo'llaniladi (2.17a-rasm). Ular quvvati va chastotasi bo'yicha turlarga ajratiladi. Quvvat bo'yicha: kichik quvvatli diodlar ( $I_{tog' max} \leq 0.3 A$ ), o'rta quvvatli ( $0.3 A \leq I_{tog' max} \leq 10 A$ ), katta quvvatli ( $I_{tog' max} > 10 A$ ). Chastota bo'yicha: past chastotali ( $f_{max} < 10^3 Hz$ ) va yuqori chastotali ( $f_{max} > 10^3 Hz$ ).

Universal diodlar deb to'g'rilash, modulyatsiya, detektorlash va chastotasi 1000 MHz dan oshmaydigan elektr signallaridagi boshqa noxiziqli almashtirishlarni amalga oshirish uchun qo'llaniladigan yuqori chastotali diodlarga aytiladi.

Impulsi diodlar. Ko'pgina zamonaviy qurilmalardagi (qayta ulanish) diodlar impuls rejimida ishlaydi. Impuls rejimida, juda qisqa vaqt davomida (mikrosekundning ulushlari tartibida) diod to'g'ri kuchlanishdan teskari kuchlanish rejimiga o'tkaziladi. Har qanday jarayonni birdaniga amalga oshirib bo'lmasligi ma'lum. Bu holda ham diodning har bir holati o'rnatilishi uchun vaqt zarur. Mana shu holatni o'rnatilishi uchun kerakli vaqt tiklanish vaqti deb ataladi. Tiklanish vaqti qanchalik kichik bo'lsa diod shunchalik

yaxshi hisoblanadi. Impuls diodlarining asosiy xarakteristikalar: tiklanish vaqti, o'tish sig'imi, ma'lum  $U_{tesk}$  qiymatdagi  $I_{tesk}$  teskari tok qiymati,  $I_{tog' max}$  to'g'ri impuls tokining maksimal qiymati,  $U_{tesk max}$  - mumkin bo'lgan teskari kuchlanishning maksimal qiymati. Sxemada impulsi va universal diodlar to'g'rilovchi diod kabi belgilanadi.

Yuqori tezlikli impulsi zanjirlarda o'tishi metall-yarimo'tkazgich kontakti asosida bo'lgan Shotki diodlari keng qo'llaniladi. Ushbu diodlar zaryadni to'plash va kamayishi uchun vaqt sarf bo'lmaydi, ularning tezligi to'siq sig'imining qayta zaryadlanish tezligiga bog'liq bo'ladi. Shotki diodning volt-ampere xarakteristikasi  $p-n$  o'tish asosidagi diodning xarakteristikasiga o'xshash bo'lib, to'g'ri ulanish qismi ideal eksponental chiziqni tashkil etishi, teskari ulashdagi tok esa juda kamligi ( $nA$  ning ulushlarida) bilan farqlanadi. Shotki diodlari katta toklarni to'g'rilashda va logarifmik qurilmalarda qo'llaniladi. Shotki diodning sxemada belgilanishi 2.17g'-rasmda keltirilgan.

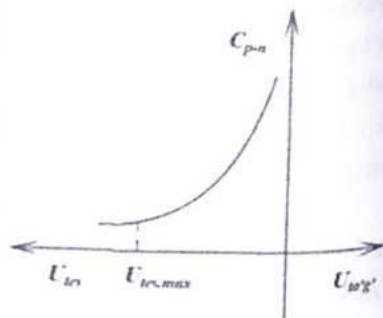
O'ta yuqori chastotali diodlar (O'YuCh) deb o'ta yuqori chastotali (yuzlab GHz) signallarni almashtirish va qayta ishlash (detektorlash, kuchaytirish, ko'paytirish, generatsiyalash va quvvatini boshqarish) da qo'llaniladigan diodlarga aytiladi. O'YuCh diodlar vazifasiga qarab aralashtiruvchi, detektorlovchi, parametrik, ko'paytiruvchi, boshqaruvchi, generatorli (Gann diodlari va ko'chkisimon diodlar)ga bo'linadi. Elektr sxemasida ular to'g'rilovchi diodlar kabi belgilanadi.

Yarimo'tkazgichli stabilitronlar (2.17b-rasm) deb kuchlanishni stabillash uchun qo'llaniluvchi diodlarga aytiladi. Katta kuchlanishni ( $U > 3V$ ) stabillash uchun volt-ampere xarakteristikaning teskari qismidan foydalaniladi. Kuchlanishning kichikroq qiymatlarini ( $U \leq 1V$ ) stabillash uchun VAXning to'g'ri qismidan foydalaniladi va bunda qo'llaniluvchi diodlar stabistor deb ataladi. Kuchlanishning ikki qutbini stabillovchi sxemalarda simmetrik stabilitronlar (2.17d-rasm) qo'llaniladi.

Varikap (2.17e-rasm) deb  $p-n$  o'tish sig'imi teskari kuchlanishga bog'liq bo'lgan diodlarga aytiladi. Ularning asosiy xarakteristikasi volt-farada xarakteristikasi (2.18-rasm) bo'lib, varikap  $p-n$  o'tish sig'imining teskari kuchlanishga bog'liqligini ifodalaydi. Varikaplarga doimiy siljitish kuchlanishini berish natijasida sig'imini o'zgartirsa bo'ladi. Ular tebranish

konturlari va filtrlarida chastotani sozlash uchun, O'YuChli signallarni kuchaytirish va generatsiya qilish uchun qo'llaniladi.

Tunnel diodlari p-n o'tishdagi tunnel effekti asosida ishlovchi diodlar hisoblanadi. Uning volt-ampere xarakteristikasi 2.14-rasmda keltirilgan bo'lib, manfiy differensial qarshilikka ega. Uning shartli belgilanishi 2.17f-rasmda keltirilgan. Tunnel diodlari kuchaytiruvchi, generatsiyalovchi va ulovchi diodlarga bo'linadi. Ularning hajmi juda kichik bo'ladi. Tunnel diodning boshqa qo'llanilishi bugungi kunda keng tarqalgan flesh-xotira tizimlari hisoblanadi.



2.18-rasm

Teskari diodlar (2.17g-rasm) deb tunnel effekti asosida teskari toki to'g'ri tokdan katta bo'lgan, ya'ni teskari ulanishdagi o'tkazuvchanlik to'g'ri ulanishdigidan katta bo'lgan diodlarga aytiladi.

Nurlanuvchi diodlar (2.17h-rasm) p-n o'tishdan nur chiqaruvchi yarimo'tkazgichli diodlardir. Nurlanish xarakteristikasiga ko'ra ular ikki guruhga ajraladi: ko'zga ko'rinuvchi sohadagi diodlar – yorug'lik diodi, IQ-diodlar- infraqizil sohada nur chiqaradigan.

Fotodiodylar (2.17i-rasm) – ichki fotoeffekt asosida ishlovchi yarimo'tkazgichli diodlar bo'lib, yorug'lik kvantlari ta'sirida erkin zaryad tashuvchilar va yakunda nurlanish energiyasiga mos bo'lgan fototok hosil qiladi.

Optron (optojufluk) – nurlanish manbai va qabul qiluvchini o'zida jamlagan yarimo'tkazgichli diodlar sistemasi hisoblanadi (2.17j-rasm). Ushbu diodlar o'zaro optik va elektr jihatdan bog'langan. Qabul qiluvchi sifatida fotorezistor, fotodiod, fototranzistor va fototristor qo'llaniluvchi optronlar keng tarqalgan. Optronlar yuqori kuchlanishli zanjirlarni galvanik izolyatsiyalash va optik kommutatsiya qilish uchun qo'llaniladi.

### 2.5.2 Yarimo'tkazgichli diodning ish rejimi

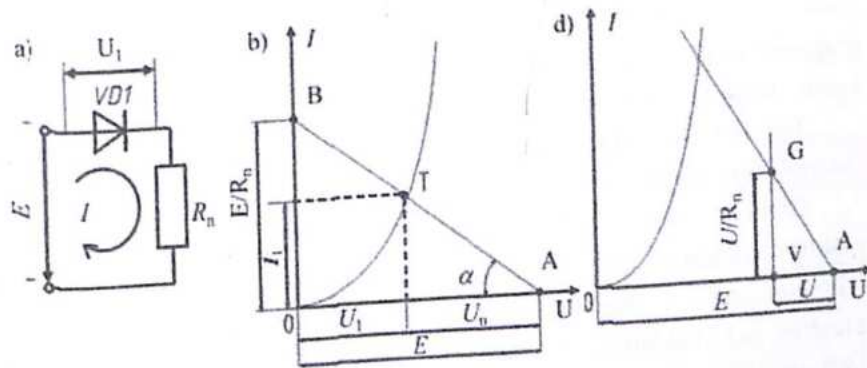
Amaldagi sxemalarda diod zanjirga unga ketma-ket holda qandaydir qiymatga ega qarshilik (rezistor) ulanadi.

Diodning nagruzka bilan ishlash rejimi diodning ish rejimi deyiladi. Agar diod chiziqli qarshilikka ega bo'lganda umumiy qarshilik diodning o'zgarmas tokka qarshiligi bilan nagruzka qarshiligi yig'indisiga teng bo'ladi:  $R = R_d + R_n$ . Ammo diod chiziqli bo'lmagan qarshilikka ham ega bo'lib, dioddagi tok o'zgarishi bilan diod qarshiligi qiymati ham o'zgaradi. Shuning uchun tok hisoblash grafik usulda amalga oshiriladi. Biz ko'rayotgan bu holatda bizga  $E$  va  $R_n$  qiymatlari hamda diodning xarakteristikasi berilgan (2.19a-rasm). Zanjirda oqayotgan tok va diodga qo'yilgan kuchlanish qiymatini topish kerak. Om qonuniga ko'ra zanjirdan oqayotgan tok

$$I = \frac{U_R}{R_n} \quad (2.33)$$

$$I = \frac{E - U}{R_n} \quad (2.34)$$

ga teng bo'ladi. Natijada bizda ikkita noma'lumli tenglamalar sistemasi hosil bo'ladi. Ulardan biri esa diodning volt-ampere xarakteristikasi bo'lib, u grafik ko'rinishida berilgan. Bunday tenglamalar sistemasini yechish uchun (2.34) tenglamaning grafigini shakllantirib, uning diod xarakteristikasi bilan kesishish nuqtasi koordinatalarini topish kerak (2.19-rasm).



2.19-rasm. Diodning ishchi nuqtasini aniqlash

$R_n$  uchun volt-ampere xarakteristika birinchi darajali tenglama bo'lib, uning grafigi to'g'ri chiziqdan iborat. Bu to'g'ri chiziq nagruzka chizig'i deb ataladi. Nagruzka chizig'i koordinata o'qlarida joylashgan ikkita nuqta orqali osongina chiziladi.

(2.34) tenglamada  $I = 0$  bo'lganda  $E = U$ , bo'ladi. Bu holat grafikdagi

A nuqtaga mos keladi. Agar  $U = 0$  bo'lsa  $I = \frac{E}{R_n}$  bo'ladi. Bu holat uchun

grafikdagi B nuqta mos keladi. A va B nuqtalarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq nagruzka chizig'i bo'ladi. Ikkala grafikning kesishish nuqtasi (T) koordinatasi izlanayotgan yechim hisoblanadi. Shuni qayd qilish kerakki, AB chiziqning boshqa nuqtalari diodning biror bir ishchi rejimiga mos kelmaydi (2.19b-rasm). Nagruzka chizig'ini uning egilish  $\alpha$  - burchagi bo'yicha ham yasash mumkin, sababi  $R_n = k \cdot ctg\alpha$  (2.19b-rasm). Biroq bu uncha qulay emas, sababi masshtabni hisobga olgan holda  $k$  koeffitsiyentni aniqlash kerak va kotangens bo'yicha burchakni topish zarur.

$R_n$  ning nisbatan kichik qiymatlari uchun nagruzka chizig'ini yasashda B nuqta chizmadan tashqarida bo'ladi (2.19d-rasm). Bu holda ixtiyoriy  $U$  kuchlanishni A nuqtadan chapga qo'yib, hosil bo'lgan V nuqtadan  $U/R_n$  ga teng tok qiymati belgilanadi (VG-qism). Natijada A va G nuqtalar orqali o'tgan to'g'ri chiziq nagruzka chizig'i bo'ladi.

## 2.6 Bipolyar tranzistor

Tranzistor so'zi inglizcha *transfer*-o'zgartiruvchi, hamda, *resistor*-qarshilik so'zlari birikmasidan hosil bo'lgan. Tranzistor elektr tokini o'zgartirish xususiyatiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbob bo'lib, quvvatni kuchaytirish uchun ishlatiladi va uchta qutbga ega.

Tranzistorlar ikki turli bo'ladi: *bipolyar* tranzistorlar, *maydonli* (unipolyar) tranzistorlar.

Bipolyar tranzistor deb o'zaro ta'sirlashuvchi ikkita  $p-n$  o'tish va uchta elektrod (tashqi chiqishlar)ga ega bo'lgan yarimo'tkazgich asbobga aytiladi. Bipolyar tranzistordan tok oqib o'tishi ikki turdagi zaryad tashuvchilar - elektron va kovaklarning harakatiga asoslangan. Bipolyar tranzistor asosiy tok tashuvchilariga ko'ra kovakli ( $p-n-p$ ) va elektronli ( $n-p-n$ ) o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan turlarga ajratiladi.

Bipolyar tranzistorlar funksional vazifasiga ko'ra universal, kuchaytiruvchi, generatsiyalovchi va ulab-o'chiruvchi (kalit) turlarga bo'linadi.

Shuningdek, ular maksimal quvatiga ko'ra uchta guruhga bo'linadi:

-kichik quvvatli  $P_{mak} < 0.3 Vt$ ;

-o'рта quvvatli  $0.3 < P_{mak} \leq 1.5 Vt$ ;

-katta quvvatli  $P_{mak} > 1.5 Vt$ .

Tok bo'yicha uzatishning chegaraviy chastotasi bo'yicha quyidagicha bo'linadi:

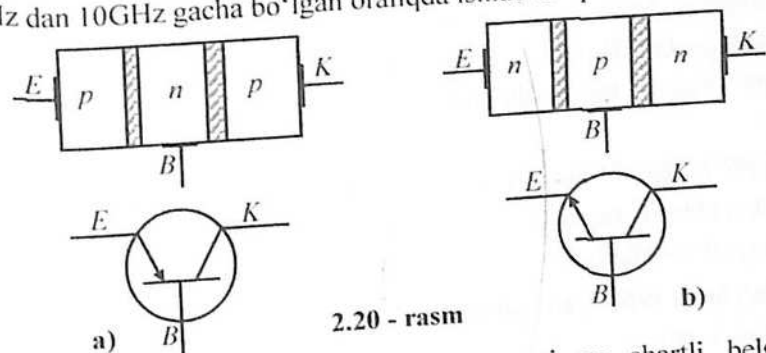
-past chastotali  $f_{cheg} \leq 3 MHz$ ;

-o'рта chastotali  $3 < f_{cheg} \leq 30 MHz$ ;

-yuqori chastotali  $30 < f_{cheg} \leq 300 MHz$ ;

-o'ta yuqori chastotali  $f_{cheg} > 300 MHz$ .

Tranzistorlar quvvati 20mVt dan 100 Vattgacha va chegaraviy chastotasi 100kHz dan 10GHz gacha bo'lgan oraliqda ishlab chiqariladi.



2.20 - rasm

Bipolyar tranzistorlarning tarkibiy sxemasi va shartli belgilanishi quyidagi 2.20-rasmda keltirilgan. Tranzistorning chekka sohasi *emitter* (E) deb ataladi va u zaryad tashuvchilarni *baza* (B) deb ataluvchi o'рта sohaga *injeksiyalaydi*. *Injeksiya* hodisasi deganda asosiy tok tashuvchilarning o'zi uchun asosiy bo'lmagan sohaga o'tkazilishi tushuniladi.

Keyingi chekka soha *kollektor* (K) deb ataladi. U zaryad tashuvchilarni baza sohasidan *ekstraksiyalash* (maydon ta'sirida so'rib olish) uchun xizmat qiladi. Ekstraksiya jarayoni amalga oshishi uchun baza sohasi kengligi injeksiyalangan zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligidan yetarlicha kichik qilib olinadi, ya'ni  $W \ll 0.2L$  bu yerda  $W$ -baza sohasining kengligi,  $L$ -diffuzion uzunlik.

Emitter va baza oralig'idagi  $p-n$  o'tish *emitter o'tish*, kollektor va baza oralig'idagi  $p-n$  o'tish esa - *kollektor o'tish* deb ataladi. Shartli belgilanishdagi

ko'rsatkich (strelka) emitter o'tish sohasiga to'g'ri kuchlanish berilganda emitter zanjiridagi tokning shartli yo'nalishini ko'rsatadi.

Tranzistordagi asosiy xususiyatlar uning bazasida ro'y beradigan fizik jarayonlar bilan belgilanadi. Agar baza bir jinsli bo'lsa, u holda unda faqat *diffuziya* jarayoni ro'y beradi va bunday tranzistor *diffuzion tranzistor* deyiladi. Agar baza bir jinsli bo'lmasa va unda ichki elektr maydoni bo'lsa, u holda unda ham *diffuziya* ham *dreyf* jarayonlari kuzatiladi va bu qurilma *dreyfli tranzistor* deyiladi. Integral sxemalarda dreyfli tranzistorlar keng qo'llaniladi.

Tranzistor sohalari toklarini  $I_e$ ,  $I_b$ ,  $I_k$  ko'rinishda, sohalor orasidagi kuchlanishlarni esa  $U_{be}$ ,  $U_{kb}$ ,  $U_{ke}$  ko'rinishda belgilash qabul qilingan.

O'tish sohalariga qo'yiladigan tashqi kuchlanishlarga qarab bipolyar tranzistorlar asosan to'rt xil ish rejimida ishlashi mumkin:

• **Aktiv rejim.** Bunday ish rejimida tranzistorning emitter-baza (*emitter*) o'tishiga to'g'ri, baza-kollektor (*kollektor*) o'tishiga teskari kuchlanish beriladi.

• **Uzilish rejimi.** Bunday ish rejimida tranzistorning ikkala ish o'tishiga teskari kuchlanish beriladi. Shuning uchun bu rejim tranzistorning yopilish rejimi ham deb ataladi.

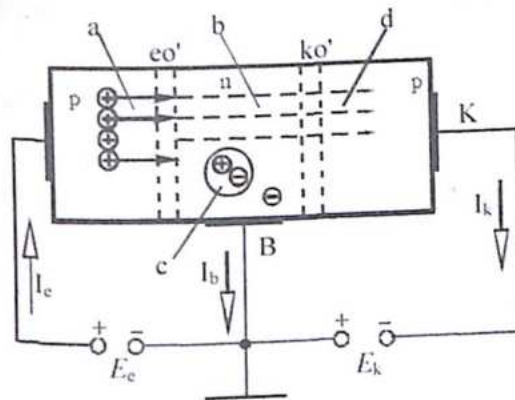
• **To'yinish rejimi.** Bu ish rejimida tranzistorning ikkala o'tishiga to'g'ri kuchlanish beriladi.

• **Invers rejim.** Bunday ish rejimda emitter o'tishiga teskari, kollektor o'tishiga to'g'ri kuchlanish beriladi. Amalda bu ish rejimi deyarli qo'llanilmaydi.

Tranzistor asosan aktiv rejimda ishlaydi va bunda uning kuchaytirish xossalari namoyon bo'ladi. Tranzistor raqamli sxemalarda qo'llanilganda u to'yinish rejimida yoki uzilish rejimda ishlashi mumkin.

### 2.6.1 Bipolyar tranzistordagi fizik jarayonlar va uning ishlash prinsipi

*p-n-p* turdagi bipolyar tranzistorning aktiv ish rejimida unda bo'layotgan fizik hodisalarni ko'rib chiqaylik (2.21-rasm). Bunda uning emitter o'tishiga ( $eo'$ ) to'g'ri, kollektor o'tishiga ( $ko'$ ) teskari kuchlanish tashqi  $E_e$  va  $E_k$  manbalardan beriladi.



a-injeksiya  
b-diffuziya  
c-rekombinatsiya  
d-ekstraksiya

2.21 - rasm

Natijada emitter o'tishi ochilib, uning potensial to'sig'i  $E_e$  ga kamayadi, kollektor o'tishi esa yopiladi va uning potensial to'sig'i  $E_k$  ga ortadi. Buning evaziga emitterdagi kovaklar bazaga va bazadagi elektronlar emitterga o'ta boshlaydi, ya'ni injeksiyalanadi (2.21-rasm, a hodisa). Shunday qilib, emitter qismida asosiy tok tashuvchilarning diffuziyasi hisobiga paydo bo'luvchi emitter toki hosil qilinadi va u ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

$$I_e = I_{en} + I_{ep} \quad (2.35)$$

bu yerda  $I_{ep}$  - emitter tokining kovak tashkil etuvchisi,  $I_{en}$  - emitter tokining elektronli tashkil etuvchisi.  $I_{en}$  faqatgina emitter baza o'tish oralig'ida mavjud bo'lganligi uchun u kollektor tokini tashkil etishda ishtirok etmaydi va zararli tok hisoblanib, tranzistorning qizishiga olib keladi.

Injeksiya jarayoni emitter toki tarkibida uning  $I_{ep}$  - foydali tashkil etuvchisi miqdorini belgilovchi  $\gamma$ -injeksiya koeffitsiyenti orqali baholanadi:

$$\gamma = \frac{I_{ep}}{I_e} = \frac{I_{ep}}{I_{ep} + I_{en}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{en}}{I_{ep}}} \quad (2.36)$$

Emitter toki tarkibida  $I_{en}$  - tashkil etuvchini yo'qotib bo'lmasligi sababli, doimo  $\gamma < 1$  bo'lib, eng yaxshi tranzistorda  $\gamma \approx 0.9995$  bo'ladi.

Injeksiyalangan kovaklar diffuzion harakatlanib, qisman bazadagi elektronlar bilan rekombinatsiyalashadi (2.21-rasm, b, c hodisalar) va qolganlari kollektor o'tishga yetib keladi. Bu kovaklar kollektor o'tishning teskari maydoni ta'sirida tezlanuvchan harakatlanib, kollektorga o'tadi

(2.21-rasm, d hodisa, ekstraksiya) va  $I_{kp}$  - kollektorning kovak tokini (foydali tok) hosil qiladi.

Rekombinatsiya natijasida kollektor o'tishga yetib kelgan kovaklar soni emitterdan bazaga o'tgan kovaklar sonidan kam bo'ladi va natijada  $I_{ep} > I_{kp}$  bo'lib qoladi. Bundan tashqari, muvozanat holati saqlanishi uchun bazadagi elektronlar soni doimiy bo'lishi kerak. Rekombinatsiya natijasida elektronlar sonining kamayishi kuzatiladi va uni to'ldirish uchun baza zanjiri orqali elektronlar kela boshlashi hisobiga  $I_{b,rek}$  - baza toki hosil bo'ladi:

$$I_{b,rek} = I_{ep} - I_{kp} \quad (2.37)$$

Rekombinatsiya jarayoni miqdor jihatidan bazadan tok tashuvchilarni  $\nu$  - o'tkazish koeffitsiyenti orqali baholanadi:

$$\nu = \frac{I_{kp}}{I_{ep}} = \frac{I_{kp}}{I_{b,rek} + I_{kp}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{b,rek}}{I_{kp}}} \quad (2.38)$$

(2.38) ifodadan ko'rinadiki, o'tkazish koeffitsiyentini orttirish uchun  $I_{b,rek}$  tokni kamaytirib,  $I_{kp}$  orttirish zarur. Eng yaxshi hollarda  $\nu \approx 0,95 - 0,99$  ga teng.

Emitter zanjirida tok bo'lmaganida, kollektor zanjiridan  $I_{ko}$  - issiqlik (temperaturaviy) toki oqadi (2.22a-rasm). U ikkita asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning dreyfi natijasida vujudga kelib, kollektordan bazaga o'tgan elektron va bazadan kollektorga o'tgan kovak toklari yig'indisidan iborat bo'ladi. Kollektorning  $I_{ko}$  - issiqlik toki xususiyatlari diodga teskari kuchlanish qo'yilganda hosil bo'ladigan teskari tokka o'xshaydi. U temperaturaga juda kuchli bog'liq bo'lib, tranzistorning asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi.

Agar emitter toki mavjud bo'lsa, u holda kollektor toki  $I_{kp}$  ga ortadi:

$$I_k = I_{ko} + I_{kp} \quad (2.39)$$

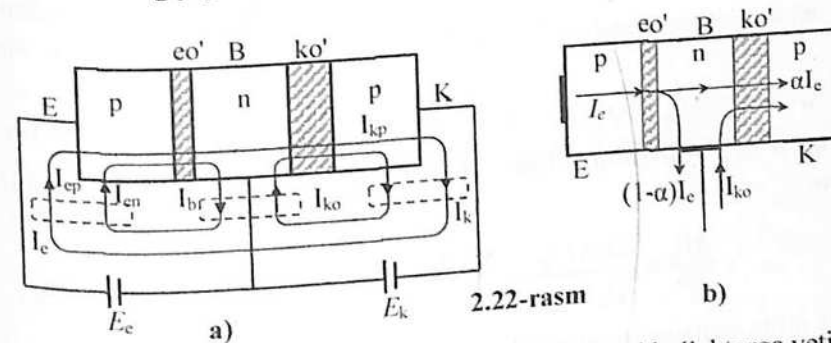
Agar  $I_{kp}$  ni emitter toki bilan bog'liqligini  $I_{kp} = \nu I_{ep} = \gamma \nu I_e = \alpha I_e$  hisobga olsak:

$$I_k = \alpha I_e + I_{ko} \quad (2.40)$$

bu yerda  $\alpha = \gamma \nu$  bo'lib, emitter tokini uzatish koeffitsiyenti deyiladi.  $\gamma$  va  $\nu$  ning qiymatlarini e'tiborga olsak,  $\alpha < 1$  ekanligi kelib chiqadi.

(2.40) ifoda tranzistorning *ishchi tenglamasi* deyiladi. Ko'rinadiki, kollektor toki kirish emitter toki orqali boshqarilar ekan. Demak, emitter tokini orttirish yo kamaytirish orqali kollektor tokini boshqarish mumkin ekan. Bu  $E_e$  manbani o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Demak, kollektor tokini ma'lum bir qonuniyat bilan o'zgartirish uchun, uning emitter p-n o'tishiga emitter tokini shu qonun bilan o'zgartiruvchi kuchlanish qo'yish kerak ekan. Shunday qilib, *tranzistor tok bilan boshqariluvchi qurilma* ekan.

Tranzistorda kovaklar va elektronlarning harakati qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa ham, ular hosil qilgan toklar bir xil yo'nalishda bo'ladi hamda biz emitter va kollektor toklari deganda bu toklarni tashkil etuvchilarning yig'indisini tushunamiz (2.22a-rasm).



2.22b-rasmdan ko'rinadiki, emitter tokining  $\alpha I_e$  qismi kollektorga yetib borsa,  $(1-\alpha)I_e$  qismi baza tokini hosil qilishga sarf bo'ladi. Shuningdek, bazadan qarama-qarshi yo'nalishda  $I_{ko}$  teskari tok ham o'tib turadi. Demak, to'liq baza toki,

$$I_b = (1-\alpha)I_e - I_{ko} \quad (2.41)$$

ifoda orqali aniqladi. Kollektor tokining (6) ifodadagi qiymatini hisobga olsak, (2.41) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$I_b = I_e - I_k \quad \text{yoki} \quad I_e = I_b + I_k \quad (2.42)$$

(2.42) ifoda *tranzistorning tok tenglamasi* deyiladi.

Baza toki yetarlicha kichik bo'lganligi uchun umumiy holda  $I_e \approx I_k$  deb hisoblashimiz mumkin bo'ladi va biz qarayotgan ulanish sxemasida tranzistor tokni kuchaytirmasligi ko'rinadi. Ushbu tenglik emitter va kollektor toklarining o'zgarishlari uchun ham o'rinli bo'ladi, ya'ni  $\Delta I_e \approx \Delta I_k$ . Ammo

emitter o'tishiga to'g'ri kuchlanish berganligimiz tufayli, uning differensial qarshiligi kichrayadi:

$$r_e = \frac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} \quad (2.43)$$

Shuningdek, kollektor o'tishiga teskari kuchlanish berganimiz uchun va kollektor tokining o'zgarishi  $\Delta U_{kb}$  kuchlanishga kam bog'liq bo'lganligi tufayli, kollektor o'tishning differensial qarshiligi ortadi:

$$r_k = \frac{\Delta U_{kb}}{\Delta I_k} \quad (2.44)$$

Shunga ko'ra, kollektor zanjiriga ( $-E_k + I_k R_k < 0$  shartni qanoatlantiruvchi) nagruzka qarshiligini ulasak bo'ladi. Bunda tranzistorning ish rejimi o'zgarmaydi. Emitter o'tish va kollektor o'tishlardan ajralayotgan quvvatlarni yozsak:

$$\Delta P_e = \Delta I_e \Delta U_{eb} = \Delta I_e^2 r_e \quad \text{va} \quad \Delta P_k = \Delta I_k \Delta U_{kb} = \Delta I_k^2 r_k \approx \Delta I_k^2 R_n \quad (2.45)$$

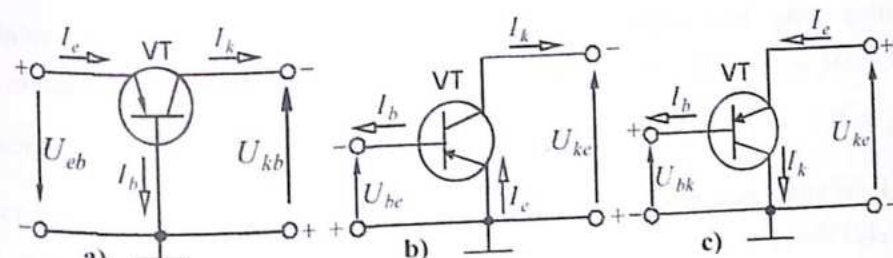
Ularning o'zaro nisbatini olsak, chiqish quvvati ortganini ko'rishimiz mumkin:

$$\frac{\Delta P_k}{\Delta P_e} = \frac{\Delta I_k \Delta U_{kb}}{\Delta I_e \Delta U_{eb}} \approx \frac{\Delta I_k^2 R_n}{\Delta I_e^2 r_e} \approx \alpha^2 \frac{R_n}{r_e} > 1 \quad (2.46)$$

Shunday qilib, tranzistorning emitter va kollektor o'tishlardan o'tayotgan tok miqdori deyarli o'zgarmasdan turganida o'tish qarshiliklarining "transformatsiya" hodisasi uning kuchaytirishini asoslovchi tranzistor effektini aniqlaydi.

### 2.6.2 Bipolyar tranzistorning ulanish sxemalari

Tranzistor sxemaga ulanayotganda elektrodlaridan biri kirish va chiqish zanjiri uchun umumiy qilib ulanadi, shu sababli quyidagi ulanish sxemalari mavjud: *umumiy bazali (UB)* (2.23a-rasm); *umumiy emitterli (UE)* (2.23b-rasm); *umumiy kollektorli (UK)* (2.23c-rasm). Bunda umumiy elektrodning potentsiali nolga teng deb olinadi va qolganlaridagi kuchlanish esa umumiyning potentsialiga nisbatan aniqlanadi. Kuchlanish manbai qutblari va tranzistor toklarining yo'nalishi tranzistorning aktiv rejimiga mos keladi.

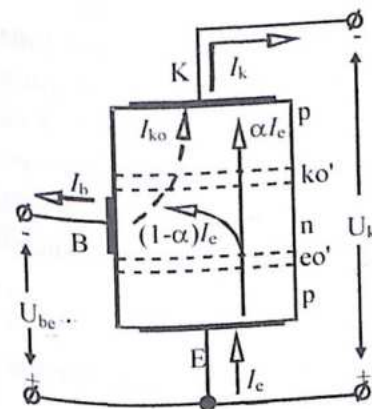


2.23-rasm

**Umumiy bazali ulanish sxemasi.** 2.23a-rasmida tranzistorning *UB ulanish sxemasi* keltirilgan bo'lib, unda ro'y beradigan fizik hodisalar yuqorida ko'rib chiqildi (2.22-rasm) va uning tokni kuchaytirmasdan kuchlanishni kuchaytirishi o'rganildi. UB ulanish sxemasida kirish toki emitter toki, chiqish toki esa kollektor toki hisoblanadi. (2.40) ifoda tranzistorning UB ulanishi uchun ishchi tenglama deyiladi va undagi  $\alpha$  koeffitsiyent UB ulanish uchun *tok bo'yicha statik uzatish koeffitsiyenti* deyiladi va emitter tokining qancha qismini kollektorga uzatilganligini ifodalaydi:

$$\alpha = \frac{I_k - I_{ki}}{I_e} \approx \frac{I_k}{I_e} \quad (2.46)$$

$\alpha$  koeffitsiyent kollektor kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda, chiqishga nagruzka qarshiligi ulanmagan holda aniqlanadi. UB ulanish sxemasining asosiy kamchiligi sifatida yetarlicha kichik kirish qarshiligiga ega ekanligini ko'rsatish mumkin. Bu esa uni ko'p kaskadli sxemalarda qo'llash imkoniyatini bermaydi.



2.24-rasm

### Umumiy emitterli ulanish sxemasi.

*UE ulanish sxemasida* (2.23b-rasm) baza toki kirish (sxemaning eng asosiy xususiyatlaridan biri), kollektor toki chiqish toki hisoblanadi. Tranzistorning ishlash prinsipidan ma'lumki, baza orqali qarama-qarshi yo'nalishda  $I_{ko}$  - kollektorning teskari toki va emitter tokining  $(1-\alpha)I_e$  ga teng qismi oqadi (2.24-rasm) va  $I_b = (1-\alpha)I_e - I_{ko}$  o'rinli bo'ladi. Baza toki

nolga teng bo'lganda ( $I_b = 0$ ), bu toklar o'zaro teng bo'ladi, ya'ni  $(1-\alpha)I_e = I_{k0}$ . Demak, kirish toki nolga teng bo'lganda bazadan  $I_{ke} = I_e = \frac{I_{k0}}{(1-\alpha)}$  ga teng boshlang'ich kollektor toki o'tib turadi. Bu ulanishda tok bo'yicha ishchi tenglama  $I_k = f(I_b)$  munosabat orqali topiladi. (2.40) va (2.42) ifodlarni e'tiborga olsak, kollektor toki quyidagiga teng (2.24-rasm):

$$I_k = \alpha I_e + I_{k0} = \alpha(I_k + I_b) + I_{k0} \quad (2.47)$$

bo'lib, yakunda kollektor toki quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$I_k = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_b + \frac{1}{1-\alpha} I_{k0} \quad (2.48)$$

agar  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$  belgilash kiritsak, u holda (2.48) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$I_k = \beta I_b + (\beta + 1) I_{k0} \quad (2.49)$$

$\beta$  - koeffitsiyent baza tokining statik uzatish koeffitsiyenti deb ataladi. Uning qiymati o'ndan yuzgacha, ba'zi tranzistor turlarida esa bir necha minglargacha oraliq'ida bo'lishi mumkin. Masalan:

$\alpha = 0,985$  bo'lganda  $\beta = 66$ ,

$\alpha = 0,990$  bo'lganda  $\beta = 99$ ,

$\alpha = 0,995$  bo'lganda  $\beta = 199$  bo'ladi.

(2.49) ifodadan ko'rinadiki, baza tokining ozgina o'zgarishi ham kollektor tokining  $\beta$  marta ortishiga olib keladi. Demak, UE sxemasida ulangan tranzistor tok bo'yicha yaxshi kuchaytirish xossalriga ega hisoblanadi.

UE ulanish sxemasida kirish qarshiligi UB ulanishga nisbatan katta bo'ladi. Uning qulayligi bitta manba orqali aktiv ish rejimini hosil qilish mumkinligidir, ya'ni baza va kollektorga bir ishorali kuchlanish beriladi (2.24-rasm). Shuning uchun ushbu ulanish sxemasi amaliyotda keng tarqalgan. Kamchiligi sifatida temperaturaviy stabiligi UB ga nisbatan ancha yomonligini aytish mumkin. Bunda kirish toki temperaturaga kuchli bog'langan.

**Umumiy kollektorli ulanish sxemasi.** UK ulanish sxemasida (2.23c-rasm) kirish - baza toki, chiqish - emitter toki hisoblanadi. Shuning uchun unung tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = \frac{I_c}{I_b} = \frac{I_c}{I_c - I_k} = \frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1 \quad (2.50)$$

Demak, baza tokining o'zgarishi emitter tokining  $(\beta + 1)$  marta ortishiga olib keladi. UK sxemada kuchlanish bo'yicha kuchaytirishga erishilmaydi. Chunki emitter va bazadagi kuchlanishlar baza tokiga bog'liq emas, shuningdek kirish qarshiligi katta hisoblanadi. Ammo emitter potentsiali baza potentsialini deyarli to'liq qaytargani uchun bu ulanish asosida qurilgan kaskad emitter qaytargichi deb ham ataladi.

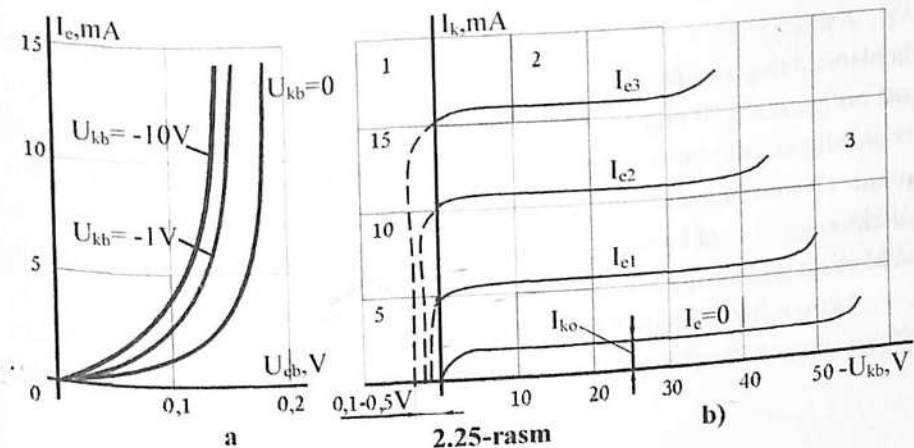
### 2.6.3 Bipolyar tranzistorning statik xarakteristikalari

Tranzistorning turli ulanish sxemalari uchun statik xarakteristikalari kollektor zanjiriga yuklama qo'yilmagan holda (2.23-rasm) kirish va chiqish toklari hamda kuchlanishlari orasidagi o'zaro bog'liqlikni ifodalaydi. Ulardan eng asosiylari tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikalari hisoblanadi.

UB sxemasi uchun kirish statik xarakteristikasi deganda kollektor kuchlanishi o'zgarimas bo'lganda emitter tokining emitter kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi:

$$I_c = f(U_{eb})|_{U_{kb}=\text{const}} \quad (2.51)$$

Kirish xarakteristikasi chiqish kuchlanishining doimiy qiymatida olinib, ularining umumiy xakteri odatda to'g'ri yo'nalishda ulangan p-n o'tishdagi fizik jarayonlar bilan aniqlanadi (2.23-ifoda). Shu sababli tashqi ko'rinishiga ko'ra kirish xarakteristiklari eksponensial xarakterga ega (2.25a-rasm).



2.25-rasm

2.25a-rasmdan ko'rinib turibdiki, chiqish kuchlanishining  $-1V$  dan  $-10V$  gacha o'zgarishi natijasida kirish xarakteristiklari *chapga qarab siljishi* kuzatiladi. Xarakteristikaning siljishi *Erli effekti (baza kengligining modulyatsiyasi)* bilan aniqlanadi. Bu effekt aktiv chiziqli rejimda ishlovchi bipolyar tranzistordan o'tayotgan toklarga kollektor o'tishning teskari kuchlanishi ta'sirini ifodalaydi. Buning ma'nosi shundaki, kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning ortishi bilan kollektor o'tish maydoni kengayib, baza sohasining torayishi (modulyatsiyasi) kuzatiladi. Baza kengligining kichrayishi ikkita effektga olib keladi: zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasining kamayishi hisobiga baza tokining kamayishi va bazadagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiya gradiyentining ortishi hisobiga emitter tokining (yakunda kollektor tokining) ortishi. Natijada  $U_{kb}$  kuchlanishning ortishi bilan, emitter toki ortib, kirish xarakteristikalari chapga siljiydi.

**UB sxemasi uchun chiqish xarakteristikasi** deganda emitter toki o'zgarimas bo'lganda kollektor tokining kollektor kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi (2.25b-rasm):

$$I_k = f(U_{kb}) \Big|_{I_e = \text{const}} \quad (2.52)$$

Xarakteristikalarni qurishda kollektor o'tishning teskari kuchlanishini o'ngda o'rnatish qabul qilingan. 2.25b-rasmdan ko'rinib turibdiki, UB sxemadagi chiqish xarakteristikalari uchta qismdan iborat: birinchi qism – *to'yinish ish rejimiga*, ikkinchi qism – *aktiv ish rejimiga* va uchinchi qism–kollektor o'tishning *buzilishiga* mos keladi.

Xarakteristikalarning boshlang'ich nuqtasi kollektor-baza kuchlanishining musbat qismiga to'g'ri keladi (1-soha). Shuning uchun ham  $I_e > 0$  bo'lganda  $I_k = 0$  nuqtani aniqlash uchun emitter kuchlanishining ta'sirini yo'qotadigan miqdorda kollektor-bazaga musbat kuchlanish berish zarur bo'ladi (1-shtrixlangan soha,  $0,1 \div 0,5 V$ ). Bunda kollektor o'tilishi ochilib, kollektordagi kovaklarning bazaga o'tishi ro'y beradi va natijada kichik kuchlanishlar sohasida kollektor toki keskin kamayadi.

Aktiv rejimda chiqish toki (2.40) ifoda bilan aniqlanadi (2-soha). Aktiv rejimga mos keluvchi xarakteristika sohalari absissa o'qiga uncha katta

bo'lmagan qiyalikda, deyarli parallel o'tadi. Qiyalik yuqorida aytilgan *Erli effekti* bilan tushuntiriladi.

$I_e = 0$  bo'lganda (emitter zanjiri uzilganda) chiqish xarakteristikasi teskari siljigan kollektor o'tish xarakteristikasi ko'rinishida bo'lib, kollektor toki  $I_k = I_{k0}$  ga teng bo'ladi (2.25b-rasm).

Emitter o'tish to'g'ri yo'nalishda ulanganda injeksiya toki hosil bo'ladi, kollektor kuchlanishi ortishi bilan baza sohasi torayib, bazadagi rekombinatsiya miqdori kamayishi natijasida  $\alpha$ -koeffitsiyent ortadi va mos ravishda kollektor toki (2.40) ifodaga ko'ra  $\alpha I_{e1}$  ga ortadi.

Kollektor kuchlanishining manfiy qiymati ortib ketsa, kollektor o'tishda buzilish paydo bo'ladi (3-soha) va kollektor toki juda tez o'sa boshlaydi. Bu vaqtda tranzistorda issiqlik va elektr buzilishlari vujudga keladi.

**UE sxemasida ulangan tranzistorning kirish xarakteristikalari** deganda kollektor kuchlanishi o'zgarimas bo'lgandagi baza tokining baza kuchlanishiga bog'liqligiga tushuniladi:

$$I_b = f(U_{be}) \Big|_{I_e = \text{const}} \quad (2.54)$$

Bu bog'lanish grafiği 2.26a – rasmda keltirilgan. U emitter baza o'tishining to'g'ri ulanishi uchun VAX ning o'zi bo'lib (2.23-ifoda), UB ulanish sxemasinikiga mos keladi. Farqi, bu ulanishda  $U_{be} < 0$  manfiy kuchlanish ortgan sari xarakteristikaning o'ngga qarab siljishidir. Ya'ni, baza-emitter kuchlanishining fiksirlangan qiymatida (2.26a-rasm, bo'sh doirachalar), kollektor emitter kuchlanishining ortishi bilan kichik baza toki hosil bo'lishi kuzatiladi. Bunga sabab, kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning ortishi bilan Erli effektiga ko'ra bazadagi rekombinatsiya toki ham kamayadi va bazadagi barcha asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar kollektorga o'tib ketadi.

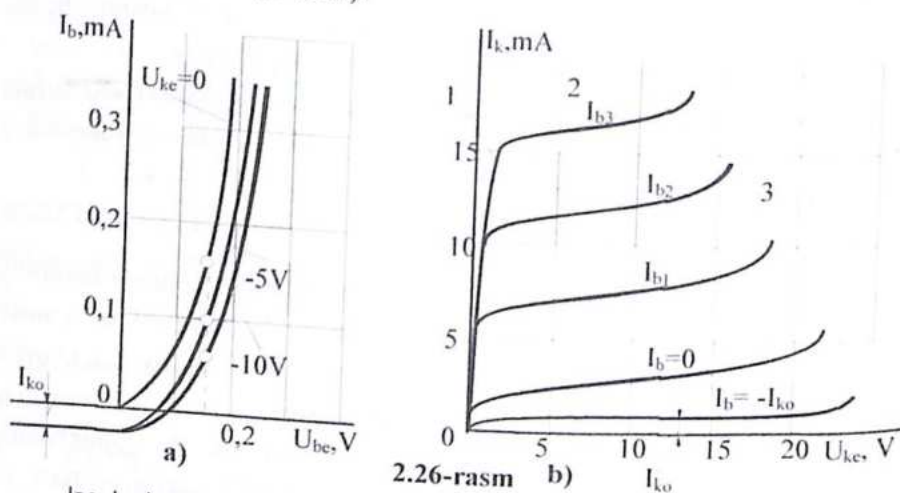
Shuningdek, baza kuchlanishi  $U_{be}$  nolga teng bo'lganda kollektorda o'zgarimas manfiy kuchlanish bo'lganligi uchun baza zanjiridan kattaligi  $I_{k0}$  ga teng sokinlik tokiga teng manfiy tok o'tadi.

**UE sxemasida ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikalari** deganda baza toki o'zgarimas bo'lganda kollektor tokining kollektor kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi:

$$I_k = f(U_{ke}) \Big|_{I_e = \text{const}} \quad (21)$$

Chiqish xarakteristikalari 2.26b – rasmda keltirilgan. Ko‘rinadiki,  $U_{ke}$  ning boshlang‘ich kichik qiymatlarida kollektor toki keskin ortib ketadi (1-soha).

2.24-rasmdan ko‘rinadiki, kollektor-baza o‘tish kuchlanishi  $U_{kb}=U_{ke}-U_{be}$  munosabatdan aniqlanadi, sababi kollektor - baza nuqtalari oralig‘ida bu kuchlanishlar qarama-qarshi ulangan.  $|U_{ke}| < |U_{be}|$  bo‘lgan oraliqda kollektor o‘tish to‘g‘ri ulanishda bo‘lib va kollektor o‘tishning qarshiligi kichik bo‘ladi. Shuning uchun  $0 < U_{ke} < U_{be}$  oraliqda bazada kovaklarning konsentratsiyasi juda katta bo‘lib, ularning rekombinatsiyalashishi natijasida kollektor toki  $\beta$  marta ortib ketadi (2.49-ifoda) va qiyalik koeffitsiyenti katta bo‘lib, tranzistorning to‘yinishi kuzatiladi (1-soha).



2.26-rasm

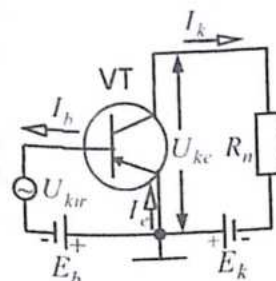
$|U_{ke}| > |U_{be}|$  bo‘lganda manfiy kollektor kuchlanishining ortishi bilan tranzistor aktiv rejimda ishlaydi va xarakteristikaning qiyalik koeffitsiyenti kichrayib, kollektor tokining sekin ortishi kuzatiladi (2-soha). Bunda kollektor o‘tishi kengayadi va baza qatlami torayadi (Erli effekti). Buning natijasida baza toki kamayishi kerak edi. Ammo uning qiymati emitter kuchlanishi orqali o‘zgarmas qilib olinganligi uchun, emitter sohasiga o‘tadigan asosiy zaryad tashuvchilar miqdori ortadi hamda emitter va kollektor toklari ortadi.

Emitter kuchlanishi ( $I_c=0$ ) nolga teng bo‘lganda  $I_b = (1-\alpha)I_c - I_{k0}$  ifodaga ko‘ra bazadan  $I_b = -I_{k0}$  ga teng tok o‘tib turadi (2.24-rasm). Baza toki ( $I_b = 0$ ) nolga teng bo‘lganda esa kollektor sohasidan  $I_{k0}$  - sokinlik tokidan katta tok o‘tib turadi (2.26b-rasm). Kollektor kuchlanishi ortishi bilan emitter

o‘tishning potensial to‘sig‘i qisman kichrayganligi tufayli baza toki ortadi va kollektor toki ham o‘sa boshlaydi (2.49-ifoda) hamda xarakteristika katta kollektor sohasiga suriladi. Demak, aktiv sohada xarakteristikaning har bir holati baza toki bilan belgilanadi.

### 2.6.4 Bipolyar tranzistorning dinamik xarakteristikalari

Tranzistor amaliyotda qo‘llanilganda uning chiqishida o‘zgarmas tok manbai bilan birgalikda nagruzka qarshiligi, kirishiga esa kuchaytiriladigan signal manbai ulanadi. Tranzistorning nagruzka ta’siri ostida ishlashi *dinamik ish rejimi* deyiladi. 2.27-rasmda dinamik ish rejimida UE ulanish sxemasi keltirilgan. Doimiy tok va kuchlanishning qiymatlari tranzistorning o‘zgarmas tok bo‘yicha ish rejimini belgilaydi. Tranzistorning o‘zgarmas tok bo‘yicha ishchi nuqtasi uning volt – amper xarakteristikasidan

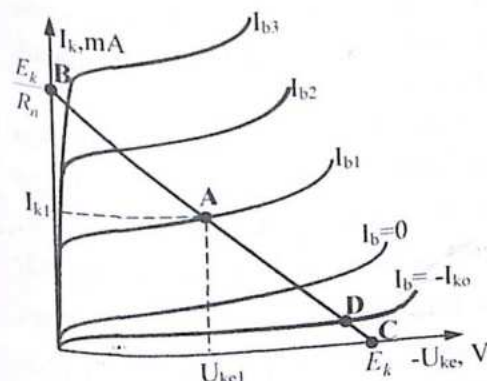


2.27-rasm

aniqlanadi. Bundan tashqari,  $E_k$  manbaning kuchlanishi kollektor-emitter oralig‘i (sxemaning chiqishi) va  $R_n$  nagruzka qarshiligida bo‘linadi:

$$E_k = U_{ke} + I_k R_n \quad (2.56)$$

(2.56) ifoda *chiqish zanjiri uchun dinamik rejim tenglamasi yoki nagruzka chizig‘i tenglamasi* deyiladi. Unga ko‘ra, kirish baza tokining o‘zgarishi hisobiga kollektor toki o‘zgaradi va natijada  $U_{ke} = E_k - I_k R_n$  kollektor-emitter



2.28-rasm

o‘tish kuchlanishi o‘zgaradi. Tranzistorning ishchi nuqtasini aniqlash uchun uning statik chiqish xarakteristikasi va (2.56) ifodadan foydalaniladi. Bu xarakteristika 2.28-rasmda keltirilgan. Unda A – ishchi nuqta hisoblanadi. BC – nagruzka chizig‘i quyidigicha aniqlanadi:

B nuqta: nagruzka chizig‘i  $U_{ke} = 0$  bo‘lganda (qisqa tutashuv)

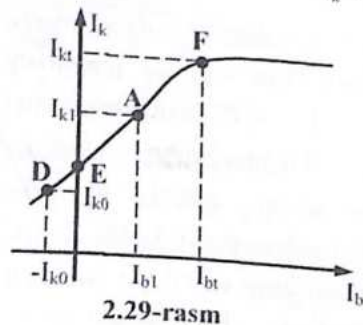
kollektor tokining  $I_k = \frac{E_k}{R_n}$  ga teng qiymatida  $I_k$  o'qni kesib o'tishidan; C nuqta: nagruzka chizig'i  $I_k = 0$  bo'lganda  $U_{ke} = E_k$  nuqtada  $U_{ke}$  o'qni kesib o'tishidan hosil qilinadi.

Tranzistorning va kollektor manbai imkoniyatlaridan to'g'ri foydalanilganda ishchi nuqta (A nuqta) nagruzka chizig'ining o'rtasida yotadi. Bu holda  $E_k$  manbaning kuchlanishi nagruzka va tranzistorga teng taqsimlanadi:  $U_{ke1} \approx U_R$ . Tashqi signal bo'lmaganda (sokinlik ish rejimi) baza-emitter kuchlanishi A ishchi nuqtaning o'rnini belgilovchi  $I_{b1}$  baza toki kirish statik xarakteristikalaridan aniqlanadi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, tranzistorning kirish dinamik xarakteristikasi uning statik xarakteristikasi bilan to'liq mos kelmasligi mumkin, chunki ular nafaqat tranzistorning xususiyatlarini, balki uning sxemasi elementlarining xususiyatlarini o'zida jam etadi.

Tranzistorning tok bilan boshqariluvchi qurilma ekanligi yuqorida aytilgan edi. Uning bu xususiyatini *tok bo'yicha dinamik uzatish xarakteristikasi* aniqlaydi va u umumiy emitterli ulanish sxemasi uchun quyidagiga teng:

$$I_k = f(I_b) \Big|_{E_k, R_n = \text{const}} \quad (2.57)$$



Bu bog'lanish dinamik chiqish xarakteristikasidagi (2.28-rasm) mos qiymatlarni yangi  $I_k = f(I_b)$  bog'lanishning koordinata o'qlari bo'yicha qayta joylashtirib chiqish orqali yasaladi (2.29-rasm).

Undagi D nuqta uzilish ish rejimiga to'g'ri keladi va bunda  $I_b = -I_{k0}$ ,  $I_k = I_{k0}$  ga teng bo'ladi. E nuqta esa bazaning uzilishiga to'g'ri keladi, ya'ni  $I_b = 0$ ,  $I_k = (\beta + 1)I_{k0}$ . EAF soha aktiv ishchi soha deyiladi. F nuqta to'yinish sohasining chegaraviy qiymatiga mos keladi, ya'ni  $I_b = I_{bt}$ ,  $I_k = I_{kt}$ . Baza tokining to'yinish qiymatidan oshishi ( $I_b > I_{bt}$ ) bilan tranzistor boshqariluvchanlik qobiliyatini yo'qotadi. Bunda kollektor toki maksimal

qiymatga erishib ( $I_{k \max} = I_{kt}$ ), to'yinadi va boshqa ortmaydi. Bu tokning qiymati kollektor kuchlanishi va nagruzka qarshiligi orqali aniqlanadi:

$$I_{kt} = \frac{E_k - U_{ke1}}{R_n} \approx \frac{E_k}{R_n} \quad (2.58)$$

bu yerda  $I_{kt}$  - kollektorni to'yinish toki,  $R_n$  - nagruzka qarshiligi,  $E_k$  - kollektor manbai. Ushbu holatda kollektor sohasining kichik qiymatlarida, ya'ni to'yinishga o'tish kollektor toki ortishi hisobiga nagruzka qarshiligida kuchlanish ortishi hisobiga bo'ladi

Tranzistorning kirishiga signal manbasining ulanishi bilan boshqaruvchi baza toki bu signalga mos holda o'zgaradi va ma'lum bir doimiy tok rejimi uchun uzatish xarakteristikasi kollektor tokining o'zgarish qonuniyatini belgilaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, UE ulanish sxemasi kirish va chiqish signallari orasidagi faza farqini  $180^\circ$  ga o'zgartiradi.

### 2.6.5 Bipolyar tranzistorlarning kuchaytirish xususiyatlari

Bipolyar tranzistorlar kirishdan berilgan signalni kuchaytirish xususiyatiga ega. Odatda signal kuchaytirish deganda uning quvvatini oshirish tushuniladi. Signal quvvatini kuchaytirish, yo tokni, yo kuchlanish, yoki tok hamda kuchlanishni bir vaqtda kuchaytirishdan iboratdir. Ulanish sxemasiga qarab bipolyar tranzistor yo tokni, yo kuchlanishni yoki har ikkalasini kuchaytiradi. Ulanish sxemasidan qat'i nazar quyidagi kattaliklar hisoblab topiladi:

1. Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti u chiqish tokining o'zgargangan qiymatini kirish tokining o'zgargan qiymatiga nisbati ko'rinishida aniqlanadi.

$$K_I = \frac{\Delta I_{chq}}{\Delta I_{kr}} \quad (2.59)$$

2. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti. U chiqish kuchlanishining o'zgarishini kirish kuchlanishining o'zgarishiga nisbati ko'rinishida aniqlanadi.

$$K_U = \frac{\Delta U_{chq}}{\Delta U_{kr}} \quad (2.60)$$

3. Quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti. Uni tok va kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari ko'paytmasi ko'rinishida aniqlanishi mumkin.

$$K_p = K_I \cdot K_U \quad (2.61)$$

4. Kirish qarshiligi. U kirish kuchlanishi o'zgarishining kirish toki o'zgarishiga nisbati ko'rinishida aniqlanadi.

$$R_{kr} = \frac{\Delta U_{kr}}{\Delta I_{kr}} \quad (2.62)$$

Bu to'rtala parametr qiymatlari tranzistorning ulanish sxemasiga bog'liq bo'ladi.

*Umumiy bazali ulanishda sxemasida:*

$$\begin{aligned} K_I &= \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} = \alpha \\ K_U &= \frac{\Delta I_k \cdot R_N}{\Delta I_e R_{kr}} = \alpha \cdot \frac{R_N}{R_{kr}} \\ K_p &= \alpha^2 \frac{R_N}{R_{kr}} \end{aligned} \quad (2.63)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $\alpha$  umumiy bazali ulanishda tok bo'yicha differensial kuchaytirish koeffitsiyenti.

*Umumiy emitterli ulanish sxemasi uchun:*

$$\begin{aligned} K_I &= \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \beta \\ K_U &= \frac{\Delta I_k R_N}{\Delta I_b R_{kr}} = \beta \frac{R_N}{R_{kr}} \\ K_p &= \beta^2 \frac{R_N}{R_{kr}} \end{aligned} \quad (2.64)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $\beta$  umumiy emitterli ulanishda tok bo'yicha differensial kuchaytirish koeffitsiyenti.

*Umumiy kollektorli ulanish sxemasida*

$$\begin{aligned} K_I &= \frac{\Delta I_e}{\Delta I_b} = \frac{\Delta I_k + I_b}{I_b} = \beta + 1 \\ K_U &= \frac{\Delta I_e R_N}{\Delta I_b R_{kr}} = (\beta + 1) \frac{R_N}{R_{kr}} \\ K_p &= (\beta + 1)^2 \frac{R_N}{R_{kr}} \end{aligned} \quad (2.65)$$

ga teng bo'ladi.

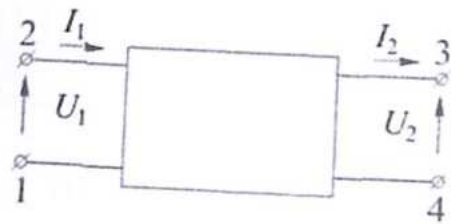
Keltirilgan formulalardan tok, kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari ulanish sxemalari va ularga mos kirish qarshiliklariga bog'liq ekanligi ko'rinib turibdi.

### 2.6.6 Bipolyar tranzistorning fizik parametrlari

Tranzistorning parametrlari juda ko'p va ular uning turli xususiyatlarini belgilaydi. Masalan: tok bo'yicha  $\alpha$  va  $\beta$  koeffitsiyentlar statik parametrlar hisoblanadi, chunki ular o'zgarmas toklar nisbatini ifodalaydi. Ulardan tashqari tok o'zgarishlari nisbati bilan ifodalanadigan differensial kuchaytirish koeffitsiyentlari ham keng qo'llaniladi. Statik va differensial kuchaytirish koeffitsiyentlari bir-biridan farq qiladi, shu sababli talab qilingan hollarda ular ajratiladi. UE sxemasi uchun tok bo'yicha differensial kuchaytirish koeffitsiyenti  $\beta = \frac{dI_k}{dI_b}$  ifoda orqali aniqlanadi va u temperaturaga bog'liq

bo'lib, baza sohasidagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqtiga bog'liqligi bilan tushuntiriladi. Temperatura ortishi bilan rekombinatsiya jarayonlari sekinlashishi sababli, tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining ortishi kuzatiladi. Tranzistor xarakteristikalarining temperaturaviy barqaror emasligi asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Yuqorida ko'rib o'tilgan tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentidan tashqari, fizik parametrlarga o'tishlarning differensial qarshiliklari (2.43-2.44 ifodalar), sohalarning hajmiy qarshiliklari, kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffitsiyentlari va o'tish hajmlari kiradi.

Elektron qurilmalar yetarlicha murakkab bo'lib, unidagi fizik jarayonlarni Kirxgof qonunlari yordamida o'rganish ko'p vaqt talab qiladi. Biroq, aksariyat holda to'rtqutbli sistemaning barcha elementlaridan o'tuvchi tok kuchi yoki kuchlanish tushuvini bilish shart emas, ularni kirish yoki



2.30-rasm

chiqish zanjirida aniqlashning o'zi yetarli hisoblanadi (ya'ni 2.30-rasmdagi 1-2 yoki 3-4 nuqtalar orasida). 2.30-rasmda to'rtqutbli keltirilgan bo'lib, ko'rsatkichlar orqali tok yo'nalishi va kuchlanish ortishi belgilangan.

Ba'zan kirish zanjiridagi  $U_1$  kuchlanish va  $I_1$  ma'lum bo'lsa chiqish zanjiridagi kattaliklar, ya'ni  $U_2, I_2$  ni aniqlash talab qilinadi. Ba'zan esa aksincha,  $U_2, I_2$  kattaliklar berilgan holda kirish zanjiridagi  $I_1, U_1$  aniqlanadi.

Ma'lumki, ikkita noma'lumni topish uchun ikkita tenglama zarur bo'ladi. Umumiy holda quyidagi munosabatlarni yozish mumkin:

$$\dot{U}_1 = \dot{Z}_{11} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{12} \dot{I}_2, \quad \dot{U}_2 = \dot{Z}_{21} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{22} \dot{I}_2 \quad (2.66)$$

yoki

$$\dot{I}_1 = \dot{Y}_{11} \dot{U}_1 + \dot{Y}_{12} \dot{U}_2, \quad \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21} \dot{U}_1 + \dot{Y}_{22} \dot{U}_2 \quad (2.67)$$

yoki

$$\dot{U}_1 = h_{11} \dot{I}_1 + h_{12} \dot{U}_2, \quad \dot{I}_1 = h_{21} \dot{I}_1 + h_{22} \dot{U}_2 \quad (2.68)$$

yoki  $h$ -

$$\dot{U}_1 = \dot{A}_{11} \dot{U}_1 + \dot{A}_{12} \dot{I}_2, \quad \dot{I}_1 = \dot{A}_{21} \dot{U}_2 + \dot{A}_{22} \dot{I}_2. \quad (2.69)$$

(2.66)-(2.69) tenglamalar sistemasi to'rtqutblining mos holdagi  $Z$ -,  $Y$ -,  $h$ -,  $A$ -parametrlari deyiladi. Ular ma'lum bir o'lchamga ega bo'ladi:  $Z$ -parametrlari qarshilik o'lchamiga,  $Y$ -parametrlar o'tkazuvchanlik,  $h$ - va  $A$ -parametrlar esa aralash kattaliklarga ega. To'rt qutblini to'liq xarakteristikasi uchun ushbu to'rtta parametrdan bittasini aniqlash yetarli hisoblanadi.

Kirish signalining yetarlicha kichik qiymatida va aktiv ish rejimi uchun bipolyar tranzistorning chiziqli to'rtqutbli ko'rinishida ifodalash mumkin. 2.30 - rasmda to'rt qutbli sistemaning UE ulanish sxemasi uchun quyidagicha ifodalash mumkin:  $I_1 = I_b, I_2 = I_k, U_1 = U_{be}, U_2 = U_{ke}$ . Bunda tranzistor kuchaytirish xususiyatiga ega bo'ladi. Umumiy holda tranzistor *aktiv nochiziqli element* hisoblanadi. U  $I_b, I_k, U_{be}, U_{ke}$  kabi doimiy tok va kuchlanishlarning o'zaro bog'lanishini ifodalovchi nochiziqli kirish va chiqish

statik xarakteristikalari orqali ifodalanadi. Ularning ixtiyoriy ikkitasini bilish orqali qolganlarini topish mumkin. Doimiy tok va kuchlanishdan tashqari zanjirda kichik tashqi signal ham bo'lishi mumkin hamda uning ta'siri ostida tranzistorning ishchi aktiv sohasida volt-amper xarakteristika deyarli o'zgarimas (chiziqli) hisoblanadi. Ayni shu kichik signallar holida tranzistor *aktiv chiziqli element* hisoblanadi va u maxsus parametrlar orqali ifodalanadi.

To'rt qutbli sistemaning (UE asosida ulangan tranzistorning) VAX ifodalovchi chiziqli tenglamalarini ko'raylik:

$$U_{be} = f_1(I_b, U_{ke}) - \text{kirish VAX} \quad (2.70)$$

$$I_k = f_2(U_{ke}, I_b) - \text{chiqish VAX}$$

Birinchi xarakteristikada  $I_b$  erkin o'zgaruvchi kattalik (argument),  $U_{ke}$  - esa xarakteristikani belgilovchi kattalik. Chiqish xarakteristikasida esa  $U_{ke}$  - erkin o'zgaruvchi (argument),  $I_b$  - xarakteristikani belgilovchi kattalik hisoblanadi. (2.70) ifodani  $I_b$  va  $U_{ke}$  erkin o'zgaruvchilar bo'yicha differensiallab quyidagini hosil qilamiz:

$$dU_{be} = \frac{\partial U_{be}}{\partial I_b} dI_b + \frac{\partial U_{be}}{\partial U_{ke}} dU_{ke} \quad (a) \quad (2.71)$$

$$dI_k = \frac{\partial I_k}{\partial I_b} dI_b + \frac{\partial I_k}{\partial U_{ke}} dU_{ke} \quad (b)$$

Bu holda kirish toki va chiqish kuchlanishi o'zgarishi tranzistorning  $h$  - parametrlari orqali ifodalanadi:

$$\Delta U_{be} = h_{11} \Delta I_b + h_{12} \Delta U_{ke} \quad (a) \quad (2.72)$$

$$\Delta I_k = h_{21} \Delta I_b + h_{22} \Delta U_{ke} \quad (b)$$

bu yerda:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} - \Delta U_{ke} = \text{const} \text{ bo'lganda tranzistorning kirish dinamik qarshiligi;}$$

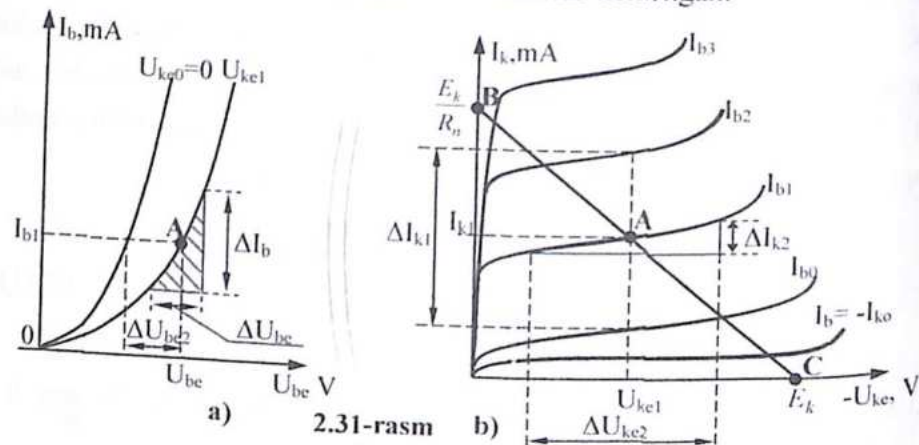
$$h_{12} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{ke}} - \Delta I_b = \text{const} \text{ bo'lganda tranzistorning kuchlanish bo'yicha}$$

ichki teskari bog'lanish koeffitsiyenti;

$h_{21} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} - \Delta U_{ke} = const$  bo'lganda tranzistorning tokni to'g'ri uzatish koeffitsiyenti (tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti):

$h_{22} = \frac{\Delta I_k}{\Delta U_{ke}} - \Delta I_b = const$  bo'lganda tranzistorning chiqish dinamik o'tkazuvchanligi deyiladi.

Shunday qilib, chiziqli ish rejimida tranzistor to'rtta  $h$  - parametrlar orqali aniqlanadi. Bu parametrlar past chastotalar sohasida eksperimental jihatidan oson o'lchanadi. Shuningdek, ularni tranzistorning volt-ampere xarakteristikalaridan ham topsa bo'ladi. UE ulanish sxemasi uchun  $h$  - parametrlarni hisoblash metodikasi 2.31-rasmda keltirilgan.



2.31-rasm

Chiqish VAX da nagruzka chizig'i (BC) chiziladi va unda koordinatasi  $I_{k1}$ ,  $U_{ke1}$  bo'lgan A ishchi nuqta ko'rsatiladi (2.31b - rasm). Bu nuqta orqali  $I_{b1}$  - baza tokiga mos chiqish xarakteristikasi o'tadi. Keyin bu ishchi nuqta kirish xarakteristikasiga o'tkaziladi va bunda uning koordinatasi  $A(I_{b1}, U_{be1})$  bo'ladi (2.31a - rasm). A nuqta tranzistorning o'zgaras tok bo'yicha ish rejimini belgilaydi.

$h_{11}$  va  $h_{12}$  parametrlar kirish xarakteristikasidan aniqlanadi (2.31a - rasm). Ishchi soha deb xarakteristikaning to'g'ri chiziqli qismi olinganligi uchun, kollektor kuchlanishining deyarli o'zgaras qiymatlarida  $\Delta I_{b1}$  - kirish toki va  $\Delta U_{be1}$  - kirish kuchlanishining o'zgarishidan dinamik qarshilik hisoblanadi (2.31a - rasmdagi uchburchakli soha):

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{be1}}{\Delta I_{b1}} \quad (2.73)$$

$h_{12}$  - teskari bog'lanish parametri esa  $I_{b1}$  - baza toki o'zgaras bo'lganda  $\Delta U_{ke} = U_{ke1} - U_{ke0}$  kollektor kuchlanishi farqiga mos  $\Delta U_{be2}$  baza kuchlanishi o'zgarishidan hisoblanadi:

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{be2}}{\Delta U_{ke}} = \frac{\Delta U_{be2}}{U_{ke1} - U_{ke0}} \quad (2.74)$$

$h_{21}$  va  $h_{22}$  parametrlar yuqoridagi yondashuvlar asosida chiqish xarakteristikasidan topiladi (13b - rasm).

$$h_{21} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \frac{\Delta I_{k1}}{I_{b2} - I_{b0}} \quad (2.75)$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_k}{\Delta U_{ke}} = \frac{\Delta I_{k2}}{\Delta U_{ke2}} \quad (2.76)$$

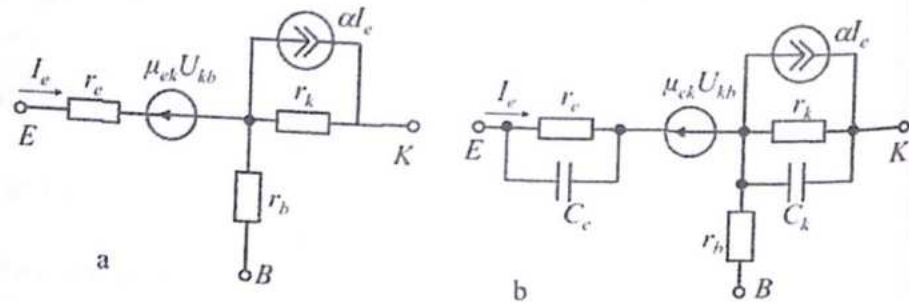
Ko'rinadiki,  $h$  - parametrlarning qiymatlari tranzistorning o'zgaras tok bo'yicha ish rejimiga, ulanish sxemasiga va signal chastotasi kabi kattaliklarga bog'liq. Signalning amplitudasi va chastotasi ortishi bilan  $h$  - parametrlarni aniqlash va o'lchash qiyinlasha boshlaydi. Chunki bu holda u kompleks ko'rinishda hisoblanishi shart. Shuning uchun bunda tranzistorning boshqa parametrlari hisoblanadi.

### 2.6.7 Tranzistorning ekvivalent sxemalari

Yuqorida keltirilgan grafik usuli yetarlicha murakkab, aniqligi yuqori emas, analitik tahlil qilish imkoniyatini bermaydi, faqatgina ishchi nuqtaning o'rnini ko'rsatish uchun qo'llaniladi. Analitik hisoblashlar faqat tok va kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari uchun amalga oshiriladi. Bu holda tranzistor chiziqli passiv va aktiv elementlardan tashkil topgan ekvivalent sxema bilan almashtiriladi. Bu sxema faqat kichik signallar rejimida o'rinli bo'ladi. Kichik signallar rejimi deganda tranzistorga berilayotgan o'zgaruvchan kuchlanish yoki tok qiymati undagi doimiy tashkil etuvchi tok yoki kuchlanish qiymatidan kichik bo'lgan hol tushuniladi. Bunda tok va kuchlanish o'rtasidagi bog'lanishlarni chiziqli deb qarasa bo'ladi.

Odatda tranzistorning ikki ko'rinishdagi ekvivalent sxemasi mavjud: fizikaviy – tranzistoridagi jarayonlarni aks ettiruvchi, rasman (formal) – tranzistor to'rt qutbli sistema sifatida namoyon bo'lishi.

Fizik ekvivalent sxema o'zgaruvchan kuchlanish va tok uchun tuziladi, biroq bunda emitter o'tish to'g'ri ulanishda, kollektor o'tish esa teskari ulanishda bo'lishi, signalning amplitudasi esa shunday qiymatni qabul qilish kerakki, tranzistor chiziqli rejimda ishlashi shart. Amaliyotda ko'pincha 2.32-rasmda keltirilgan T-simon ekvivalent sxemadan foydalaniladi.



2.32-rasm. Umumiy bazali ulanishdagi bipolyar tranzistorning past chastotalar sohasi (a) va yuqori chastotalar (b) sohasi uchun T-simon ekvivalent sxemalari

Yuqori chastotalar sohasida tranzistorning o'tishlaridagi sig'implar alohida rol o'ynadi va tranzistorning ishlashiga ta'sir ko'rsatadi. Shuningdek, baza sohasidagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning bazadan o'tish vaqti uncha katta bo'lmagan chastotali tebranishlarning davri bilan solishtirganda sezilarli darajada bo'ladi. Shuning uchun bipolyar tranzistorlarda chastotaning ikkita ta'siri: sig'im ta'siri va tranzistorning xususiyatning o'zgarishi ham hisobgan olinadi.

UB ulanish sxemasida (2.32a-rasm):

$r_e$  - to'g'ri ulashda emitter o'tishning differensial qarshiligi (2.43).

Odatda u bir necha o'n Om qiymatni qabul qiladi. Shuningdek, u emitter tokining doimiy tashkil etuvchisiga bog'liq bo'ladi.

$r_k$  - teskari ulashda kollektor o'tishning differensial qarshiligi (2.44).

Odatda u bir necha yuz kOm qiymatni qabul qiladi.

$r_b$  - baza sohasining hajmiy qarshiligi. U emitter o'tish bilan chegaralangan baza qatlamidan baza toki o'tishi yo'nalishida aniqlanadi. Baza juda kam aralashmali qilib tayyorlanganligi uchun, odatda uning qiymati bir necha yuz OM bo'ladi.

$\alpha$  - UB ulanish sxemasida tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti (2.47).

$C_e$  - emitter o'tish sig'imi, diffuzion xarakterga ega. Odatda uning ta'sirini sxemalarda hisobga olishmaydi, sababi u juda kichik  $r_e$  qarshilik bilan shuntlangan.

$C_k$  - kollektor o'tish sig'imi, to'siq sig'imi hisoblanadi. U tranzistorning chastotaviy xususiyatlariga kuchli ta'sir qiladi.

$\alpha I_e$  - tok generatori, kollektor zanjiriga emitterdan qancha tok uzatilganligini ifodalaydi.

T-simon UE ulanish ekvivalent sxemasida ham kattaliklar yuqoridagiga o'xshab belgolanadi.  $r_e$  va  $r_b$  qarshiliklar xuddiki UB sxemadagidek bir xil fizik ma'no va kattalikka ega bo'ladi. Kirish toki baza toki bo'lganligi uchun chiqish zanjiriga  $\beta I_b$  tok manbai ulanadi.

Tranzistorning umumiy ulanish sxemalari uchun boshqa ko'rinishdagi T-simon ekvivalent sxemalar ham mavjud. Ularni hosil qilishda tranzistorning tuzilishi va undagi toklar munosabatlari hisobga olinadi 2.33-rasmda ekvivalent sxemalar keltirilgan.

Tranzistorning emitter, baza va kollektor sohalari qarshiliklari mos holda ularning fizik mohiyatini aks ettiruvchi  $r_1, r_2, r_3$  bilan belgilangan. Elektr yurituvchi kuch generatori kollektor zanjiriga qo'yilgan, sababi kollektor qarshiligi katta bo'lganda uning ham qiymati katta bo'ladi.

2.33a-rasmdagi UB ulanish uchun  $h$ -parametrlarni hisoblaylik. Kirishda salt ulash hamda  $I_1 = I_b = 0$  bo'lganda ekvivalent generatorning EYuKi ham  $E_{ckv} = 0$  ga teng. Natijada  $U_{1xx} = I_2 r_2$  va  $U_{2xx} = I_2 (r_2 + r_3)$  ga teng bo'lib, mos holda

$$h_{12} = \frac{U_{1xx}}{U_{2xx}} = \frac{r_2}{r_2 + r_3}, \quad h_{22} = \frac{I_{2xx}}{U_{2xx}} = -\frac{1}{r_2 + r_3} \quad (2.77)$$

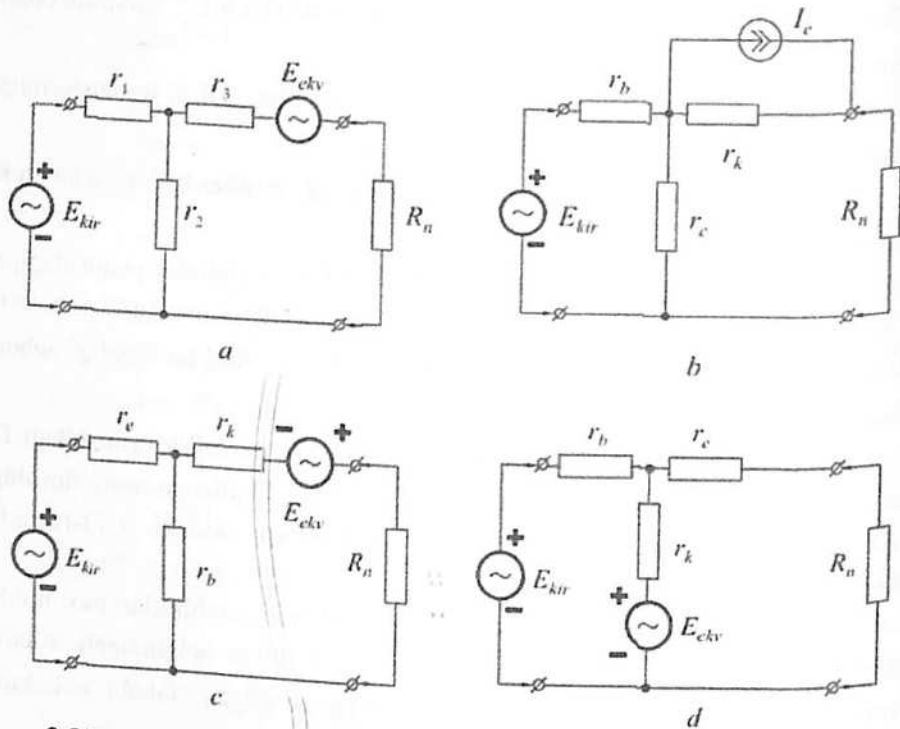
kelib chiqadi. Bu ifodaning ikkinchi hadidagi minus ishorasi  $I_2$  tok yo'nalishi teskari ekanligini bildiradi.

Qisqa tutashuv ( $qt$ ) holda  $U_2 = 0$  bo'lib, quyidagilar o'rinli

$$E_{kir} - r_1 I_1 - r_2 (I_1 - I_2) = 0, \quad E_{ekv} - r_3 I_2 - r_2 (I_1 - I_2) = 0 \quad (2.78)$$

Biroq  $I_1$  va  $I_2$  toklar tranzistorning ishlash prinsipi asosiga ko'ra quyidagi ifoda orqali bog'langan:  $I_2 = -\beta I_1$ . Mos holda qo'yidagilar o'rinli:

$$E_{kir} = I_1 [R_1 + (\beta + 1)R_2] \text{ yoki } E_{ekv} = -I_1 [\beta R_3 + (\beta + 1)R_2] \quad (2.79)$$



2.33-rasm. Bipolyar tranzistorning ekvivalent sxemalari:  $a, b$  – umumiy emitterli,  $c$  – umumiy bazali,  $d$  – umumiy kollektorli

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda  $h_{11}$  va  $h_{21}$  uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$h_{11} = \frac{U_{1qt}}{I_{1qt}} = r_1 + (\beta + 1)r_2, \quad h_{21} = \frac{I_{2qt}}{I_{1qt}} = -\beta \quad (2.80)$$

$r_1 = r_b, r_2 = r_c, r_3 = r_k$  ekanligini hisobga olsak, 2.33a-rasmdagi sxemadagi ekvivalent generator EYuKi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$E_{ekv} = -I_1 [\beta r_k + (\beta + 1)r_c] \quad (2.81)$$

Odatda bipolyar tranzistor uchun  $r_k \gg r_c$  ekanligini hisobga olsak, u holda

$$E_{ekv} = -\beta r_k I_1 \quad (2.82)$$

ga tengligi kelib chiqadi.

Zarur bo'lganda EYuK generatorli sxemadan qiyinchiliksiz tok generatorli sxemaga o'tish ham mumkin (2.33b-rasm) va bunda  $I_{ekv} = -\beta I_1$ . 2.33b, c, d – rasmlarda umumiy emitterli, umumiy bazali va umumiy kollektorli ulanish sxemalari uchun mo'ljallangan eng sodda ekvivalent sxemalar keltirilgan. Ana shu ekvivalent sxemalar yordamida uchchala ulanish uchun kirish qarshiliklarini aniqlaymiz.

Umumiy bazali ulanish sxemasida kirish kuchlanishi  $r_c$  va  $r_b$  qarshiliklaridagi kuchlanishning tushuvi yig'indisiga teng. Bu paytda ulardan mos ravishda  $I_c$  va  $I_b$  toklar o'tayotgan bo'ladi:

$$U_{kir} = I_c r_c + I_b r_b = I_c r_c + (I_c - I_k) r_b = I_c r_c + I_c \left(1 - \frac{I_k}{I_c}\right) r_b \quad (2.83)$$

$\frac{I_k}{I_c} = \alpha$  ekanligini hisobga olsak,

$$U_{kir} = I_c r_c + I_c (1 - \alpha) r_b = I_c [r_c + (1 - \alpha) r_b] \quad (2.84)$$

bo'ladi. Bundan

$$R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}} \text{ desak va } I_{kir} = I_c \text{ ekanligini hisobga olsak,} \quad (2.85)$$

$$R_{kir} = [r_c + (1 - \alpha) r_b]$$

ga hosil bo'ladi.

Umumiy emitterli ulanish sxemasi uchun ham kirish kuchlanishi  $r_b$  va  $r_c$  lardagi kuchlanish tushishlari yig'indisiga teng:

$$U_{kir} = I_c r_c + I_b r_b \quad (2.86)$$

bundan  $R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}}$  bo'ladi, bu yerda  $I_{kir} = I_b$  bo'lgani uchun

$$R_{kir} = \frac{I_c r_c + I_b r_b}{I_b} = \frac{I_c}{I_b} r_c + r_b \quad (2.87)$$

ga teng bo'ladi.

Agar  $\frac{I_c}{I_b} = \beta + 1$  ekanligini hisobga olsak, (2.87) ifoda

$$R_{kr} = (\beta + 1)r_c + r_b \quad (2.88)$$

ko'rinishga o'tadi.

Umumiy kollektorli ulanish sxemasi uchun

$$U_{kr} = I_b r_b + I_c (r_c + R_n) \quad (2.89)$$

bo'ladi.

Undan

$$R_{kr} = \frac{I_b r_b + I_c (r_c + R_n)}{I_b} = r_b + (\beta + 1)(r_c + R_n) \quad (2.90)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Bu kirish qarshiliklari qiymatlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, umumiy bazali ulanishda kirish qarshiligi chiqish qarshiligidan kichik. Shuning uchun bunday ulanish kuchlanishni kuchaytirish xususiyatiga ega bo'ladi. Umumiy emitterli ulanishda kirish qarshiligi chiqish qarshiligi tartibida bo'lgani sababli, u ham kuchlanish ham tokni kuchaytirish xususiyatiga ega. Umumiy kollektorli ulanishda kirish qarshiligi chiqish qarshiligidan katta. Shuning uchun u faqat tokni kuchaytirish xususiyatiga ega bo'ladi. Demak, quvvat bo'yicha eng katta kuchaytirishni umumiy emitterli ulanishda amalga oshirish mumkin bo'lar ekan.

Yuqoridagi ifodalarda olingan  $h$ -parametrlarni tranzistorning fizik parametrlarini ifodalash uchun ishlatamiz:

$$\begin{aligned} r_c &= h_{11} - (1 - h_{21})h_{12}/h_{22} \\ r_b &= h_{12}/h_{22} \\ r_k &= 1/h_{22} \\ \alpha &= h_{21} \end{aligned} \quad (2.91)$$

## 2.7 Maydonli tranzistorlar

Amaliyotda ishlashi ikki xil zaryad tashuvchilardan foydalanishga asoslangan bipolyar tranzistorlar bilan bir qatorda *maydonli (unipolyar) tranzistorlardan* ham keng foydalanilmoqda. Bipolyar tranzistorlardan farqli ravishda maydonli tranzistorlarning ishlashida faqat bir turdagi zaryad tashuvchilar, ya'ni yo kovaklar yoki elektronlar ishtirok etadi. Bu kabi

tranzistorlarda injeksiya yoki diffuziya hodisasi deyarli kuzatilmaydi yoki bor bo'lsa ham, umumiy jarayonga ta'sir qilmaydi. Zaryad tashuvchilarning harakatlanish mexanizmi ularning elektr maydondagi dreyfiga asoslangan. Demak, bu turdagi tranzistorlarda yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligiga ko'ndalang elektr maydoni ta'sir etish effektidan foydalaniladi. Shuning uchun bunday tranzistorlar *maydonli tranzistorlar* nomi bilan kiritiladi.

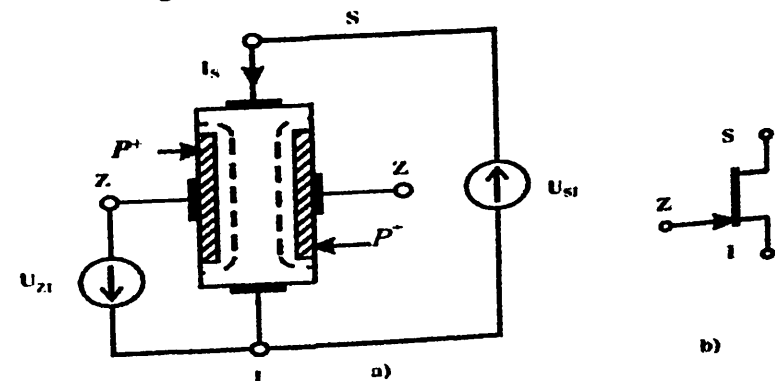
Maydonli tranzistorlarning ikki xil turi mavjud:

- 1) boshqariluvchi  $p-n$ - o'tishi maydonli tranzistorlar;
- 2) zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar

### 2.7.1 Boshqariluvchi $p-n$ - o'tishli maydonli tranzistorlar

Boshqariluvchi  $p-n$ -o'tishli maydonli tranzistorlarning asosi  $n$ - yoki  $p$ - turdagi yarimo'tkazgich materialdan iborat bo'ladi. Agar yarimo'tkazgichli material  $p$ -turli bo'lsa, unda  $n$ -turli soha,  $n$ -turli asosda esa  $p$ -turdagi soha hosil qilinadi.

Maydonli tranzistor uchta elektrodga ega bo'lib, asosiy zaryad tashuvchilar oqib kiradigan elektrod – *istok* (I-oqim boshi, inglizcha *Source*), asosiy zaryad tashuvchilar chiqadigan elektrod – *stok* (S-oqimning *Source*), asosiy zaryad tashuvchilar chiqadigan elektrod – *stok* (S-oqimning chiqishi, inglizcha *D-Drain*), qarama-qarshi o'tkazuvchanlik sohasiga ulangan va boshqaruvchi elektrod – *zatvor* (Z, inglizcha *G-Gate*) deb ataladi. 2.34-rasmda  $n$ -asosli boshqariluvchi  $p-n$ - o'tishli maydonli tranzistor (a) va uning sxematik belgilanishi (b) keltirilgan.

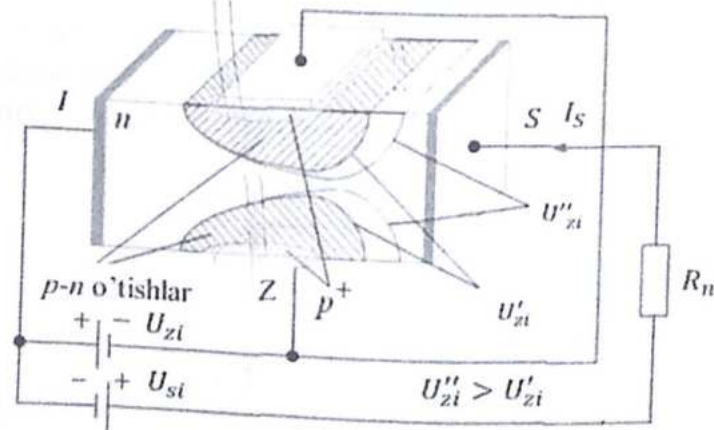


2.34-rasm

Yarimo'tkazgichli plastinkaning istok va stok oralig'i tranzistorning *aktiv qismi* hisoblanib, undan ishchi tok oqadi va *kanal* deb ataladi. Asosiy zaryad tashuvchilar kanal orqali oqib o'tib, *chiqish toki* (ishchi tok)ni hosil qiladi. Kanal va zatvor oralig'ida yassi *p-n*-o'tish hosil bo'ladi (2-rasm).

Boshqariluvchi *p-n* o'tishli maydonli tranzistorning ishlash prinsipi kanalning o'tkazuvchanligini uning ko'ndalang kesimini o'zgartirish orqali boshqarishga asoslangan. Bunda stok va istok oralig'iga shunday ishorali kuchlanish qo'yiladiki, asosiy zaryad tashuvchilar (*p*-asoslida elektronlar) istokdan stokka qarab harakatlansin, ya'ni istokka manfiy va stokka musbat.

Zatvor va istok oralig'iga *p-n*-o'tishni yopuvchi manfiy boshqaruvchi  $U_{zi}$  qo'yilgan. Bu kuchlanish qancha katta bo'lsa ( $U_{zi} > U_{zi}'$ ), yopuvchi qatlam kengligi ortadi va kanal torayadi (2.35-rasm). Kanalning ko'ndalang kesimi kamayishi bilan uning qarshiligi ortadi, unda harakatlanayotgan hajmiy zaryad tashuvchilar miqdori kamayib, stok-istok zanjiridagi tok kamayadi. Aksincha  $U_{zi}$  nol yoki musbat qiymatga ega bo'lsa, u holda kanal qarshiligi kamayib, istok-stok sohasidagi stok toki ortadi. Demak, zatvorga berilayotgan  $U_{zi}$ -kuchlanish orqali kanal qarshiligini o'zgartirib *stok tokini boshqarish* mumkin ekan.



2.35-rasm

$U_{zi}$ -kuchlanishning ma'lum bir qiymatida *p-n* o'tish to'siq qatlami kanalni butunlay yopib quyadi va stok toki minimal qiymatgacha kamayadi ( $I_s \rightarrow 0$ ). Bu zatvor-istokning bu kuchlanishi *uzilish kuchlanishi* deyiladi va

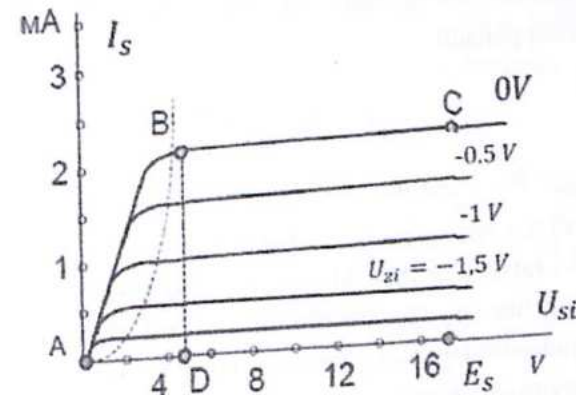
$U_{uzil}$  bilan belgilanadi. Kanali *n*- turda bo'lgan maydonli tranzistorda uzilish kuchlanishi  $U_{uzil} < 0$ , *p*-tur kanallida esa  $U_{uzil} > 0$  qiymatlarni qabul qiladi.

Bundan tashqari, chiqish tokini istok va stok orasidagi kuchlanishni o'zgartirish orqali ham boshqarish mumkin. Masalan, asos *n*-turdagi yarimo'tkazgichdan tashkil topgan bo'lsa, stok istokka nisbatan musbat potensialga ega bo'ladi. Natijada kanal bo'ylab asosiy zaryad tashuvchilar istokdan stokka qarab oqa boshlaydi. Aksincha, asos *p*-turli bo'lsa, stokka istokka nisbatan manfiy potensial beriladi.

Maydonli tranzistorning volt amper xarakteristikasini ko'rib chiqaylik. Maydonli tranzistorda kirish toki bo'lmaganligi uchun kirish xarakteristikalari ham bo'lmaydi.

Boshqariluvchi *p-n*-o'tishli *p*-kanalli maydonli tranzistorning chiqish xarakteristikalari 2.36-rasmda keltirilgan. U quyidagi funksiya orqali ifodalanadi:

$$I_s = f(U_{si})|_{U_{zi} = \text{const}} \quad (2.92)$$



2.36-rasm

Xarakteristikadan uchta sohani ajratib olish mumkin: uzilish (A nuqta), chiziqli (AB-soha) va to'yinish (VS-soha) sohalari.

Uzilish sohasida  $U_{zi} \leq U_{uzil}$ ,  $I_s = 0$  shart bajarilib, stok toki nolga teng bo'ladi.

Chiziqli sohada  $U_{uzil} \leq U_{zi} \leq 0, U_{zi} \leq U_{uzil} - U_{zi}$  shart bajariladi va qiyaligi  $U_{zi}$ -kuchlanishning qiymatiga bog'liq bo'lgan stok toki hosil bo'ladi. Kanal qarshiligining eng kichik qiymatiga  $U_{zi} = 0$  bo'lganda erishiladi (B-nuqta) va bunda kanalning o'tkazuvchi qismi eng katta bo'ladi. Shunday qilib, maydonli tranzistorni chiziqli sohada qarshiligi zatvor kuchlanishi bilan boshqariluvchi rezistor sifatida qo'llash mumkin.

To'yinish sohasida (BS-soha) chiqish xarakteristikasi chiziqlari deyarli gorizontall joylashgan bo'lib, bu ushbu sohada  $U_{zi}$  kuchlanishini oshirilishi bilan stok yaqinida kanalni berkitilishi kengayishi va kanal qarshiligi ortishi bilan tushuntiriladi. Stok yaqinida kanal berkitilishi stok toki ta'sirida amalga oshadi. Bunda dinamik muvozanat hosil bo'ladi, ya'ni  $U_{zi}$  va  $I_s$  ortishi kanalning torayishiga va natijada  $I_s$  kamayishiga olib keladi. Shunga ko'ra, stok toki ushbu sohada o'zgarishsiz qoladi. To'yinish sohasi uchun quyidagi shartlar bajariladi:

$$U_{zi} \geq U_{uzil}, U_{zi} \geq U_{zi} - U_{uzil}. \quad (2.93)$$

Bunda zatvor-istok kuchlanishining belgilangan qiymati uchun stok toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_s = I_{sbosh} \left( 1 - \frac{U_{zi}}{U_{uzil}} \right)^2 \quad (2.94)$$

bu yerda  $I_{sbosh}$  - boshlang'ich stok toki.

Maydonli tranzistorning VAX dan quyidagi xulosalar olinishi mumkin:

-stok toki zatvor kuchlanishi nolga teng bo'lganda ham oqadi;

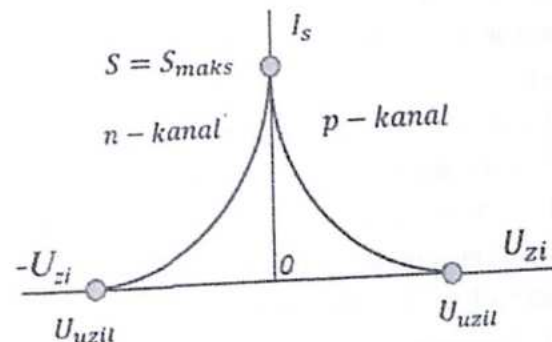
-zatvor kuchlanishi faqat bir ishorali bo'lishi shart (bizni holda manfiy).

Aks holda tranzistordagi  $p-n$ -o'tishdagi kuchlanish to'g'ri ulanishda bo'lib, asosiy bo'lmagan zaryadlarning injeksiyasi kuzatiladi va u maydonli tranzistor bo'lmay qoladi.

Boshqariluvchi  $p-n$ -o'tishli  $p$ -kanalli maydonli tranzistorning to'yinish sohasidagi ishlashini o'tish xarakteristikalari orqali tushuntirish qulay. Maydonli tranzistorning o'tish xarakteristikasi deb istok-stok kuchlanishi o'zgarimas bo'lganda, stok tokining zatvor istok kuchlanishiga bog'lanishiga aytiladi:

$$I_s = f(U_{zi}) \Big|_{U_{uzil} = const} \quad (2.95)$$

O'tish xarakteristikasi 2.37-rasmda keltirilgan.  $U_{zi} = 0$  bo'lganida stok toki eng katta qiymatga erishishi ma'lum. Bu boshlang'ich stok toki  $I_{sbosh}$  deb ataladi. Zatvor-istok kuchlanishining ortishi bilan bu tok qiymati kamayib,  $U_{uzil}$  ga yetganida nolga teng bo'ladi.



2.37-rasm

Maydonli tranzistorda boshqarish zatvor kuchlanishi orqali amalga oshirilganligi sababli, zatvorning boshqaruvchanlik xususiyatini baholash uchun xarakteristikaning qiyaligi tushunchasidan foydalaniladi:

$$S = \frac{dI_s}{dU_{zi}} \Big|_{U_{uzil} = const} \quad (2.96)$$

Xarakteristikaning qiyaligi  $U_{zi} = 0$  bo'lganda o'zining maksimal qiymatiga erishadi.  $U_{zi}$  ning ixtiyoriy qiymatida qiyalik koeffitsiyenti  $S$  ni aniqlash uchun (2.95) ifodani differensiallaymiz:

$$\frac{dI_s}{dU_{zi}} = -\frac{2I_{sbosh}}{U_{uzil}} \left( 1 - \frac{U_{zi}}{U_{uzil}} \right) = \frac{2I_{sbosh}}{|U_{uzil}|} \left( 1 - \frac{U_{zi}}{U_{uzil}} \right) \quad (2.97)$$

$U_{zi} = 0$  bo'lganda (2.97) ifoda quyidagiga teng:

$$\frac{dI_s}{dU_{zi}} = S_{bosh} = \frac{2I_s}{U_{uzil}} \quad (2.98)$$

(2.98) ifodani (2.97) ifodaga qo'yib, qiyalik koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$S = S_{bosh} \left( 1 - \frac{U_{zi}}{U_{uzil}} \right) \quad (2.99)$$

yoki (2.94) ifodani hisobga olsak

$$S = \frac{2I_{s \text{ bosh}}}{|U_{uzil}|} \sqrt{\frac{I_s}{I_{s \text{ bosh}}}} = \frac{2\sqrt{I_s I_{s \text{ bosh}}}}{|U_{uzil}|} \quad (2.99a)$$

Qiyalikning boshlang'ich qiymatini grafik usulda aniqlash mumkin. Buning uchun 2.37-rasmdagi xarakteristikaga  $U_{zi} = 0$  nuqtada urinma o'tkazamiz va u absissa o'qini  $0,5U_{zi}$  sohada kesib o'tadi. Uning qiyaligidan  $S_{bosh}$  aniqlanadi.

Boshqariluvchi  $p-n-o$ 'tishli maydonli tranzistorning qiyalik koeffitsiyenti kichik quvatli qurilmalarda 1-2 mA/V, quvvatli qurilmalarda esa bir necha A/V gacha bo'lishi mumkin. (2.99) ifodadan  $U_{zi} = 0$  bo'lganda qiyalik koeffitsiyenti maksimal qiymatni qabul qilishi, zatvordagi kuchlanish ortishi bilan kamayishi va  $U_{zi} = U_{uzil}$  bo'lganda nolga teng bo'lishi ko'rinadi.

Maydonli tranzistorlarning kuchaytirish xususiyatlari kuchaytirish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi va u quyidagiga teng:

$$\mu = - \left. \frac{dU_{zi}}{dU_{zi}} \right|_{I_s = const} \quad (2.100)$$

bo'lib, qiyalik koeffitsiyenti va maydonli tranzistorning ichki qarshiligi bilan quyidagicha bog'langan:

$$\mu = S \cdot R_{dif} \quad (2.100a)$$

$$R_{dif} = \left. \frac{dU_{zi}}{dI_s} \right|_{U_{zi} = const} \quad \text{-maydonli tranzistorning ichki (chiqish) qarshiligi.}$$

Haqiqatdan ham, stok tokini quyidagi funksiya  $I_s = f(U_{zi}, U_{zi})$  ko'rinishida ifodalasak va uni differensiallab

$$dI_s = \frac{\partial I_s}{\partial U_{zi}} dU_{zi} + \frac{\partial I_s}{\partial U_{zi}} dU_{zi} = \frac{1}{R_{dif}} dU_{zi} + S dU_{zi} \quad (2.101)$$

ifodani hosil qilamiz.

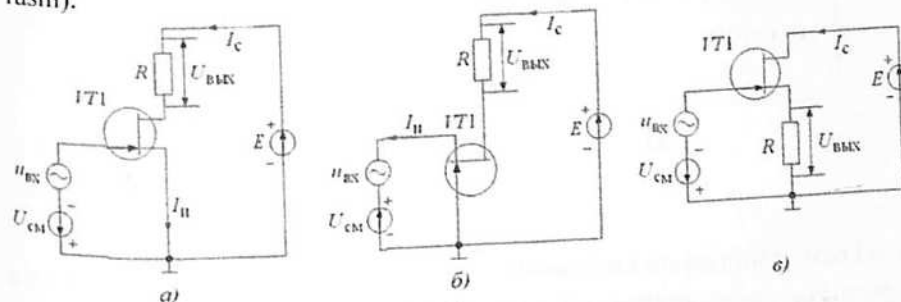
Agar  $U_{zi}$  va  $U_{zi}$  bir vaqtda o'zgarishida  $I_s = const$  bo'lsa, u holda  $dI_s = 0$  (2.101) ifodadan

$$\frac{1}{R_{dif}} dU_{zi} + S dU_{zi} = 0$$

$$\mu = - \frac{dU_{zi}}{dU_{zi}} = S \cdot R_{dif} \quad (2.102)$$

kelib chiqadi.

Maydonli tranzistorlarda ham bipolyar tranzistorga o'xshab uchta ulanish sxemasi mavjud: umumiy istokli, umumiy stokli va umumiy zatvorli (2.38-rasm).



2.38-rasm

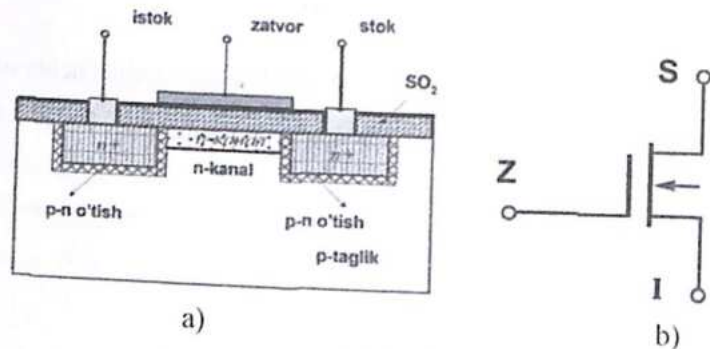
### 2.7.2 Zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar

Maydonli tranzistorlarning takomillashtirish natijasida zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar avlodi yaratildi. Ularda metallardan yasalgan zatvor asos qatlam-kanaldan yupqa dielektrik modda bilan ajratilgan bo'ladi. Shuning uchun bu turdagi maydonli tranzistorlarni MDYa (metal-dielektrik-yarimo'tkazgich yoki MOSFET-metal-oxide-semiconductor field effect transistor) tranzistorlar deb ham ataladi.

Bu tranzistorlarda ko'pincha dielektrik sifatida oksid materiallar (masalan, kremniy oksidi  $\text{SiO}_2$ ) ishlatiladi. Bu holda MOYa (metal-oksidi-yarimo'tkazgich) tranzistorlar deb ham ataladi. Bu turdagi tranzistorlar o'z navbatida ikki turga bo'linadi: kanali hosil qilingan (xususiy kanalli) va kanali induksiyalangan.

**Kanali hosil qilingan MOYa tranzistor.** 2.39-rasmda kanali hosil qilingan zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistor (a) va uning sxematik belgilanishi (b) keltirilgan. Unda taglik sifatida  $p$ -tur yarimo'tkazgichdan foydalanilgan bo'lib, unda istok va stok oralig'ida yupqa  $n$ -kanal hosil qilingan. Metall zatvor yarimo'tkazgich materialdan yupqa (0.002-0.05 mkm)  $\text{SiO}_2$ -kremniy oksidi bilan ajratilgan (izolyatsiyalanagan). Stok va istok

sohalari kanalga nisbatan kuchliroq legirlangan, u sxemada  $n^+$  bilan belgilangan.



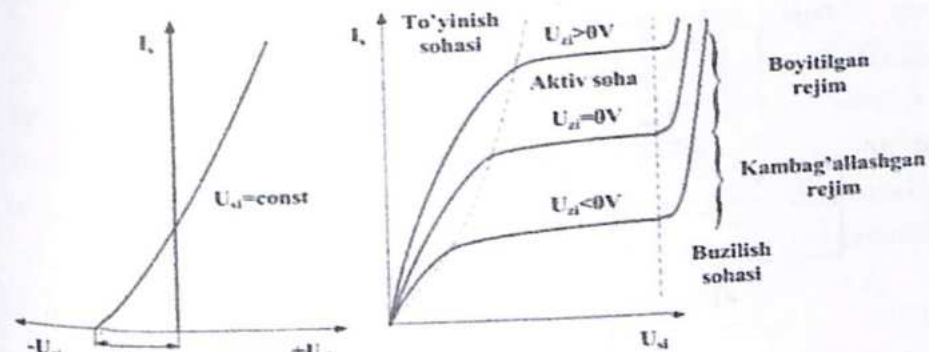
2.39-rasm

Tranzistorda zatvor kuchlanishi nolga teng bo'lib, stokka istokka nisbatan musbat kuchlanish berilsa,  $p$ -kanal orqali elektronlar harakatlanib tok hosil qiladi.

Zatvorga manfiy kuchlanish berilganda, uning metall elektrodi manfiy zaryadlanadi va kanalda ko'ndalang elektr maydoni hosil bo'ladi. Natijada kanalda elektronlar istokka, stokka va  $p$ -taglik hajmiga itarilib, dielektrikning kanalga tutashgan sirtida elektronlarga *kambag'allashgan* qatlam hosil bo'ladi. Kambag'allashgan sohaning kengligi  $U_{zi}$  kuchlanishi qiymatiga bog'liq. MOYA-tranzistorning kanalda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi muvozanat holatidagidan kam bo'ladigan bu ish rejimi *kambag'allashgan rejim* deyiladi.  $U_{zi}$  kuchlanishning ma'lum bir qiymatida kambag'allashgan qatlam kanalni to'liq bekitadi va undan tok o'tishi to'xtaydi. Zatvor-istok kuchlanishining bu qiymati MOYA-tranzistorning *uzilish kuchlanishi* deb ataladi va  $U_{uzil}$  bilan belgilanadi.

Kanali hosil qilingan MOYA-tranzistorda zatvor kuchlanishi nolga teng bo'lganda tok nolga teng bo'lmaydi va u  $I_{sbosh}$  bilan belgilanib, *boshlang'ich tok* deb ataladi.  $U_{zi} > 0$  bo'lganda kanalda elektronlar soni ko'payib, uning o'tkazuvchanligi ortadi. MOYA-tranzistorning bu ish rejimi *boyitilgan ish rejimi* deb ataladi.

$n$ -tur kanali hosil qilingan MOYA-tranzistorning chiqish xarakteristikalarini 2.40-rasmda keltirilgan.



2.40-rasm

Unda ham uchta sohani kuzatish mumkin: to'yinish, aktiv va buzilish sohalari. Dastlab, zatvor va istok orasidagi kuchlanish  $U_{zi} = 0$  bo'lsin (2.40b-rasm, o'rtadagi holat). U holda  $U_{zi}$  qiymati ortishi bilan, stok toki chiziqli ortib boshlaydi, sababi kanaldan elektronlar o'tadi. Keyin stok toki ortishi bilan kanalga tushayotgan kuchlanish ortadi va  $p$ - $n$ -o'tishga berilayotgan teskari kuchlanish ortadi (ayniqsa stok sohasi yaqinida). Bu esa kanalning torayishiga olib keladi va stok tokining ortishi kamayadi.  $U_{zi}$  qiymatining yanada ortishi kanalni shu darajada toraytiradiki, stok toki boshqa orta olmaydi. Tranzistorning bu ish rejimi *to'yinish rejimi* deyiladi va unga mos kelgan kuchlanish *to'yinish kuchlanishi* bo'ladi.

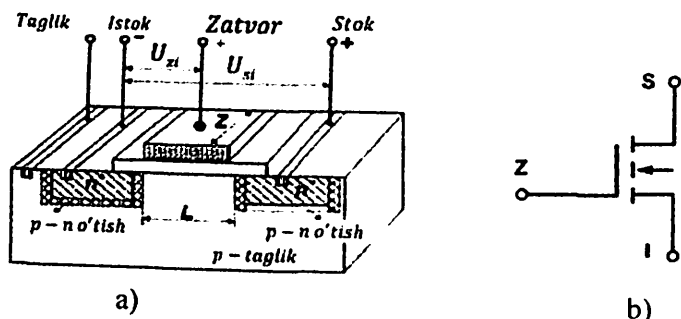
To'yinish, ya'ni yuqori qiyalikka ega bo'lgan sohada tranzistor elektr jihatdan boshqariluvchi qarshilik sifatida qo'llanilishi mumkin. Aktiv sohada kuchaytiruvchi element sifatida qo'llaniladi. Shuningdek,  $U_{zi} > 0$  bo'lganda *boyitilgan ish* rejimi,  $U_{zi} < 0$  bo'lganda *kambag'allashgan ish* rejimi kuzatiladi.

O'tish xarakteristikasi deganda

$$I_s = f(U_{zi})|_{U_{ds} = const} \quad (2.103)$$

tushuniladi. Unda kambag'allashgan va boyitilgan ish rejimlarini kuzatish mumkin.

**Kanali induksiyalangan MOYA-tranzistor.** 2.41-rasmda kanali induksiyalangan MOYA-tranzistor (a) va uning sxematik begilanishi (b) keltirilgan.



2.41-rasm

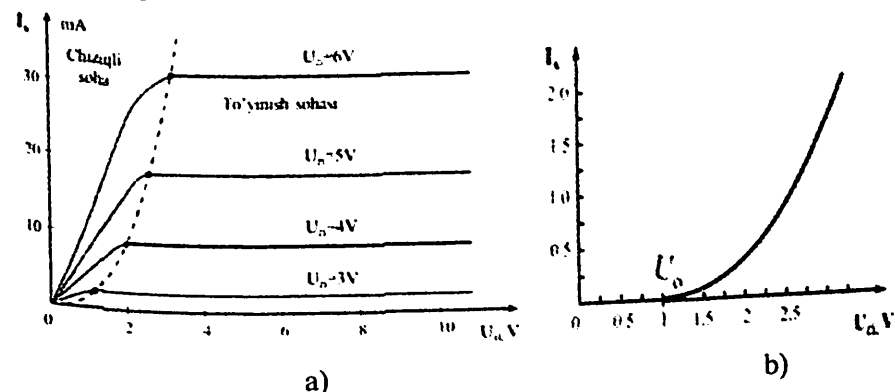
Ushbu tranzistorning kanali hosil qilingan MOYa-tranzistordan asosiy farqi shundaki, unda kanal zatvor ma'lum bir qutbli kuchlanish bergandagina hosil bo'ladi. Zatvor kuchlanishining nol qiymatida kanal mavjud emas. Biroq bunda stok va istok oralig'iga ikkita qarama-qarshi yo'nalgan  $p-n$  o'tish ulangan. Bitta  $p-n$  o'tish taglik va stok chegarasida, ikkinchisi esa taglik va istok orasida hosil bo'ladi (2.41a-rasm). Shunday qilib, zatvor kuchlanishining nol qiymatida stok va istok orasidagi qarshilik katta hamda stok toki juda kichik bo'lib, tranzistor uzilish rejimida bo'ladi.

Agar zatvor va istokka 2.41a-rasmda ko'rsatilgandek kuchlanish berilsa, u holda zatvorning elektr maydoni kovaklarni taglikning sirti ostik qatlamidan itarib, bu qatlamga elektronlarni tortadi. Natijada taglik sohasida dielektrik qatlamga tutashgan joyda  $n$ -turli o'tkazuvchi kanal paydo bo'ladi. bu kanal induksiyalangan deb ataladi. Zatvor-istok oralig'idagi musbat kuchlanishni oshirish bilan kanaldagi elektronlar konsentratsiyasi ortib, uning o'tkazuvchanligi ham ortadi.

Agarda stok va istok orasidagi musbat kuchlanish qo'yilsa, kanalda stok toki hosil bo'ladi, uning kattaligi  $U_{zi}$  va  $U_{si}$  kuchlanishlariga bog'liq. Sezilarli stok toki hosil bo'ladigan zatvor kuchlanishi bo'sag'aviy kuchlanish ( $U_0$ ) deb ataladi. Tabiiyki,  $n$ -kanalli induksiyalangan MOYa-tranzistorda bu kuchlanish musbat. Uning kattaligi tranzistorning tayyorlanish texnologiyasiga bog'liq va odatda 0.5-1 V ni tashkil etadi. Zatvor-istok kuchlanishi bo'sag'aviy kuchlanishdan qancha katta bo'lsa, shuncha ko'p elektronlar kanalga tortilib uning o'tkazuvchanligini oshiradi. Bunda stok-istok kuchlanishi uncha katta bo'lmasa, kanalning o'tkazuvchanligi  $U_{zi} - U_0$  farqqa mutanosib bo'ladi.

Agar stok-istok kuchlanishi to'yinish kuchlanishi  $U_{zi} = U_{zi} - U_0$  dan katta bo'lsa, tranzistor to'yinish rejimiga o'tib, tok ortishi to'xtaydi. Bunda zatvor va kanalning sirti orasidagi kuchlanish stok yo'nalishi bo'yicha kamayadi. Istok yaqinida u  $U_{zi}$  stok atrofida esa  $U_{zi} - U_{si}$  ga teng. Shuning uchun  $U_{zi}$  kuchlanish ortishi bilan stokka tomon kanalning kengligi kamayib, uning qarshiligi ortadi. Stok-istok kuchlanishining to'yinish kuchlanishidan katta bo'lgan qiymatlarida kanal bekiladi va stok toki o'zgarishsiz qoladi.

Kanali induksiyalangan maydonli tranzistorning chiqish xarakteristikalarini 2.42-rasmda keltirilgan. Unda chiziqli, to'yinish va uzilish sohalarini kuzatish mumkin. Chiziqli va to'yinish sohalarini uzoq-uzoq chiziq bilan ajratilgan.



2.42-rasm

Uzilish rejimida  $U_{zi} < U_0$  bo'lgani uchun  $I_s = 0$ .

Chiziqli sohada esa  $U_{zi} > U_0$  bo'lib, stok-istok kuchlanishi to'yinish kuchlanishidan katta bo'lmaydi. Chiziqli sohada chiqish volt-ampere xarakteristikasi quyidagi ifoda bilan aproksimatsiyalanadi:

$$I_s = b[(U_{zi} - U_0)U_{si} - 0.5U_{si}^2] \quad (2.104)$$

bu yerda  $b$  - MOYa-tranzistorning solishtirma qiyalik koeffitsiyenti bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$b = \mu C_0 \frac{W}{L} \quad (2.105)$$

bu ifodada  $\mu$  - zaryad tashuvchilarning sirt oldi harakatchanligi,  $C_0$  - zatvor-kanal oralig'ining solishtirma sig'imi,  $W$  - kanal kengligi,  $L$  - kanal uzunligi.

Amalda impulsli va kalit sxemalarda stok-istok kuchlanishi kichik bo'lganligi uchun, (2.104) ifodadagi kvadratik tashkil etuvchini tashlab yuborish mumkin:

$$I_s = b(U_{zi} - U_0)U_{sv} \quad (2.106)$$

(2.106) ifodada  $b(U_{zi} - U_0)$  - kanalning o'tkazuvchanligi deyiladi, unga teskari kattalik esa kanalning qarshiligi hisoblanadi:

$$R_{sv} = \frac{1}{b(U_{zi} - U_0)} \quad (2.107)$$

Shunday qilib, kichik stok-istokning kuchlanishlarda MOYa-tranzistor chiziqli rezistorga ekvivalent bo'lib, qarshiligi zatvor kuchlanishi bilan boshqariladi. Bu holda qarshilik o'nlab Om dan o'nlab MOm gacha bo'lishi mumkin.

$U_{zi} > U_0$  bo'lganda MOYa-tranzistorda to'yinish rejimi kuzatiladi (2.42a-rasm) va bunda stok-istok kuchlanishi to'yinish kuchlanishidan katta bo'ladi:

$$U_{zi} > U_{sv} = U_{zi} - U_0 \quad (2.108)$$

Ko'rinadiki, to'yinish sohasida chiqish xarakteristikasi chiziqli deyarli gorizontall joylashgan bo'lib, stok-istok kuchlanishiga bog'liq emas, ya'ni u bu yerda katta qarshilikka ega.

Tranzistor signallarni kuchaytirish uchun qo'llanilganda to'yinish sohasi ishchi soha hisoblanadi. Uzilish va chiziqli sohalaridan tranzistor kalit sifatida qo'llanilganda foydalaniladi.

2.42b-rasmda kanali induksiyalangan MOYa-tranzistorning o'tish xarakteristikasi keltirilgan. Ko'rinadiki, dastlab, zatvor kuchlanishi nol bo'lganida stok toki nolga teng. Stok tokining sezilarli qiymati zatvor kuchlanishi  $U_0$  - bo'sag'aviy kuchlanishdan katta bo'lganda ko'rinadi.

MOYa-tranzistorning geometrik o'lchamlari uning elektr xususiyatlarini aniqlovchi muhim parametrlardan biri hisoblanadi. Integral mikrosxemalar ishlab chiqaruvchilar tranzistorning  $W$  - kanal kengligi va  $L$  - kanal uzunligi kabi parametrlarini o'zgartirib, kerakli xarakteristikali tranzistorlar olinmoqda. Kanalning o'lchamlaridan integral mikrosxemada tranzistor egallaydigan joy aniqlanadi. Shunga ko'ra zamonaviy integral MOYa-tranzistorlar kanalining uzunligi 0,007-1 mkm, kengligi esa 0,2-100 mkm ni

tashkil etadi. Zatvorni kanaldan ajratib turuvchi qatlamning qalinligi 0,002-0,05 mkm mkm ga teng.

Kanali induksiyalangan MOYa-tranzistorlar zamonaviy katta integral sxemalar uchun asosiy element hisoblanadi. Katta integral sxemalarni tayyorlashda kanalining uzunligini minamallashtirishga harakat qilinadi. Buning uchun tranzistorlarni yasashda maxsus fotolitografik va litografik texnologiyalar qo'llaniladi. MOYa tranzistorning kanali uzunligi qisqarishi dinamikasi texnologik rivojlanish ta'sirida quyidagicha bo'lgan: 1985 yilda  $L_{min} = 1,5$  mkm (protessor Intel 286), 1989 yilda - 1,0 mkm (Intel 386), 1991 yilda - 0,8 mkm (Intel 486), 1998 yilda - 0,25 mkm (Pentium II), 1999 yilda - 0,18 mkm (Pentium III), 2002 yilda - 0,13 mkm (Pentium IV), 2003 yilda - 90 nm (Intel Pentium IV (Prescott)), 2006 yilda - 65 nm (Intel Pentium D 900-series), 2007 yilda - 45 nm (Intel Core 2 Quad), 2011 yilda - 28 nm (Intel Sandy Bridge), 2014 yilda - 16 nm (Celeron N3000), 2019-2021 yillar - 7 nm.

Bugungi kunda zamonaviy MOYa-tranzistorlarning kanalining uzunligi 7 nm ga yetadi. Bu esa 1 mm<sup>2</sup> yuzaga 100-200 mln tranzistor joylanshtirish imkoniyatini beradi.

MOYa-tranzistorlarning geometrik o'lchamlarini kamaytirish ularning ishchi kuchlanishlarini kamayishiga olib keladi. Bunga asosiy sabab quyidagilar:

-kanal uzunligini kamaytirish bilan zatvor va kanal orasidagi izolyatsilovchi dielektrik qatlamning qalinligi ham kamayadi. U holda teshilish ro'y bermasligi uchun bo'sag'aviy kuchlanish qiymati kamaytiriladi.

-tranzistor iste'mol qiladigan quvvat unga qo'yilgan kuchlanishning kvadratiga teng. Shuning uchun zamonaviy katta integral sxemalarda ta'minot manbasi bo'sag'aviy kuchlanishga nisbatan tezroq kamayadi.

#### Nazorat savollari

1. Moddalarning elektr o'tkazuvchanligi.
2. Zonalar nazariyasi.
3. Yarimo'tkazgichlar, ularning turlari va xususiy o'tkazuvchanlik
4. Yarimo'tkazgichlarda aralashmali o'tkazuvchanlik
5. n va p tipli yarimo'tkazgichlarni hosil qilish
6. n-p o'tish hodisasi: asosiy parametrlari, potensial to'siq, yopilish sohasi.

7. n-p o'tishda to'g'ri va teskari ulanishlar
8. n-p o'tish volt-amper xarakteristikasi
9. Yarimo'tkazgichli diod: turlari, klassifikatsiyasi
10. Yarimo'tkazgichli diodning ish rejimi
11. Bipolyar tranzistorlar: tuzilishi, shartli belgilanishi va ish rejimlari.
12. Bipolyar tranzistorlarining ishlash prinsipi
13. Bipolyar tranzistorlarining ulanish sxemalari.
14. Bipolyar tranzistorlarning kovaklarini ko'chirish va injeksiya koefitsientlari
15. UB ulanish sxemasida emitter tokini uzatish koefitsiyenti
16. UE ulanish sxemasida baza tokini uzatish koefitsiyenti
17. Bipolyar tranzistorlarining kuchaytirish xususiyatlari
18. Bipolyar tranzistorlar kirish qarshiligini topish uchun ekvivalent sxemalardan foydalanish
19. UB ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorning kirish va chiqish statik xarakteristikalari
20. UE ulanish sxemasidagi bipolyar tranzistorning kirish va chiqish statik xarakteristikalari
21. Bipolyar tranzistorlarining dinamik ish rejimi va uni aniqlash
22. Bipolyar tranzistorlarining fizik parametrlari va ular nimalarga bog'liq
23. UE ulanish sxemasi asosidagi kuchaytirgich sxemasini chizing.
24. Nima uchun tok boyicha manfiy teskari bog'lanish UE ulanish bo'yicha sokinlik ish rejimini termostabillayadi?
25. Maydonli tranzistorlar va ularning turlari.
26. n-p o'tish orqali boshqaruvchi tranzistorlar: tuzilishi, shartli belgilanishi
27. n-p o'tish orqali boshqaruvchi maydonli tranzistorlarining ishlash prinsipi, kirish va chiqish xarakteristikalari.
28. n-p o'tish orqali boshqaruvchi maydonli tranzistorlarining asosiy parametrlari
29. Zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar
30. Kanali hosil qilingan tranzistorning tuzilishi, shartli belgilanishi, ishlash prinsipi, chiqish xarakteristikasi.
31. Kanali induksiyalangan tranzistorning tuzilishi, shartli belgilanishi, ishlash prinsipi.
32. Maydonli tranzistorlarining ulanish sxemalari.
33. Maydonli tranzistorlarining asosiy parametrlari

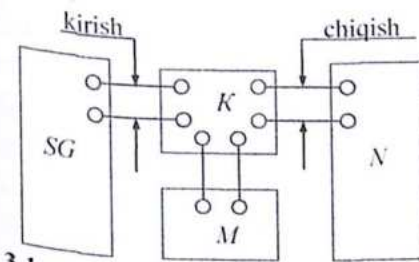
### 3 BOB. ELEKTR SIGNALLARINI KUCHAYTIRISH

Turli amaliy masalalarni yechishda kam energiya sarf qilgan holda manbalarning katta energiyasini boshqarish jarayoni keng tarqalgan. Bu jarayonda ham boshqaruvchi, ham boshqariluvchi energiya mexanik, yorug'lik, issiqlik, elektr va boshqa tur tabiatiga ega bo'lishi mumkin.

Agar energiyani boshqarish uzluksiz, bir me'yorda va o'zgarish qonuni saqlangan holda bo'lsa, uni *kuchaytirish jarayoni* deb, amalga oshiruvchi qurilma esa, *kuchaytirgich* deb ataladi. Agarda boshqaruvchi va boshqariladigan energiya elektr energiyasi bo'lsa, u holda bu turdagi kuchaytirgich *elektr signali kuchaytirgichi* yoki *kuchaytirgich* deyiladi.

#### 3.1 Elektr signallarini kuchaytirishning fizik asoslari

Radioelektronikada asosan kam quvvatli yoki boshqacha qilib aytganda kuchsiz signallar bilan ishlashga to'g'ri keladi. Misol sifatida radio yoki televizor antenasiga kelayotgan signalni qarashimiz mumkin. Qabul qilish antenasida tarqalayotgan signal energiyasining juda kichik bir qismigina qabul qilinib, telefon, radio yoki televizorga uzatiladi. Bu kuchsiz signal yordamida uzatilyotgan axborotni tiklash uchun dastlab mazkur kuchsiz signalni kuchaytirish kerak bo'ladi. Shunday qilib, elektr signali kuchaytirgichining asosiy vazifasi kichik quvvatli signallarni katta quvvatli signallarga aylantirib berishdan iborat.



3.1-rasm. Kuchaytirish jarayonining umumiy tarkibi. M-manba, K-kuchaytirgich, SG-signal generatori, N-nagruzka (iste'molchi)

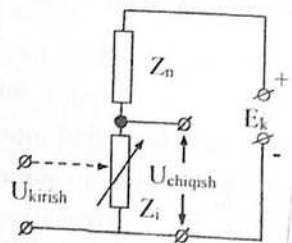
Kuchaytirgichni umumiy holda 3.1-rasmda keltirilgan to'rt qutbli sistema sifatida ko'rish mumkin. Uning signal ta'sir etuvchi zanjiri *kirish zanjiri* yoki *kirish* deb, kuchayib chiqqan signal beriladigan qurilma esa, tashqi *nagruzka* yoki *iste'molchi* deb ataladi. Kuchaytirgichning *nagruzka* ulaniladigan zanjiri *chiqish zanjiri* yoki *chiqish* deb ataladi. Elektr

signallarini kuchaytirish aktiv (chiziqli bo'lmagan) elementlar -

yarimo'tkazgichli tranzistorlar, elektron lampalar va boshqalar orqali amalga oshiriladi.

Kuchaytirishning fizikaviy jarayonini 3.2 - rasmda ko'rsatilgan sxema yordamida tushuntirish mumkin. Unda o'zgaras tok manbai bilan ketma-ket qilib ikki qarshilik -  $Z_n$  boshqariluvchi (o'zgaruvchan) va  $Z_n$  o'zgaras ulangan.  $Z_n$  qarshilik nagruzka qarshiligi deb ataladi.  $Z_i$  - chiziqli bo'lmagan aktiv elementning qarshiligi bo'lib, zanjirning kirishiga (punktir chiziq) boshqaruvchi kuchlanish (kuchsiz signal) yoki tok ta'sir etganda kattaligi o'zgarib boradi. Kirish signali yo'q vaqtda ( $U_{kirish}=0$ ) zanjirdan

$$I_0 = \frac{E_k}{(Z_n + Z_i)} \text{ manbaning doimiy toki o'tib turadi.}$$



3.2-rasm. Kuchaytirish sxemasi tarkibi

Kirishdan kuchsiz o'zgaruvchan signal berilgan vaqtda  $Z_i$  qarshilik unga mos ravishda o'zgarib, zanjirning  $Z_0 = Z_n + Z_i$  to'liq qarshiligini va undan o'tuvchi tokning o'zgarishiga olib keladi. Bu o'zgarish juda keng oraliqda bo'lib, manba energiyasi sarf bo'lmagan yoki juda oz miqdorda sarf bo'lgan holda sodir bo'ladi. Shuningdek, zanjirda o'zgaras tokdan tashqari kirish signali

kuchlanishiga mos bo'lgan  $I$  - o'zgaruvchan tok ham hosil bo'ladi. Natijada  $Z_n$  qarshilikda o'zgaruvchan tok hosil qiladigan chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga bog'liq bo'ladi  $U_{chiqish} = KU_{kirish}$ , ajraladigan quvvat katta miqdorga erishadi. Shunga ko'ra,  $Z_i$  boshqaruvchi elementning vazifasi o'zgaras tok manbai energiyasini  $Z_n$  nagruzka qarshiligiga uzatilishini tartibga solishdan iboratdir. Odatda bu jarayon juda katta tezlikda bajariladi. Shuning uchun  $Z_i$  juda kichik inersiyali element bo'lishi kerak. Eng sodda holda  $Z_i$  qarshilik vazifasini yarimo'tkazgichli tranzistor yoki lampaviy triod bajaradi.

Shunday qilib, kuchaytirish fizikaviy jarayon bo'lib, kam quvvatli manba yordamida katta quvvatli manba energiyasini boshqarishdan iboratdir. Bu esa katta quvvatli manba energiyasining kam quvvatli signalga uzatilishiga ekvivalent bo'ladi. Shunga ko'ra kuchaytirgich katta quvvatli manba energiyasining kam quvvatli signalga uzatilishini amalga oshiruvchi qurilma.

Agar signal quvvatini ortishida tebranish shakli saqlansa, kuchaytirish chiziqli deb, aks holda esa chiziqli bo'lmagan kuchaytirish deb ataladi.

Shuni yodda tutish kerakki, kuchaytirgich ta'sir etuvchi tebranish amplitudasini oshirib beradigan juda ko'p qurilmalardan farq qiladi. Masalan, yuksaltiruvchi transformatorning ikkilamchi chulg'amining kuchlanishi birlamchi chulg'amining kuchlanishidan katta bo'ladi; yakka konturda rezonans vaqtida reaktiv elementdagi kuchlanish yoki tok asllik marta ortadi va h.k.. Lekin ularda chiqish quvvati kirish quvvatidan hamma vaqt kichik bo'ladi. Shuning uchun ularni kuchaytirgich deb bo'lmaydi.

Umuman olganda, har bir kuchaytirgich uchta asosiy qismga ega:

1. Boshqaruvchi (kuchaytiruvchi) inersion bo'lmagan element;
2. O'zgaras tok manbai;
3. Iste'molchi (nagruzka).

Qolgan barcha qismlar yordamchidir. Bunda nagruzka kuchayib chiqqan signalni ajratib olish uchun, yordamchi qismlar - kuchaytirgichning u yoki bu ish rejimini hosil qilish uchun xizmat qiladi.

Boshqaruvchi element turiga qarab kuchaytirgichlar tranzistorli bo'ladi. Nagruzka qarshiligining turiga qarab esa aperiodik yoki tanlovchi kuchaytirgichlarga ajraladi.

Kuchaytirgich quyidagicha turlarga ajratiladi:

- kuchaytiriladigan signalning chastota diapazoniga qarab: past chastotali kuchaytirgichlar (PChK), doimiy tok kuchaytirgichlari (DTK), yuqori chastota kuchaytirgichlari (YuChK);

- vazifasiga qarab: kuchlanish, tok, quvvat kuchaytirgichlari;

- kuchaytiradigan signal shakliga qarab: uzluksiz va impuls signallari kuchaytirgichi.

Umuman olganda, hamma kuchaytirgichlar signalning quvvatini oshirish uchun xizmat qiladi, ya'ni barcha tur kuchaytirgichlar quvvat kuchaytirgichlaridir. Lekin ko'p hollarda kuchaytirgichning ishini baholash uchun uning chiqishidagi tok yoki kuchlanishning qiymati katta ahamiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun ular shartli ravishda kuchlanish, tok va quvvat kuchaytirgichlariga bo'linadi.

### 3.2 Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlari

Elektr signallarini kuchaytirish jarayonida chiqish signalining shakli kirish signali shakliga to'la mos bo'lmaydi, ya'ni kirish signalining shakli chiqishda biroz o'zgaradi. Bu o'zgarishlar *buzilishlar* deb ataladi. Kuchaytirgichlarning xususiyatlari va ular tomonidan hosil qilinadigan buzilishlar bir qator kattalik va xarakteristikalariga bog'liq. Ularga quyidagilar kiradi: kuchaytirish ko'effitsiyenti, amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy xarakteristikalar, o'tkazish sohasi, dinamik diapazon, kirish va chiqish qarshiliklari, foydali ish ko'effitsiyenti.

**Kuchaytirish ko'effitsiyenti.** Kuchaytirgichlarning turlari ko'p bo'lishiga qaramay, ular umumiy xarakteristika va parametrlarga ega. Asosiy parametrlardan biri *kuchaytirish ko'effitsiyenti (uzatish ko'effitsiyenti)* hisoblanadi. U kuchaytirgich chiqishida qaysi bir kattalik (tok, kuchlanish yoki quvvat) asosiy bo'lishiga qarab aniqlanadi va mos nom bilan ataladi. Masalan, chiqish quvvatining kirish quvvatiga nisbati

$$K_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} \quad (3.1)$$

quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti deb atalsa, chiqish tokining kirish tokiga nisbati esa

$$K_I = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}} \quad (3.2)$$

tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti deb ataladi. Mos ravishda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti

$$K_U = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (3.3)$$

ko'rinishiga ega bo'ladi. Amalda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentidan keng foydalanadi. Shuning uchun uni oddiygina qilib kuchaytirish ko'effitsiyenti deb yuritiladi va «U» - indeks tushirib qoldiriladi.

Umuman olganda kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishidan faqat amplituda qiymati bilan emas, balki fazasi bilan ham farq qiladi. Shuning uchun kuchaytirish ko'effitsiyenti kompleks kattalik bo'lib, chastotaga bog'liq miqdordir:

$$\dot{K} = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (3.4)$$

Unda,  $K(\omega)$  - kuchaytirish ko'effitsiyentining moduli.  $\varphi(\omega) = \varphi_2 - \varphi_1$  - kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi faza farqi.

Ko'pincha kuchaytirish ko'effitsiyenti "Bel" degan birlikda o'lchanadi. Bir "Bel" deganda chiqish va kirish quvvatlari nisbatining o'nli logarifmi birga teng bo'lgan kattalik tushuniladi, ya'ni nisbatning absolyut qiymati 10:1 dir.

Quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti bellarda quyidagicha ifodalanadi:

$$K_p[\text{Bell}] = \lg \frac{P_2}{P_1} = \lg K_p \quad (3.5a)$$

"Bel" juda katta miqdor hisoblanadi. Shuning uchun amalda undan o'n marta kichik miqdor - detsibel ishlatiladi:

$$K_p[\text{dB}] = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg K_p \quad (3.5b)$$

(3.5b) formula asosida tok va kuchlanishi bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlarining bellarda o'lchangan ifodasiga o'tish mumkin:

$$K[\text{dB}] = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg K \quad (3.6)$$

$$K_I[\text{dB}] = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} = 20 \lg K_I$$

Bunda quvvat tok yoki kuchlanishning kvadratiga proporsional bo'lishi hisobga olingan.

**Kuchaytirgichning xarakteristikalar.** Yuqorida chiqishdagi kuchayib chiqqan signal kirishdagi signal shaklini aniq aks ettirmasligi, ya'ni buzilishi to'g'risida aytilgan edi. Bunga sabab, kuchaytiruvchi qurilmalarda har doim reaktiv elementlar mavjud bo'lib, ularning parametrlari esa chastotaga bog'liq. Kuchaytirgichlarning xarakteristikalarini kuchaytirish jarayonida signal shaklining buzilishini ifodalab, signal shaklining buzilish darajasini baholash yoki buzilishsiz kuchaytirish (statsionar) xususiyatini belgilash imkonini beradi.

Amalda kuchaytirish koeffitsiyenti chastotaga bog'liq kattalik bo'lganligi uchun uning kompleks shakli o'rniga quyidagi ikkita alohida xarakteristika o'rganiladi:

-kuchaytirish koeffitsiyentining chastotaga bog'liqligi  $K(\omega)$ ;

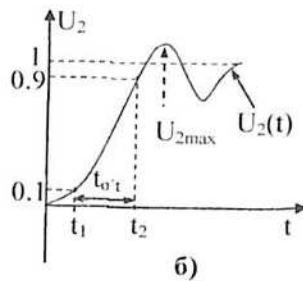
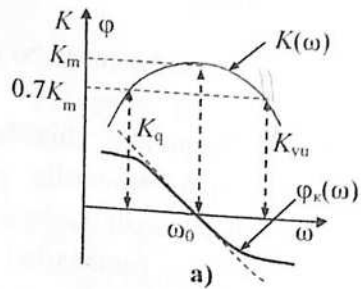
-faza siljishining chastotaga bog'liqligi  $\varphi(\omega)$ .

Kuchaytirgichning stasionar xarakteristikalar *chastotaviy, fazaviy va amplitudaviy* xarakteristikalariga bo'linadi.

Kuchaytirgichning *chastotaviy* (yoki *amplituda-chastotaviy*) xarakteristikasi deganda kuchaytirish koeffitsiyenti modulining chastotaga bog'liqligi, *fazaviy* (yoki *faza-chastotaviy*) xarakteristika deganda kuchaytirgich chiqish va kirish kuchlanishlari orasidagi faza farqining chastotaga bog'liqligi tushuniladi. Ularning koordinata sistemasida ifodalanishi 3.3a - rasmda ko'rsatilgan.

Ideal holda kuchaytirish koeffitsiyenti qiymati kuchaytirilayotgan signal chastotasining barcha qiymatlarida o'zgarmas bo'ladi, ya'ni bunday kuchaytirgich kuchaytirilayotgan signalga hech qanday buzilish kiritmaydi.

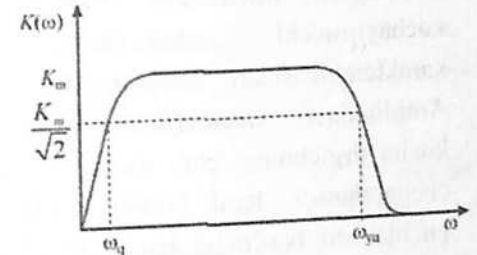
Amalda esa chegaralangan chastotalar oralig'idagi ideal chastotaviy va fazaviy xarakteristikalar ma'lum bir aniqlik bilan yaqinlashish mumkin. Chastotaviy buzilishlar kuchaytirish koeffitsiyenti modulining chastotaga bog'liqligi orqali baholanadi.



3.3-rasm. Kuchaytirgichning stasionar (a) va o'tish (b) xarakteristikalar

Chastotaviy xarakteristikadan kuchaytirgichning o'tkazish sohasi aniqlanadi. Agar kuchaytirgichda chastotaviy buzilishlar bo'lmaganda edi kuchaytirish koeffitsiyentining chastotaga bog'liqlik grafigi  $f=0$  dan  $f \rightarrow \infty$  gacha absissa o'qiga parallel to'g'ri chiziqdan iborat ko'rinishga ega bo'lar

edi. Ammo real sharoitda ishchi chastotalar oralig'i chastotaviy buzilishlar orqali aniqlanadi. Chastotaviy buzilishlar belgilangan sathdan katta bo'lmagan chastotalar oralig'i kuchaytirgichning *o'tkazish sohasi* deb ataladi.



3.4-rasm

Amalda kuchaytirgichlarning o'tkazish sohasi oraliq chastotadagi kuchaytirish koeffitsiyentiga nisbatan aniqlanadi. Shundan kelib chiqqan holda o'tkazish sohasi deb shunday chastotalar oralig'iga aytiladiki, bu oraliqda

$K_m$  - kuchaytirish koeffitsiyenti maksimal qiymati  $\sqrt{2}$  marta kamayadi (3.4-rasm). Unga mos ravishda o'tkazish sohasi  $\Delta\omega = \omega_{yu} - \omega_q$  yoki  $\Delta f = f_{yu} - f_q$  ko'rinishda aniqlanadi.

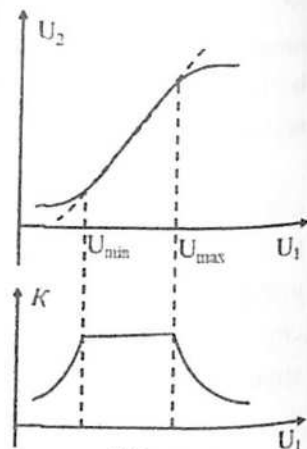
*Fazaviy buzilishlar* - faza-chastotaviy xarakteristika bo'yicha aniqlanadi. Fazaviy buzilishlar signalning turli garmonik tashkil etuvchilari vaqt bo'yicha turlicha siljishi natijasida chiqishda signal shaklining o'zgarishiga olib keladi.

Kuchaytirgichning faza-chastotaviy xarakteristikasi 3.3a-rasmda keltirilgan. Ideal holda faza siljishi chatotaga proporsional bo'lishi kerak. Bunda murakkab signalning ixtiyoriy garmonikalari vaqt bo'yicha bir xil siljish  $\tau$  ga teng bo'lib fazaviy xarakteristika  $\varphi = -2\pi f\tau$  ko'rinishiga ega bo'ladi. Bu xarakteristika koordinatalar o'qining boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi va u ixtiyoriy burchak ostida o'tkazilishi mumkin.

Chastotaviy va fazaviy xarakteristikalarining tahlilidan fazaviy buzilishlar natijasida chastotaviy buzilishlar kelib chiqadi degan xulosa chiqarish mumkin. Bu buzilishlar kuchaytirgich sxemasidagi chiziqli elementlarda sodir bo'lganligi tufayli ular *chiziqli buzilishlar* deb ataladi.

*Amplitudaviy xarakteristika* deganda kuchaytirgichning chiqishidagi kuchlanish amplitudasining kirish kuchlanishi amplitudasiga bog'liqligi tushuniladi (3.5-rasm). Ideal kuchaytirgichning amplitudaviy xarakteristikasi koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Real kuchaytirgichda u koordinata boshidan emas, balki chiqish kuchlanishining

biror qiymatidan boshlanadi va yuqori qismida to'g'ri chiziqdan chetlashadi. Ana shu chetlashishlar kuchaytirgichdagi *chiziqli bo'lmagan buzilishlarni* ifodalaydi va uni kuchaytiruvchi elementning dinamik xarakteristikasidan aniqlash mumkin.



3.5-rasm

Amplitudaviy xarakteristikaning pastki qismi kuchaytirgichning ichki shovqinlari sathi bilan chegaralanadi. Real kuchaytirgichlarda kirish kuchlanishi berilmasa ham, chiqishda ma'lum miqdor kuchlanish kuzatiladi va u shovqinning sathini belgilab beradi. Shovqinning sathi kuchaytirgichning ishini xarakterlovchi asosiy kattaliklardan biri bo'lib, uning sezgirligini ifodalaydi. Kuchaytirgichning sezgirligi deganda chiqish kuchlanishi kuzatilishi mumkin bo'lgan kirish signalining amplitudasi tushuniladi.

Amplitudaviy xarakteristikaning to'g'ri chiziqli qismi kuchaytirgichning *dinamik diapazoni* deb ataladi va quyidagicha aniqlandi:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} [dB] \quad (3.7)$$

Dinamik diapazonning yuqori chegarasi chiziqli bo'lmagan buzilishlar hosil bo'ladigan kuchlanishning  $U_{\max}$  qiymati bilan, quyi chegarasi esa kuchaytirgichning ichki shovqinning sathi  $U_{\min}$  bilan chegaralanadi (3.5-rasm). Uning kengligi kuchaytiruvchi element xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismi bilan aniqlanadi va bu qism qancha katta bo'lsa kuchaytirgichning dinamik diapazoni shuncha katta bo'ladi. Xulosa qilib aytganda dinamik diapazon doirasidagi amplitudali signallar kuchaytirgichdan o'tganda chiziqli bo'lmagan buzilishlar ro'y bermaydi va natijada kuchaytirish koeffitsiyenti o'zgarmaydi.

Kuchaytirgich kirishiga birlik amplitudali kuchlanish sakrashi ta'sir etganda hosil bo'ladigan chiqish kuchlanishi oniy qiymatining vaqtga bog'liq o'zgarishini ifodalovchi kattalik kuchaytirgichning o'tish xarakteristikasi deyiladi (3.3b-rasm). Kuchaytirgichning o'tish xarakteristikalari impuls

signallarni kuchaytirishda, stasionar xarakteristikalari esa garmonik tebranishlarni kuchaytirishda katta ahamiyatga ega bo'ladi.

**Kirish va chiqish qarshiligi.** Ma'lumki, kuchaytirgichni aktiv to'rt qutbli sistema deb qarash mumkin. Demak, unda kirish va chiqish zanjirlari mavjud bo'lib, ular mos holda kirish va chiqish qarshiligiga ham ega bo'ladi.

*Kirish qarshiligi* kirish kuchlanishining kirish tokiga nisbati orqali topiladi:

$$R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}} \quad (3.8)$$

U kuchaytirgichning kirish klemmalari orasidagi qarshilikni ifodalaydi.

*Chiqish qarshiligi* nagruzka qarshiligi uzib qo'yilgan holda chiqish kuchlanishining chiqish tokiga nisbati orqali topiladi:

$$R_{ch} = \frac{U_{ch}}{I_{ch}} \quad (3.9)$$

Bu ikkala qarshilik aktiv qarshilik.

**Foydali ish koeffitsiyenti** – kuchaytirgich manbaining sarfini xarakterlaydi va  $P_{manba}$  - quvvat manbaining qancha qismi iste'molchida  $P_{chiq}$  - foydali signalni shakllantirish uchun sarf bo'lganligini ko'rsatadi:

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{manba}} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

Ushbu kattalik o'rta va yuqori quvvatli kuchaytirgichlar uchun muhim hisoblanadi. Foydali ish koeffitsiyenti qay daraja katta bo'lsa, kuchaytirgichda shu daraja kam energiya sarflab, chiqishda kerakli quvvatga ega bo'lgan signal olish mumkin.

**Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar.** Kuchaytirgichning *bitta kaskadi* (bir kaskadli kuchaytirish bosqichi) deb quvvatni kuchaytirish mumkin bo'lgan eng kichik qismi tushuniladi. Unda maqsadga qarab bir yoki bir nechta boshqaruvchi element (tranzistor) bo'lishi mumkin.

Biroq ko'pgina amaliy masalalarni yechishda bitta kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti yetarli bo'lmasligi mumkin va bu holda qo'shimcha kaskadlar qo'shiladi. Natijada *ko'p kaskadli kuchaytirgich* hosil bo'ladi hamda uning parametrlari va xarakteristikalari bir kaskadli kuchaytirgich parametrlaridan farq qiladi. Ikkinchi va undan keyingi

kaskadning kirish zanjiri undan oldin turgan kaskad uchun nagruzka bo'lib, uning chastotaviy va amplitudaviy xarakteristikalariga ta'sir qiladi va natijada bu holat kaskadning kuchaytirish koeffitsiyentining o'zgarishiga olib keladi.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti alohida kaskadlar kuchaytirish koeffitsiyentilari ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n = \prod_{i=1}^n K_i \quad (3.11)$$

Agar kuchaytirish koeffitsiyentini ifodalash uchun logarimik masshtabdan (3.5b, 3.6-ifodalar) foydalanilsa, natijaviy kuchaytirish koeffitsiyenti ularning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$K = K_1(db) + K_2(db) + \dots + K_n(db) = \sum_{i=1}^n K_i(db) \quad (3.12)$$

Bugungi kunda sanoat miqyosida ko'p kaskadli kuchaytirgichlar integral mikrosxemalar ko'rinishida ko'p miqdorda ishlab chiqiladi. Bunday kuchaytirgich o'zida berilgan kattalikli tugallangan funksional blokni namoyon etadi. Kuchaytirgich mikrosxemalari odatda qo'shimcha tashqi chiqish ulagichlariga ega bo'ladi.

### 3.3 Kuchaytirgichlardagi buzilishlar

Ideal kuchaytirgichda chiqish kuchlanishining shakli kirish kuchlanishining shakli bilan bir xil bo'ladi va statsionar xarakteristikalar (3.3-3.5-rasmlar, punktir chiziq) to'g'ri chizikli bog'lanishni beradi. Masalan, fazaviy xarakteristika koordinata boshidan biror burchak ostida o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

Real kuchaytirgichlarning xarakteristikalari hamma vaqt to'g'ri chizikli bog'lanishdan chetlashadi. U kuchaytirgichda sodir bo'ladigan buzilishlarni ifodalaydi. Yuqorida kuchaytirgichlardagi buzilishlar chizikli va chizikli bo'lmagan buzilishlarga bo'linishi aytilgan edi. *Chizikli buzilishlar* chastotaviy, fazaviy va o'tish buzilishlariga ajratiladi hamda mos nomdagi xarakteristikalar orqali ifodalanadi. *Chizikli bo'lmagan* buzilishlar esa, kuchaytirgichning amplitudaviy xarakteristikasi orqali ifodalanadi.

Garmonik tashkil etuvchilarining birday kuchaytirilmaganligi sababli signal shaklining buzilishi *chastotaviy buzilishlar* deb ataladi. Chastotaviy

buzilishlar kuchaytirgich sxemasida reaktiv elementlar – sig'im, induktivlik, montaj sig'imi mavjudligi tufayli paydo bo'ladi.

Chastotaviy buzilishlar chastotaviy xarakteristikaning ishchi chastota diapazonidagi notekislik bilan xarakterlanadi. Ishchi chastota diapazoni deganda shunday chastotalar oralig'i tushuniladiki, bu oraliqda kuchaytirish koeffitsiyentining o'zgarishi oldindan belgilangan  $K_{yu}$  va  $K_q$  qiymatlaridan kamayib ketmaydi (3.3a-rasm). Kuchaytirgichning ishchi chastota diapazoni yoki o'tkazish sohasi  $\Delta\omega = \omega_{yu} - \omega_q$  ifodadan aniqlanadi.

Alohida chastota uchun chastotaviy buzilishlar  $M^*$ - chastotaviy buzilishlar koeffitsiyenti orqali ifodalanadi. U kuchaytirish koeffitsiyentining maksimal qiymatini berilgan chastotadagi kuchaytirish koeffitsiyentiga nisbati ko'rinishida aniqlanadi:

$$M^* = \frac{K_{\max}}{K} \quad (3.13)$$

Chastotaviy buzilishlar koeffitsiyentiga teskari miqdor xarakteristikaning *notekislik koeffitsiyenti* deb ataladi:

$$M = \frac{1}{M^*} = \frac{K}{K_{\max}} \quad (3.14)$$

Chastotaviy buzilishlarning eng katta qiymati kuchaytirgichning qanday maqsadda qo'llanilishiga bog'liq. Masalan, radioeshittirish maqsadida ishlatiladigan kuchaytirgichlarda u 2÷4 dB, elektron o'lchov asboblari kuchaytirgichlarida esa, desibelning yuzdan bir ulushlari tartibida bo'ladi.

Murakkab signal tashkil etuvchilari fazasining kuchaytirgichdan vaqt bo'yicha bir xil siljimagi o'tishi natijasida chiqish signali shaklining o'zgarishi *fazaviy buzilishlar* deb ataladi va kuchaytirgichning fazaviy xarakteristikasi orqali xarakterlanadi. Agar faza siljishi signal chastotasiga chizikli bog'liq bo'lsa, u holda fazaviy buzilish kuzatilmaydi. Shuni aytish kerakki, signal fazasining har qanday o'zgarishi ham fazaviy buzilishlarga olib kelmaydi.

Nochizikli buzilishlar – kuchaytirgich zanjirining nochizikli xususiyatlari tufayli chiqish signali spektrida kirish signali tarkibida bo'lmagan yangi tashkil etuvchilarning paydo bo'lishi bilan tushuntiriladi.

Ular *yuqori garmonikalar* deb ataladi. Amalda kuchaytirgichdagi nohiziqli buzilishlar uning amplitudaviy xarakteristikasi bilan aniqlanadi.

Agar birinchi va yuqori garmonikalarning kuchlanishini  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$  deb belgilasak, u holda garmonikalar koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_x = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}} \quad (3.15)$$

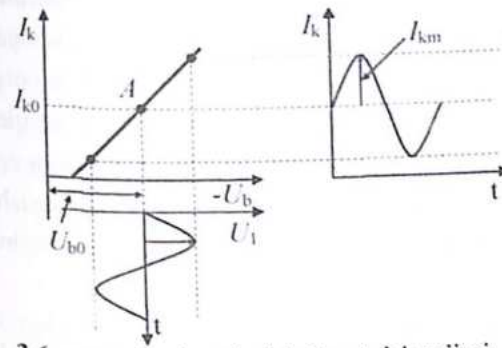
Garmonikalar koeffitsiyenti nohiziqli buzilishlarni miqdoriy baholashda qo'llaniladi.

### 3.4 Kuchaytirgichning ish rejimlari

Elektr signali kuchaytirgichlari odatda bipolyar yoki maydonli tranzistor, shuningdek elektron lampalar, tunnel diodlari va volt-amper xarakteristikasida manfiy differensial qarshilikli sohasi bo'lgan boshqa qurilmalarda yasaladi. Kuchaytirgichning aktiv elementi turi qanday bo'lishida qat'i nazar kuchaytirish jarayoni o'zgarmaydi va kuchaytirgichning elektr zanjirida aniq bir doimiy tok o'rnatiladi. Bu ish rejimi *statik (doimiy tok bo'yicha ish rejimi, sokinlik rejimi) ish rejimi* deb ataladi. U kuchaytirgichning tashkil etuvchilariga doimiy kuchlanish tushuvi bilan xarakterlanadi.

Aktiv elementning boshqaruvchi elektrodlariga o'zgaruvchan tok signali berilishi bilan unga mos ravishda zanjirdagi tok ham o'zgarib boshlaydi. Bu o'zgaruvchan tok kuchaytirgich zanjiridagi tashkil etuvchilarda o'zgaruvchan kuchlanish tushuvini hosil qiladi. Tabiiyki, chiqish signali qiymati kirish signalidan yetarlicha katta bo'ladi. Bu ish rejimi *o'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimi* yoki *kichik signallar bo'yicha ish rejimi* deb ataladi.

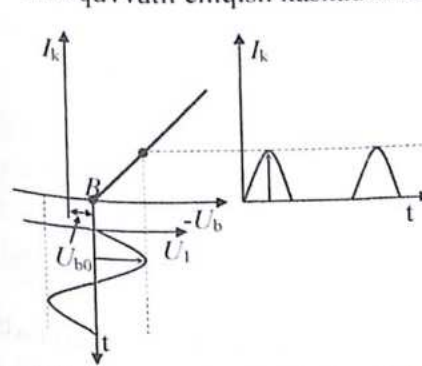
Kuchaytirgichlarning boshqaruvchi aktiv elementi chiziqli bo'lmagan element bo'lgani uchun kuchaytiriladigan signal buzilishga uchraydi. Statik rejimda chiziqli bo'lmagan buzilishlarning bo'lishi yoki bo'lmasligi signal amplitudasining kattaligiga va boshlang'ich ishchi nuqtaning nagruzka chizig'ida tanlanish o'rniga bog'liq. Shunga ko'ra kuchaytirgichning ish rejimi 3 ta asosiy turga ega: A, B va C rejimlar. Ular garmonik tebanishlar uchun son jihatdan kesish burchagi orqali xarakterlanadi.



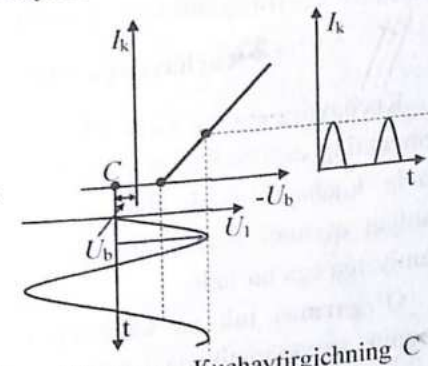
3.6-rasm. Kuchaytirgichning A ish rejimi

Kuchaytirgichning A ish rejimida boshlang'ich ishchi nuqta (3.6-rasm, A nuqta) kuchaytiruvchi element dinamik xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismida joylashgan bo'lib,  $U_1$  kirish kuchlanishining ta'siri davomida shu qismdan chiqib ketmaydi. Bu 3.6-rasmda

bipolyar tranzistorning UE ulanish sxemasining  $I_k = f(U_b)$  - o'tish xarakteristikasi misolida tasvirlab berilgan. Undan kollektor toki o'zgarishining kirish kuchlanishiga mos bo'lishi, amplitudasining  $I_{k0}$  - sokinlik tokidan kichikligi ko'rinadi. Bunda aktiv elementdan signal ta'sir etish davri davomida tok o'tib turadi. Shuning uchun kesish burchagi  $\theta = 180^\circ$  bo'lib, chiqish signalining shakli kirish signaliniki bilan mos tushadi, ya'ni chiziqli bo'lmagan buzilishlar kuzatilmaydi. A-ish rejimida kuchaytirgichning kirishiga signal ta'sir etsa va etmasa ham manbadan ko'p energiya sarf bo'ladi, chunki  $I_{k0}$  tok katta qiymatga ega. Shuning uchun bu rejimning foydali ish koeffitsiyenti juda kichik ( $\eta < 50\%$ ). Bu uning kamchiligidir. Amaliyotda A-ish rejimidan dastlabki kuchaytirish kaskadi va kichik quvvatli chiqish kaskadlarida foydalaniladi.



3.7-rasm. Kuchaytirgichning B ish rejimi



3.8-rasm. Kuchaytirgichning C ish rejimi

B ish rejimda boshlang'ich ishchi nuqta o'tish xarakteristikasining boshlanish nuqtasida (tranzistorning ochilish potensialiga teng) joylashgan bo'ladi (3.7-rasm). Shuning uchun o'zgaras tashkil etuvchi  $I_{k0}$  tok nolga teng (ideal holda) bo'lib, kirish signalining yarim davrlaridagina tranzistordan tok o'tadi ( $\theta = 90^\circ$ ) va chiqish signali uzlukli ko'rinishga ega bo'ladi. Natijada kuchaytirgichning foydali ish koeffitsiyenti 80% gacha yetadi. Lekin chiziqli bo'lmagan buzilishlar juda katta bo'ladi. B ish rejimi o'rt va yuqori quvvatli kuchaytirgichlarda qo'llaniladi.

Kuchaytirgichning foydali ish koeffitsiyentini yanada orttirish uchun C ish rejimga o'tiladi. Unda boshlang'ich ishchi nuqta yopilish potensialidan ham ichkariroqda tanlanadi (3.8-rasm, C nuqta).  $I_{k0}$  - sokinlik toki nolga teng, tranzistor uzilish rejimida. Signal ta'sir etmasa, kuchaytiruvchi element to'liq yopiq holatda bo'ladi. Signal ta'sir ettirilganda esa, elementdan tok yarim davrning bir qismidagina o'tadi ( $\theta < 90^\circ$ ). Shuning uchun chiziqli bo'lmagan buzilishlar B ish rejimidagidan ko'ra ko'proq bo'ladi. Bu ish rejimi iste'molchi sifatida rezonans konturdan foydalaniluvchi quvvatli rezonans kuchaytirgichlarda qo'llaniladi.

Shuni aytish kerakki, impuls signallarini kuchaytirishda kuchaytiruvchi elementning D ish rejimidan foydalaniladi. Unda kuchaytiruvchi element yo'kesish, yoki to'yinish holatida bo'ladi. Kesish holatida elementdan o'tuvchi tok nolga teng bo'lsa, to'yinish holatida - chiqish kuchlanishining o'zgarishi nolga teng bo'ladi. Shuning uchun D rejim elektron kalit rejimi bo'lib, uning foydali ish koeffitsiyenti birga yaqindir.

### 3.5 Kuchaytirgichning ish rejimlarini hosil qilish

Kuchaytirgichning biror ish rejimini joriy qilish uchun kuchaytiruvchi elementning elektrodlariga tegishli o'zgaras kuchlanishlarni berish kerak. Bunda kuchaytiruvchi element elektrodlariga berilgan kuchlanishning absolyut qiymati emas, balki uning elektrodlararo nisbiy qiymati katta ahamiyatga ega bo'ladi.

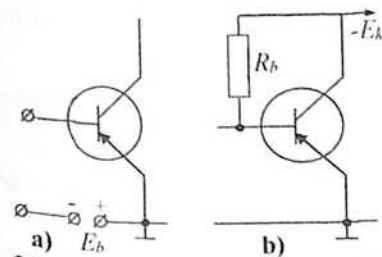
**O'zgaras tok va kuchlanish bo'yicha ish rejimini ta'minlash.** Dinamik xarakteristikada ishchi nuqtaning o'rnini belgilovchi kuchlanish siljitish kuchlanishi deb ataladi (3.6-rasm,  $U_{b0}$ ). U ikki xil usulda - o'zgaras

tok manbai yordamida yoki avtomatik usulda (stok yoki kollektor manbai hisobiga) hosil qilinadi.

Siljitish kuchlanishi hosil qilishning birinchi usulida kuchaytiruvchi elementning kirish zanjiriga (baza) signal manbai bilan ketma-ket qilib o'zgaras tok manbai ulanadi va baza tokining qiymati doimiy bo'lishi ta'minlanadi (3.9a-rasm). Uning afzalligi sxemaning soddaligi va siljitish kuchlanishining doimiyligidir. Ammo alohida tok manbaining qo'llanilishi bu usulning kamchiligidir. Chunki kuchaytirish kaskadlarining soni ortishi bilan manbalar soni ham ortib boradi va bu esa noqulaylik paydo qiladi. Undan qutulish uchun ikkinchi usuldan keng foydalaniladi. Lekin uni faqat kuchaytirgichning A ish rejimidagina qo'llash mumkin.

Bipolyar tranzistorli kuchaytirgichning sxemalarida avtomatik siljitish kuchlanishini hosil qilish birmuncha murakkab. Unda avtomatik siljitish zanjiri bir vaqtda ikki vazifani - siljitish kuchlanishini hosil qilish va termostabillash vazifalarini bajaradi.

Ma'lumki, umumiy emitterli kuchaytirish sxemasida tranzistor aktiv rejimda ishlashi uchun emitter o'tishiga to'g'ri, kollektor o'tishiga esa, teskari yo'nalishda kuchlanish berish kerak. Shuning uchun *p-n-p* turli tranzistorda baza potentsiali nolga teng bo'lganda emitterga musbat va kollektorga manfiy kuchlanish beriladi. Uni joriy



3.9-rasm. Siljitish kuchlanishini hosil qilish

qilish uchun kollektor manbai bilan baza oraligiga  $R_b$  rezistor ulash yetarli (3.9b-rasm). Baza tokining o'zgaras qiymati uchun  $R_b$  rezistorning kattaligini

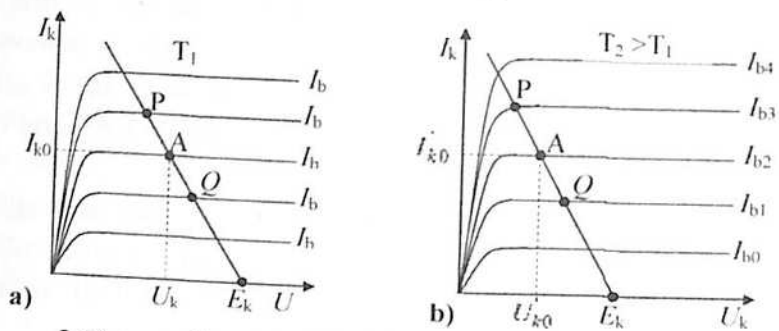
$$U_{bc} = E_k - I_{b0} R_b \quad (3.15)$$

ifodadan aniqlash mumkin, ya'ni

$$R_b = \frac{E_k - U_{bc}}{I_{b0}} \approx \frac{E_k}{I_{b0}} \approx \beta \frac{E_k}{I_{k0}} \quad (3.16)$$

Lekin amalda tranzistorlarning parametrlari bir xil qilib ishlab chiqarilmasligi, ularning tashqi muhit haroratiga kuchli bog'liq bo'lishi va boshqa sabablar  $I_{b0} = \text{const}$  usuldan foydalanish imkonini bermaydi, ya'ni bu

rejim turg'un emas. Masalan, temperatura ortishi bilan tranzistordagi toklar ( $I_b$ ,  $I_e$ ,  $I_k$ ), jumladan, kollektor tokining o'zgarish tashkil etuvchisi  $I_{k0}$  - teskari toki ortadi. Bunga asosiy sabab temperaturani  $10^\circ\text{C}$  ga o'zgariganida germaniyli tranzistorda  $I_{k0}$  - teskari tok 2 marta, kremniylida esa - 2.5 marta ortishidir. Natijada nagruzka chizig'i o'zgarib, kuchaytirgichning ish rejimi buziladi. U 3.10-rasmda ko'rsatilgan.



3.10-rasm. Tranzistor ish rejimining muhit hiroratiga bog'liqligi

Bu holda tranzistor yaxshi ishlashi uchun baza toki qiymatini oshirish zarur, buning uchun esa baza qarshiligini kichraytirish talab qilinadi.

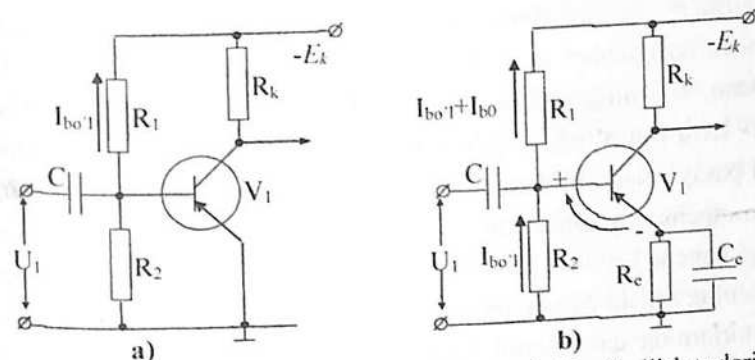
Unda temperatura o'zgariganda ishchi nuqtaning o'rni o'zgarishsiz qolishi uchun sxemaga qo'shimcha elementlar kiritilishi kerak. U *termostabillash zanjiri* deb ataladi. Termostabillash zanjiri faqat ishchi nuqtaning o'rni saqlaydi, parametrlar o'zgarishiga esa, ta'sir etmaydi.

Tranzistorning stabil ish rejimini hosil qilishning usullari juda ko'p. Shulardan biri baza potensialini kuchlanish bo'lgichi orqali olishdir. Uning sxemasi 3.11a-rasmda keltirilgan, bu yerda  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlar kuchlanish bo'lgichi bo'lib, undan  $I_{bo'1}$  toki o'tib turadi. Ushbu qarshiliklarning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$R_1 = \frac{E_k - U_{be0}}{I_{bo'1} + I_{b0}}, \quad R_2 = \frac{U_{be0}}{I_{bo'1}} \quad (3.17)$$

Ushbu ish rejimida  $U_{be}$  kuchlanishga baza tokining ta'sirini yo'qotish uchun  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlarning kattaligini bo'lgich toki baza tokidan katta bo'ladigan, ya'ni  $I_{bo'1} \gg I_{b0}$  shart bajariladigan qilib tanlash kerak. Odatda  $I_{bo'1} \approx (2 \div 5)I_{b0}$  ga teng qilib tanlanadi. Ana shunda tashqi harorat o'zgarsa ham, tranzistor almashtirilganda ham baza potensialini o'zgarishsiz qoladi.

Lekin  $I_{bo'1} \gg I_{b0}$  tengsizlik bajarilishi va bo'lgich toki qiymatini katta bo'lishi uchun  $R_1 R_2$  kuchlanish bo'lgichining qarshiligini kichraytirish kerak. Bunda umumiy emitterli kuchaytirgich sxemasining kirish qarshiligi kichrayib, manba tokining sarf bo'lishi ortadi va tok hamda quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kamayadi. Shuning uchun ish rejim tanlashning bu usuli ham ratsional emas.



3.11-rasm. Tranzistorlarning ish rejimini hosil qilish turlari

Tranzistor ish rejimi stabil bo'lishini ta'minlashning eng keng tarqalgan usullaridan biri emitter zanjiriga  $R_e$  va  $C_e$  elementlarni ulashdir (3.11b-rasm). Unda kuchlanish bo'lgichining qarshiligini kamaytirish talab qilinmaydi.

Emitter-baza oralig'ining  $U_{be}$  kuchlanishi faqat  $U_b$  baza kuchlanishi bilan emas, balki emitter kuchlanishi bilan ham aniqlanadi va kattaligi  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_e$  rezistorlarga bog'liq bo'ladi. Bu holda  $R_1$ ,  $R_2$  va  $R_e$  qarshiliklar tranzistorning o'zgarish tok rejimida temperatura o'zgarishini termostabillovchi doimiy tok bo'yicha *manfiy teskari bog'lanish zanjirini* hosil qiladi. Teskari bog'lanish deganda kuchaytirgichning chiqishidan kirishiga signal bir qismining uzatilishi tushuniladi.

Kirish signalining ta'siri yo'q vaqtda  $E_k$  manba ta'sirida tranzistor elektrodlarida tegishli o'zgarish kuchlanishlar hosil bo'ladi va kollektor zanjiridan  $I_{k0}$ , baza zanjiridan  $I_{b0}$ , emitter zanjiridan  $I_{e0}$  o'zgarish toklar o'tib turadi. Ma'lumki,  $I_{e0} = I_{k0} + I_{b0}$ . Shunda tashqi muhit o'zgarsa, masalan, temperatura ko'tarilsa, bu toklar ham ortishi avvaldan ma'lum. Natijada baza-yer, emitter-yer va kollektor-yer oralig'idagi kuchlanishlar

o'zgaradi. Lekin tranzistor uchun bu kuchlanishlar o'zgarishining absolyut qiymati emas, balki nisbiy qiymati katta ahamiyatga ega. Shuning uchun  $R_1 R_2$  kuchlanish bo'lgichining qarshiligi kichik bo'lsa, baza tokining  $\Delta I_{b0}$  o'zgarishi baza-yer kuchlanishiga kam ta'sir etadi ( $\Delta U_{b0} = 0$ ).

Bizning holda, temperatura o'zgarishi bilan  $I_{k0}$  kollektor toki ortishi hisobiga  $I_{e0}$  emiter toki va  $R_e$  qarshilikdagi  $U_{e0}$  kuchlanish ham oshadi, chunki,  $U_{e0} = I_{e0} R_e$ . Baza va yer oralig'idagi kuchlanish  $U_{byer}$  baza kuchlanishi bo'lgichlari orqali olingani uchun hamda  $U_{byer} = U_{b0} + U_{e0}$  ga tengligidan,  $U_{e0}$  ning ortishi  $U_{b0}$  ning kamayishiga olib keladi. Natijada emitter - baza p-n o'tishi yopiladi va baza toki kamayib,  $I_{k0}$  kollektor toki miqdori pasayishiga olib keladi hamda temperatura ta'siridagi dastlabki tok ortishi kompensatsiyalanib, kollektor toki stabilanadi. Bunda  $R_e$  rezistorning qarshiligi qancha katta bo'lsa, uning stabilash ta'siri shuncha kuchli bo'ladi. Lekin  $R_e$  ning ortishi  $E_k$  manba energiyasining sarf bo'lishini orttiradi.  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlarning qarshiligini ham juda kichik qilib olish mumkin emas. Chunki u kuchaytirgichning kirish qarshiligini shuntlab, yana energiya sarf bo'lishini ortishiga olib keladi. Odatda  $R_1 \gg 10R_{kir}$  qilib olinadi.

Umuman olganda, termostabillash zanjirining elementlarini quyidagi munosabatlar asosida tanlash mumkin:

$$R_e = \frac{E_k - U_{k0} - I_{k0} R_k}{I_{e0}}; R_1 = \frac{E_k}{I_{e0}(m-1)}; R_2 = \frac{E_k R_e}{(m-1)(E_k - I_{e0} R_e)} \quad (3.18)$$

Bunda  $m = 1 + \frac{R_e}{R_1}$  - kirish qarshiligiga bog'liq koeffitsiyent,  $R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  - ekvivalent kirish qarshiligi. Umumiy emitterli sxema uchun  $m = 2 \div 5$  qilib olinadi.

**O'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimini ta'minlash.** Kuchaytirgichning kirishiga kuchaytiriluvchi signal berilganida emitter tokining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi hosil bo'ladi.  $R_e$  qarshilikni emitter zanjiriga ulanishi kuchaytirgichning o'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimini o'zgartiradi. Emitterning o'zgaruvchan toki  $R_e$  qarshilikda  $U_e = I_e R_e$  kuchlanish tushuvini hosil qiladi va  $U_{bc} = U_{kir} - U_e$  bo'lgani uchun bu kuchlanish bazaga berilayotgan kuchaytiriluvchi kuchlanishni kamaytiradi. Natijada, kuchaytirish koeffitsiyenti kamayadi, chunki zanjirga o'zgaruvchan

tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanish ta'sir qiladi. Buning oldini olish uchun  $R_e$  qarshilik yetarlicha katta sig'imga ega bo'lgan  $C_e$  kondensator bilan shuntlanadi:

$$R_e \gg \frac{1}{\omega C_e} \quad (3.19)$$

Kondensatorning reaktiv qarshiligi kichik bo'lganligi uchun o'zgaruvchan tok undan o'tadi va  $R_e$  qarshilikda kuchlanish yo'qotilishiga olib kelmaydi.

O'zgaruvchan kirish signali (baza zanjiridagi o'zgaruvchan tok) sxemaga shunday uzatilishi kerakki, doimiy siljish toki manba orqali qisqa tutashmasin. Buning uchun reaktiv elementlarni qo'llagan holda o'zgaruvchan va o'zgarmas tashkil etuvchilarni ajratish sxemalari qo'llaniladi. Buning uchun sxemaga  $C$  - ajratuvchi kondensator kiritiladi (3.11a, b-rasm). Bunda kondensator sig'imi shunday tanlanishi kerakki, uning reaktiv qarshiligi kirish qarshiligidan kichik bo'lsin.

Tranzistorli sxemaning chiqish signali kollektordagi tok yoki nagruzka qarshiligidagi kuchlanish tushuvi bo'ladi. 3.11-rasmda keltirilgan sxemaning kamchiligi shundan iboratki, uning chiqishida signalning doimiy tashkil etuvchisi ham bo'ladi va u keyingi kaskad ishlashiga xalaqit beradi. Shuning uchun ham chiqish zanjiriga yana ajratuvchi  $C_2$  kondensator kiritiladi va uning qarshiligi nagruzka qarshiligidan kichik bo'lishi e'tiborga olinadi (3.12-rasm).

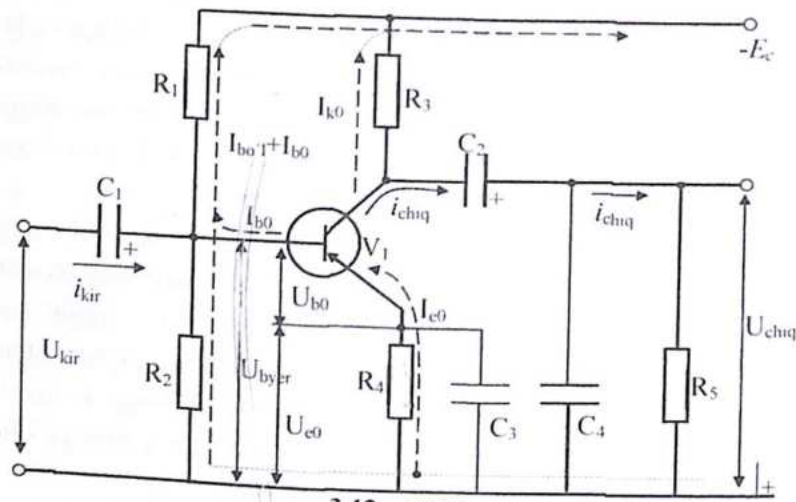
### 3.6 RC-kuchaytirgich

RC-kuchaytirgich past chastotali signallarni kuchaytirish uchun qo'llaniladi. Unda nagruzka sifatida rezistor qo'llanilganligi uchun qarshiliklarda tuzilgan kuchaytirgich yoki qisqacha RC-kuchaytirgich deb ataladi. Yuqorida keltirilgan ish rejimlarini hosil qilish umumiy holda shu turdagi kuchaytirgich uchun ham o'rinli.

*P-n-p* turdagi tranzistorning umumiy emitterli ulanishi asosida tuzilgan kuchaytirgichning sxemasi 3.12-rasmda keltirilgan. Shuni e'tiborga olish kerakki, *n-p-n* turdagi tranzistor qo'llanilganda, sxemani tuzish va ish rejimlarini hosil qilish yuqorida ko'rilgan prinsiplar asosida bo'ladi, faqat manbalarning qutblari o'zgaradi.

Umumiy holda qarshiliklarda tuzilgan kuchaytirgichdan o'tuvchi toklar 3.12 – rasmda keltirilgan. Unda uzuq (punktir) chiziq bilan o'zgarimas tok va uzluksiz chiziq bilan kirish signali (o'zgaruvchan tok) yo'nalishlari ko'rsatilgan.

Prinsipial sxemadagi  $R_1$  va  $R_2$  lardan tashkil topgan kuchlanish bo'lgichlari tranzistorning "sokin" ish rejimini belgilaydi va bunda undan doimiy sokinlik toklari  $I_{b0}$ ,  $I_{e0}$  va  $I_{k0}$  lar o'tib turadi hamda shu asosda uning bazasi, emitteri va kollektoriga mos ravishda  $U_{b0}$ ,  $U_{e0}$  va  $U_{k0}$  doimiy kuchlanishlar tushib turadi.



3.12 -- rasm

$R_1$ ,  $R_2$  va  $R_4$  qarshiliklar tranzistorning doimiy tok rejimida temperatura o'zgarishini termostabillovchi manfiy teskari bog'lanish zanjirini hosil qiladi.

$R_4$  qarshilikni emitter zanjiriga ulanishi kuchaytirgichning o'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimini o'zgartiradi. Emitterning o'zgaruvchan toki  $R_4$  qarshilikda  $U_e = I_e R_4$  kuchlanish tushuvini hosil qiladi va  $U_{be} = U_{kir} - U_e$  bo'lgani uchun bu kuchlanish bazaga berilayotgan kuchaytiriluvchi kuchlanishni kamaytiradi. Natijada, kuchaytirish koeffitsiyenti kamayadi. Buning oldini olish uchun  $R_4$  qarshilik yetarlicha katta sig'imga ega bo'lgan  $C_3$  kondensator bilan shuntlanadi.

$C_1$  va  $C_2$  kondensatorlar ajratuvchi kondensator hisoblanadi.  $C_2$  keyingi kaskadga kuchayib chiqqan signalning doimiy tashkil etuvchisini uzatilishining oldini oladi. Natijada u o'zgaruvchan tashkil etuvchi bo'yicha kuchaytirgichning chiqishini keyingi kaskad kirishi bilan bog'laydi, o'zgarimas tokni esa o'tkazmaydi. Shunga ko'ra RC-kuchaytirgich sig'im bog'lanishli kuchaytirgich deb ham ataladi. Shuningdek, montaj natijasida paydo bo'ladigan zararli sig'imlarni kamaytirish uchun  $C_4$  kondensator nagruzga qarshiligiga parallel qilib ulanadi.

### 3.7 Kuchaytirgichlarda teskari bog'lanish

Kuchayib chiqqan signal energiyasining bir qismini uning kirishiga qayta uzatish jarayoni kuchaytirgichlarda teskari bog'lanish deb ataladi. Energiya uzatishni ta'minlovchi zanjir esa, teskari bog'lanish zanjiri deyiladi.

Teskari bog'lanish zanjiri kuchaytirgich bilan birga teskari bog'lanish halqasi deb ataladigan berk konturni tashkil etadi. Agar kuchaytirgichda teskari bog'lanish zanjiri bitta bo'lsa, u bir halqali teskari bog'lanish deb, agar teskari bog'lanish zanjiri ko'p bo'lsa, u ko'p halqali teskari bog'lanish deb ataladi.

Teskari bog'lanish uch turga – ichki, tashqi va parazit teskari bog'lanishga bo'linadi. Ichki teskari bog'lanish barcha kuchaytiruvchi elementlarda mavjud bo'ladi va ularning fizik xossalari bilan ifodalanadi. Tashqi teskari bog'lanish maxsus elektr zanjirlari yordamida kuchaytirgichning tarkibiga kiritiladi. Parazit teskari bog'lanish kuchaytirgichning kirish va chiqish zanjirlari orasida mavjud bo'ladigan parazit sig'im, induktivlik va boshqa bog'lanishlar hisobiga hosil bo'ladi. Shuni aytish kerakki, parazit teskari bog'lanish ham ichki teskari bog'lanish kabi barcha kuchaytirgichlarda mavjud bo'lib, kuchaytirgichning xususiyatlarini kutilmagan tartibda o'zgartirib turadi. Sababi kuchaytirgichni hisoblashda hosil bo'lishi mumkin bo'lgan barcha parazit ta'sirlarni hisobga olish mumkin emas.

Teskari bog'lanish jarayonining mohiyatini va xususiyatlarini aniqlash uchun tashqi teskari bog'lanishni ko'rib chiqamiz. Teskari bog'lanish

zanjirining kuchaytirgich zanjiriga ulanish usuliga qarab teskari bog'lanish tok yoki kuchlanish bo'yicha bo'ladi.

Agar teskari bog'lanish zanjiri orqali kuchaytirgich kirishiga uzatilayotgan kuchlanish (ya'ni bog'lanish kuchlanishi) kuchaytirgichning chiqish kuchlanishiga (nagruzkadagi kuchlanish tushuviga) proporsional bo'lsa, bunday teskari bog'lanish *kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish* deb, agar u nagruzkadan o'tuvchi tokka, ya'ni chiqish tokiga proporsional bo'lsa, tok bo'yicha teskari bog'lanish deb yuritiladi.

Agar teskari bog'lanish kuchlanishi bir vaqtda ikki tashkil etuvchiga chiqish kuchlanishi va nagruzkadagi tokka proporsional bo'lsa, bunday teskari bog'lanish *aralash teskari bog'lanish* yoki *ko'priksimon teskari bog'lanish* deb yuritiladi. Bundan tashqari, teskari bog'lanish *ketma-ket* va *parallel* bo'lishi mumkin. Ketma-ket teskari bog'lanishda teskari bog'lanish zanjiri kuchaytirgichning kirish zanjiri bilan ketma-ket ulangan bo'ladi, parallel teskari bog'lanishda esa u kirish zanjiriga parallel ulanadi. Shunga ko'ra teskari bog'lanishli kuchaytirgichning sxemasi to'rt xil sodda turga ajratilishi mumkin:

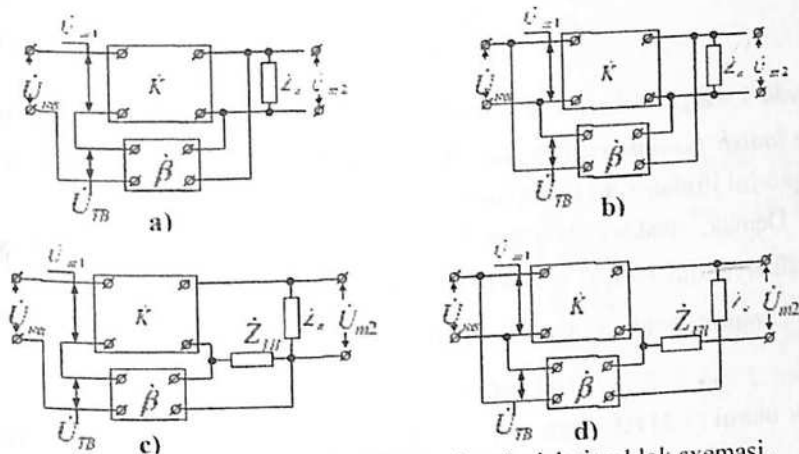
1. Kuchlanish bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanishli kuchaytirgich;
2. Tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanishli kuchaytirgich;
3. Kuchlanish bo'yicha parallel teskari bog'lanishli kuchaytirgich;
4. Tok bo'yicha parallel teskari bog'lanishli kuchaytirgich.

Ularning blok sxemasi 3.13-rasmda keltirilgan. Teskari bog'lanishning barcha turlari kuchaytirgichning xarakteristika va parametrlariga ta'sir etadi va ularni o'zgartiradi. Ichki va parazit teskari bog'lanishdan farqli, tashqi teskari bog'lanish boshqarilish xususiyatiga ega. Shuning uchun u kuchaytirgichga turli maqsadlar, masalan, kuchaytirgichning stabililigini oshirish, buzilishlarni kamaytirish, o'tkazish sohasini kengaytirish, kirish va chiqish qarshiligini o'zgartirish va boshqalar uchun kiritiladi.

Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning asosiy parametrlarini aniqlaylik. Buning uchun kuchlanish bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish sxemasidan

(3.13a-rasm) foydalanamiz. Unda  $\dot{K} = \frac{\dot{U}_{m_2}}{\dot{U}_{m_1}}$  -teskari bog'lanishsiz

kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti;  $\dot{\beta} = \frac{\dot{U}_{TB}}{\dot{U}_{m_2}}$ ,  $\beta = \frac{I_{TB}}{I_{m_2}}$  -teskari bog'lanish zanjirining uzatish koeffitsiyenti hisoblanadi.



3.13-rasm. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning blok sxemasi. a-kuchlanish bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish; b-kuchlanish bo'yicha parallel teskari bog'lanish; c-tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish; d-tok bo'yicha parallel teskari bog'lanish

Qulaylik uchun kuchaytirgichni kirish qarshiligi cheksiz katta bo'lgan chiziqli sxema deb hisoblaymiz. U holda sistemaning kirish toki nolga teng bo'ladi. Signal manbai sof sinusoidal tebranishlar bersin, ya'ni kuchaytirgich kirishiga chastotasi va amplitudasi o'zgarmas bo'lgan kuchlanish qo'yilgan. Ana shu shartlar o'rinli bo'lsa, kuchaytirgich va teskari bog'lanish zanjirining chiqishidagi  $\dot{U}_{m_2}$  va  $\dot{U}_{TB}$  kuchlanish ham sof garmonik qonun bo'yicha o'zgaruvchi kattaliklar bo'ladi. Sxemada reaktiv elementlar mavjud bo'lgani uchun bu kuchlanishlar  $\dot{U}_{m_2}$  signal kuchlanishi bilan faza farqiga teng.

Ta'rifga binoan ko'rilayotgan sistemaning kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{K}_{TB} = \frac{\dot{U}_{m_2}}{\dot{U}_{m_1}} \quad (3.20)$$

Agar  $\dot{U}_{ms} = \dot{U}_{m_1} - \dot{U}_1$ ,  $\dot{U}_T = \beta \dot{U}_{m_2}$ ,  $\dot{U}_{m_2} = K \dot{U}_{m_1}$  ekanini hisobga olsak va (3.20) - ifodani  $K$  va  $\beta$  koeffitsiyentlar orqali ifodalasak, u quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\dot{K}_{TB} = \frac{K \dot{U}_{m_1}}{\dot{U}_{m_1} - \dot{U}_{TB}} = \frac{K \dot{U}_{m_1}}{\dot{U}_{m_1} - K \beta \dot{U}_{m_1}} = \frac{K}{1 - K \beta} \quad (3.21)$$

Bunda  $1 - K \beta$  teskari bog'lanish chuqurligi,  $K \beta$  ko'paytma esa, teskari bog'lanish parametri deb ataladi. U teskari bog'lanishning tabiati va son miqdorini ifodalovchi kattalikdir.

Demak, teskari bog'lanish zanjiri kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyentini  $1 - K \beta$  marta o'zgartirar ekan.

Umumiy holda  $K$  va  $\beta$  koeffitsiyentlar kompleks kattalik bo'ladi:

$$\dot{K} = K \cdot e^{j\varphi_K} \quad \text{va} \quad \dot{\beta} = \beta \cdot e^{j\varphi_\beta}$$

Agar ularni (3.21) ifodaga qo'ysak, sistemaning kuchaytirish koeffitsiyenti

$$\dot{K}_{TB} = \frac{K(\cos \varphi_K + j \sin \varphi_K)}{1 - K \beta \cos \varphi - j K \beta \sin \varphi} \quad (3.22)$$

ko'rinishga keladi, bunda:

$\varphi_K$  - signal spektri kuchaytirgichdan o'tgandagi faza siljishi;

$\varphi_\beta$  - signal spektri teskari bog'lanish zanjiridan o'tgandagi faza siljishi;

$\varphi = \varphi_K + \varphi_\beta$  - natijaviy faza siljishi.

(3.22) ifodaning moduli

$$K_{TB} = \frac{K}{\sqrt{1 - 2K\beta \cos \varphi + K^2 \beta^2}} \quad (3.23)$$

teskari bog'lanishli kuchaytirgich chastotaviy xarakteristikasining tenglamasi bo'ladi. Uning kattaligi  $\varphi$ -faza siljishi bilan baholanadi. Xususi holda, agar kuchaytirgichning kirishiga teskari bog'lanish zanjiri orqali uzatilayotgan  $U_{TB}$  kuchlanishning fazasi  $U_c$  tashqi signal kuchlanishi fazasi bilan mos bo'lsa, ya'ni  $\varphi = \varphi_K + \varphi_\beta = 0$  bo'lsa,

$$K_{TB}^{(-)} = \frac{K}{1 - K\beta} \quad (3.24)$$

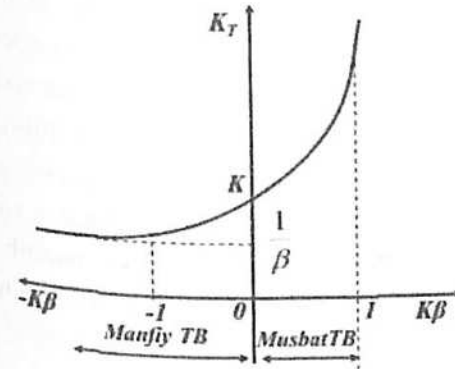
bo'ladi va teskari bog'lanish parametri  $K\beta$  ning barcha qiymatlarida teskari bog'lanish *musbat teskari bog'lanish* deb ataladi. Bunda kirish signali  $U_1 = U_{ms} + U_{TB}$  bo'lib, u kuchaytirish koeffitsiyentini ortishiga olib keladi.

Aksincha, ular qarama-qarshi fazada bo'lsa, ya'ni  $\varphi = \varphi_K + \varphi_\beta = \pi$  ga teng holda,

$$K_{TB}^{(+)} = \frac{K}{1 + K\beta} \quad (3.25)$$

bo'lib,  $K\beta$  parametrining barcha qiymatlarda teskari bog'lanish *manfiy teskari bog'lanish* deb ataladi. Bunda kirish signali  $U_1 = U_{ms} - U_{TB}$  bo'lib, u kuchaytirish koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi.

Demak, kuchaytirgichning stasionar rejimida ikki xil - *musbat* va *manfiy teskari bog'lanish* bo'lar ekan. Demak, musbat teskari bog'lanish kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyentini ortirsa ( $K_{TB}^{(+)} > K$ ), manfiy teskari bog'lanish uni kamaytiradi ( $K_{TB}^{(-)} < K$ ).



3.14-rasm

Teskari bog'lanishning kuchaytirgichni kuchaytirish koeffitsiyentiga qanday ta'sir qilishi 3.14- rasmda keltirilgan bo'lib, unda uchta sohani ko'rsatish mumkin:

1. Teskari bog'lanish faktori  $K\beta \ll -1$ ,  $|K\beta| > 1$ ,  $\beta < 0$  bo'lgan soha. U holda (3.25) ifoda quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_{TB}^{(-)} = \frac{K}{1 + K\beta} \approx -\frac{1}{\beta} = -\left|\frac{1}{\beta}\right| \quad (3.26)$$

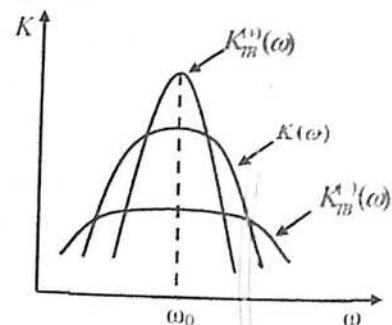
Ushbu holat chuqur (100%) manfiy teskari bog'lanishga to'g'ri kelib, teskari byuog'lanishli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti faqat  $\beta$  orqali aniqlanib, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyentiga bog'liq bo'lmaydi. Manfiy teskari bog'lanishning bu xususiyati kuchaytirgichlarni ishlab chiqishda keng qo'llaniladi.

2.  $K\beta = 0$ , bunda  $\beta = 0$  ga teng bo'lib,  $K_{TB} = K$  bo'ladi hamda ushbu holda teskari bog'lanish kuzatilmaydi.

3.  $K\beta \rightarrow 1$ ,  $\beta > 0$  bo'lganda  $K_m^{(1)} \rightarrow \infty$  ega bo'lamiz. Fizik jihatdan teskari bog'lanish ko'rsatuvchining cheksiz katta qiymati kuchaytirgichning tebranishlar avtogeneratoriga aylanishini bildiradi.

### 3.7.1 Teskari bog'lanishni kuchaytirgichning amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikasiga ta'siri

Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikasi 3.15-rasmda ko'rsatilgan. Undan musbat teskari bog'lanish kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikasini yomonlashtirishini, manfiy teskari bog'lanish esa, uni yaxshilashini ko'rish mumkin. Maxsus adabiyotda manfiy teskari bog'lanish kiritilishi bilan kuchaytirgichdagi chiziqli va



3.15-rasm. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikasi

chiziqli bo'lmagan buzilishlari  $1 + K\beta$  marta kamayishi, kuchaytirgichning o'tkazish sohasi  $1 + K\beta$  marta kengayishi, ish stabililigining ortishi va boshqalar isbot qilib berilgan. Kuchaytirgichga musbat teskari bog'lanish kiritilganda esa, buning aksi kuzatiladi. Agar  $K\beta = 1$  bo'lib qolsa, kuchaytirgichdagi buzilishlar o'zining maksimal qiymatiga erishadi va kuchaytirgichning ish rejimi buzilib,

o'z-o'zidan tebranish hosil qila boshlaydi. Bu degan so'z kuchaytirgich o'zining kuchaytirish xususiyatini yo'qotib, avtogenerator bo'lib ishlay boshlaydi.

Musbat teskari bog'lanish kuchaytirgichning xarakteristikalarini yomonlashtirgani uchun, amaliyotda o'lchov qurilmalarning kuchaytirgichlarida manfiy teskari bog'lanish keng qo'llaniladi. Manfiy teskari bog'lanishning qo'llanilishi kuchaytirish ko'rsatuvchisi stabililigini oshiradi, kuchaytirgichning o'tkazish sohasini kengaytiradi, noxiziqli buzilishlarni kamaytiradi, chiqish va kirish kuchlanishlari orasidagi faza siljishini kamaytiradi.

### 3.7.2 Teskari bog'lanishni kuchaytirgichning chiqish va kirish qarshiligiga ta'siri

**Chiqish qarshiligi.** Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning chiqish qarshiligi undan signal qay tarzda olinishiga juda bog'liq. Agar teskari bog'lanish signali kuchlanish orqali olinsa, u holda chiqish qarshiligi kamayadi, agarda tok bo'yicha bo'lsa, u holda chiqish qarshiligi ortadi.

Teskari bog'lanishsiz kuchaytirgichning chiqish qarshiligi quyidagiga teng edi:

$$Z_{chiq} = \frac{\Delta \dot{U}_{chiq}}{\Delta \dot{I}_{chiq}} \quad (3.27)$$

Teskari bog'lanish zanjirining ulanishi bilan chiqish kuchlanishi nafaqat nagruzkadagi tok ta'sirda, balki kuchaytirgich chiqishidagi teskari bog'lanish signali ta'sirida ham o'zgarib boshlaydi. Agar manfiy teskari bog'lanish kuchlanish bo'yicha olinayotgan bo'lsa (3.13a-rasm), u holda chiqish kuchlanishi o'zgarishi

$$\Delta \dot{U}_{chiqTB} = Z_{chiq} \Delta \dot{I}_{chiq} - \Delta \dot{U}_{chiqTB} K\beta \quad (3.28)$$

bu yerda

$$Z_{chiqTB} = \Delta \dot{U}_{chiqTB} / \Delta \dot{I}_{chiq} = Z_{chiq} / (1 + K\beta) \quad (3.29)$$

(3.29) ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish bo'yicha manfiy teskari bog'lanish qo'llanilganda, chiqish qarshiligi  $1 + K\beta$  marta kamayar ekan.

Manfiy teskari bog'lanish tok bo'yicha amalga oshirilganda (3.13b-rasm) uning chiqish qarshiligi quyidagi ifodaga ko'ra ortadi:

$$Z_{chiqTB} = \frac{\Delta \dot{U}_{chiqTB}}{\Delta \dot{I}_{chiqTB}} = Z_{chiq} + Z_{TB} (1 + K\beta) \quad (3.30)$$

(3.30) ifodadan ko'rinadiki, chiqish qarshiligining ortishi  $Z_{TB}$  ga bog'liq.

Musbat teskari bog'lanish chiqish qarshiligining kamayishiga olib keladi, chunki  $Z_{TB} (1 - K\beta) < Z_{TB}$

**Kirish qarshiligi** teskari bog'lanish signalini kirish zanjiriga uzatishga usuliga bog'liq. Teskari bog'lanish bo'lmaganda kirish qarshiligi kuchaytirgichning kirish kuchlanishi va toki orqali aniqlanadi, ya'ni

$\beta \rightarrow 0$ ,  $Z_{kr} = \dot{U}_{m1} / \dot{I}_{m1}$ . Teskari bog'lanish ketma-ket kiritilganda kirish qarshiligi quyidagiga teng:

$$Z_{krTB} = \dot{U}_{ms} / \dot{I}_{m1} = (\dot{U}_{m1} + \dot{U}_{TB}) / \dot{I}_{m1} \quad (3.31)$$

Agarda  $\dot{U}_{TB} = K\beta\dot{U}_{m1}$  ekanligini e'tiborga olsak, u holda kirish qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z_{krTB} = \dot{U}_{m1}(1 + K\beta) / \dot{I}_{m1} = Z_{kr}(1 + K\beta) \quad (3.32)$$

(3.32) dan ko'rinadiki, manfiy teskari bog'lanish kirish qarshiligini  $1 + K\beta$  orttiradi, musbat teskari bog'lanish esa uni  $1 - K\beta$  kamaytirar ekan.

Teskari bog'lanish parallel bo'lganda kirish qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Z_{krT} = \dot{U}_{ms} / (\dot{I}_{m1} + \dot{I}_T) \quad (3.33)$$

Agarda teskari bog'lanish manfiy va teskari bog'lanish kuchlanishi  $\dot{U}_{TB} = \dot{U}_{ms}K\beta$  orqali aniqlansa, u holda teskari bog'lanish toki teskari bog'lanish zanjiri ichki qarshiligi orqali topiladi:

$$\dot{I}_{TB} = (\dot{U}_{ms} + \dot{U}_{ms}K\beta) / Z_{TB} = \dot{U}_{ms}(1 + K\beta) / Z_{TB} \quad (3.34)$$

(3.34) ifodadan ko'rinadiki, parallel teskari bog'lanish kirish zanjirida qiymati kirish kuchlanishi va teskari bog'lanish zanjiri qarshiligi bilan aniqlanuvchi hamda  $1 + K\beta$  kamaygan tok hosil qiladi. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning kirish o'tkazuvchanligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$1/Z_{krTB} = \dot{I}_{m1} / \dot{U}_{ms} + \dot{I}_T / \dot{U}_{ms} = 1/Z_{kr} + (1 + K\beta) / Z_{TB} \quad (3.35)$$

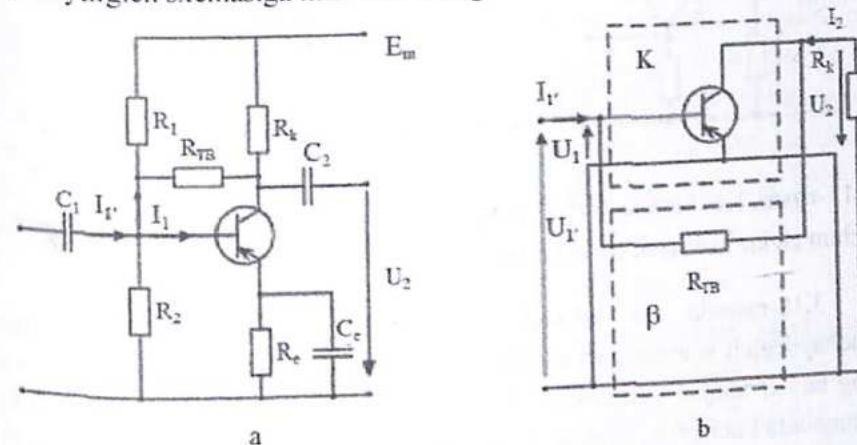
(3.35) ifodadan ko'rinadiki, parallel teskari bog'lanishning kiritilishi kuchaytirgichning kirish qarshiligiga  $Z_{TB} / (1 + K\beta)$  qarshilikni ulashga ekvivalent bo'ladi. Natijada manfiy teskari bog'lanishda kirish qarshiligi kamayadi.  $K\beta$  ning katta qiymatlari va  $Z_{TB}$  ning kichik qaymatlarida kirish qarshiligi Om ning o'ndan bir, mingdan bir ulushlariga teng bo'lishi mumkin.

### 3.7.3 Teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirish sxemasiga kiritish

Tranzistorning emitter zanjiriga shuntlovchi sig'imni ulamasdan tok bo'yicha ket-ket manfiy teskari bog'lanishni hosil qilish va uning fizik xususiyatlari bo'yicha muhokama qilgan edik (3.11-rasm). Quyida teskari

bog'lanish zanjirini kuchaytirgichga kiritish usullari to'g'risida tanishib chiqamiz.

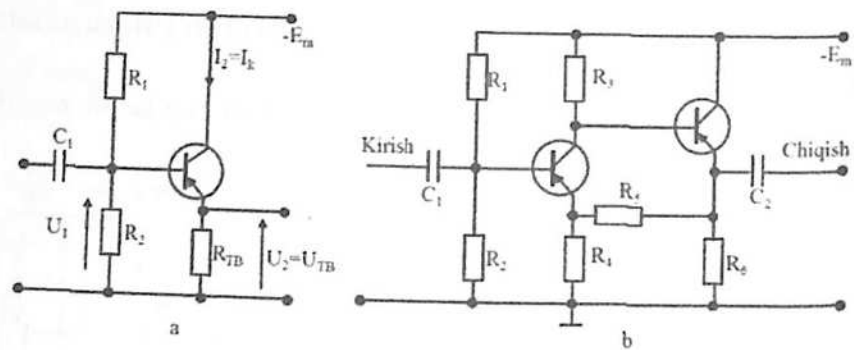
3.16-rasmda kuchlanish bo'yicha parallel teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirgich sxemasiga kiritish keltirilgan.



3.16-rasm. Kuchlanish bo'yicha parallel teskari bog'lanish: a-elektr sxemasi; b-tarkibiy sxema

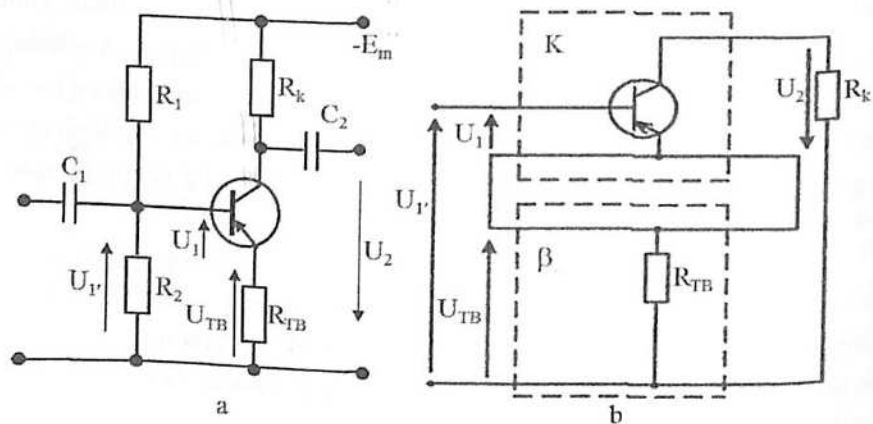
Unda  $R_{TB}$  teskari bog'lanish qarshiligi orqali kuchaytirgichning kollektor zanjiridagi kuchlanishning bir qismi bazaga qayta uzatiladi. Bunda  $R_{TB}$  qarshilik  $R_k$  qarshilikka parallel, natijada chiqish kuchlanishi kuchaytirgich chiqishida va teskari bog'lanish zanjiri kirishida bir xil bo'ladi. Bu holda tok chiqish kuchlanishi funksiyasi hisoblanadi, ya'ni bunda teskari bog'lanish kuchlanish bo'yicha amalga oshiriladi. Shuning uchun bu turdagi teskari bog'lanish kuchlanish bo'yicha parallel deb ataladi.

3.17-rasmda kuchlanish bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirgich sxemasiga kiritish keltirilgan. Ko'rinadiki, chiqish emitterdan olingan bo'lib, chiqish kuchlanishi bir qismi kirishga qayta uzatiladi (emitter qaytargich). Ikki kaskadli sxemada  $R_3$  qarshilik teskari bog'lanish zanjiri vazifasini bajaradi.



3.17-rasm. Kuchlanish bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish: a-bir kaskadli uchun elektr sxemasi; b-ikki kaskadli uchun elektr sxemasi

3.18-rasmda tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirgich sxemasiga kiritish usuli keltirilgan. Kuchaytirgich va teskari bog'lanish zanjiri ketma-ket ulanishida ularning kuchlanishlari ketma-ket ulanganda kuchaytirgichning kirishidagi tok uning barcha sohalarida bir xil. Kuchaytirgichning kirishi va teskari bog'lanish zanjiri chiqishi signal manbai bilan ketma-ket ulanganligi sababli, kirishga ideal tok generatoridan signal berilganda teskari bog'lanish zanjiri ochiladi va teskari bog'lanish kuchlanishi kuchaytirgichning kirish zanjiriga yetkazilmaydi.



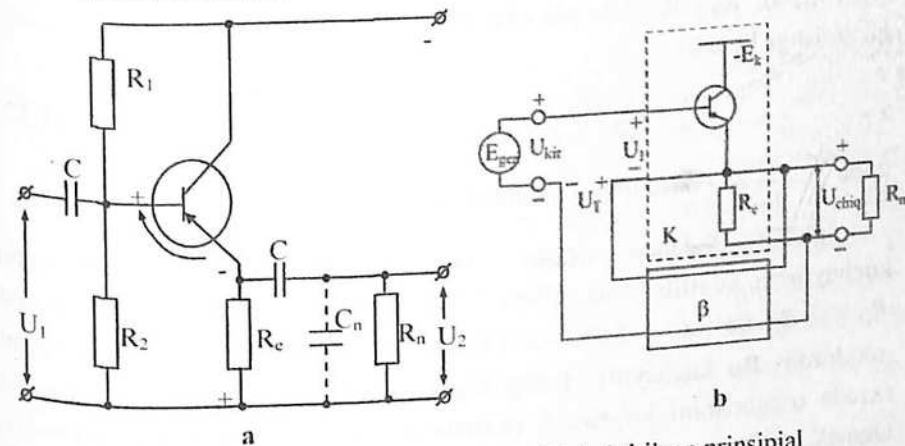
3.18-rasm. Tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish: a-bir kaskadli uchun elektr sxemasi; b- tarkibiy sxema

Bu holda teskari bog'lanish yo'q. Kuchaytirgich kirishida kichik ichki qarshilikli signal generatori bo'lganida kirishdagi ketma-ket teskari bog'lanish effektiv qo'llanilishi mumkin.

Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning chiqishi kuchaytirgichning chiqishi, teskari bog'lanish zanjirining kirishi va nagruzka qarshiligining ketma-ket ulanishidan iborat. Bunda chiqish ketma-ket zanjirining barcha qismlarida bir xil tok o'tadi va u teskari bog'lanish zanjiri kuchlanishini hosil qiladi. Shunday qilib, teskari bog'lanish kuchlanishi chiqish tokiga bog'liq bo'lmaydi va bu ko'rinishdagi teskari bog'lanish *tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish* deb ataladi.

### 3.8 Emitter qaytargichi

Elektr signallarni kuchaytirishda ko'pincha katta kirish qarshiligi va kichik chiqish qarshiligiga ega bo'lgan kaskadlarga zarurat tug'iladi. Bu ko'rinishdagi kuchaytirish kaskadi sifatida emitter qaytargichni olish mumkin. Emitter qaytargichi umumiy kollektorli sxema asosida tuzilgan kuchaytirgich bo'lib, aktiv rejimda emitterdagi kuchlanish (chiqish kuchlanishi) kirish kuchlanishini qaytaradi. Shuning uchun u *emitter qaytargich* deb ataladi.



3.19-rasm. Emitter qaytargichning soddalashtirilgan prinsipial sxemasi (a) va tarkibiy sxemasi (b)

3.19a-rasmda sodd emitter qaytargichning sxemasi keltirilgan. Uning nagruzka qarshiligi emitter zanjiriga ulangan. Umumiy holda nagruzka

qarshiligi kompleks kattaligidir. Tekshirishni osonlashtirish uchun uni aktiv  $R_e$  qarshilik deb olamiz. Undagi  $U_e$  potensial tushuvi chiqish kuchlanishini tashkil qiladi, ya'ni  $U_e = U_{chq}$ . Agar  $U_1$  kirish kuchlanishi ekanligini e'tiborga olsak,  $U_{ch} = U_{kir} - U_{be} \approx U_{kir}$  ekanligi ko'rinadi. Sababi baza-emitter kuchlanishi  $U_{be}$  juda kam o'zgaradi. Shuning uchun bu yerda 100 foizli kuchlanish bo'yicha ketma-ket manfiy teskari bog'lanish hosil bo'ladi, ya'ni  $\beta = -1$  (3.19b-rasm).

Barcha manfiy teskari bog'lanishli kuchaytirgichlarga o'xshash emitter qaytargichi ham qator afzalliklarga ega. Ularni manfiy teskari bog'lanishli kuchaytirgichning asosiy ifodalari orqali ifodalash mumkin. Lekin asosiy parametrlarni baholash uchun teskari bog'lanish zanjirini ajratmagan holda kuchaytirgichning ekvivalent sxemasini tekshirish maqsadga muvofiq bo'ladi. O'rta chastotalar sohasi uchun u 3.20a-rasm ko'rinishida tasvirlangan. Undan  $I_b = \frac{U_1 - U_2}{R_e + R_{11}}$  va  $U_2 = \gamma I_b (R_{22} \parallel R_e \parallel R_n)$  ekanini aniqlash mumkin. Shunga ko'ra kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

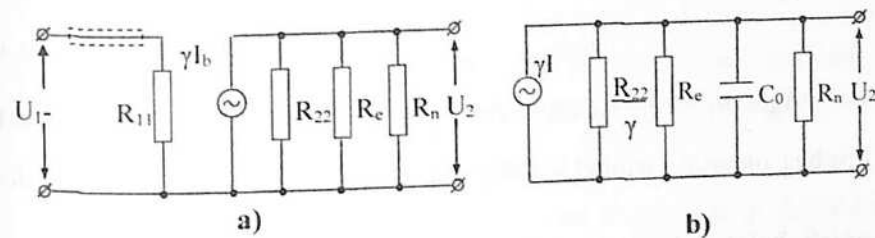
$$K_0 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\gamma(R_{22} \parallel R_e \parallel R_n)}{(R_e + R_{11}) + \gamma(R_{22} \parallel R_e \parallel R_n)} \quad (3.36)$$

Agar  $R_e = 0$ ,  $R_n \gg R_e$  deb hisoblasak, (3.36) ifoda soddalashib, quyidagi ko'rinishga keladi:

$$K_0 \approx \frac{\gamma R_n}{R_{11} + \gamma R_n} \quad (3.37)$$

unda  $\gamma = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$  - baza tokini uzatish koeffitsiyenti.

(3.37) ifodadan emitter qaytargichining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti doimo birdan kichik bo'lishi ko'rinadi. Faqat  $R_{11} \ll \gamma R_e$  bo'lsa, u birga intilib boradi. Undan tashqari,  $K_0$  musbat miqdordir. Bu kuchaytirgichning kirish va chiqish kuchlanishlari bir xil fazada o'zgarishini ko'rsatadi (tranzistor faza siljishini hosil qilmaydi). Demak, emitter nagruzkali kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishi bilan mos fazada o'zgarib, miqdor jihatdan biroz kamaygan bo'ladi.



3.20-rasm. Emitter qaytargichning o'rta (a) va yuqori (b) chastotalar uchun ekvivalent sxemasi

Kaskadning chiqish qarshiligini aniqlash uchun uning chiqish tokini bilish kerak. U son jihatdan emitter tokiga teng:  $I_e \approx \gamma I_b$ . Agar bunga baza tokining ifodasini qo'ysak, u quyidagi ko'rinishga keladi:

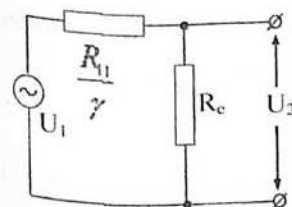
$$I_e = \frac{U_1 - \frac{\gamma R_e}{R_{11} + \gamma R_e} U_1}{R_{11}} = \frac{U_1}{\frac{R_{11}}{\gamma} + R_e} \quad (3.38)$$

Bu formulaga 3.21-rasmda tasvirlangan ekvivalent sxema mos keladi.

Undagi  $\frac{R_{11}}{\gamma}$  qarshilik son jihatdan ekvivalent generatorning ichki qarshiligi bo'lib, emitter qaytargichining chiqish qarshiligini ifodalaydi:

$$R_{chq} = \frac{R_{11}}{\gamma} \quad (3.39)$$

Demak, emitter qaytargichining chiqish qarshiligi kichik miqdor ekan (masalan,  $R_{11} = 600 \text{ Om}$  va  $\gamma = 40$  bo'lsa,  $R_{chq} = 15 \text{ Om}$  bo'ladi). Shunga ko'ra kuchaytirgichning nagruzkasi bo'lgan  $R_e$  qarshilik ham kichik qiymatga ega bo'lishi kerak, chunki energetik jihatdan nagruzk bilan ichki qarshilik bir xil



3.21-rasm. Emitter qaytargichning soddalash-tirilgan ekvivalent sxemasi

tartibda tanlanishi lozim.

Emitter qaytargichning chiqish qarshiligi signal generatorining  $R_r$  - ichki qarshiligiga bog'liq.  $R_r$  ortishi bilan u ham ortadi. Agar  $R_r = \infty$  bo'lsa, chiqish qarshiligi o'zining maksimal qiymatiga erishadi:

$$R_{chuz\ max} = \frac{R_e \cdot R_{22}}{R_e + R_{22}} \quad (3.40)$$

Agar  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklardan tuzilgan kuchlanish bo'lgichi ta'sirini hisobga olmasak, emitter qaytargichning kirish qarshiligi  $R_{kir} = \frac{U_1}{I_b}$  ifoda orqali aniqlanadi. Bunda  $I_b = \frac{U_1}{(R_e + R_{11}) + \gamma(R_{22} \parallel R_e \parallel R_n)} \approx \frac{U_1}{\gamma R_e}$  ekanini hisobga olsak, kirish qarshiligi  $R_{kir} \approx \gamma R_e$  ifoda orqali aniqlanadi. Ko'rinadiki, emitter qaytargichning kirish qarshiligi yetarlicha katta miqdor ekan. Lekin uning kattaligi bazaga ulangan  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklardan tuzilgan kuchlanish bo'lgichiga juda bog'liq bo'ladi. Emitter qaytargichining yaxshi ishlashi uchun  $R_1 \parallel R_2 < R_e$  tengsizlik bajarilishi kerak va uning kirish qarshiligi o'zgarishsiz qolishi uchun esa  $R_{11} \parallel R_2 > R_{kir} \approx \gamma(R_e \parallel R_n)$  shart bajarilishi lozim. Bu ikki tengsizlikning bir vaqtda bajarilishi uchun  $R_e > \gamma R_n$  bo'lishi, ya'ni nagruzka qarshiligi yetarlicha kichik bo'lishi zarur.

Umumiy emitterli sxema asosida yig'ilgan kuchaytirgich kabi emitter qaytargichning chastotaviy xarakteristikasi quyi sohalarda o'tish zanjirining vaqt doimiysi  $C_1 R_{kir}$  va  $C_2 R_n$  ga bog'liq bo'lsa, yuqori chastotalar sohasida nagruzka zanjirining vaqt doimiysi  $\tau_{yuekv} = C_0 R_{ekv}$  bilan xarakterlanadi va ekvivalent chiqish qarshiligi juda kichik miqdor bo'lganligi uchun emitter qaytargich nagruzka zanjirining vaqt doimiysi  $\tau_{yueq}$  yetarlicha kichik bo'ladi. Shunga ko'ra

$$\tau_{yuekv} = C_0 (R_{chuz} \parallel R_e) = C_0 \left( \frac{R_{11}}{\gamma} \parallel R_e \right) \approx C_0 \frac{R_{11}}{\gamma} \quad (3.41)$$

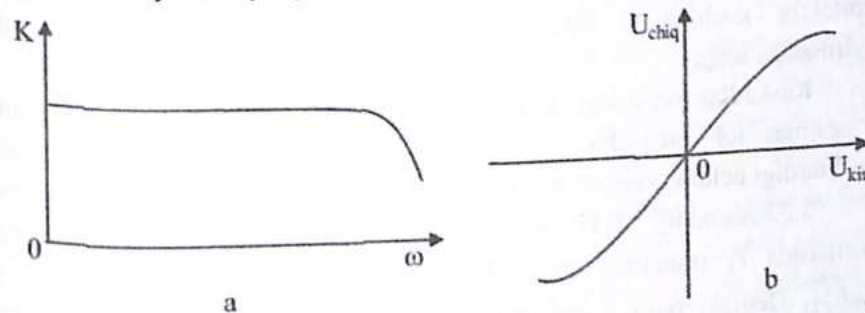
deb yozish mumkin.

Zararli sig'implari bir xil bo'lgan emitter qaytargichi va umumiy emitterli kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikalarini solishtirish yuqori chastotadagi pasayish emitter qaytargichda juda katta chastotalar sohasiga to'g'ri kelishini ko'rsatdi. Shuning uchun emitter qaytargichning o'tkazish sohasi keng bo'lishi talab qilinmasa, uning chiqishiga sig'imi  $C_0$  dan yetarlicha katta bo'lgan  $C_n$  kondensator ulash mumkin (3.20-rasm).

Shunday qilib, emitter qaytargichi kirish qarshiligi katta va chiqish qarshiligi kichik, keng o'tkazish sohasiga ega bo'lgan kuchaytirgichdir. U kuchlanishni kuchaytirmasa ham, tok kuchi va quvvatni yaxshi kuchaytiradi.

### 3.9 O'zgaras tok kuchaytirgichi

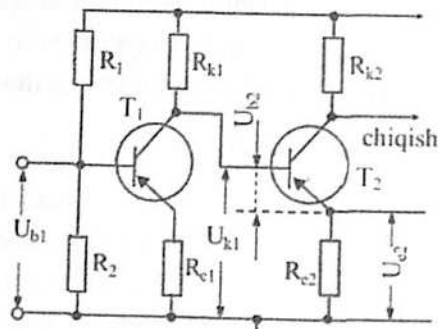
Ko'pincha avtomatik nazorat va boshqarish, radioo'lchash sistemalari va ilmiy tadqiqot ishlarida qo'llaniluvchi o'lchov tizimlari kabi elektron qurilmalarda tok kuchi hamda kuchlanishning juda sekin (gersning bo'laklariga teng) o'zgarishlarini kuchaytirishga to'g'ri keladi. Bunday kuchaytirgich o'tkazish sohasining quyi chegarasi  $\omega_q = 0$  dan boshlanishi kerak. Bunday kuchaytirgichlar o'zgaras tok kuchaytirgichlari deb ataladi.



**3.22-rasm.** O'zgaras tok kuchaytirgichining amplitudaviy-chastotaviy (a) va amplitudaviy (b) xarakteristikalari

3.22a-rasmda o'zgaras tok kuchaytirgichining chastotaviy xarakteristikasi keltirilgan. 3.22b-rasmda uning amplitudaviy xarakteristikasi keltirilgan, ko'rinadiki, uning chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga to'g'ri proporsional bo'lib, qutblari ham o'zaro mos bo'lishi kerak.

O'zgaras tok kuchaytirgichlarida tashqi nagruzka zanjiriga (yoki keyingi kaskadga) kuchaytirilgan signalning ham o'zgaras, ham o'zgaruvchan tashkil etuvchisi uzatiladi. Shuning uchun bog'lovchi zanjirning o'tkazish sohasi quyi chastota tomonidan chegaralanmagan bo'lishi kerak (3.22a-rasm). Shuning uchun kaskadlar orasida kondensator yoki boshqa xildagi elementlar bo'lmasligi kerak. Bu holda bog'lanish to'g'ridan-to'g'ri yoki galvanik ko'rinishda bo'ladi.



3.23-rasm. O'zgaras tok kuchaytirgichi

qiymatga ega bo'ladi. Bazalarga beriladigan siljitish kuchlanishi esa kollektor kuchlanishi bilan keyingi kaskadning emitter kuchlanishi ayirmasiga teng.

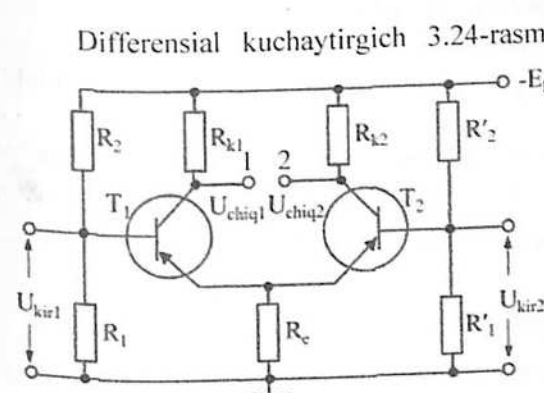
Kaskadlar orasidagi to'g'ridan to'g'ri ulanish har bir kaskadning o'zgaras tok bo'yicha ish rejimini o'zgartiradi. Bunday holat sodir bo'lmasligi uchun sxemaga tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanish kiritiladi.

3.23-rasmdagi ikki kasadli o'zgaras tok kuchaytirgichining sxemasida  $T_2$  tranzistor uchun  $U_{b2} = U_{k1} - U_{e2}$  bo'lib, bu yerda  $U_{e2} = I_{e2}R_{e2}$ . Demak, baza kuchlanishini  $R_{e2}$  rezistor qarshiligini o'zgartirish orqali tanlash mumkin ekan. Lekin bazadagi siljitish kuchlanishi qiymati katta emas (voltning ulushlari). Shuning uchun  $U_k \gg U_b$  bo'ladi. Demak, tarmoqlardagi tok  $I_{e1} = I_{e2}$  bo'lishi uchun  $R_e$  ni orttirish  $R_k$  ni kichraytirish kerak bo'ladi. Ikkala holda ham kuchaytirish koeffitsiyenti kichrayadi. Chunki  $R_k$  ning kichrayishi bevosita  $K$  ni kichraytirsa,  $R_e$  ning ortishi tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanish chuqurligi  $(1 + K\beta)$  ni orttiradi. Demak, umumiy kuchaytirishni orttirish uchun kaskadlar sonini ko'paytirish maqsadga muvofiq emas ekan.

O'zgaras tok kuchaytirgichining asosiy kamchiligi ishlashining nostabilligida. Manba kuchlanishining o'zgarishi, sxema elementlarining almashtirilishi va boshqalar kuchaytirgichning ichki zanjiridagi tok kuchi va kuchlanishni o'zgartiradi. Bu o'zgarish kuchaytirish pog'onalarida kuchaytirilib, kirish signali ta'sir etmaganda ham kuchaytirgichning chiqishida biror o'rtacha qiymat atrofida o'zgarib tradigan kuchlanish hosil qiladi. Past chastotali kuchaytirgichlarda bu kuchlanish kuchaytirish

stabilligiga ta'sir etmaydi. Ammo o'zgaras tok kuchaytirgichlarida ularning ta'siri kuchli bo'ladi. Kuchaytiriladigan signalning kattaligi va tabiati shu o'zgarishlarga o'xshash bo'lgani uchun foydali signalni ajratib olish qiyin bo'lib qoladi.

### 3.10 Differensial kuchaytirgich



3.24-rasm. Differensial kuchaytirgich

Differensial kuchaytirgich 3.24-rasmda ko'rsatilgan ko'priksimon tuzilishga ega bo'lib, 2 ta kirish va 2 ta chiqish klemmlariga ega. Differensial kaskad  $T_1$  va  $T_2$  tranzistordan tashkil topgan bo'lib, ularning emitterlari umumiy bo'lib,  $R_e$  rezistorga ulangan.  $U_{kir1}$  kirish signali uchun  $T_1$  tranzistor UE sxema asosida,  $T_2$  tranzistor esa UB sxema asosida ulangan.  $U_{kir2}$  kirish signali uchun  $T_1$  tranzistor UB sxema asosida,  $T_2$  tranzistor esa UE sxema asosida ulangan.

Differensial kuchaytirgichda ko'prik sxema sifatida  $R_{k1} = R_{k2}$  rezistorlar olingan bo'lib, uning bir diagonali  $E_k$  manba ulansa, ikkinchisiga  $-R_n$  nagruzka qarshiligi ulanadi. Bu sxemada mos elementlar o'zaro teng bo'lsa, sistema simmetrik bo'ladi va ko'prik muvozanatda bo'ladi. Agar kirish signali ta'sir etmasa  $R_{k1}$  va  $R_{k2}$  rezistorlardan bir xil tok o'tadi:  $(I_{k1} = I_{k2})$ .  $T_1$  va  $T_2$  tranzistorlarning kollektor kuchlanishlari o'zaro teng bo'ladi, ya'ni  $U_{k1} = U_{k2}$ . Bu vaqtda 1 va 2 chiqishlari oralig'iga  $R_n$  ni ulasak (ulanish sxemada keltirilmagan), undagi kuchlanish nolga teng bo'ladi. Sxemaning bunday holati *sokinlik rejimi* deb ataladi. Bu vaqtda  $R_e$  dan  $I_{k1} + I_{k2}$  ga teng tok o'tib, undagi potensial tushuvi bazalarda  $R_e(I_{k1} + I_{k2})$  ga teng manfiy teskari bog'lanish kuchlanishini hosil qiladi. Bu kuchlanish tranzistorlarning boshlang'ich ishchi nuqtasini stabil ushlab turadi.

Kuchaytirgich kirishiga ikki turdagi signallar berilishi mumkin: bir xil fazali signallar (*sinfaz*) va bir-biridan farq qiluvchi signallar, ya'ni

*differensial signallar* berilishi mumkin. Shunga ko'ra kuchaytirgichga signal ta'sir etganda ikkita xususiy hol sodir bo'lishi mumkin:

1) Ikkala kirishga bir xil qiymatga ega bir xil fazadagi signallar ta'sir etganda yuqorida aytilganidek, baza toklari bir xil  $\Delta I_{b1} = \Delta I_{b2}$  qiymatga ortadi va kollektor toklari  $I_{k1} = I_{k2}$  o'zaro teng bo'ladi hamda tranzistorlardagi barcha kuchlanishlar bir xil o'zgaradi:

$$U_{chq1} = E_k - I_{k1} R_{k1} \quad (3.42)$$

$$U_{chq2} = E_k - I_{k2} R_{k2}$$

Natijada 1 va 2 chiqishlar orasiga ulangan  $R_n$  da potensial tushuvi nolga teng bo'ladi, ya'ni  $U_n = U_{chq1} - U_{chq2} = 0$ . Demak, bunday shunday muhim xulosa kelib chiqadi: *differensial kuchaytirgich bir xil fazali sinfaz signallarni kuchaytirmas* ekan.

2) Kirishlarga qarama-qarshi fazadagi signallar ( $U'_{kir1} = U_{kir1} + \Delta U_{kir}$ ,  $U'_{kir2} = U_{kir2} - \Delta U_{kir}$ ) ta'sir qilganda kollektor toki va kuchlanishining bittasi ortsa, ikkinchisi xuddi shuncha qiymatga kamayadi:

$$I'_{k1} = I_{k1} + \Delta I_k, U'_{k1} = U_{k1} + \Delta U_k \quad (3.43)$$

$$I'_{k2} = I_{k2} - \Delta I_k, U'_{k2} = U_{k2} - \Delta U_k$$

Natijada chiqish signali ular ayirmasiga teng bo'lib, noldan farqli bo'ladi:  $U_n = U_{chq1} - U_{chq2} = 2\Delta U_k > 0$ . Demak, differensial kuchaytirgich qarama-qarshi fazadagi, ya'ni *differensial signallarni kuchaytirar* ekan. Bunda har bir kaskad mustaqil kuchaytirgich bo'lib xizmat qiladi. Kirish signali kuchaytirgich kirishlaridan faqat bittasiga ta'sir etgan holni ko'raylik. Misol uchun  $U_{kir1} > 0$ ,  $U_{kir2} = 0$  bo'lsin. Bunda boshlang'ich paytda  $I_{k1}$  tok  $\Delta I_{k1}$  ga ko'payib,  $I_{k2} = const$  bo'ladi. Shuning uchun  $(I_{k1} + \Delta I_{k1}) + I_{k2}$  yig'indi tok ortadi va  $R_e$  orqali teskari bog'lanish zanjiri ishga tushadi. Natijada  $T_1$  tranzistordagi tok  $I_{k1} + \frac{\Delta I_k}{2}$  bo'lsa,  $T_2$  tranzistordagi tok  $I_{k2} - \frac{\Delta I_k}{2}$  bo'lib, chiqish kuchlanishi kamayadi; ikkinchi chiqishdagi kuchlanish ortadi. Natijaviy chiqish kuchlanishining o'zgarishi oldingi holdagidan ikki marta kichik bo'ladi. Ko'rinadiki, qaysi kaskadga kuchlanish berilmasin, dastlab har bir tranzistorda toklar bir xil o'zgaradi. Tokning o'zgarishi  $\frac{\Delta I_k}{2}$  bo'lganligi uchun, differensial kuchaytirgichni o'rganishda faqat uning yarmini tahlil qilsa ham bo'ladi degan xulosa qilsa bo'ladi.

Ko'pincha kirish signali differensial kuchaytirgichning har ikki kirishiga bir vaqtda berilsa ham, chiqish signali chiqishlarning faqat bittasidan olinadi. Misol uchun chiqish kuchlanishi ikkinchi chiqishdan olinsin. Unda yuqoridagi mulohazalarga asosan, birinchi kirishga ta'sir etadigan signal bilan chiqish kuchlanishi bir xil fazada, ikkinchi kirishga berilgan signal bilan esa qarama-qarshi fazada o'zgarishini aniqlash mumkin. Shunga ko'ra birinchi kirish *to'g'ri kirish* deb, ikkinchisi esa *faza o'zgartuvchi* (invers) kirish deb ataladi.

Differensial kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti har bir xususiy hol uchun alohida-alohida aniqlanadi. Masalan, differensial (ayirma) signalga nisbatan u

$$K_d = \frac{U_{chik1} - U_{chik2}}{U_{kir1} - U_{kir2}} \quad (3.44)$$

ko'rinishda aniqlansa, har bir chiqishga nisbatan

$$K_{d1} = \frac{U_{chik1}}{U_{kir1} - U_{kir2}} \quad \text{va} \quad K_{d2} = \frac{U_{chik2}}{U_{kir1} - U_{kir2}} \quad (3.44a)$$

ga teng bo'ladi. Sinfaz signalga nisbatan kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$K_s = 2 \frac{U_{chik1} - U_{chik2}}{U_{kir1} + U_{kir2}} \quad (3.45)$$

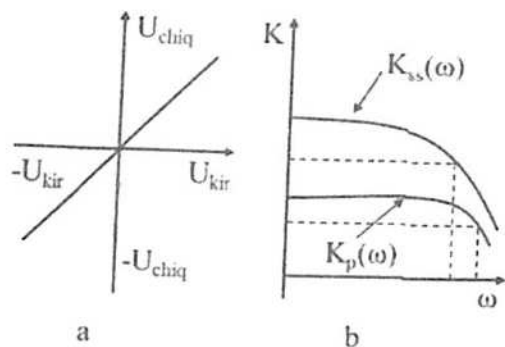
Real kuchaytirgich ideal simmetriyaga ega bo'lmagani uchun uning natijaviy chiqish kuchlanishi quyidagi ifoda yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\Delta U_{chiq} = U_{chiq1} - U_{chiq2} = K_d(U_{kir1} - U_{kir2}) + K_c \frac{U_{kir1} + U_{kir2}}{2} \quad (3.46)$$

Differensial kuchaytirgichning sifati sinfaz signalni so'ndirish koeffitsiyenti  $K_{cc}$  degan kattalik orqali xarakterlanadi. U differensial signalni kuchaytirish koeffitsiyentini sinfaz signalni kuchaytirish koeffitsiyentiga nisbati orqali aniqlanadi:

$$K_{cc} = \frac{K_d}{K_c} \quad (3.47)$$

Kuchaytirgich faqat differensial signalni qayd qilishi uchun  $K_c \ll K_d$  bo'lishi kerak. Shunga asosan yaxshi differensial kuchaytirgichlarda  $K_{cc} = 10^4 \div 10^6$  tartibida bo'ladi.



3.25-rasm. Differensial kuchaytirgichning amplitudaviy (a) va chastotaviy (b) xarakteristikasi

3.25-rasmdan sinfaz signal yuqori chastotasining chegaraviy qiymati differensial signalnikiga nisbatan kichik bo'lishi ko'zga tashlanadi.

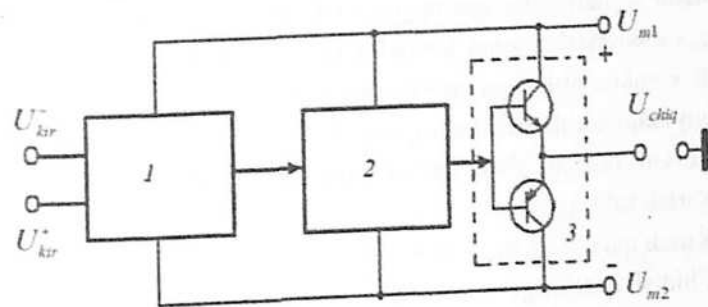
### 3.11 Operatsion kuchaytirgichlar

Analog elektr signallarni qayta ishlashga mo'ljallangan integral mikrosxemalar ichida operatsion kuchaytirgichlar muhim o'rin tutadi. Operatsion kuchaytirgich (OK)-o'zgaras tok kuchaytirgichi bo'lib, juda katta ichki kuchaytirish koeffitsiyenti va differensial kirishga ega kuchaytirgichdir.

OK shuningdek kuchlanish va analog signallarni o'zgartirish bo'yicha turli operatsiyalarni amalga oshirishga mo'ljallangan yarimo'tkazgichli asbob hisoblanadi. Ular yordamida kuchaytirish, yig'ish (to'plash), ayirish, integrallash, differensiallash va boshqa ko'plab operatsiyalarni amalga oshirish mumkin. Bunday operatsiyalarni bajarish ularda musbat yoki manfiy teskari bog'lanish zanjirlarining mavjudligi asosida amalga oshiriladi. Bunday teskari bog'lanish zanjirlari tarkibiga qarshilik, sig'im, induktivlik xususiyatiga ega elementlar, diodlar, stabilatronlar, tranzistorlar va boshqa bir qator elektron elementlar kiradi.

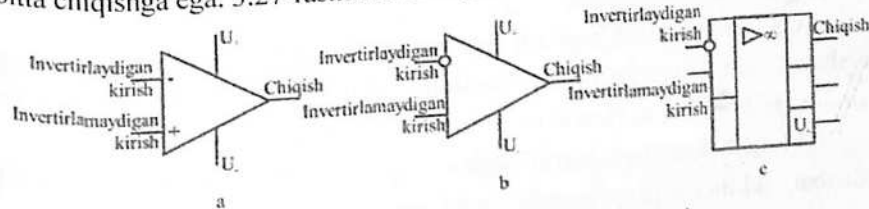
OK murakkab sxemaning alohida elementi sifatida yoki katta integral mikrosxemalar yaratish uchun tarkibiy element sifatida qo'llaniladi. Oddiy kuchlanish kuchaytirgichi va operatsion kuchaytirgich orasida deyarli farq yo'q. Ikkalasi ham kuchlanish yoki tokni kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Biroq, agar oddiy kuchaytirgich xossalari uning ichki elementlari bilan

belgilansa, operatsion kuchaytirgichning funksiyasi yuqorida aytilganidek, tashqi teskari bog'lanish zanjiri elementlari xossalari bilan aniqlanadi.



3.26-rasm. Operatsion kuchaytirgichning tuzilishi: 1-differensial kuchaytirgich, 2-kuchlanish kuchaytirgichi, 3-quvvat kuchaytirgichi

Odatda operatsion kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyenti juda yuqori bo'lgan differensial kuchaytirgich asosida shakllantiriladi. Odatda OK ikki yoki uch kaskadli bo'ladi. 3.26-rasmda uch kaskadli OK tuzilishi sxemasi keltirilgan bo'lib, u kirish kaskadi differensial kuchaytirgich, kuchlanish kuchaytirgichi va chiqish kaskadi esa quvvat kuchaytirgichidan tashkil topgan integral sxema ko'rinishida tasvirlangan. Ular ikkita kirish va bitta chiqishga ega. 3.27-rasmda OKning shartli belgilanishlari ko'rsatilgan.



3.27-rasm. OKning shartli belgilanishlari

3.27-rasmda: invertirlanadigan kirish-signalning fazasi o'zgaradi; invertirlamaydigan kirish-signalning fazasi o'zgarmaydi;  $U_{kir}^{(-)}$  - invertirlanadigan kirishdagi kuchlanish;  $U_{kir}^{(+)}$  - invertirlamaydigan kirishdagi kuchlanish;  $U_{chiq}$  - chiqish kuchlanishi;  $U_+$  - manbaning musbat kuchlanishi;  $U_-$  - manbaning manfiy kuchlanishi. OKni musbat va manfiy kirish signallari bilan ishlashiga imkoniyat yaratish uchun ikki qutbli manbadan ( $\pm 15V$ )

foydalaniladi. Odatda OK sxemada belgilashda murakkabliklarning oldini olish uchun undagi manba ko'rsatilmaydi.

OKlar signallarni o'zgartiruvchi sifatida foydalaniladi. Shuning uchun ularning xarakteristikalariga bir qator talablar qo'yiladi. Bu talablar asosan ideal OK xarakteristikasiga qo'yiladigan talablar bo'yicha shakllanadi. Ideal OKlar quyidagi xarakteristikalariga ega bo'lishi kerak:

- 1) Teskari bog'lanishsiz ichki kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_{ichk} \rightarrow \infty$
- 2) Kirish toki  $I_{kir} = 0$ ;
- 3) Kirish qarshiligi  $R_{kir} \rightarrow \infty$ ;
- 4) Chiqish qarshiligi  $R_{chiq} = 0$ ;
- 5) Nolning sirqish kuchlanishi va toki  $U_{sirq} = 0$ ;  $I_{sirq} = 0$
- 6) Sinfaz signalning kuchsizlanish koeffitsiyenti  $K_{sinf} \rightarrow \infty$ .

OKlarning kirish qarshiliklari differensial va sinfaz qarshiliklarga ajratiladi.

Differensial kirish qarshiligi  $R_{k dif}$  OKning differensial kirishlari orasidagi qarshilik sifatida aniqlanadi. Bunda kirishlardan bittasi yerga ulangan bo'lishi kerak.

Sinfaz kirish qarshiligi  $R_{k sinf}$  o'zaro birlashtirilgan kirishlar bilan yer orasidagi qarshilik sifatida aniqlanadi. Shu bilan birga  $R_{k sinf} \gg R_{k dif}$  tengsizlik bajarilishi kerak.

OKlarning boshlang'ich kirish va chiqish kuchlanishlarini yerga nisbatan nolga tenglashtirish mumkinligidan foydalanib, OK kaskadlarini ajratuvchi kondensatorlarsiz o'zaro to'g'ridan to'g'ri ulash mumkin.

Chiqish kuchlanishlarini nolga tenglashtirish yerga nisbatan birining musbat, ikkinchisining manfiy qutblarini yerga simmetrik ulangan ikkita manbadan foydalanib amalga oshiriladi. Bunda birdan bir shart barcha manbalar kuchlanish bo'yicha katta stabilikka va kichik chiqish qarshiligiga ega bo'lishi kerak. Chiqish qarshiligining kichik bo'lish sharti OKni tashkil qiluvchi kaskadlar orasida teskari bog'lanish paydo bo'lishining oldini olish uchun zarur.

OK mavjud bo'lgan sxemalarda virtual ulanish prinsipi deb ataluvchi usul qo'llanilishi natijasida bu sxemalar yanada soddalashadi. Bu prinsipning ma'nosi shundan iboratki, bunday ulanishda OKning kirishlari orasidagi

kuchlanish odatdagi qisqa tutashuvdagi kabi nolga teng bo'ladi. Lekin unga, ya'ni bunday tutashuvga tok uzatilmaydi.

Virtual ulanish prinsipi OKda tuzilgan sxemalarda (+) va (-) kirishlar orasidagi kuchlanish va kirish tokini nolga teng deb hisoblash imkonini beradi. OKning chiqish kuchlanishini quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin

$$U_{chiq} = -K(U_- - U_+) = -K(\Delta U) \quad (3.47)$$

bu yerda K teskari bog'lanishsiz kuchaytirgichning uzatish koeffitsiyenti;  $U_-$  invertirlovchi kirishdagi kuchlanish;  $U_+$  invertirlamaydigan kirishdagi kuchlanish.

Uzatish koeffitsiyenti K oldidagi minus ishora chiqish kuchlanishi manfiy qiymatga ega ekanligini ko'rsatadi. (3.47) ifodadan uzatish koeffitsiyentini

$$-K = \frac{U_{chiq}}{\Delta U} \quad (3.48)$$

orqali aniqlash mumkin.

O'zgarmas toklarda real OKlarning uzatish koeffitsiyenti 10000dan 2000000 gacha bo'lgan qiymatlar orasida bo'ladi.

Chiqish kuchlanishi hech qachon kirish kuchlanishidan ortiq bo'la olmaydi ( $U_{m-} < U_{chiq} < U_{m+}$ ). Odatda OKning maksimal chiqish kuchlanishi manba kuchlanishidan voltning ulushlari darajasida kichik bo'ladi. Bu cheklash cheklov kuchlanishi deb nomlanadi (musbat  $U_{chekl}$  va manfiy  $U_{chekl}$ ).

OK ning asosiy parametrlari:

*kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti* (K): odatda differensial signalni kuchaytirish koeffitsiyenti  $K = 10^5 \div 10^7$  ga teng;

*sinfaz signalni so'ndirish koeffitsiyenti* ( $K_{ss}$ ) – bu differensial signalni kuchaytirish koeffitsiyentini sinfaz signalni kuchaytirish koeffitsiyentiga nisbatidan aniqlanadi. Desibellarda ifodalanib, odatda 60-90 db ga teng;

*kirish qarshiligi*  $R_{kir}$  - operatsion kuchaytirgichning kirishlari orasidagi qarshilik bo'lib, bir nech yuz kiloOmdan bir necha yuz megaOmgacha bo'lishi mumkin. Kirish qarshiligini oshirish uchun birinchi kaskadda maydonli tranzistordan foydalaniladi;

*chiqish qarshiligi*  $R_{chiq}$  - odatda bir necha o'n om bo'ladi;

kirish siljish toklari  $I_{kir\ sil1}, I_{kir\ sil2}$  - kirish signali nolga teng bo'lganda kirish sohasidagi doimiy toklar. odatda ma'lumotnomalarda ularning o'rtacha qiymati keltiriladi;

kirish toklari farqi  $\Delta I_{kir\ sil} = |I_{kir\ sil1} - I_{kir\ sil2}|$ . OK da kirish toklari bir-biridan (10-20)% ga farq qilishi mumkin;

siljish kuchlanishi  $U_{sil0}$  - miqdor jihatidan chiqish kuchlanishini nolga tenglashtirish uchun kirishga qo'yiladigan kuchlanish bilan aniqlanadi.

quvvat;

chiqish toki  $I_{chiq}$  - OK yaxshi ishlagandagi chiqish tokining maksimal qiymati;

birlik kuchaytirish chastotasi  $f_1$  - kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladigan chastota;

siljish kuchlanishining temperaturaviy dreyfi  $\frac{dU_{sil0}}{dT}$ ;

kirish siljish toklari farqi dreyfi  $\frac{d\Delta I_{kir\ sil}}{dT}$ .

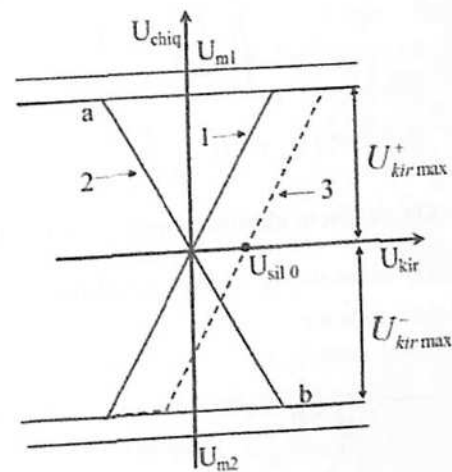
OK ushbu parametrlardan tashqari bir qator ekspuluatatsion parametrlarga ham ega bo'ladi.

### 3.11.1 Operatsion kuchaytirgichning asosiy xarakteristiklari

Amplitudaviy (yoki uzatish) xarakteristikasi OK asosiy xarakteristikasi bo'lib, uning kuchaytirish xususiyatlarini ifodalaydi. 3.28-rasmda OK amplitudaviy xarakteristikasi keltirilgan bo'lib, u chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga bog'liqligi orqali topilgan. Bu yerda kirish kuchlanishi OK kirishlari orasidagi kuchlanish, ya'ni differensial kuchlanish.

Agar kuchaytirilishi zarur bo'lgan signal OK ning invertirlamaydigan kirishiga berilgan bo'lib, invertirlovchi kirish yerga ulangan bo'lsa, u holda kirish kuchlanishi ishorasi chiqish kuchlanishi ishorasi bilan mos tushadi (3.28-rasm, 1-chiziq). Invertirlovchi kirishga signal berilib, invertirlamaydigan kirish yerga ulangan bo'lsa, u holda chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga qarama-qarshi ishorali bo'ladi (3.27-rasm, 2-chiziq).

Amplitudaviy xarakteristika *ab* chiziqli sohaga ega bo'lib, unda chiqish kuchlanishi o'zgarishlari  $\Delta U_{chiq}$  kirish kuchlanishi o'zgarishlari  $\Delta U_{kir}$  bilan chiziqli bog'langan (3.28-rasm).



3.28-rasm. OK amplitudaviy xarakteristikasi: 1-invertirlanmagan ulanish, 2- invertirlovchi ulanish, 3-siljigan xarakteristika

Xarakteristika qiyalik burchagi tangensi OK ning differensial kuchaytirish koeffitsiyentini beradi:

$$K = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} \quad (3.49)$$

Amplitudaviy xarakteristikaning *ab* chiziqli sohadan tashqaridagi qismi 3.26-rasmdagi OK sxemasidagi oxirgi tranzistorlarning to'yinish rejimiga mos keluvchi holatda (ya'ni to'yinish rejimida  $K=0$ ) bo'lib, chiqish kuchlanishi OK manbalari  $U_{m1}, U_{m2}$  qiymatiga yaqin bo'lgan  $U_{chiq\ max}^+$  va  $U_{chiq\ max}^-$  qiymatlarni qabul qiladi. 3.28-rasmdan ko'rinadiki, to'yinish rejimida OK chiqishiga yuqori tranzistor orqali  $U_{m1}$  va quyidagi tranzistor orqali  $U_{m2}$  manbalar ulanadi.

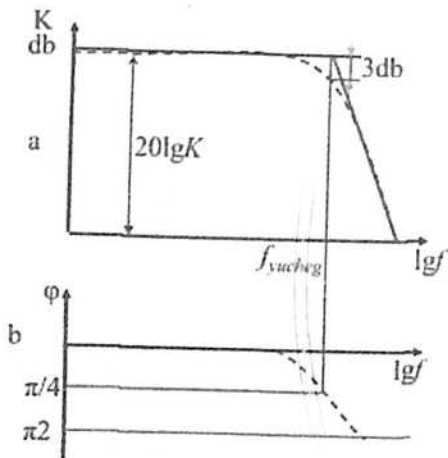
Real OK xarakteristikasi nolga nisbatan  $U_{sil0}$  ga siljigan bo'ladi (3.28-rasm, 3-chiziq).

OKning chastotaviy xususiyatlari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanuvchi chastotaviy va fazaviy xarakteristikalar bilan baholanadi:

$$K(f) = \frac{K(0)}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{yucheg}}\right)^2}} \quad (3.50)$$

$$\varphi(f) = \arctg\left(\frac{f}{f_{yucheg}}\right) \quad (3.51)$$

bu yerda  $K(0)$  - OK nolinchisi chastotadagi kuchaytirish koeffitsiyenti.  $f_{yucheg}$  - yuqori chegaraviy chastota, ta'rif bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti  $\sqrt{2}$  marta kamayadigan chastota.

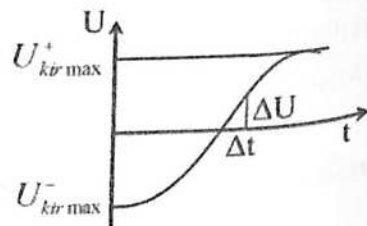


3.29-rasm. Operatsion kuchaytirgichning logarifmik amplitudaviy-chastotaviy (a) va fazaviy (b) xarakteristikalar

OKning o'tish xarakteristikasi keltirilgan.

O'tish xarakteristikasida OKning  $U_{kir}^{+}$  chiqish kuchlanishining o'sish tezligi degan dinamik xususiyatini aniqlash mumkin:

$$\rho = \frac{dU}{dt} = \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (3.52)$$



3.30-rasm

3.29-rasmda amplitudaviy-chastotaviy xarakteristika logarifmik masshtabda keltirilgan bo'lib, kuchaytirish koeffitsiyenti ditsebellarda olingan. Ideal AChX asimptotalardan tashkil topgan: biri chastota o'qiga parallel, ikkinchisi har dekadaga 20 db qiyalikka ega. Ularning kesishish nuqtasi ordinatasi yuqori kesish (chegara) chastotasi bo'lib, 3 db ga to'g'ri keladi. Bu qiymatda ideal xarakteristika haqiqiyidan farq qiladi.

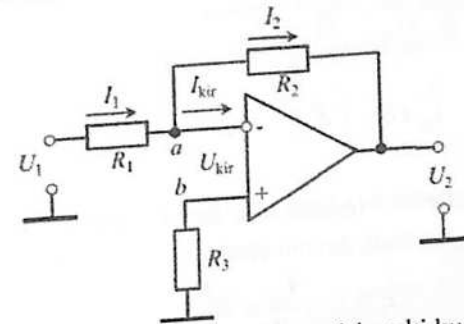
Kuchaytirgichning impuls ta'siriga beradigan javobi o'tish xarakteristikasi bilan tushuntiriladi. 3.30-rasmda

### 3.12 Operatsion kuchaytirgichni qo'llanilishi

Teskari bog'lanishsiz OK deyarli amaliyotda qo'llanilmaydi. Teskari bog'lanish turlarining ko'pligi hamda ularni hosil qilish usullarining mavjudligi amaliy masalalarni yechish uchun ko'pgina elektron sxemalarni joriy qilish imkoniyatini yaratadi. Umumiy holda OK uchun uchta asosiy ulanish sxemasini ajratib ko'rsatish mumkin: invertirlovchi, inventirlamaydigan va differensial. Tahlil qilishda kirish signalini o'zgartirish funksiyasini topish, shuningdek kirish va chiqish qarshiligi, o'tkazish sohasi kabi asosiy parametrlarni aniqlash muhim hisoblanadi. Ushbu sxemalarni tahlil qilishda "ideal OK" tushunchasidan ham foydalaniladi.

#### 3.12.1 Operatsion kuchaytirgichni invertirlovchi (faza o'zgartiruvchi) ulanishi

OKning invertirlovchi ulanishi amaliyotda keng qo'llaniladi. U o'zgarmas tok kuchaytirgichlarida, sig'im bog'lanishli kuchaytirgichlarda, integratorlarda, kuchlanish-tok almashtirgichlarida qo'llaniladi.



3.31-rasm. Okda tuzilgan invertirlovchi kuchaytirgich

3.31-rasmda ko'rsatilgan OKning ulanish sxemasi amalda keng qo'llaniladi. Bunday sxemalarda teskari bog'lanish zanjiri bitta  $R_2$  qarshilikdan iborat. Bu qarshilik orqali chiqishdagi kuchlanishning bir qismi invertirlovchi kirishga qayta uzatiladi va natijada teskari bog'lanish manfiy xarakterga ega bo'ladi. Kirish kuchlanishi va teskari bog'lanish kuchlanishi orasidagi faza siljishi  $\pi$  ga teng. Teskari bog'lanishli kuchaytirish koeffitsiyenti OK kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentidan yetarlicha

kichik va u teskari bog'lanish zanjiri bilan aniqlanadi. Ushbu sxemaning o'tkazish sohasi OK o'tkazish sohasidan juda ko'p marta katta. Kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish kichik chiqish qarshiligiga erishishga olib keladi, chunki teskari bog'lanish zanjiri parallel kiritilgan bo'lib, u chiqish kuchlanishining stabiligini nagruzka qarshiligi o'zgarishida ham ta'minlaydi hamda ushbu sxema ideal kuchlanish manbai vazifasini bajaradi.

Kirish kuchlanishi ( $U_1$ )  $R_1$  qarshilik orqali kirish tokining o'tishini ta'minlaydi. Bu yerda OKning kirish kuchlanishi differensial xarakterga ega, chunki u amalda inventirlamaydigan (+) va invertirlovchi (-) kirishlardagi kuchlanishlar farqiga teng. OKning (+) kirishi ko'pincha yerga ulangan bo'ladi.

3.31-rasmda keltirilgan sxemaning ishlashini ko'rib chiqaylik.  $U_1$  kirish kuchlanishi ta'sirida  $R_1$  qarshilikda  $I_1$  tok hosil bo'ladi:

$$I_1 = \frac{U_{kr} - U_a}{R_1} \quad (3.53)$$

Ushbu tok  $a$  nuqtada ikkiga ajraladi:  $I_{kr}$  - OK ning kirish toki va  $I_2$  - teskari bog'lanish zanjiri toki:

$$I_2 = \frac{U_a - U_2}{R_2} \quad (3.54)$$

bu yerda  $U_a = I_{kr}(R_{kr} + R_3)$ . Agar OK ideal bo'lsa, u holda  $I_{kr} = 0, U_a = U_b = 0$ .

Chiqish kuchlanishi teskari bog'lanish zanjiri toki kirish tokiga teng bo'lmaguncha o'zgarishda davom etadi:

$$I_1 = I_2 = \frac{U_1}{R_1} = -\frac{U_2}{R_2} \quad (3.55)$$

Teskari bog'lanishli kuchaytirish koeffitsiyenti esa quyidagiga teng:

$$K_{TB} = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.56)$$

bu ifodadagi minus ishora chiqishdagi kuchlanish kirishdagiga qarama-qarshi fazada ekanligini va sxemaning invertirlovchi bo'lishini bildiradi.

Bundan tashqari, teskari bog'lanishli kirish qarshiligi va chiqish qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{krTB} = \frac{U_1}{I_1} = R_1, \quad R_{chiqTB} = \frac{R_{chiq}}{1 + \beta K} \quad (3.57)$$

bu yerda  $\beta = \frac{R_1}{R_2}$  - teskari bog'lanish koeffitsiyenti.

O'zgarimas tok kuchaytirgichlarining chastotaviy parametrlari amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikalaridan (3.28a-rasm) quyidagi ifodaga muvofiq aniqlanadi:

$$K_{TB} = 20 \lg K_{TB}(0) - 20 \lg \frac{f}{f_{chegTB}} \quad (3.58)$$

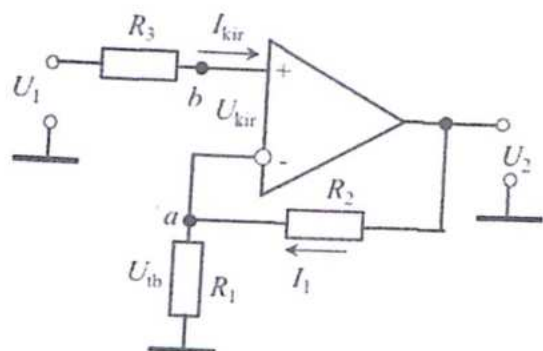
bu yerda  $K_{TB}(0) = \frac{R_2}{R_1}$  - nolinci chastotada kuchaytirish koeffitsiyenti,

$f_{chegTB} = \frac{f_1 R_1}{R_2} = f_1 \beta$  - yuqori chegaraviy chastota.

Ushbu sxemada asosiy vazifani  $R_3$  qarshilik bajarib, u kirish siljish toklari ta'sirini kamaytirish uchun xizmat qiladi. Qoidaga ko'ra uning qiymati kirishdagi invertirlovchi zanjirning o'zgarimas tokka qarshiligiga teng bo'lishi shart. Kirishdagi invertirlovchi zanjirda kirish siljish toki  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklarga bo'linadi, ular buning uchun mos ravishda parallel ulangan.  $R_3$  qarshilik qiymati esa parallel ulangan  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklarga teng qilib olinadi.

### 3.12.2 Operatsion kuchaytirgichning inventirlamaydigan (faza o'zgartirmaydigan) ulanishi

Inventirlamaydigan kuchaytirgich invertirlovchi kuchaytirgich sxemasidagi kirish qarshiligi  $R_1$  ni yerga ulash orqali hosil qilinishi mumkin. Bu holda kirish signali inventirlamaydigan kirishga uzatiladi. 3.32-rasmda sxemaning ko'rinishi keltirilgan. Unda kuchlanish bo'yicha ketma-ket manfiy teskari bog'lanishdan foydalaniladi. Invertirlovchi sxemadan farqli ravishda bu sxemaning kirish qarshiligi yetarlicha katta bo'ladi.



3.32-rasm. Invertirlamaydigan kuchaytirgich sxemasi

Kirishga  $U_1$  kuchlanish berilganda kichik  $U_{kir}$  kuchlanishi hisobiga chiqishda  $U_2$  kuchlanish hosil bo'ladi. Teskari bog'lanish zanjiridan tok oqishi natijasida  $R_3$  qarshilikda  $U_1$  kuchlanishdan ayirma sifatida olinadigan  $U_{TB}$  teskari bog'lanish kuchlanishi hosil bo'ladi:

$$U_{TB} = U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3.59)$$

$U_2$  kuchlanish  $U_1$  kuchlanish va  $U_{TB}$  teskari bog'lanish kuchlanishi o'zaro teng bo'lmaguncha (ya'ni  $U_{ab} = 0$ ) o'zgarib turadi. Bundan quyidagi kelib chiqadi:

$$U_1 = U_{TB} = U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3.60)$$

Bu holda teskari bog'lanishli kuchaytirish koeffitsiyenti faqatgina teskari bog'lanish zanjiri elementlariga bog'liq bo'lib qoladi:

$$K_{TB} = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.61)$$

Sxema juda kichik chiqish qarshiligi va yetarlicha katta kirish qarshiligiga ega bo'ladi:

$$R_{chqTB} = \frac{R_{chq}}{1 + \beta K_{TB}}, \quad R_{kirTB} = R_{kir} (1 + \beta K_{TB}) \quad (3.62)$$

bu yerda  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  - teskari bog'lanish koeffitsiyenti.

$R_3$  qarshilik orqali kuchlanishlar farqi ta'sirida kirish toki oqadi:

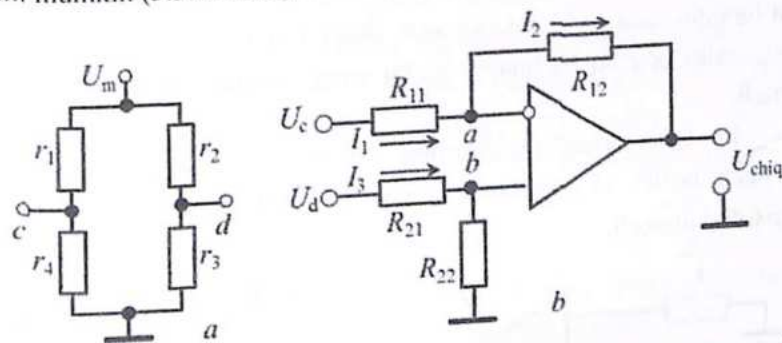
$$I_{kir} = \frac{U_1 - U_{TB}}{R_3} \quad (3.63)$$

Agarda  $U_1 - U_{TB} \rightarrow 0$ , u holda  $I_{kir} \rightarrow 0$ ,  $R_{kir} \rightarrow \infty$  intilishi orqali ketma-ket manfiy teskari bog'lanishda sxemaning kirish qarshiligi yetarlicha katta ekanligini tushuntirish mumkin.

Ushbu sxemaning alohida bir xususiyati unda fazalari bir xil (sinfaz) kuchlanishlarning mavjudligi hisoblanadi, haqiqatdan ham  $U_a = U_b = U_1$  bo'lib, ular sinfazdir. Ushbu sxemaning chastotaviy xususiyatlari invertirlovchi OK kabi aniqlanadi.

### 3.12.3 Operatsion kuchaytirgichning differensial ulanishi

O'lchov texnikasida ko'pincha signal manbai simmetrik chiqishga ega bo'ladi, ya'ni chiqishdagi hech qaysi bir qisqichlar yer bilan umumiy nuqtaga ega emas (ulanmagan). Bunday manbaga misol sifatida rezistorlari qarshiligi o'zgarishini chiqishdagi elektr signaliga aylantiruvchi to'rt yelkali ko'priklari mumkin (3.33a-rasm).



3.33-rasm. To'rt yelkali o'lchovchi ko'priklari (a) va differensial ulangan OK sxemasi (b)

Ko'priklari chiqishidagi  $U_{cd}$  kuchlanish rezistorlar qarshiligiga bog'liq:

$$U_{cd} = U_m \frac{r_1 r_3 - r_2 r_4}{(r_1 + r_4)(r_2 + r_3)} \quad (3.64)$$

Uni kuchaytirish uchun 3.32b-rasmda keltirilgan differensial kuchaytirgich qo'llaniladi.

Almashtirish funksiyalarini quyidagi ifodalardan aniqlash mumkin:

$$I_1 = I_2, I_1 = \frac{U_1 - U_a}{R_{11}}, I_1 = \frac{U_a - U_{chq}}{R_{12}} \quad (3.65)$$

$$U_a = U_b, U_b = U_d \frac{R_{22}}{R_{21} + R_{22}} \quad (3.66)$$

$$U_{chq} = U_d \frac{R_{22}}{R_{21} + R_{22}} \cdot \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11}} - U_d \frac{R_{12}}{R_{11}} \quad (3.67)$$

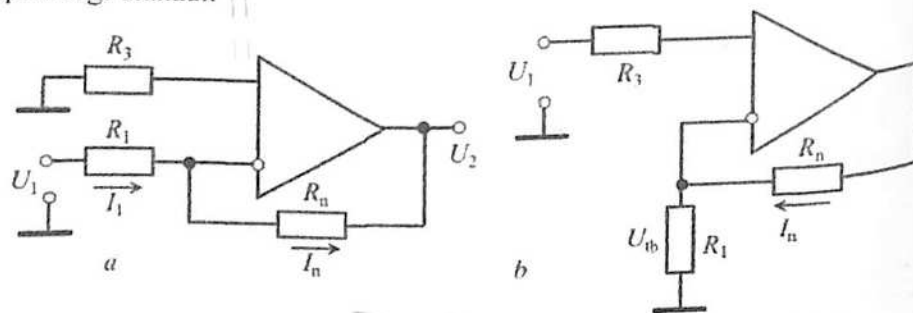
O'zgaras tok differensial kuchaytirgichini amalga oshirishda quyidagi tenglik yuqori aniqlik bilan bajariladi:

$$R_{11} = R_{21} = R, R_{12} = R_{22} = K \cdot R, \text{ u holda } U_{chq} = K(U_d - U_1) = -KU_d \quad (3.68)$$

### 3.12.4 Kuchlanishni-tokka almashtiruvchi OK sxemasi

Kuchlanishni tokka almashtirgichlar ( $U/I$ ) uzoq masofalarga analog informatsiyani uzatish uchun keng qo'llaniladi. Masalan, neft-gaz sanoatini avtomatlashtirish uchun qo'llaniladigan ko'pgina o'lchov qurilmalari tokli chiqishga ega.  $U/I$  almashtirgichlari amalda ideal tok manbai hisoblanadi. Ma'lum bir fizik kattaliklar (temperatura, bosim, sath) to'g'risidagi ma'lumotni uzatuvchi tok qiymati aloqa kanali qarshiligiga (ma'lum bir chegarada) bog'liq bo'lmaydi va bu uning ta'sirini istisno qilishga imkon beradi.

Bu kabi almashtirgichlarning bir turi invertirlovchi sxema asosida tuzilgan bo'lib (3.34a-rasm), unda  $R_2$  qarshilik o'rniga  $R_n$  nagruzka qarshiligi ulanadi.



3.34-rasm. Invertirlovchi kuchlanish-tok almashtirgichi (a) va invertirlamovchi kuchlanish-tok almashtirgichi (b) sxemalari  
Almashtirish funksiyasini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$I_n = I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad (3.69)$$

Ushbu sxemada tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanish qo'llanilgan bo'lib, bu hol almashtirgichning katta chiqish qarshiligiga ega bo'lishiga olib keladi:

$$R_{chqtb} = R_{chq} + R_1(1 + \beta K_{tb}) \quad (3.70)$$

Shuning uchun nagruzka qarshiligi qiymatining katta oraliqda o'zgarishi nagruzka qarshiligidan o'tayotgan tokka uncha ta'sir qilmaydi. Biroq qarshilikning o'zgarish chegarasi cheksiz emas. Bu yerda nagruzkadagi tok  $U_2$  kuchlanish orqali belgilanib,  $U_{chqmax}$  dan katta bo'la olmasligini e'tiborga olish lozim. Bundan almashtirish funksiyasini o'zgartirmasdan nagruzkaga qo'shish mumkin bo'lgan maksimal qarshilik quyidagiga teng bo'lishi kelib chiqadi:

$$R_{nmax} = \frac{U_{chqmax}}{I_{nmax}} \quad (3.71)$$

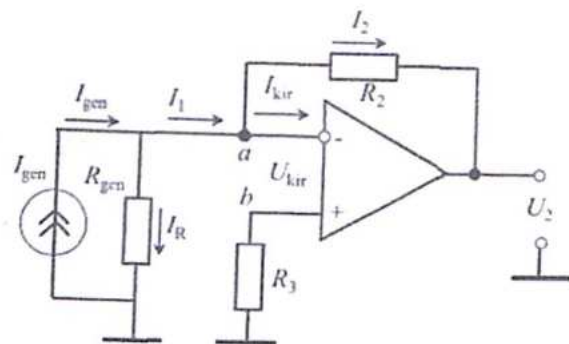
Ushbu sxemaning asosiy kamchiligi kichik kirish qarshiligi bo'lib, invertilamaydigan OK asosidagi almashtirgichda bartaraf qilingan (3.34b-rasm). Bu sxemada tok bo'yicha ketma-ket teskari bog'lanish kiritilgan bo'lib, u katta kirish qarshiligini hosil qiladi. Almashtirgich potensial kirishga ega. Almashtirish funksiyasi quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$U_1 = U_{tb} = I_n R_1, I_n = \frac{U_1}{R_1} \quad (3.72)$$

Amaliyotda katta tokni uzoq masofaga uzatish zarurati bo'lganda sxemaga quvvatli OK yoki kuchlantiruvchi tranzistor ulanadi.

### 3.12.5 Tok-kuchlanish almashtirgichi

Tokni o'lchashda qurilmaning kirish qarshiligi nolga yaqin bo'lishi va zanjirning ish rejimiga xalaqit qilmasligi muhim hisoblanadi. Ushbu xususiyatlarga tok-kuchlanish almashtirgichi (3.35-rasm) ega bo'ladi. Almashtirgich tok kirishi va potensial chiqishga ega. Buni teskari bog'lanish zanjirini tahlil qilish orqali aniqlash mumkin.



3.35-rasm.

Almashtirgichda kuchlanish bo'yicha parallel manfiy teskari bog'lanish zanjiri majud. Unda  $a$  nuqtadan o'tuvchi  $I_1$  tok generator toki  $I_{gen}$  ga teng.  $R_{gen}$  qarshilikdan o'tuvchi  $I_R$  tok nolga teng, sababi qarshilikka qo'yilgan  $U_{ab}$  kuchlanish nolga teng.  $I_2 = I_1$  ga teng bo'lib, OK ning ideallik shartidan  $I_{kir} = 0$  ga teng hisoblanadi.

Kirish kuchlanishi quyidagiga teng:  $U_2 = -I_{gen} R_2$ .

Almashtirgichning kirish qarshiligi kuchaytirgichga parallel kiritilgan manfiy teskari bog'lanishli kirish qarshilik sifatida aniqlanadi:

$$R_{kirTB} = \frac{1}{Y_{kirTB}} = \frac{1}{Y_{kir} + Y_{bog'}(1 + \beta K)} \rightarrow 0 \quad (3.73)$$

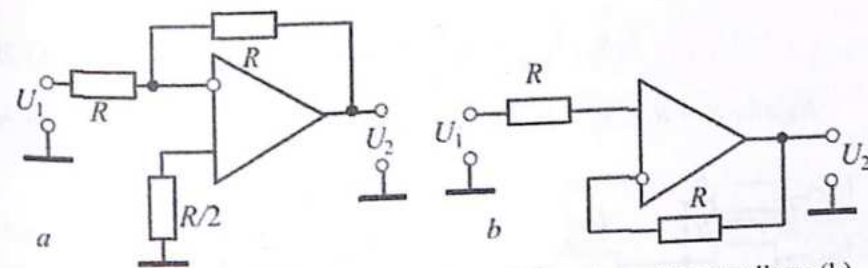
bu yerda  $Y_{kirTB}$  - parallel manfiy teskari bog'lanishli zanjirning kirish o'tkazuvchanligi.

### 3.12.6 Qaytargichlar

Chiqishida kirish kuchlanishini qaytaruvchi qurilmalar *qaytargichlar* deb ataladi. Ular moslashtiruvchi kuchaytirgichlar sifatida qo'llaniladi. Amaliyotda ularning ikki turi bor: invertirlovchi va invertirlamaydigan.

*Invertirlovchi qaytargich* kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'lgan invertirlovchi o'zgaras tok kuchaytigichidan iborat (3.36a-rasm). Uning uchun quyidagi ifodalar o'rinli:

$$K_{TB} = -1, R_{kirTB} = R_1, R_{chqTB} = \frac{R}{1 + \beta K} \rightarrow 0, f_{chq} = f_1 \quad (3.74)$$



3.36-rasm. OK asosidagi invertirlovchi (a) va invertirlamaydigan (b) qaytargichlar

*Invertirlamaydigan qaytargich* kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'lgan invertirlamaydigan o'zgaras tok kuchaytigichidan iborat (3.36b-rasm). Uning uchun quyidagi ifodalar o'rinli:

$$K_{TB} = 1, R_{kirTB} = R_{kir}(1 + \beta K) \rightarrow \infty, R_{chqTB} = \frac{R}{1 + \beta K} \rightarrow 0, f_{chq} = f_1 \quad (3.75)$$

Bu kabi qaytargichlar turli qurilmalarning kirish kaskadida kirish qarshiligini oshirish uchun qo'llaniladi.

### 3.12.7 Summatorlar

Summatorlar analog signallarning (odatda kuchlanishni) algebraik yig'indisini topish uchun qo'llaniladi. Uning uchta turi bor: invertirlovchi summator, invertirlamaydigan summator va summator-ayiruvchi.

*Invertirlovchi summator* - OK ning invertirlovchi ulanishidan tashkil topgan (3.37a-rasm). Ko'rinadiki,  $R_1, R_2, R_3$  qarshiliklar orqali  $U_1, U_2, U_3$  kuchlanishlar OK invertirlovchi kirishiga uzatiladi:

$$I_1 = \frac{U_1 - U_a}{R_1}, I_2 = \frac{U_2 - U_a}{R_2}, I_3 = \frac{U_3 - U_a}{R_3} \quad (3.76)$$

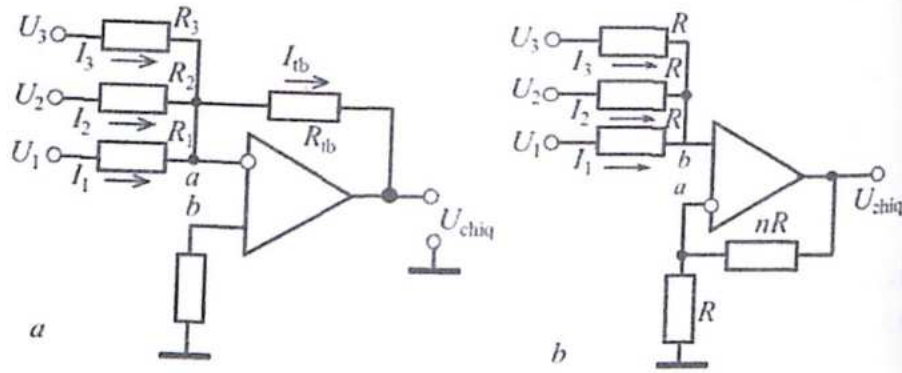
Ideal OK xossasiga ko'ra inverlovchi kirish deyarli tok iste'mol qilmaydi, natijada barcha toklarning yig'indisi teskari bog'lanish zanjiridagi tokka teng bo'ladi.

$$I_{th} = I_1 + I_2 + I_3, U_a = U_b = 0 \quad (3.77)$$

Natijada uning chiqishida quyidagiga teng bo'lgan kuchlanish hosil bo'ladi:

$$U_{chiq} = -I_{tb} R_{tb}, U_{chiq} = -\left(\frac{R_{tb}}{R_1} U_1 + \frac{R_{tb}}{R_2} U_2 + \frac{R_{tb}}{R_3} U_3\right) \quad (3.78)$$

Agarda  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{tb}$  bo'lsa u holda  $U_{chiq} = -(U_1 + U_2 + U_3)$  (3.79)



3.37-rasm. OK asosidagi invertirlovchi summator (a), invertirlamaydigan summator (b) sxemasi

Demak, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishlarning teskari ishora bilan olingan algebraik yig'indisiga teng ekan. Invertirlovchi sxemada kirish toklari yig'indisi to'lig'icha teskari bog'lanish qarshiligidan o'tadi. Bu holda toklar deyarli bir-biriga ta'sir qilmaydi va mos holda kirish kuchlanishlari ham bir-biri bilan ta'sirlashmasligi ko'rinadi, ya'ni ular alohida. Invertirlovchi summatorning oxirgi xususiyati past chastotali (tovush) signallarni aralashtirishda juda ham foydali hisoblanadi.

*Invertirlamaydigan summator* - OK ning invertirlamaydigan ulanishidan tashkil topgan (3.37b-rasm). Unda uchchala kirish signali ham invertirlamaydigan kirishga bir xil qiymatdagi  $R$  qarshilik orqali beriladi, invertirlovchiga esa  $R, R_{tb}$  ( $nR$ ) qarshiliklardan iborat bo'lgich orqali kuchlanish bo'yicha ketma-ket manfiy teskari bog'lanish zanjiri ulangan. Unda almashtirish funksiyalarini quyidagi ifodalar orqali ifodalash mumkin:

$$I_1 = \frac{U_1 - U_b}{R}, I_2 = \frac{U_2 - U_b}{R}, I_3 = \frac{U_3 - U_b}{R} \quad (3.80)$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0, U_1 + U_2 + U_3 = 3U_b \quad (3.81)$$

$$U_a = U_b = U_{chiq} \frac{R}{R + nR} \text{ yoki } U_{chiq} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} (1 + n) \quad (3.82)$$

Shunday qilib, invertirlamaydigan summatorning chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishlarining algebraik summasiga teng. Summani hisoblashda xatolik kam bo'lishi uchun signal manbalari chiqish qarshiligi yetarlicha kichik bo'lishi talab qilinadi.

*Summator* - ayiruvchi OK ning differensiallovchi ulanishidan tashkil topgan (3.38-rasm). Unda almashtirish funksiyalarini quyidagi ifodalar orqali ifodalash mumkin:

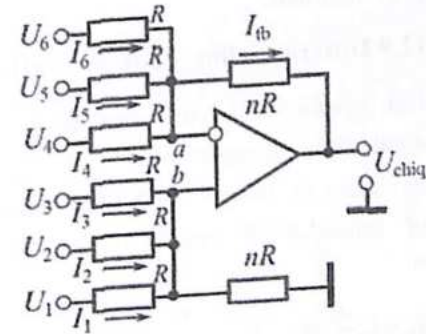
$$I_4 + I_5 + I_6 = I_{tb} \quad (3.83)$$

$$I_4 = \frac{U_4 - U_a}{R}, I_5 = \frac{U_5 - U_a}{R}, I_6 = \frac{U_6 - U_a}{R} \quad (3.84)$$

$$I_{TN} = \frac{U_a - U_{chiq}}{nR}, n(U_4 + U_5 + U_6) + (3n + 1)U_a = -U_{chiq} \quad (3.85)$$

$$\frac{U_1 - U_b}{R} + \frac{U_2 - U_b}{R} + \frac{U_3 - U_b}{R} = \frac{U_b}{nR} \text{ yoki } n(U_1 + U_2 + U_3) = (3n + 1)U_b \quad (3.86)$$

$$U_a = U_b, U_{chiq} = [(U_1 + U_2 + U_3) - (U_4 + U_5 + U_6)]n \quad (3.87)$$



3.38-rasm. OK asosidagi summator-ayiruvchi sxemasi

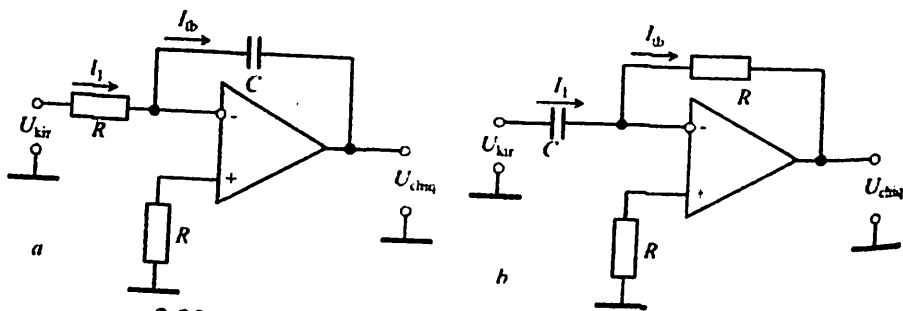
### 3.12.8 Integrallovchi qurilma (Integrator)

Integrator matematik jihatdan yig'ish (integrallash) operatsiyasini bajaradi va analog-raqamli almashtirgichlar, kuchlanishi chiziqi o'zgaruvchi generatorlarda hamda davriy xalaqitlarni so'ndirishda qo'llaniladi. Integrator odatda invertirlovchi ulanish asosidagi OK da quriladi (3.39a-rasm)

Unda almashtirish funksiyalarini quyidagi ifodalar orqali ifodalash mumkin:

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R}, I_{TB} = C \frac{dU_{chq}}{dt}, U_{chq} = -\frac{1}{RC} \int U_{kir} dt + U_0 \quad (3.88)$$

bu yerda  $U_0$  integratorda  $t = 0$  bo'lgandagi doimiy kuchlanish.



3.39-rasm. Integrator (a) va differensiator (b) sxemasi

Odatda integrallash noldan boshlanishi uchun kondensator elektron kalit yordamida zaryadsizlanadi. Integratorlar asosida kuchlanishi chiziqli o'zgaruvchi generatorlar yasaladi. Ular radiotexnik qurilmalarda, televizion sistemalarda keng qo'llaniladi.

### 3.12.9 Differensiallovchi qurilma (Differensiator)

Differensiallash operatsiyasi ham keng qo'llaniladi, ayniqsa impulsi signallarni shakllantirishda. Integratorda kondensator va qarshilik o'rnini almashtirib, differensiator sxemasini hosil qilish mumkin (3.39b-rasm).

Differensiator almashtirish funksiyalarini quyidagi ifodalash orqali ifodalash mumkin:

$$I_1 = I_{th}, I_1 = C \frac{dU_{kir}}{dt}, I_{th} = -\frac{U_{chq}}{R}, U_{chq} = -RC \frac{dU_{kir}}{dt} \quad (3.89)$$

### 3.12.10 To'g'rilagichlar

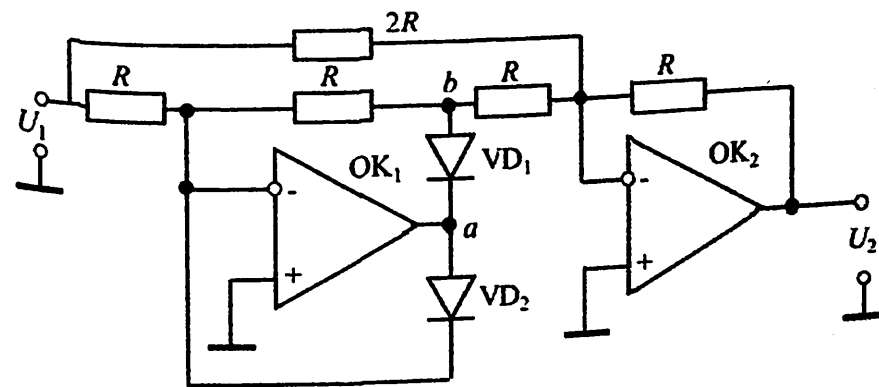
Juda ko'pgina analog signallarni qayta ishlovchi qurilmalarda bir qutbli tashkil etuvchini ajratib olish yoki o'zgaruvchan kuchlanishni bir qutbligga almashtirish zarurati tug'iladi. Passiv elementlarda tuzilgan to'g'rilagichlar diod xarakteristikasining boshlang'ich qismi noxiziqiligidan 0÷1 V kuchlanish oralig'ida deyarli ishlamaydi. Teskari bog'lanish zanjirida diodli bo'lgan OK asosida millivolt diapazonda signallarni to'g'rilash uchun

qo'llaniladigan aniq to'g'rilagichlarni hosil qilish mumkin. 3.40-rasmda to'g'rilagichning sxemasi keltirilgan.

Sxemaning ishlashini ko'rib chiqamiz. OK<sub>2</sub> asosida invertirovchi summator yasalgan bo'lib, uning chiqishidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:  $U_2 = -(U_1 + 2U_b)$

Kirish kuchlanishining musbat yarimdavrida ( $U_1 > 0$ ) OK<sub>1</sub> chiqishidagi kuchlanish manfiy qiymatni qabul qiladi. Bu holda VD<sub>2</sub> diod yopiq, VD<sub>1</sub> diod esa ochiq va R qarshilik orqali teskari bog'lanish zanjiri yopiladi. Bunda  $U_b = -U_1$  teng bo'lib, yuqoridagi ifodaga ko'ra  $U_2 = U_1$ .

Kirish kuchlanishining manfiy yarimdavrida ( $U_1 < 0$ ) OK<sub>1</sub> chiqishidagi kuchlanish musbat qiymatni qabul qiladi. Bu holda esa VD<sub>1</sub> diod yopiq, VD<sub>2</sub> diod esa ochiq va teskari bog'lanish zanjiri qisqa muddatga yopadi. Bunda kuchlanish  $U_b = 0$  teng bo'lib, yuqoridagi ifodaga ko'ra  $U_2 = U_1$ .



3.40-rasm

Shunday qilib, differensiator chiqishidagi kuchlanish musbat yarimdavrlari sinusoidal kirish kuchlanishlari yig'indisiga teng bo'ladi.

### 3.13. Yuqori chastotali kuchaytirgichlar

Ko'p hollarda yuqori chastotali kam quvvatli tebranishlarni bir necha o'n, hatto yuz million marta kuchaytirish talab qilinadi. Bunday tebranishlarga radioaloqada antenna orqali qabul qilinadigan signallar misol bo'la oladi. Ularni kuchaytirish yuqori chastotali kuchaytirgichlar yordamida amalga oshiriladi. Qabul qiluvchi antennada faqat yagona radiostansiyaning emas, balki juda ko'p radiostansiyalarning signallari qabul qilinadi. Shuning

uchun qabul qiluvchi qurilmaning kuchaytirgichi turli radiostansiyalardan keladigan tebranishlardan kerakli chastotalisini tanlab kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Shunga ko'ra yuqori chastotali kuchaytirgichlar *chastota tanlovchi* yoki *tanlovchi kuchaytirgichlar* deb ataladi.

Chastota tanlovchi kuchaytirgichlarda kuchaytirish koeffitsiyenti  $\omega_1 \div \omega_2$  chastota oralig'ida o'zgarmas (yoki deyarli o'zgarmas) bo'lishi va bu chastota sohasining kattaligi  $\Delta\omega$  o'rtacha chastota  $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  dan yetarlicha katta bo'lishi kerak. Bu shartning bajarilishi uchun kuchaytirgich nagruzka zanjirining kirish qarshiligi  $\omega_1 \div \omega_2$  chastota sohasida yetarlicha katta va doimiy bo'lishi, undan tashqarida esa, juda kichkina qiymatgacha kamayishi kerak. Bunday talabga yuqori asllikka ega bo'lgan parallel tebranish konturi javob beradi.

Nagruzkasi yakka tebranish konturidan iborat bo'lgan kuchaytirgich *rezonans kuchaytirgich* deb, nagruzkasi bog'langan tebranish konturidan iborat bo'lgan kuchaytirgich esa *o'zgarmas sohali kuchaytirgich* deb ataladi.

Yuqori chastotali kuchaytirgichlarda aktiv element vazifasini ekvivalent kirish sig'imi kichik bo'lgan elementlardan lampaviy pentod yoki yuqori chastotali tranzistorlar bajaradi. Kuchaytirish koeffitsiyentining kattaligi, o'rtacha (rezonans) chastotasi, o'tkazish sohasining kengligi va chastota tanlash xususiyati yuqori chastotali kuchaytirgichlarining asosiy parametri bo'lib hisoblanadi.

### 3.13.1 Rezonans kuchaytirgich

Radioelektron qurilmaning tarkibiga kiradigan kuchaytirish kaskadini ajratib olish mumkin emas. Chunki u hamma vaqt o'zidan oldin keladigan va o'zidan keyin keladigan kaskadlar bilan bog'langan bo'ladi, ya'ni kuchaytirgichning nagruzkasi chiqish zanjiriga emas, balki keyingi kaskad kuchaytiruvchi elementining kirish zanjiriga ham bog'liqdir.

Rezonans kuchaytirgichda nagruzka konturi kuchaytirgichning chiqish qarshiligi va keyingi kaskadning kirish qarshiligi bilan shuntlangan bo'ladi. Bu uning aslligini kichraytiradi va asosiy parametrlarning (rezonans chastotasi, o'tkazish sohasi va boshqalar) kamayishiga olib keladi. Turli

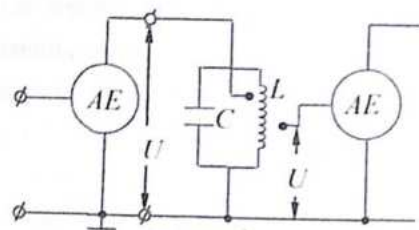
xildagi kuchaytiruvchi elementlarning kirish va chiqish qarshiliklari bir-biridan katta farq qiladi. Shunga ko'ra ularda tuzilgan kuchaytirgichlarda tebranish konturlari tanlash xususiyatining o'zgarishi ham bir xil bo'lmaydi. Masalan, maydonli tranzistorlarning kirish va chiqish qarshiliklari nisbatan katta qiymatga ega bo'ladi. Shuning uchun bu elementda tuzilgan kuchaytirgichning tebranish konturi kuchsiz shuntlanadi va uning tanlash xususiyatlari oz o'zgaradi. Binobarin, bunday kuchaytirgichlarda tebranish konturi nagruzka zanjiriga to'liq ulanishi mumkin. Bipolyar tranzistorlarning kirish va chiqish qarshiligi esa nisbatan kichik qiymatli bo'ladi. Shuning uchun ularda yig'ilgan kuchaytirgichlarning tebranish konturi kuchli shuntlanadi. Hatto kontur to'liq ulangan bo'lsa, uning chastota tanlash xususiyati to'liq yo'qolishi mumkin. Shuning uchun bipolyar tranzistorli rezonans kuchaytirgichlarda tranzistorning kirish va chiqish qarshiligining shuntlash ta'sirini kamaytirish choralarini ko'rish kerak. Buning uchun tebranish konturining o'z kaskadi va keyingi kaskadning tranzistorlari bilan bog'lanishi susaytiriladi. Bu tebranish konturini nagruzka zanjiriga qisman ulash yo'li bilan amalga oshiriladi.

Bundan tashqari, rezonans kuchaytirgichlar yuqori chastotali signallarni kuchaytirgani sababli uning ishiga kuchaytiruvchi aktiv elementning kirish va chiqish zanjirlari orasida vujudga keladigan ichki teskari bog'lanish ham ta'sir etadi. Qandaydir bir chastotada u musbat bo'lib qolishi va ta'sir etadi. Hatto bunda kuchaytirgich ishining turg'unligini buzishi mumkin. Hatto bunda kuchaytirgich o'z-o'zidan g'alayonlanib, tebranish ishlab chiqara boshlaydi. Undan qutulish uchun ham kuchaytirgichning aktiv elementi bilan tebranish konturi orasida bog'lanishni susaytirish talab etiladi. Umuman, tebranish konturining qisman ulanishi faqat bipolyar tranzistorli kuchaytirgichlarda emas, balki lampaviy va maydonli tranzistorli kuchaytirgichlarda ham qo'llaniladi.

Konturning ulanish darajasi *transformatsiyalash koeffitsiyenti* degan kattalik orqali ifodalanadi:

$$P_1 = \frac{U_1}{U_k} \text{ va } P_2 = \frac{U_2}{U_k} \quad (3.90)$$

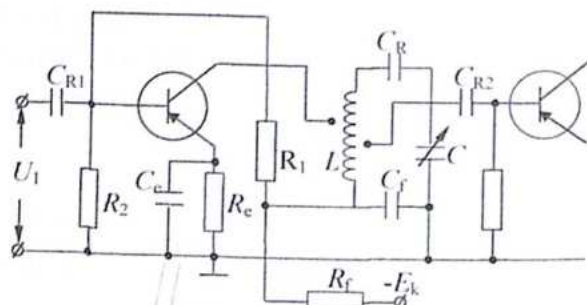
Amalda konturni nagruzka zanjiriga ulashning qo'sh avtotransformator bog'lanishli holi keng tarqalgan. Shunday bog'lanishli kuchaytirgichning



3.41-rasm

sxemasi 3.41-rasmda ko'rsatilgan. Unda kuchaytiruvchi aktiv element (AE) kuchaytirish sxemasiga turli usulda ulangan bo'lishi mumkin.

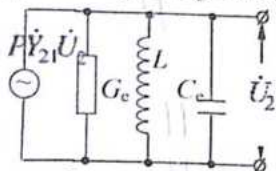
Bipolyar tranzistorning umumiy emitterli sxemasi asosida yig'ilgan rezonans kuchaytirgichning prinsipial sxemasi 3.42-rasmida ko'rsatilgan. Unda nagruzka vazifasini  $L$  induktivlik g'altagi va  $C$  o'zgaruvchan kondensatordan tashkil topgan tebranish konturi bajaradi.



3.42 - rasm

$C_f$  va  $C_r$  kondensatorlar yordamchi elementlar bo'lib, ularning sig'imi o'zgaruvchan kondensatorning maksimal sig'imidan yetarlicha katta qilib olinadi. Shuning uchun

tebranish konturining rezonans chastotasi  $L$  va  $C$  kontur elementlarigagina bog'liq bo'ladi.  $C_f$  va  $C_r$  kondensatorlar  $C$  o'zgaruvchan kondensatorning qoplamlariga o'zgarmas kuchlanish ta'sir etmasligini ta'minlaydi.



3.43 - rasm

Rezonans kuchaytirgichning asosiy parametrlarini aniqlash uchun uning soddalashtirilgan ekvivalent sxemasidan foydalaniladi (3.43-rasm). Hosil bo'lgan sxema parallel tebranish konturidan iborat bo'lib, uning

parametrlari konturning, kuchaytirgich chiqish zanjirining va tashqi nagruzkaning (keyingi kaskadning kirish zanjiri) parametrlari orqali ifodalanadi. Shuning uchun kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikasi tebranish konturining rezonans chizig'iga o'xshash bo'ladi.

Kuchaytirgichning  $\dot{U}_2$  chiqish kuchlanishi konturdagi kuchlanish tushuvining  $R_2$  qismini tashkil etadi:  $\dot{U}_2 = P_2 \cdot \dot{U}_k$ ; konturning kuchlanishi esa,

son jihatdan, tok generatorining  $\dot{Y}_{21} \cdot \dot{U}_1 \cdot P_1$  elektr yurituvchi kuchini konturning  $Z_c = \frac{1}{\dot{Y}_c}$  to'liq qarshiligiga ko'paytmasiga teng, ya'ni

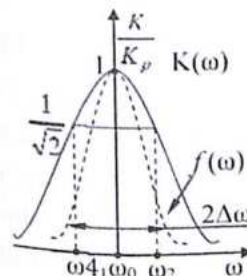
$$\dot{U}_k = \dot{Y}_{21} \cdot \dot{U}_1 \cdot P_1 \cdot \frac{1}{\dot{Y}_c} \quad \dot{Y}_c = G_c(1 + jX) \quad (3.91)$$

Unda,  $X = Q_c \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx Q_c \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$  -konturning umumlashgan buzilishi desak, kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{Y_{21} \cdot P_1 \cdot P_2}{G_c(1 + jX)} \quad (3.92)$$

bu yerda  $Y_{21}$  spravochnikdan olinadi. Rezonans vaqtda konturning umumlashgan buzilishi nolga teng ( $X=0$ ) bo'lgani uchun (3.92) ifodaning moduli kuchaytirish koeffitsiyentining eng katta qiymatini ifodalaydi:

$$K_p = \frac{|Y_{21}| \cdot P_1 \cdot P_2}{G_c} \quad (3.93)$$



3.44 - rasm

3.44-rasmda kuchaytirgichning normallashtirilgan chastotaviy xarakteristikasi ko'rsatilgan (punktir chiziq xolis olingan tebranish konturining rezonans chizig'i). Ma'lumki, tebranish konturining chastotani tanlash xususiyati uning aslligiga bog'liq bo'ladi. Asllik ortishi bilan bu xususiyat ortishi, ya'ni

o'tkazish sohasi torayishi kerak. Ikkinchi tomondan, asllikning ortishi konturning  $Z_p$  to'liq qarshiligining ham ortishiga, ya'ni o'tkazuvchanlikning kamayishiga sabab bo'ladi. Ammo, rezonans kuchaytirgichda bunday bog'lanish erkin bo'lmaydi, ya'ni  $Z_p$  erkin kattalik emas. Uning qiymati kuchaytiruvchi aktiv elementning kirish va chiqish qarshiliklari bilan chegaralangan bo'ladi. Shuning uchun rezonans kuchaytirgichda katta kuchaytirish koeffitsiyentiga erishish uchun bu bog'liqlikni susaytirish, ya'ni kirish va chiqish qarshiliklari yetarlicha katta bo'lgan elementlarni aktiv element qilib ishlatish zarur.

Chastotaning o'zgarmas qiymati uchun kuchaytirish koeffitsiyentining maksimal qiymatiga erishish shartini aniqlaylik. U asosan  $R_1$  va  $R_2$

transformatsiya koeffitsiyentiga bog'liq. (3.93) formuladagi boshqa kattaliklarni o'zgarimas deb hisoblaymiz. Agar  $R_1 = \text{const}$  ya'ni, ma'lum kattalik bo'lsa, ekstremum sharti  $\frac{dK_p}{dP_2} = 0$  dan  $P_2 = \sqrt{\frac{g + P_1^2 \cdot g_{22}}{g_{11}}}$  ekanini,

agar  $R_2 = \text{const}$  bo'lsa,  $\frac{dK_p}{dP_1} = 0$  dan  $P_1 = \sqrt{\frac{g + P_2^2 \cdot g_{11}}{g_{22}}}$  ekanini aniqlash

mumkin. Bipolyar tranzistorli kuchaytirgich uchun transformatsiya koeffitsiyentlarida qaysi birini ma'lum deb ikkinchisini aniqlash katta ahamiyatga ega. Odatda, kuchaytirish koeffitsiyenti  $P_1$  ga qaraganda  $P_2$  ga ko'proq bog'liq bo'ladi. Chunki u kirish o'tkazuvchanligi yetarlicha katta bo'lgan keyingi kaskadning tranzistori bilan tebranish konturi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Shunga ko'ra bipolyar tranzistorlarda yig'ilgan rezonans kuchaytirgichlarda  $R_1$  koeffitsiyentning kattaligi birga teng yoki unga yaqin deb tanlab olinsa,  $R_2$  koeffitsiyent hisoblab topiladi.

$R_1$  va  $R_2$  transformatsiya koeffitsiyentlari kuchaytirish koeffitsiyentiga ta'sir etibgina qolmay, nagruzka vazifasini bajaruvchi konturning  $g_{11}$  va  $g_{22}$  kattaliklar bilan shuntlashish darajasini ifodalaydi. Yuqorida ta'kidlanishicha u rezonans chizig'ining o'zgarishiga olib keladi, ya'ni konturning o'tkazish sohasini o'zgartiradi. O'tkazish sohasining berilgan qiymati uchun kuchaytirish koeffitsiyentining maksimal qiymati quyidagi holda ta'minlanadi:

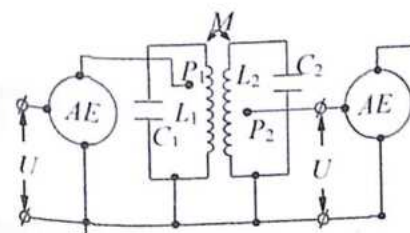
$$P_{1\Delta\omega} = \sqrt{\frac{G-g}{2g_{22}}} \quad \text{va} \quad P_{2\Delta\omega} = \sqrt{\frac{G-g}{2g_{11}}} \quad (3.94)$$

### 3.13.2 O'zgarimas sohali kuchaytirgich

Ko'p radiotexnikaviy masalalarni hal etishda yuqori chastotali tebranishlarning ma'lum chastota sohasini kuchaytirish talab qilinadi. Buning uchun o'tkazish sohasi to'g'ri burchak shakliga yaqin bo'lgan kuchaytirgich talab qilinadi. O'zgarimas sohali kuchaytirgich shunday kuchaytirgich bo'lib, unda nagruzka vazifasini optimal bog'lanishli bog'langan tebranish konturlari sistemasi bajaradi.

Rezonans kuchaytirishda bo'lgani kabi o'zgarimas sohali kuchaytirgichlarda ham kuchaytiruvchi aktiv element vazifasini tranzistorlar

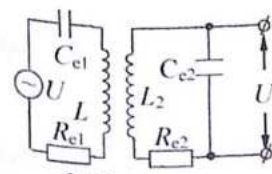
(bipolyar yoki maydonli) bajaradi. Nagruzka vazifasida esa, ko'pincha, ikki konturli bog'langan tebranish konturlari sistemasidan foydalaniladi. Konturlarning ulanish uslubi yakka konturnikiga o'xshash bo'lib, farqi har bir konturga ayrim holdagi mustaqil zanjir ulangan bo'ladi. Kuchaytirgichning asosiy kattaliklari sistemadagi konturlarning o'zaro qanday bog'langanidan, ularning nagruzka zanjiri va kuchaytiruvchi element bilan ulanishdan qat'i nazar hamma holda bir usulda aniqlanadi. Bu kuchaytirgichni o'rganishda faqat bir tur sxema bilan cheklanish imkoniyatini beradi. Masalan, tashqi nagruzka ikkilamchi konturga parallel ulanganda konturlari aktiv elementga avtotransformator ulanishda bo'lgan transformator bog'lanishli bog'langan tebranish konturlari nagruzka vazifasini bajaradigan kuchaytirgich sxemasidan foydalanilsa, tashqi nagruzka ikkilamchi konturga ketma-ket ulangan holda sig'im ulanishli birlamchi konturi avtotransformator bog'lanishida bo'lgan kuchaytirish sxemasidan foydalanish mumkin.



3.45 - rasm

3.45-rasmda ikkilamchi konturi keyingi kaskadning aktiv elementiga parallel ulangan ikki konturli o'zgarimas sohali kuchaytirgichning umumlashgan sxemasi ko'rsatilgan. Aktiv elementi bipolyar tranzistor bo'lgan rezonans kuchaytirgichning soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi 3.46-rasmda

keltirilgan ko'rinishida bo'ladi. Unda  $R_{e1} = \omega^2 L_1^2 g_{e1}$  va  $R_{e2} = \omega^2 L_2^2 g_{e2}$  aktiv qarshiliklar. 3.46-rasmdagi sxema uchun Kirxgof tenglamalaridan foydalanib, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlaylik:



3.46- rasm

$$\begin{cases} \dot{U}_e = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 + j\omega M \dot{I}_2 \\ 0 = \dot{I}_2 \dot{Z}_2 + j\omega M \dot{I}_1 \end{cases} \quad (3.95)$$

bu yerda  $\dot{Z}_1 = R_{e1} + j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_{e1}}\right) = R_{e1} + jX_1$

birlamchi

konturning

to'liq

qarshiligi.

$Z_2 = R_{e2} + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_{e2}}\right) = R_{e2} + jX_2$  ikkilamchi konturning to'liq qarshiligi. (3.95) ifodadan ikkilamchi konurdagi tokni topaylik:

$$I_2 = -\frac{j\omega M \dot{U}_c}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} \quad (3.96)$$

$C_{e2}$  sig'im orqali olinadigan chiqish kuchlanishi ikkilamchi konturdagi kuchlanish tushuvining  $P_2$  qismini tashkil qiladi:

$$\dot{U}_{m2} = P_2 \dot{U}_2 = \dot{P}_2 I_2 \frac{1}{j\omega C_{e2}} \quad (3.97)$$

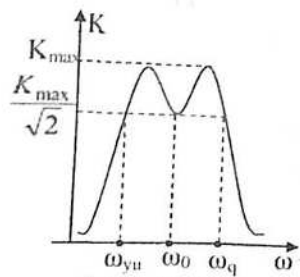
Bu ifodaga (3.96) ifodadagi tokning qiymatini qo'ysak, kuchaytirish ko'effitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K = \frac{\dot{U}_{m2}}{\dot{U}_{m1}} = \frac{-\frac{j\omega M}{\omega^2 C_{e1} C_{e2}} \cdot \dot{Y}_{21} P_1 P_2}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} \quad (3.98)$$

Uning moduli

$$K = \frac{\omega M P_1 P_2 \cdot |\dot{Y}_{21}|}{\omega^2 C_{e1} C_{e2} Z_1 \sqrt{\left(R_{e2} + \frac{\omega^2 M^2}{Z_1^2} \cdot R_{e1}\right)^2 + \left(X_2 - \frac{\omega^2 M^2}{Z_1^2} \cdot X_1\right)^2}} \quad (3.99)$$

o'zgaras sohali kuchaytirgichning chastotaviy xarakteristikasining tenglamasi bo'ladi. Rezonans vaqtida (3.99) ifodaning reaktiv tashkil etuvchisi nolga teng bo'ladi va kuchaytirish ko'effitsiyenti o'zining eng katta qiymatiga ega bo'ladi:



3.47 - rasm

$$K = \frac{\omega_0 M P_1 P_2 \cdot |\dot{Y}_{21}|}{R_{e2} + \frac{\omega^2 M^2}{Z_1^2} \cdot R_{e1}} \quad (3.100)$$

Ushbu ifodani konturlarni bir xil deb olib va bog'lanish parametrini kiritish orqali yanada soddalashtirish mumkin. 3.47-rasmda o'zgaras sohali kuchaytirgichning konturlarning optimal

bog'lanish holidagi chastotaviy xarakteristikasi ko'rsatilgan.

### Nazorat savollari

1. Kuchaytirish jarayoni nima?
2. Kuchaytirgichlarning tuzilishi
3. Kuchaytirgichlar va ularning turlari.
4. Kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari va ular nimalarga bog'liq?
5. Kuchaytirgichlarning amplitudaviy xarakteristikasini tushuntiring.
6. Kuchaytirgichlarning fazaviy xarakteristikasini tushuntiring.
7. Kuchaytirgichlarning chastotaviy xarakteristikasini tushuntiring.
8. Kuchaytirgichning o'tkazish sohasi nima va uning kengligi nimalarga bog'liq?
9. Kuchaytirgichning dinamik diapozoni nima va uning kengligi nimalarga bog'liq?
10. Kuchaytirishi ko'effitsiyenti va u nimalarga bog'liq?
11. Kuchaytirgichlarning o'tish xarakteristikasi
12. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar
13. Kuchaytirgichlarda chiziqli va chiziqli bo'lmagan buzilishlar.
14. Kuchaytirish ko'effitsiyentining kirish va chiqish signali amplitudasiga bog'liqligini tushuntiring
15. Kuchaytirish ko'effitsiyentining nagruzka qarshiligiga bog'liqligini tushuntiring.
16. Kuchaytirgichlarning ish rejimlari.
17. O'zgaruvchan tok va kuchlanish bo'yicha ish rejimini ta'minlash.
18. Siljitish kuchlanishi qanday hosil qilinadi?
19. Termostabillash zanjirlari va uning vazifasi.
20. O'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimini hosil qilish.
21. RC - Kuchaytirgich va uning ishlash prinsipi.
22. Kuchaytirgichlarda teskari bog'lanishlar va teskari bog'lanish turlari
23. Teskari bog'lanishli kuchaytirgich sxemalari
24. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning kuchaytirishi ko'effitsiyenti
25. Teskari bog'lanishning kuchaytirgich xarakteristika va parametrlariga ta'siri
26. Teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirish sxemasiga kiritish
27. Emitter qaytargich prinsipial sxemasi va ishlash prinsipi
28. Emitter qaytargichning ekvivalent sxemasi
29. Emitter qaytargichning kirish va chiqish qarshiliklari
30. O'zgaras tok kuchaytirgichlari deb qanday kuchaytirgichlarga aytiladi?

31. O'zgarmas tok kuchaytirgichining amplitudaviy va chastotaviy xarakteristikasini tushuntiring.
32. Nima uchun o'zgarmas tok kuchaytirgichi umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini orttirish uchun kaskadlar sonini ko'paytirib bo'lmaydi?
33. Differensial kuchaytirgich prinsipial sxemasi va ishlash prinsipi
34. Sokinlik rejimi hosil qilish
35. Nima uchun differensial kuchaytirgich sinfaz signallarni kuchaytirmasligini tushuntiring
36. Turli xususiy hollar uchun differensial kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyenti.
37. Differensial kuchaytirgichning amplitudaviy va chastotaviy xarakteristikasini tushuntiring.
38. Operatsion kuchaytirgich tuzilishi, shartli belgilanishi.
39. Ideal operatsion kuchaytirgichga qo'yiladigan talablar
40. Operatsion kuchaytirgich chiqish kuchlanishini nolga aylantirish usuli
41. Vertual ulanish nima?
42. Operatsion kuchaytirgichlar: va ularning vazifalari.
43. Operatsion kuchaytirgichning amplitudaviy va amplitudaviy - chastotaviy va fazaviy xarakteristikalarini tushuntiring
44. Operatsion kuchaytirgichning invertirlamaydigan va invertirlovchi ulanishlarini tushuntiring.
45. Invertirlovchi kuchaytirgichning asosiy kattalikasi (parametrlari)
46. Invertirlamaydigan kuchaytirgich sxemasi va ishlash prinsipi.
47. Operatsion kuchaytirgich asosidagi tok – kuchlanish va kuchlanish – tok almashtirish sxemalari
48. Operatsion kuchaytirgichning differensial ulanishini tushuntiring
49. Operatsion kuchaytirgichda tuzilgan qaytargichlar
50. Rezonans kuchaytirgich prinsipial sxemasi va ishlash prinsipi
51. O'zgarmas sohali kuchaytirgichlar: prinsipial sxemasi va ishlash prinsipi

#### 4 BOB. ELEKTR SIGNALI GENERATORLARI

Fizika va texnika sohasida elektr tebranishlarni hosil qiladigan radioelektron qurilmalar katta ahamiyatga ega. Bunday qurilmalar *elektr signallari generatorlari* yoki *generatorlar* deb ataladi.

O'zgarmas tok manbai energiyasini biror bir belgilangan shakl va chastotali o'zgaruvchan tok (yoki kuchlanish) energiyasiga aylantirib beruvchi qurilma *elektr signali generatori* deb ataladi.

Generatorlarda hosil bo'ladigan tebranishning shakl va chastotasi unda ishlatiladigan chiziqli bo'lmagan aktiv elementlar xususiyatlariga va qurilma sxemasiga bog'liq.

Tebranish hosil qilish usuliga qarab generatorlar ichki turtki ta'sirida ishlovchi va tashqi turtki ta'sirida ishlovchi generatorlarga ajratiladi.

*Ichki turtki ta'sirida ishlovchi generatorlar* o'z-o'zidan g'alayonlanuvchi generatorlar bo'lib, ular *avtogeneratedorlar* deb ataladi. Ularda tebranishlar o'z-o'zidan hosil bo'lib, tebranish chastotasi va amplitudasi qurilmaning xususiy parametrlari orqali belgilanadi.

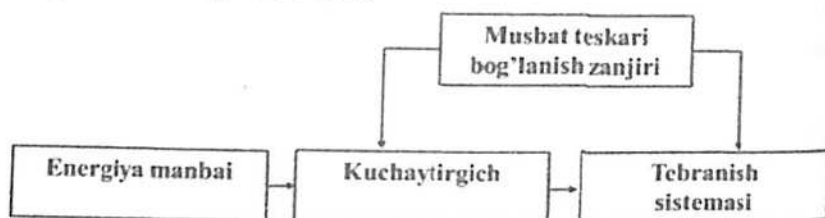
*Tashqi turtki ta'sirida ishlaydigan generatorlar* oddiy musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgichdan iborat. Ular tebranish ishlab chiqmaydi. Kam quvvatli signalni kuchaytirib beradi xolos. Bunday generatorlar rezonans kuchaytirgichlar asosida yaratilib, ular yuqori chastotali generatorlar hisoblanadi.

Hosil qilinayotgan elektr tebranishlari shakliga qarab generatorlar ikki turga bo'linadi:

- garmonik tebranishlar generatorlari;
- garmonik bo'lmagan -relaksatsion tebranishlar generatori.

Agar hosil bo'layotgan tebranishlar sinuslar (yoki cosinuslar) qonuniga mos holda sodir bo'lsa, qurilma *garmonik tebranishlar generatori* bo'ladi. Qolgan barcha ko'rinishdagi qurilmalar *relaksatsion tebranishlar generatorlari* hisoblanadi. Ulardan arrasimon (uchburchak, trapesiyasimon) shakldagi signallarni chiqaruvchi chiziqli avtogeneratedorlarni alohida ajratib ko'rsatish mumkin. Shuningdek, tasodifiy tebranishlar avtogeneratedori – shovqin generatorlari ham mavjud.

Hosil bo'layotgan tebranishlar shaklidan qat'i nazar generatorlar hosil bo'layotgan tebranishlar chastotasi bo'yicha *past chastotali* va *yuqori chastotali generatorlarga* bo'linadi.



4.1-rasm. Avtogenertorning umumiy sxemasi

Barcha ko'rinishdagi avtogenertorning umumiy sxemasi 4.1-rasmda keltirilgan bo'lib, ularda chiziqli bo'lmagan elementlar asosidagi kuchaytirgich, o'zgarmas tok manbai, tebranish sistemasi va musbat teskari bog'lanish zanjiri ishlatiladi.

Ko'rinadiki, bu sxemada musbat teskari bog'lanish orqali tebranish sistemasidan chiqayotgan signalning bir qismi kuchaytirgichning kirishiga qayta uzatiladi va kuchayganidan so'ng yana qayta konturga uzatiladi. Bu holda ikkita asosiy shart bajarilishi kerak:

-konturga uzatilayotgan qo'shimcha energiya uning aktiv qarshiligidagi isrof tufayli yo'qotiladigan energiyaga teng bo'lishi;

-musbat teskari bog'lanish orqali kuchaytirgich kirishiga uzatilayotgan qo'shimcha tebranishlar asosiy tebranishlar bilan faza bo'yicha mos tushishi shart.

#### 4.1 Generatsiya shartlari

Qurilmalarda tebranishlar hosil bo'lish jarayoni *generatsiya* deb ataladi. Tebranishlar generatsiyasi hosil bo'lishi uchun ma'lum bir shartlar bajarilishi kerak. Bu shartlar *generatsiya shartlari* deb ataladi.

Kuchaytirgichlarda musbat teskari bog'lanish ( $\varphi = 0$ ) bo'lganda kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanar edi:

$$K_T^{(+)} = \frac{-K}{1 - K\beta} \quad (4.1)$$

Bunda teskari bog'lanish parametri quyidagi qiymatlarni qabul qilishi mumkin: 1)  $K\beta > 1$ , 2)  $K\beta = 1$ , 3)  $K\beta < 1$ . Ulardan  $K\beta = 1$  bo'lganda

kuchaytirish koeffitsiyenti cheksiz bo'lishi ko'rinib turibdi. Ammo kuchaytirgichlar uchun bunday ishlash rejimi yo'q. Chunki bu holatda kuchaytirgichdagi buzilishlar o'zining maksimal qiymatiga yetadi va kuchaytirgichning ish rejimi buzilib, u o'z-o'zidan tebranishlar hosil qiluvchi rejimga o'tadi, ya'ni kuchaytirgich o'zining kuchaytiruvchi xususiyatini yo'qotib *avtogenertorga* aylanadi.

Bu jarayon qanday ro'y beradi? Faraz qilaylik, ixtiyoriy chastotada musbat teskari bog'lanish zanjiridan kuchaytirgich kirishiga quyidagi amplitudali signal uzatilayotgan bo'lsin (4.2-rasm):

$$U_{TB} = U_{kir} = \beta U_{chiq} \quad (4.2)$$

U holda avtogenertorning chiqishidagi kuchlanish  $U_{chiq} = KU_{kir}$  ga teng bo'lib, yuqoridagi (4.2) ifodani hisobga olsak,

$$U_{chiq} = K\beta U_{kir} \quad (4.3)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Ushbu (4.3) ifodadan ko'rinadiki, avtogenertorning

$$K\beta = 1$$

shart bajarilganda statsionar rejimda ishlaydi. Agarda  $K\beta > 1$  bo'lib qolsa, u holda har bir sikldan keyin chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga nisbatan orta boshlaydi.

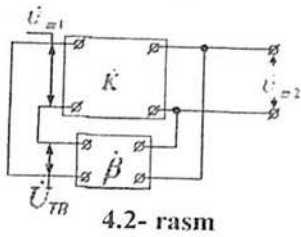
Bizga ma'lumki, kuchaytirish koeffitsiyenti va teskari bog'lanish zanjiri uzatish koeffitsiyenti umumiy holda kompleks kattalik bo'lib, ularni (4) ifodaga qo'ysak

$$K(\omega)e^{j\varphi_k(\omega)}\beta(\omega)e^{j\varphi_\beta(\omega)} = K\beta e^{j(\varphi_k + \varphi_\beta)} = 1 \quad (4.5)$$

bu yerda  $K(\omega) = K$ ,  $\beta(\omega) = \beta$  - mos hola teskari bog'lanishsiz kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti va teskari bog'lanish zanjirining uzatish koeffitsiyenti haqiqiy qiymatlari,  $\varphi_k(\omega) = \varphi_k$ ,  $\varphi_\beta(\omega) = \varphi_\beta$  - berilgan chastotada mos holdagi faza siljishlari. Avtogenertorning nazariyasida (4.5) ifodadan o'z-o'zidan tebranish hosil bo'lishining zarur sharti quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_k + \varphi_\beta &= 2\pi \cdot n \\ K\beta &= 1 \\ n &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

Haqiqatdan ham, (4.6) ifoda bajarilganda sistemaning natijaviy kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_{TB}$  cheksizga aylanadi. Bu sistemaga chekli amplitudali signal ta'sir etganda uning chiqishida cheksiz amplitudali tebranish hosil bo'lishini ifodalaydi. Lekin cheksiz amplitudali tebranish fizikaviy ma'noga ega emas. U qurilmaning chiqishida chekli amplitudali tebranish hosil bo'lishi uchun kirish signalining zarurati yo'qligini ko'rsatadi. Bu sistemaning o'z-o'zidan g'alayonlanishidir.



Demak, har bir o'z-o'zidan g'alayonlanuvchi generator musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgichdan iborat bo'lar ekan. Unda kirish signali vazifasini  $U_{TB}$  teskari bog'lanish kuchlanishi bajaradi (4.2 - rasm). Shunga ko'ra (4.6) ifoda *generatsiya shartlari* deb ataladi. Uning birinchi ifodasi *fazalar balans*

yoki *fazalar sharti* deb, ikkinchisi esa *amplitudalar balans* yoki *amplitudalar sharti* deb ataladi.

Fazalar sharti teskari bog'lanish zanjirining  $U_{TB}$  chiqish kuchlanishi  $U_s$  kirish signalining o'rnini bosa olishini ifodalasa, amplitudalar sharti bu kuchlanishning tebranishni tutib turish uchun yetarliligini ifodalaydi.

$K, \beta, \varphi_k$  va  $\varphi_\beta$  kattaliklar chastotaga bog'liq miqdor ekanligi (4.5) ifodadan ma'lum. Shuning uchun (4.6) generatsiya shartlari yo yakka chastota uchun, yoki bir vaqtda bir necha chastota (chastota spektri) uchun bajarilishi mumkin.

Agar ular yakka chastota uchun bajarilsa, generator sinusoidal (kosinusoidal) tebranishlar hosil qiladi va *garmonik tebranishlar generatori* deb ataladi.

Agar generatsiya shartlari ma'lum bir chastotalar spektri uchun bajarilsa, garmonik bo'lmagan tebranishlar hosil bo'ladi va generator *relaksatsion tebranish generatori* deyiladi.

Shuni aytish kerakki, (4.6) generatsiya shartlari tebranish hosil bo'lishining zaruriy sharti bo'lib, hosil bo'ladigan tebranishlarning statsionar amplitudasi va tebranish shaklini baholash uchun yetarli emas. Amaliy jihatdan amplitudalar sharti birdan kattaroq qilib olinadi ( $K\beta \geq 1$ ). Bu hosil qilinadigan tebranishlar amplitudasining o'sishini ta'minlashi kerak.

## 4.2 Generatorlarning ish rejimi

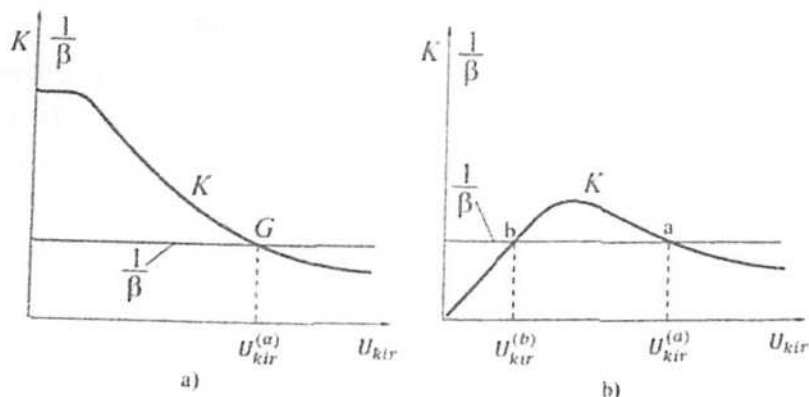
Yuqorida keltirilgan (4.6) generatsiya sharti, generatorlarda tebranishlar hosil bo'lishining asosiy sharti hisoblanadi. Ammo u hosil bo'ladigan tebranishlarning statsionar amplitudasi va tebranish shaklini belgilash uchun yetarli emas. Hosil qilinadigan tebranishlar amplitudasi o'sishini ta'minlash uchun amplitudalar sharti birdan kattaroq ( $K \cdot \beta > 1$ ) qilib olinadi. Lekin generator sxemasida ishlatilgan faol element (tranzistor) xarakteristikasi egri chiziqchilik amplitudaning cheksiz o'sishiga yo'l qo'ymaydi, ya'ni amplitudaning o'sishini chegaralaydi.

Generatorlarda hosil bo'ladigan tebranishlar amplitudasi kuchaytirish koeffitsiyentiga bog'liq. O'z navbatida, kuchaytirish koeffitsiyenti kirish signali amplitudasiga bog'liq. Bu bog'liqlik generator sxemasida ishlatilgan tranzistorning xususiyatlari va ishchi nuqta tranzistor xarakteristikasining qaysi joyida tanlanganligi bilan belgilanadi.

Ishchi nuqta tranzistor volt-amper xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismi o'rtasida tanlangan deb hisoblaylik. Bu sirqish kuchlanishi berish orqali amalga oshiriladi. Bunday holda kirish signalining ixtiyoriy qiymatida kuchaytirish koeffitsiyenti maksimal qiymatga ega bo'ladi. Hattoki kirish signali juda kichik qiymatiga ega bo'lganda ham.

O'z-o'zidan g'alayonlanish jarayonida  $\beta$  kattalik tebranish amplitudasiga bog'liq bo'lmaganligi tufayli  $K$  o'zgarmaydi. Kuchaytirish koeffitsiyenti tranzistor volt-amper xarakteristikasining nochiziqchilik tufayli amplituda ortishi bilan kamayadi (4.3a-rasm). Bu kuchaytirish koeffitsiyentining kirish signali amplitudasiga bog'liqligidan kelib chiqadi.

4.3-rasmda tanlangan ish rejim uchun kuchaytirish koeffitsiyenti  $K$  ning kirish signali amplitudasiga bog'liqlik grafiklari keltirilgan. Teskari bog'lanish koeffitsiyenti  $\beta$  o'zgarmas qiymatga ega. Uning qiymatini zaruriy kattalikgacha o'zgartirish orqali generatsiya jarayonini boshqarish mumkin. Ko'rinadiki, teskari bog'lanish chizig'i, ya'ni  $\frac{1}{\beta}$  ning kirish signali amplitudasi  $U_{kir}$  ga bog'liqligi absissa o'qiga parallel to'g'ri chiziqdan iborat.



4.3-rasm. Generatorning yumshoq (a) va qattiq ish (b) rejimlari uchun diagrammalari

4.3a-rasmdagi grafik asosida sistemada yuz beradigan fizik jarayonlar haqida xulosalar chiqarish mumkin. Unda kuchaytirish chizig'i teskari bog'lanish chizig'i bilan  $G$  nuqtada kesishgan. Kirish kuchlanishining  $U_{kir} < U_{kir}^{(a)}$  oralig'ida barcha qiymatlari uchun  $K\beta > 1$  tenglik o'rinli bo'lib, bunda sistema o'z-o'zidan g'alayonlanib, kirish signali amplitudasi  $U_{kir}^{(a)}$  ga yaqinlashgan sari generatordagi erkin tebranishlar amplitudasi o'sa boshlaydi.

Kirish signalining  $U_{kir} > U_{kir}^{(a)}$  bo'lgan barcha qiymatlari uchun  $K\beta < 1$  tengsizlik o'rinli bo'ladi va bunda hosil bo'lgan tebranishlar amplitudasi sekin-asta so'nadi. So'nish jarayoni tebranishlar amplitudasi  $U_{kir}^{(a)}$  ga tenglashguncha davom etadi.

Ko'rinadiki, ikkala holatda ham hosil bo'lgan tebranishlar amplitudasi  $U_{kir} = U_{kir}^{(a)}$  ga tenglashguncha o'zgaradi. Shuning uchun,  $U_{kir}^{(a)}$  tebranishlarning belgilangan *statsionar amplitudasi* deb ataladi. Bu nuqtada  $K(U_{kir}^{(a)})\beta = 1$  shart bajariladi, ya'ni bu (4.6) ifodadagi *generatsiya shartining* o'zi.

Generatorning ko'rib chiqilgan ish rejimining asosiy xususiyati shundan iboratki, unda tebranishlar hosil bo'lishi uchun tashqi ta'sirning umuman keragi yo'qligidir, chunki tebranishlar hosil bo'lishi uchun kirish zanjiridagi kuchlanish amplitudasining juda kichik fluktuatsiyasi ham yetarli

bo'ladi. Generatorlarning o'z-o'zidan g'alayonlanuvchi bunday ish rejimi *generatorlarning yumshoq ish rejimi* deb ataladi.

Sistemada kichik amplitudali tasodifiy tebranish paydo bo'lishi bilan generatsiya jarayoni boshlanadi va u doimiy (statsionar) amplitudali signal hosil bo'lguncha davom etadi. Tebranish amplitudasining ortishi eksponensial qonuniyat bo'yicha amalga oshadi.

Endi ishchi nuqta tranzistor volt-amper xarakteristikasining boshlang'ich qismida tanlangan holatni ko'raylik. Bu holda yuqoridagi kabi hosil qilingan grafik 4.3b-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki,  $K = f(U_{kir})$  egri chizig'i  $1/\beta$  teskari bog'lanish to'g'ri chizig'ini generatsiya sharti bajariluvchi ikki nuqtada ( $a$  va  $b$ ) kesib o'tadi. Bunda  $a$  nuqta yumshoq ish rejimidagi  $a$  nuqtadan hech qanday farqi bo'lmasa-da (ya'ni statsionar amplitudali tebranishlar hosil bo'lish nuqtasi),  $b$  nuqtada tebranish amplitudasi turg'un bo'lmaydi.

Umuman olganda, 4.3b-rasmda keltirilgan grafikda tebranishlar amplitudasini uch sohaga mansub deb hisoblash mumkin:

1.  $U_{kir} < U_{kir}^{(b)}$  bo'lgan sohada kirish signali  $U_{kir}$  ning barcha qiymatlari uchun so'nuvchi tebranishlar ( $K\beta < 1$ ) hosil bo'ladi;
2.  $U_{kir}^{(b)} < U_{kir} < U_{kir}^{(a)}$  sohada kirish signali  $U_{kir}$  ning barcha qiymatlari uchun hosil bo'ladigan tebranishlar amplitudasi  $U_{kir}^{(a)}$  gacha o'sib boradi ( $K\beta > 1$ ).
3.  $U_{kir} > U_{kir}^{(a)}$  sohada kirish signali  $U_{kir}$  ning barcha qiymatlari uchun so'nuvchi tebranishlar hosil bo'lib, ularning amplitudasi sekin-asta  $U_{kir}^{(a)}$  ning qiymatdan kamayadi.

Ko'rinadiki, bunday ish rejimida generator fluktuatsion g'alayonlanish natijasida uyg'otilmaydi. Uyg'otilish jarayoni sodir bo'lishi uchun amplitudasi  $U_{kir} > U_{kir}^{(b)}$  bo'lgan tashqi ta'sir kerak bo'ladi. Generatorlarning bunday ish rejimi generatorlarning *qattiq ish rejimi* deb ataladi.

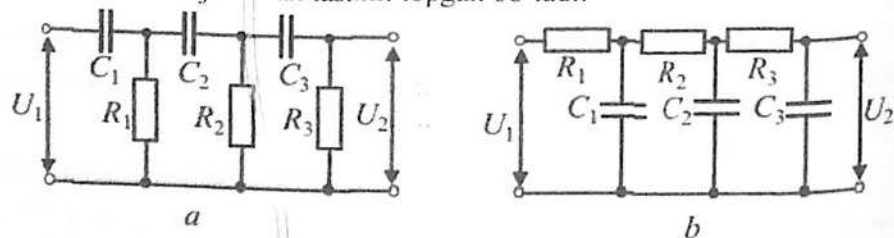
Demak, qattiq ish rejimida ishlaydigan generatorlar tashqi ta'sir natijasida ishlovchi generatorlar, yumshoq ish rejimida ishlaydigan generatorlar avtogeneratedlar bo'lar ekan.

### 4.3 RC – generator

Hozirgi vaqtda past chastotalar sohasidagi tebranishlar hosil qilish uchun RC turdagi generatorlardan keng foydalaniladi. Ularda tebranish konturi o'rniga tanlash imkoniyatiga ega bo'lgan RC-filtrlardan foydalaniladi. RC-generatorlar stabil sinusoidal tebranishlarni gersning ulushlaridan boshlab kilogersgacha bo'lgan chastotalar oralig'ida hosil qila oladi. Ayniqsa, quyi chastotalar sohasida RC-generatorlarning afzalligi yaqqol namoyon bo'ladi.

RC-generator rezistiv kuchaytirgich va faza siljitish zanjiridan tuzilgan bo'ladi. Kuchaytirgichda o'z-o'zidan g'alayonlanish sodir bo'lishi uchun unga musbat teskari bog'lanish zanjiri kiritilishi kerak. Agar kuchaytirgich kirish va chiqishini to'g'ridan to'g'ri ulansa ham, o'z-o'zidan uyg'onish sodir bo'ladi. Ammo bu vaqtda generatsiya shartlari bir vaqtda ko'p chastotalar uchun bajarilib, hosil bo'lgan tebranishlar garmonik bo'lmaydi.

Ma'lumki, garmonik tebranishlar hosil qilish uchun generatsiya shartlari faqat bitta chastota uchun bajarilib, qolgan chastotalarda keskin buzilishi kerak. Bu masalani yechish faza siljitish zanjiri yordamida amalga oshiriladi. Bunday zanjir ketma-ket ulangan bir necha differensiallovchi yoki integrallovchi zanjirlardan tashkil topgan bo'ladi.



4.4-rasm

Faza siljilishi RC-zanjirlar soniga bog'liq bo'ladi va u quyidagi ko'rinishga ega

$$\varphi = \frac{180^\circ}{n}, \quad (4.7)$$

bu yerda  $n$  - RC zanjirlar soni.

Differensiallovchi zanjirlardan tashkil topgan faza siljitish sistemasi R-parallel tipdagi (4.4a-rasm), integrallovchi zanjirlardan tashkil topgan faza siljitish sistemasi C-parallel tipdagi sistema (4.4b-rasm) deb ataladi.

Bitta RC-zanjir fazani  $\varphi < 90^\circ$  ga siljitishi hisobga olsak, amalda faza siljitish sistemasi kamida 3ta RC zanjirdan iborat bo'lishi kelib chiqadi.

Ko'p hollarda  $R_1 = R_2 = R_3 = R$   $C_1 = C_2 = C_3 = C$  qilib olinadi. Bunday hol uchun tebranishlar chastotasi quyidagi ifodalar yordamida hisoblanadi:

R – parallel zanjir uchun (4.4a-rasm)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} = \frac{0.065}{RC} \quad (4.8)$$

S - parallel zanjir uchun (3b-rasm)

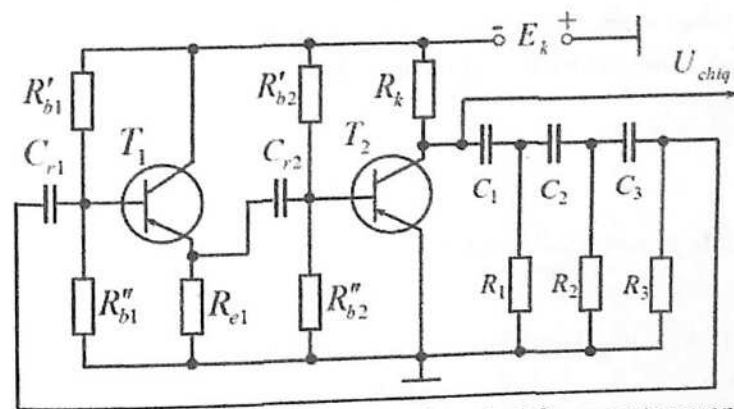
$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} = \frac{0.39}{RC}. \quad (4.9)$$

Amplitudalar balansini ta'minlash uchun kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti teskari bog'lanish zanjirida sodir bo'ladigan so'nish koeffitsiyentiga teng yoki undan katta bo'lishi kerak.

Biz ko'rayotgan holatda chiqish kuchlanishining bir qismi kuchaytirgich kirishiga faza siljitish sistemasi orqali uzatiladi. Hisoblashlardan ikkala tip zanjirlar uchun so'nish koeffitsiyenti

$$N = \frac{U_1}{U_2} = 29$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi. Demak, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti bunday generatorlarda kamida  $K \geq 29$  bo'lishi kerakligi kelib chiqadi.

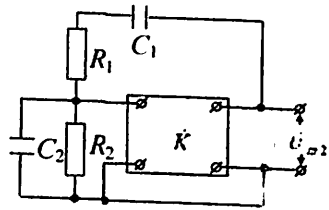


4.5-rasm. Faza siljitish zanjirli tranzistorda RC-generator sxemasi

Bipolyar tranzistorli RC-generatorlarda kirish va chiqish qarshiliklari kichik. Shuning uchun teskari bog'lanish zanjirining chiqishi kuchli shuntlanadi va generator ishlamay qolishi mumkin. Bu holatdan qutulish uchun teskari bog'lanish zanjirining chiqish qarshiligi bilan kuchaytirgichning kirish qarshiligini o'zaro sozlash kerak. Buning uchun generatorning sxemasiga qo'shimcha emitter qaytargichi kiritiladi (4.5-rasm). U 4.5-rasmda keltirilgan sxemada  $T_1$  tranzistorda yig'ilgan.

Faza siljitish zanjiri kiritilgan avtogeneratorlar odatda aniq bir chastotaga ega bo'lgan sinusoidal tebranishlarni generatsiyalash uchun qo'llaniladi.

#### 4.4 Ikki kaskadli RC - generator



4.6 - rasm

Ikki kaskadli RC - generator musbat teskari bog'lanishli ikki kaskadli RC - kuchaytirgichdan iborat (4.6 - rasm). Unda teskari bog'lanish zanjiri sifatida  $V_{in}$  ko'prigidan foydalaniladi. U chastota tanlovchi ketma-ket va parallel ulangan RC zanjirdan iborat. Uning  $R_1C_1$  - ketma ket qismi chiqish

zanjiriga,  $R_2C_2$  - parallel qismi esa kirish zanjiriga ulangan. Past chastotali signal ko'prikdan o'tishda  $C_1$  kondensatorda, yuqori chastotali signal esa  $C_2$  kondensatorda yutilib qoladi. Bundan tashqari  $V_{in}$  ko'prigi qo'shimcha faza siljishini hosil qilmasligi kerak. Teskari bog'lanish zanjiri qaysi chastotada yuqoridagi shartni bajarishini aniqlaymiz. Agar uni kuchlanish bo'lgichi deb qarash, u holda kirish va chiqish kuchlanishlari orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\dot{U}_{chiq} = \dot{U}_{kir} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (4.10)$$

$$\text{bu yerda } Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \text{ va } Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

Teskari bog'lanish zanjirining uzatish koeffitsiyenti ushbu ifoda orqali topiladi:

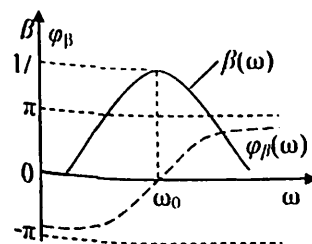
$$\beta = \frac{\dot{U}_{chiq}}{\dot{U}_{kir}} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left[ \omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1} \right]} \quad (4.11)$$

Uning moduli quyidagiga teng:

$$\beta = |\beta| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right)^2 + \left(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}\right)^2}} \quad (4.12)$$

Teskari bog'lanish zanjirining chastotaviy xarakteristikasining argumenti esa

$$\varphi_\beta(\omega) = -\arctg \frac{\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (4.13)$$



4.7 - rasm

uning fazaviy xarakteristikasini ifodalaydi. Teskari bog'lanish zanjirining chastotaviy xarakteristikasi  $\beta(\omega)$  va fazaviy xarakteristikasi  $\varphi_\beta(\omega)$  4.7-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki,  $\omega_0$  - kvazirezons chastotada  $\varphi_\beta(\omega_0) = 0$  bo'lib, uzatish koeffitsiyenti eng katta qiymatga erishadi:

$$\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1} = 0 \text{ bundan}$$

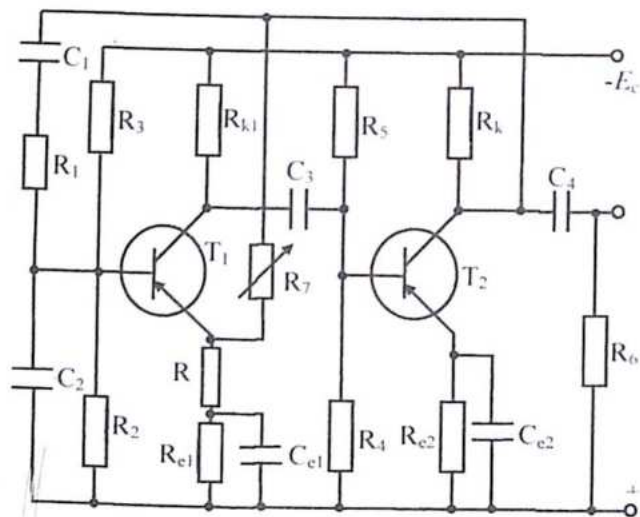
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ va } \beta_0 = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (4.14)$$

ekanligi kelib chiqadi. Agar xususiy holda  $R_1 = R_2 = R$ ,  $C_1 = C_2 = C$  bo'lsa, u holda (4.14) ifodalar soddalashib quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ yoki } f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \text{ va } \beta_0 = \frac{1}{3} \quad (4.15)$$

Bu ikki kaskadli generatorda tebranishlar hosil bo'lishida amplitudalar sharti bajarilishi uchun kuchaytirish koeffitsiyentining eng kichik qiymati 3 ga teng bo'lishi lozimligini bildiradi. Ikki kaskadli kuchaytirgichda ( $K = K_1 \cdot K_2$ ) bu qiymatga osongina erishish mumkin bo'lganligi uchun, kuchaytirish koeffitsiyenti qiymatini  $K \geq 3$  tartibga solish uchun musbat teskari

bog'lanish zanjiri bilan birgalikda qo'shimcha manfiy teskari bog'lanish zanjiri ham kiritiladi. Bu manfiy teskari bog'lanish zanjiri noxiziqli buzilishlarni kamaytirish uchun ham xizmat qiladi.



4.8 - rasm

Manfiy teskari bog'lanishli ikki kaskadli generatorning pinsipial sxemasi 4.8 - rasmda keltirilgan. Unda tranzistorlar umumiy emitterli ulanishda bo'lib, har bir tranzistor signal fazasini  $180^\circ$  ga siljitadi. Shuning uchun ikkita kaskaddan iborat. Teskari bog'lanish zanjiri  $C_1$  va  $C_2$  kondensatorlar hamda  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklardan iborat.  $R_2$  va  $R_3$  hamda  $R_4$  va  $R_5$  qarshiliklar kuchlanish bo'lgichlari hisoblanib, baza kuchlanishini ta'minlaydi.  $R_{k1}$  va  $R_{k2}$  kollektor kuchlanishini hosil qiladi.  $R_{e1}$  va  $R_{e2}$  qarshiliklar tranzistorni termostabillash uchun xizmat qiladi.  $C_{e2}$  kondensator tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanishning oldini oladi.  $C_3$  va  $C_4$  kondensatorlar ajratuvchi kondensatorlardir. Bu sxemada manfiy teskari bog'lanish  $R_e$  qarshilik orqali kiritiladi va u uning chuqurligi  $R_7$  qarshilik orqali boshqarilib, generatsiyalanayotgan signal amplitudasiga mos ravishda kuchaytirish koeffitsiyentini o'zgartiriladi.

Manfiy teskari bog'lanish zanjiri faqat uzatish koeffitsiyentiga ta'sir qiladi, ya'ni

$$\beta_{(-)} = \beta_0 - \frac{1}{K}. \quad (4.16)$$

Tebranish chastotasi o'zgarmaydi va (4.15) ifoda yordamida aniqlanadi. Tebranish kuchaytirgichga manbani ulash bilan boshlanadi. Shu paytda kollektorda keng spektrli uzluksiz chastotali impuls hosil bo'ladi. Vin ko'prigining chastota tanlash xususiyatiga ko'ra ulardan  $\omega_0$  chastotali tebranish tanlab olinadi va generatsiya shartlari bajarilishi hisobiga bu tebranish so'nmaydi hamda qolganlari yutilib, so'nadi.

Shunday qilib, RC - generator past chastotali sinusoidal signal hosil qiluvchi generator hisoblanadi. Uning chastotasini o'zgartirish uchun  $R_1$  qarshilik yoniga qo'shimcha  $R_7$  o'zgaruvchan qarshilik ulanadi (4.8 - rasm). Sxema elementlarini tanlash orqali bu generatorda chastotasi bir necha gersdan to bir necha yuz kilogersgacha o'zgaradigan garmonik tebranishlar hosil qilish mumkin. Chastotaning kattaligi  $C_1$  va  $C_2$  yoki  $R_1$  va  $R_2$  elementlarni bir vaqtda o'zgartirish orqali hosil qilinadi.

Ikki kaskadli RC generatorning asosiy kamchiligi sxemaning murakkabligida. Undagi kuchaytirgichning ikkinchi kaskadi faqat faza siljishini hosil qilish uchungina xizmat qiladi.

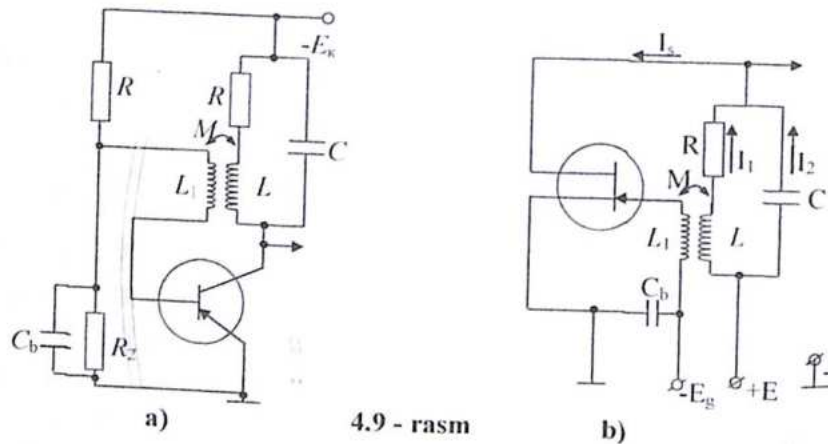
#### 4.5 LC - generator

LC- generator yuqori chastotali generator bo'lib, musbat teskari bog'lanishli rezonans kuchaytirgichdan tashkil topadi. Uning tuzilishi sxemalari xilma-xil bo'ladi va turli belgilari asosida bir-biridan farqlanadi. 4.9 - rasmda LC generatorining soddalashtirilgan prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. U teskari bog'lanish zanjiri transformator bog'lanishli ( $L_1$  g'altak) ketma-ket manbali sxemadir.  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklar kuchaytirgichda bo'lgani kabi kuchlanish bo'lgichi hisoblanadi va tranzistorning doimiy tok bo'yicha ish rejimini ta'minlaydi.  $C_b$  kondensator yordamida baza yerga ulanadi (4.9a - rasm). LC - parallel tebranish konturi.

$E_k$  manbaning kollektorga ulanishi bilan tranzistorda  $I_k$  kollektor toki hosil bo'ladi va uning ta'sirida  $C$  kondensator zaryadlanadi. Kondensatorga  $L$  induktiv g'altak ulanganligi uchun u g'altak orqali zaryadsizlana boshlaydi. Kondensator va induktiv g'altakda energiya almashinishi natijasida konturda so'nuvchi erkin tebranishlar hosil bo'ladi. Uning chastotasi konturning Parametrlari bilan aniqlanadi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Konturning o'zgaruvchan (tebranish) tokni  $L$  induktiv g'altakdan o'tishi jarayonida uning atrofida o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qiladi. Buning natijasida teskari bog'lanish g'altagi  $L_1$  da ayni shu chastotada o'zgaruvchan kuchlanish hosil bo'ladi va bazaga uzatiladi hamda u orqali tranzistor ishlashi boshqariladi. Bu kuchlanish kollektor tokining pulslanishiga sabab bo'ladi va unda tranzistorda kuchaytirilgan o'zgaruvchan tashkil etuvchi hosil bo'ladi. Kollektorning o'zgaruvchan toki  $LC$  konturdagi energiya yo'qotilishini to'ldiradi. Buning natijasida  $L_1$  g'altakda hosil bo'ladigan kuchlanishning yanada ortishi kuzatiladi va generatorda hosil qilinayotgan o'zgaruvchan signalning qiymati orta boradi.



4.9 - rasm

Demak, generatorda hosil bo'ladigan tebranishlar asosan, nagruzka konturining parametrlari bilan xarakterlanadi. Rezonans vaqtida kontur sof aktiv qarshilik tabiatiga ega, chunki  $\varphi_k = 0$ . Shuning uchun konturning aslligi yetarli bo'lsa, fazalar sharti kuchaytirgichning aktiv elementi (lampa, tranzistor) dagi va teskari bog'lanish zanjiridagi faza siljishlari orqali ifodalanadi. Aktiv elementlardagi faza siljishi  $\varphi_k = \pi$ , teskari bog'lanish zanjiridagi faza siljishi esa,  $L_1$  va  $L$  g'altakdagi o'ramlarning yo'nalishiga bog'liq. U «0» yoki « $\pi$ » ga teng bo'lishi mumkin.

Agar o'ramlar yo'nalishi  $\varphi_\beta = \pi$  bo'ladigan qilib tanlansa, fazalar sharti bajariladi va generator rezonans chastotaga yaqin chastotali tebranish

ishlab chiqaradi. Uning garmoniklik darajasi konturning tanlash qobiliyati bilan belgilanadi. Konturning tanlash qobiliyati yetarlicha katta bo'lsa,  $\omega_0$  chastotadan chetlashish bilan konturning to'liq qarshiligi tez kamayadi va faza siljishi vujudga keladi. Demak, generatorda hosil bo'ladigan tebranishlar garmonik bo'lishi uchun konturning aslligi katta, teskari bog'lanish zanjirining uzatish koeffitsiyenti kichik bo'lishi kerak. Aks holda (4.6) generatsiya shartlari chastotalar sohasi uchun bajarilib, tebranishlar garmonik bo'lmay qoladi.

Ma'lumki, elektr signali generatorlari tarixan birinchi marta lampaviy triodlar asosida yasalgan bo'lsa, keyinchalik tranzistorlarda va bugungi kunda turli mikrosxemalar asosida ham tayyorlanmoqda. Generatorning lampaviy va tranzistorli sxemasida sodir bo'ladigan tebranishlarning tabiati deyarli bir xil bo'ladi. Lekin tranzistor va lampa parametrlarining turlicha bo'lishi sxemada ayrim o'zgarishlarga sabab bo'ladi. Tranzistorli sxemada nagruzka konturi lampaviy sxemadagidan kuchliroq shuntlanadi. Bu tranzistorning kirish qarshiligi (emitter-baza) kichik bo'lishi bilan bog'liq. Bundan tashqari, nagruzka konturi kollektor zanjirida bo'lganda generator katta o'zgaruvchan kuchlanishda ishlasa, kollektor-baza kuchlanishi tebranish davrining ayrim qismida teskari kuchlanishga teng bo'lib qoladi. Natijada kollektor o'tishi ochiq (to'g'ri ulanishda) bo'lib, kontur nisbatan kichik qarshilik bilan shuntlanib qoladi. Bu hosil bo'ladigan tebranishlar shaklining buzilishiga olib keladi. Bundan tashqari, tranzistorlar nisbatan katta inertlikka ega. Bu asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarining bazada sust harakat qilishi bilan belgilanadi va emitter-baza kuchlanishi bilan kollektor toki orasida kechikishni, ya'ni qo'shimcha faza siljishini hosil qiladi. U fazalar shartiga ta'sir etadi va generatsiya chastotasining o'zgarishiga sabab bo'ladi. Binobarin, tranzistor konturning aslligini lampaga nisbatan ko'proq o'zgartiradi. Bir xil sharoitdagi lampaviy sxema konturining aslligi tranzistorli sxema konturining aslligidan kattaroq bo'ladi.

Tranzistorli sxemaning kamchiliklarini yo'qotish uchun unga qo'shimcha zanjirlar kiritiladi. Masalan, tranzistorlarning kirish va chiqish qarshiligining shuntlash ta'sirini kamaytirish uchun konturning qisman ulanish sxemasidan foydalaniladi: inersionlik tufayli hosil bo'ladigan qo'shimcha faza siljishini yo'qotish uchun sxemaga maxsus faza so'ndirish

zanjiri kiritiladi va boshqalar. Bular tranzistorli sxemaning murakkablashishiga va generatorni o'rganishda murakkab ekvivalent sxemalardan foydalanishga olib keladi. Shuning uchun generatoridagi jarayonlarning mohiyatini aniqlash uchun uning lampaviy sxemasidan foydalanish qulay. Ular sxemadagi maydonli tranzistor qo'llaniladigan holda ham to'liq bajariladi.

Umumiy holda generatorida sodir bo'ladigan jarayonlar murakkab bo'lib, chiziqli bo'lmagan differensial tenglamalar orqali ifodalanadi va taqribiy yechish usullaridan foydalanib yechiladi. Yechimning aniqligi sxemadagi qanday xususiyat aniqlanayotganiga bog'liq. Generatsiya shartlarini aniqlashda tenglamani chiziqli deb hisoblash metodidan foydalanish mumkin bo'lsa, tebranishning stasionar amplitudasi va chastotasini aniqlashda - kvazichiziqli usuldan foydalanish kerak bo'ladi. Generatoridagi tebranish jarayonlarining ixtiyoriy vaqt momentidagi holatini aniqlashda chiziqli bo'lmagan tenglamalarni yechishning aniq usullaridan foydalaniladi. Unga sust o'zgaruvchi amplitudalar metodi (Van - der - Pol metodi) misol bo'ladi.

Biz generatorning chiziqli nazariyasidan foydalanib tebranishlarni tutib turish shartlarini aniqlaymiz. Nagruzka konturi (4.9b- rasm) uchun Kirxgof tenglamasini tuzamiz:

$$\left. \begin{aligned} L \frac{dI_1}{dt} - \frac{1}{C} \int I_1 dt + I_1 R &= 0 \\ I_s &= I_1 + I_2 \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

Generatorida tebranish hosil bo'lish jarayonida konturning induktivlik tarmog'idagi tok asosiy hisoblanadi. Shuning uchun (4.17) sistemani unga nisbatan soddalashtirilsa,

$$LC \frac{d^2 I_1}{dt^2} + RC \frac{dI_1}{dt} + I_1 = I_s \quad (4.18)$$

ko'rinishdagi bir jinsli differensial tenglama hosil bo'ladi.

Generatorning boshlang'ich uyg'onish vaqtida tebranishlar amplitudasi kichik bo'lgani uchun tranzistorni chiziqli element deb qarasaq, stok toki quyidagicha ifodalanadi:

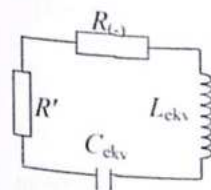
$$I_s = S(U_z + DU_s) \quad (4.19)$$

bu yerda,

$$U_z = M \frac{dI_1}{dt} \text{ va } U_s = -(RI_1 + L \frac{dI_1}{dt}) \quad (4.20)$$

mos ravishda zatvor va stok kuchlanishlari bo'lib, minus ishora  $U_z$  hamda  $U_s$  kuchlanishlarning qarama- qarshi fazada o'zgarishini ifodalaydi. (4.19) va (4.20) ifodalarni (4.18) tenglamaga qo'ysak:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{1}{L} \left[ R - \frac{S(M-DL)}{C} \right] \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} \left( 1 + \frac{R}{R_i} \right) I = 0 \quad (4.21)$$



4.10 - rasm

ko'rinishdagi ikkinchi tartibli chiziqli differensial tenglama hosil bo'ladi. U generatorni 4.10-rasmda tasvirlangan ekvivalent tebranish konturi bilan almashtirish mumkinligini ko'rsatadi. Uning parametrlari quyidagicha bo'ladi:

$$L_{ekv} = L; C_{ekv} = \frac{C}{1 + \frac{R}{R_i}}; R_{ekv} = R - \frac{S(M-DL)}{C} = R' + R_{(-)} \quad (4.22)$$

Demak, ekvivalent konturning aktiv qarshiligi nagruzka konturning qarshiligidan

$$R_{(-)} = -\frac{SM}{C} \quad (4.23)$$

miqdordagi *manfiy qarshilikka* farq qiladi. U konturga davriy ravishda kirayotgan energiya miqdorini ifodalaydi.

(4.21) tenglamaning umumiy yechimi nagruzka konturning aslligi yetarlicha bo'lganda ( $\omega_0 L \gg R$  va  $R_i \gg R$ ) quyidagicha ifodalanadi:

$$I = U_0 \cdot e^{-\delta^* t} \cdot \sin \omega^* t \quad (4.24)$$

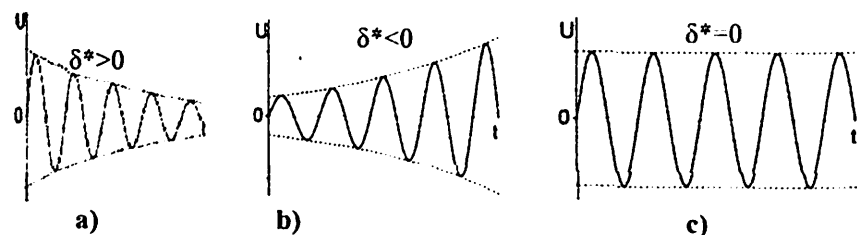
Unda,  $U_0 = \frac{E}{\omega^* L_{ekv}}$  - konturdagi boshlang'ich tebranishlar amplitudasi,

$$\omega^* = \frac{1}{\sqrt{L_{ekv} \cdot C_{ekv}}} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \sqrt{1 + \frac{R}{R_i}} \approx \omega_0 \quad - \text{generatsiya chastotasi,}$$

$$\delta^* = \frac{R_{ekv}}{2L_{ekv}} = \frac{1}{2L} \left[ R - \frac{S(M-DL)}{C} \right] \quad - \text{ekvivalent konturning so'nish darajasi.}$$

Demak, generatorida amplitudasi eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradigan tebranishlar hosil bo'lar ekan. 4.11-rasmda generatorida hosil bo'ladigan

tebranishlar grafigi keltirilgan bo'lib, uning o'zgarish tezligi  $\delta^*$  koeffitsiyentga bog'liq.



4.11 - rasm

Xususiy hollar bilan tanishaylik:

I hol:  $\delta^* > 0$  yoki  $R' > R_{(-)}$ . Bu holda generatorda uyg'otiladigan tebranishlar so'nuvchi bo'ladi (4.11a - rasm). Chunki konturda yo'qotiladigan energiya kiritiladigan energiyadan katta, ya'ni har bir tebranish davrida yo'qoladigan energiya to'ldirilmay qoladi.

II hol:  $\delta^* < 0$  yoki  $R' < R_{(-)}$ . Bu holda konturga kiritilayotgan energiya unda yo'qalayotgan energiyadan katta bo'ladi. Shuning uchun uyg'otilgan tebranishlar amplitudasi o'suvchi bo'lishi kerak (4.11b - rasm).

III hol:  $\delta^* = 0$  yoki  $R' = R_{(-)}$ . Bu holda tebranishlar amplitudasi o'zgarishsiz bo'lib, u so'nmas bo'ladi (4.11c - rasm). Chunki har bir davrda yo'qotilayotgan energiya to'liq qoplanadi. Natijada tebranish jarayoni cheksiz uzoq vaqt davom etadi.

Nazariy jihatdan III hol eng qulay bo'lib hisoblanadi. Amaliy jihatdan esa, u to'g'ri emas. Chunki biror sababga ko'ra tenglik buzilsa, tebranish so'nib qoladi. Shuning uchun amaliy jihatdan II xususiy hol maqsadga muvofiq hisoblanadi. Chunki shu holdagina o'z-o'zidan uyg'otish uchun yetarli sharoit hosil bo'ladi. Shunga ko'ra generatsiya shartini umumlashtirilib

$$R' \leq R_{(-)} \text{ yoki } R_{ekv} \leq 0 \quad (4.25)$$

ko'rinishda ifodalanadi. Uni quyidagicha o'zgartirib yozaylik:

$$\frac{M}{L} \geq \frac{RC}{KS} + D \quad (4.26)$$

Bunda  $\frac{M}{L} = \frac{U_c}{U_c} = \beta$  va  $\frac{RC}{KS} = \frac{1}{Z_p \cdot S}$  ekani hisobga olsak, (4.26) ifoda

$$\beta \geq D + \frac{1}{Z_p \cdot S} \quad (4.27)$$

ko'rinishga keladi. Uni *Barkgauzen formulasi* deb ataladi va o'z-o'zidan g'alayonlanuvchi generatorning asosiy tenglamasi hisoblanadi. U sxema parametrlarini generatorda tebranish hosil bo'lishiga tasirini ifodalaydi. Lekin tebranish amplitudasining statsionarligi to'g'risida bevosita ma'lumot bermaydi. Uni aniqlash uchun qiyalik koeffitsiyentining  $S$  zatvor kuchlanishiga qanday bog'liqligini bilish kerak, chunki u ( $D$  va  $R_i$  ham) differensial va dinamik kattalikdir. Boshqacha aytganda, tebranishning statsionar amplitudasini aniqlash uchun xarakteristikasining egriligini hisobga olish kerak.

#### 4.6 Multivibrator

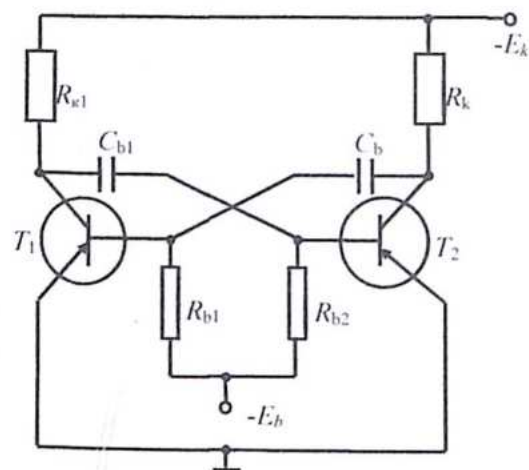
Multivibrator relaksatsiyaviy generator bo'lib, shakli to'g'ri to'rt burchakka yaqin tebranishlar ishlab chiqaradi. Tuzilishi jihatdan u kuchli musbat teskari bog'lanishli ikki kaskadli qarshiliklarda tuzilgan kuchaytirgichdir.

Multivibratorning uch xil asosiy ish rejimi mavjud: avtomatik tebranish, sinxronizatsiya va kutib turish rejimlari.

Avtomatik tebranish rejimida multivibrator o'z-o'zidan uyg'onadigan generator kabi ishlaydi, ya'ni tebranish sistemasining ichki jarayonlari hisobiga hosil bo'ladi. Shuning uchun impulslarning davomiyligi, chastotasi va boshqalar qurilmaning parametrlariga bog'liq. Ularni sxemadagi elementlarning kattaligini o'zgartirish hisobiga ma'lum chegaraviy qiymatlar orasida o'zgartirish mumkin.

Sinxronlash rejimida multivibrator o'z-o'zidan uyg'onuvchi generator singari ishlaydi. Lekin ishlab chiqarilayotgan tebranishlarning chastotasi tashqaridan ta'sir etuvchi sinxronlovchi impulsning chastotasi bilan boshqariladi. Umumiy holda sinxronlovchi impulsning chastotasi multivibrator ishlab chiqarayotgan tebranishning chastotasidan kichik bo'ladi. Lekin sxema elementlarini tanlash yo'li bilan ularni teng qilib olish mumkin.

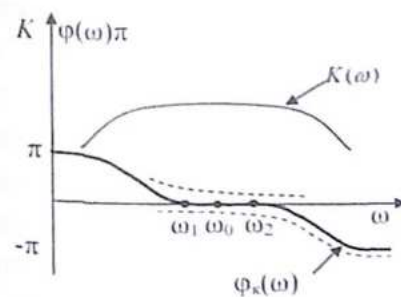
Kutib turish rejimida multivibrator tashqi turtki ta'sirida ishlovchi generator hisoblanadi. Shuning uchun u har safar maxsus tashqi impuls ta'sir etgandan keyin ishlaydi.



4.12-rasm. Multivibratorning prinsipial sxemasi

Multivibratorning avtomatik tebranish rejimida ishlashini ko'rib chiqaylik. Bu hol uchun uning prinsipial sxemasi 4.12-rasmda ko'rsatilgan. U musbat teskari bog'lanishli ikki kaskadli qarshiliklardan tuzilgan kuchaytirgich bo'lib, ikkinchi kuchaytirish kaskadining chiqishi birinchisining kirishiga, birinchi kaskadning chiqishi esa, ikkinchi kaskadning kirishiga to'liq ulangan. Shuning uchun teskari bog'lanish zanjirining uzatish koeffitsiyenti  $\beta = 1$  ga teng.

Barcha o'z-o'zidan uyg'onuvchi generatorlar kabi multivibrator uchun ham (4.6) generatsiya shartlari bajarilishi kerak. Bunda  $\beta = 1$  bo'lgani uchun amplitudalar sharti  $K = K_1 \cdot K_2$  ko'rinishda ifodalanadi va kichik signallar uchun u birdan yetarlicha katta bo'ladi. Fazalar sharti esa, kuchaytirgichning fazaviy xarakteristikasi bilan belgilanadi. Multivibratorida maxsus chastota tanlovchi zanjirning yo'qligi kuchaytirgichning reaktiv elementlardagi  $\varphi_k(\omega)$  faza siljishlarining ta'sirini orttiradi va u tebranishning garmonik bo'lmasligini ta'minlaydi.



4.13-rasm. Ikki kaskadli kuchaytirgichning chastotaviy va fazaviy xarakteristikasi

4.13-rasmda ikki kaskadli qarshiliklarda tuzilgan kuchaytirgichning chastotaviy va fazaviy xarakteristikasi ko'rsatilgan. Unda  $\omega_0$  chastota hosil bo'ladigan tebranish tashkil etuvchilarining asosiy chastotasini,  $\varphi_k(\omega) = 0$  ga to'g'ri kelgan chastotalar oralig'i esa, hosil bo'ladigan tebranishning spektrini ifodalaydi. Uning quyi chastota chegarasi ( $\omega_1$ )  $\tau_k$  - o'tish zanjirining vaqt doimiysiga, yuqori chegarasi ( $\omega_2$ ) esa,  $\tau_{yu}$  - nagruzka zanjirining vaqt doimisiga bog'liq bo'ladi.

Agar  $\tau_k = C_k R_k$  kattalasha va  $\tau_{yu} = C_0 R_k$  kamaysa, faza siljishlari  $\varphi_k = \varphi_{k1} + \varphi_{k2}$  ham kamayib, fazalar sharti ko'proq chastotalar uchun bajariladi va tebranishlar spektri kengayadi va aksincha. Shuning uchun multivibrator uchun fazalar shartini, quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{\tau_{yu}} \gg \omega \gg \frac{1}{\tau_k} \text{ yoki } \tau_k \gg \tau_{yu} \quad (4.28)$$

Generatsiya shartlari bajarilganda multivibratorida qanday qilib tebranish hosil bo'lishini ko'raylik. Uni uzlukli holda aniqlash qulay. Sxemadagi mos elementlar o'zaro teng kattaliklar bo'lsin. Bunday sxema *simmetrik multivibrator* deyiladi (aks holda u nosimmetrik bo'ladi). Agar tranzistorlar to'liq ochiq (to'yingan) bo'lib, mos elektrodlaridagi potentsiallari teng hamda  $C_{b1}$  va  $C_{b2}$  kondensatorlar bir xil potentsiallar ayirmasigacha zaryadlangan bo'lsa, sistema muvozanatda bo'lishi kerak. Lekin bu muvozanat turg'un bo'lmaydi va sistema uzoq muddat bu holatda turolmaydi. Chunki sxemaning mos tarmoqlaridan o'tadigan toklar o'rtacha qiymatlariga nisbatan fluktuatsiyalarga uchrab turadi.

Faraz qilaylik, biror vaqt momentida  $T_1$  tranzistordan o'tadigan tok bir oz ortsin ( $\Delta I_{k1}$ ). Unda  $R_{k1}$  qarshilikdagi potentsial tushuvi ortib, kollektor kuchlanishining manfiyligi kamayadi, ya'ni kollektor potentsial  $\Delta U_{k1}$

miqdorga ortadi.  $C_{b2}$  kondensator o'z potensialini oniy vaqt ichida o'zgartira olmagani uchun bu o'zgarish  $T_2$  tranzistorning bazasiga to'liq uzatiladi va tranzistorning baza kuchlanishi ham ortadi. Natijada  $T_2$  tranzistorning kollektor toki  $\Delta I_{k2}$  miqdorga kamayadi. Bu  $R_{k2}$  qarshilikdagi potensial tushuvining kamayishiga, kollektoridagi manfiy kuchlanishning ortishiga, ya'ni kollektor potensialining kamayishiga olib keladi.  $C_{b1}$  kondensatorning potentsiali oniy vaqt ichida o'zgarmagani uchun bu o'zgarish  $T_1$  tranzistorning bazasiga to'liq uzatiladi va baza kuchlanishi kamayadi. Natijada u kollektor tokining yanada ortishiga sababchi bo'ladi. Bu jarayon rivojlanish tabiatiga ega. U sakrash yoki ko'chki jarayon deb ataladi.

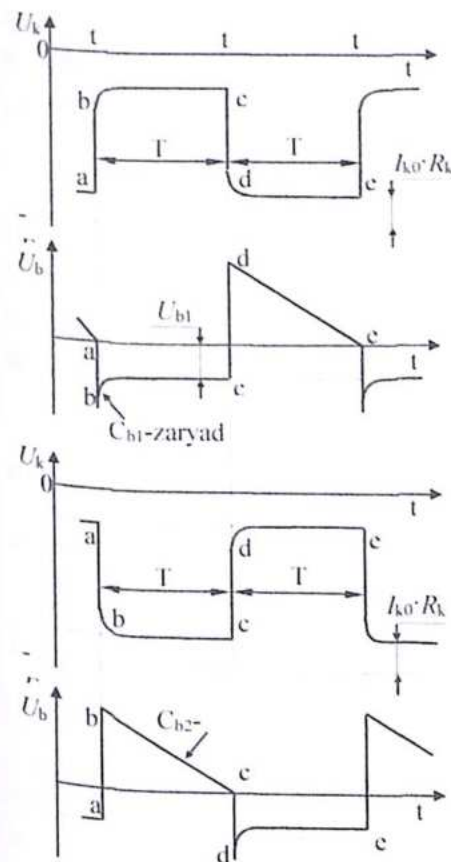
Umuman ko'chki jarayoni natijasida  $T_2$  tranzistorning kollektor kuchlanishi  $U_{k2} \approx 0$  dan  $-E_k$  qiymatlar oralig'ida o'zgaradi. Bunda  $T_1$  tranzistorning baza kuchlanishi ham shu qiymatlarda  $U_{b1} = 0$  dan  $U_{b1} = -E_b$  gacha, tranzistorning kollektor kuchlanishi esa aksincha,  $U_{k1} \approx -E_k$  dan  $U_{k1} \approx 0$  gacha o'zgaradi.  $T_2$  tranzistorning baza kuchlanishi esa,  $U_{b2} \approx 0$  dan  $U_{b2} \approx +E_b$  gacha ortadi. Shuning uchun teskari bog'lanish halqasi uziladi, chunki  $T_2$  tranzistor to'liq yopilib,  $T_1$  tranzistor ochiq holatga o'tadi. Shunda sistema muvozanat holatga o'tadi, lekin u turg'un emas. Uning bu holatda qancha vaqt turishi  $C_{b1}$  va  $C_{b2}$  kondensatorlarning boshlang'ich energiyasi bilan belgilanadi. Sxemadagi ko'chki jarayoni uzilgach,  $U_{c2} > U_{k1}$  va  $U_{c1} < U_{k2}$  bo'lib qoladi. Bu  $C_{b2}$  kondensatorning zaryadsizlanishiga,  $C_{b1}$  kondensatorning esa, qo'shimcha zaryadlanishiga olib keladi. Bu jarayonlar nisbatan sekinlik bilan davom etadi va impulsning shakllanishini ta'minlaydi.

$C_{b1}$  kondensator «kollektor manbai  $-E_k - R_{k2} - T_1$  tranzistorning emitter-baza o'tishi» dan tuzilgan zanjir orqali zaryadlanadi. Uning vaqt doimiysi  $\tau_{zar} \approx C_{b1} R_{k2}$  ga teng. Bunda zaryadlanish eksponensial qonun bo'yicha borgani uchun  $T_2$  tranzistorning kuchlanishi  $U_{k2} = -E_k + I_{zar} \cdot R_{k2}$  ham shu qonun bo'yicha o'zgaradi va  $t = 3C_{b1} \cdot R_{k2}$  vaqt ichida  $U_{k2} = -E_k$  qiymatga erishadi.

$C_{b1}$  kondensatorning zaryadlanishi davomida  $C_{b2}$  kondensator « $R_{b2} - E_b - T_1$  tranzistor» dan hosil bo'lgan zanjir orqali zaryadsizlanadi. Uning vaqt doimiysi  $\tau_{zaryadsiz} \approx C_{b2} \cdot R_{b2}$  bo'lib, zaryadsizlanish toki

$$I_{zaryadsiz} = \frac{E_k + E_b}{R_{b2}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{zaryadsiz}}} \text{ ifoda bilan aniqlanadi (bu vaqtda } T_2 \text{ tranzistor}$$

yopiq holatda turadi). Bu jarayonning davom etishi zaryadsizlanish zanjirining vaqt doimiysiga bog'liq bo'ladi. Tranzistorning baza kuchlanishi  $U_{b2} = -E_b + I_{zaryadsiz} \cdot R_{b2}$  qiymatdan nolga yetgach, u ochiladi. Shundan keyin sxemada yana sakrash hosil bo'ladi. U  $T_1$  tranzistor yopilishiga,  $T_2$  tranzistorning esa to'la ochilishiga olib keladi. Bunda  $R_{b1}$  qarshilik  $E_b + U_{c2} = E_b + E_k$  kuchlanish ostida bo'lgani uchun  $T_2$  tranzistorning



4.14-rasm. Multivibratorda kollektor va baza kuchlanishining oniy qiymatlari

kollektor kuchlanishi  $E_k - I_{k02} \cdot R_{k2}$  qiymatdan  $U_{kT} \approx 0$  qiymatgacha kamayadi. Kollektor toki esa,  $I_{k0}$  qiymatdan  $I_{k2} = \frac{E_k}{R_{k2}} + \frac{E_k + E_b}{R_{b1}}$  qiymatgacha ortadi. Natijada multivibrator ikkinchi muvozanat holatiga o'tadi. Lekin u ham turg'un bo'lmaydi.

$C_{b2}$  kondensator « $E_k$  manba -  $R_{k1} - C_{b2} - T_1$  tranzistorning emitter-baza o'tishi» dan tuzilgan zanjir orqali zaryadsizlanadi boshlaydi ( $C_{b1}$  kondensator esa, zaryadlanadi). Bu jarayon  $T_1$  tranzistorning baza kuchlanishi  $U_{b1} = -E_b + I_{zaryadsiz} \cdot R_{b1}$  qiymatdan nolga teng bo'lguncha davom etadi. Shundan keyin sxemada yana sakrash hosil bo'ladi va  $T_1$  tranzistor ochiq,  $T_2$  tranzistor - yopiq holat (ya'ni boshlang'ich holat) hosil bo'ladi. Bu jarayon takrorlanaveradi.

Multivibrator sxemasidagi kollektor va baza kuchlanishlari oniy qiymatlarining vaqt bo'yicha o'zgarish

grafiklari 4.14-rasmda ko'rsatilgan. Undagi "ab" qism  $T_1$  tranzistorning ochiq,  $T_2$  tranzistorning yopiq holatini ifodalasa, "cd" qismda  $T_2$ -ochiq,  $T_1$ -yopiq bo'ladi. "bc" va "de" qismlar kondensatorning zaryadlanish va zaryadsizlanish jarayonlarini ifodalaydi. Agar "bc" qismda  $C_{b1}$  kondensator zaryadlanib,  $C_{b2}$  kondensator zaryadsizlansa, "de" qismda esa  $C_{b1}$  zaryadsizlanib,  $C_{b2}$  zaryadlanadi. Kondensatorlarning zaryadlanish vaqti ularning zaryadsizlanish vaqtidan hamisha qisqa bo'ladi. Chunki sxema uchun  $R_b \gg R_k$  tengsizlik o'rinli bo'ladi. Shunga ko'ra, zaryadsizlanish jarayoni impulslarning davom etishi vaqtini ifodalovchi asosiy kattalik hisoblanadi. Zaryadsizlanayotgan kondensator ( $C_{b1}$  va  $C_{b2}$ ) o'z potensialini  $E_k - I_{k0} \cdot R_k$  qiymatdan  $E_b + I_{k0} \cdot R_b$  qiymatgacha eksponensial qonun bo'yicha o'zgartiradi, bu yerda  $I_{k0}$  - kollektorning sokinlik toki. Shu uchun  $C_{b2}$  kondensator kuchlanishini quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{c2} = -E_b - I_{k02} \cdot R_{b2} + (E_k - I_{k01} \cdot R_{k1} + E_b + I_{k02} \cdot R_{b2} - U_{b2t}) \cdot e^{-\frac{t}{C_{b2} \cdot R_{b2}}} \quad (4.29)$$

Agar zaryadsizlanish  $t=0$  vaqtda boshlanib,  $t=T_1$  vaqtgacha davom etsa va bunda  $U_{c2} = U_{b2} = 0$  ga erishilsa, (4.29) ifodadan  $T_1$  vaqtni aniqlash mumkin:

$$T_1 = C_{b2} \cdot R_{b2} \ln \frac{E_k - I_{k01} \cdot R_{k1} + E_b + I_{k02} \cdot R_{b2} - U_{b2t}}{E_b + I_{k02} \cdot R_{b2}} \quad (4.30)$$

Xuddi shu yo'l bilan  $C_{b1}$  kondensatorning zaryadsizlanish ifodasini bilgan holda:

$$T_2 = C_{b1} \cdot R_{b1} \ln \frac{E_k - I_{k02} \cdot R_{k2} + E_b + I_{k01} \cdot R_{b1} - U_{b1t}}{E_b + I_{k01} \cdot R_{b1}} \quad (4.31)$$

ekanini aniqlash mumkin.

$$(4.30) \text{ va } (4.31) \text{ ifodalarga asosan multivibratoridagi tebranishlar davri:} \\ T = T_1 + T_2 \quad (4.32)$$

ga teng bo'ladi.

Odatda bazaga siljitish kuchlanishi beradigan  $E_b$  manbadan qutulish uchun tranzistorlarning bazasi kollektor manbai zanjiriga ulanadi (4.14-rasm), ya'ni  $E_b = E_k$  qilib olinadi. Bunda  $R_k \ll R_b$ , ekanini hisobga olsak, (4.32) ifoda soddalashib, quyidagi ko'rinishga keladi:

$$T = C_{b2} \cdot R_{b2} \ln \frac{2E_k + I_{k02} \cdot R_{b2}}{E_b + I_{k02} \cdot R_{b2}} + C_{b1} \cdot R_{b1} \ln \frac{2E_k + I_{k01} \cdot R_{b1}}{E_b + I_{k01} \cdot R_{b1}} = \\ = C_{b1} \cdot R_{b1} \ln \frac{2 + \theta_1}{1 + \theta_1} + C_{b2} \cdot R_{b2} \ln \frac{2 + \theta_2}{1 + \theta_2} \quad (4.33)$$

bunda,  $\theta_1 = \frac{I_{k01} \cdot R_{b1}}{E_k}$ ,  $\theta_2 = \frac{I_{k02} \cdot R_{b2}}{E_k}$  - issiqlik toki faktori deb ataladi va kollektorning  $I_{k0}$  - sokinlik (issiqlik) toki bilan bazaning  $I_b$  - to'yinish toki orasidagi munosabatni ifodalaydi.

Agar tranzistorning issiqlik toki hisobga olinmasa ( $\theta=0$ ), (4.33) ifoda juda sodda ko'rinishga ega bo'ladi:

$$T = C_{b1} \cdot R_{b1} \ln 2 + C_{b2} \cdot R_{b2} \ln 2 \approx 0,7(C_{b1} \cdot R_{b1} + C_{b2} \cdot R_{b2}) \quad (4.34)$$

Simmetrik multivibrator uchun (4.34) ifoda yanada soddalashadi:

$$T = 2C_b \cdot R_b \ln 2 \approx 1,7C_b \cdot R_b \quad (4.34a)$$

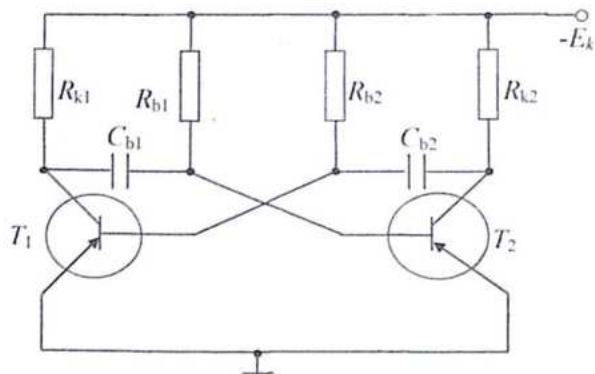
Yuqorida keltirilgan (4.14-rasm) sxemadagi tranzistorning ish rejimi to'yinish rejimi deb ataladi. Bu rejimda multivibrator deyarli to'g'ri to'rtburchak shaklidagi impulslarni ishlab chiqaradi. Uning amplitudasi va davom etish vaqti  $R_k$  qarshilik bilan kam bog'liq bo'ladi.

Multivibrator sxemasidagi tranzistorlar aktiv (kuchaytirish) rejimida ham ishlaydi. Bu rejimda to'yingan tranzistorning bazasidagi ortiqcha zaryad tashuvchilarning so'rilish jarayonining impuls fronti davom etish vaqtiga bo'lgan salbiy ta'siri kuzatilmaydi. Lekin impulsning tepa qismi yassi bo'lmaydi. Chunki unga  $C_{b1}$  va  $C_{b2}$  kondensatorlar kuchlanishining o'zgarishi ta'sir etadi.

$T_1$  tranzistorning to'yinish sharti 1-muvozanat holat uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{k1} \leq \beta_1 I_{b1} \quad (4.35)$$

bu yerda  $\beta_1$  - umumiy emitterli ulanish sxemasida tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti. Bu shart  $C_{b2}$  kondensatorning  $-E_k$  qiymatgacha zaryadlanishidagi muvozanat holat uchungina emas, balki ko'chki jarayoni uchun ham bajariladi.



4.15-rasm. Bazasi kollektor zanjiriga ulangan multivibrator

Agar kollektorning  $I_{k01}$  - sokinlik toki hisobga olinmasa ( $I_{k01}R_{k1} \ll E_k$ ), sxemasidagi muvozanat holat almashinishida kollektor toki

$$I_{k1} = \frac{E_k}{R_{k1}} + \frac{E_k + E_b}{R_{b1}}, \text{ bazaning to'yinish toki esa } I_{b2} \approx \frac{E_b}{R_{k1}} \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Ularni (4.35) ifodaga qo'ysak,  $T_1$  tranzistorning to'yinish sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\beta_1 \frac{E_b}{R_{b1}} \geq \frac{E_k}{R_{k1}} + \frac{E_k + E_b}{R_{b2}} \quad (4.35a)$$

bunda,  $\frac{E_k + E_b}{R_{b2}}$  -  $C_{b2}$  kondensatorning zaryadsizlanishidagi tokning maksimal qiymati. Mos ravishda,  $T_2$  tranzistorning to'yinish sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\beta_2 \frac{E_b}{R_{b2}} \geq \frac{E_k}{R_{k2}} + \frac{E_k + E_b}{R_{b1}} \quad (4.35b)$$

bu yerda  $\beta_2$  -  $T_2$  tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti,  $\frac{E_k + E_b}{R_{b1}}$  -  $C_{b1}$  kondensatorning zaryadsizlanishidagi tokning maksimal qiymati.

#### Nazorat savollari

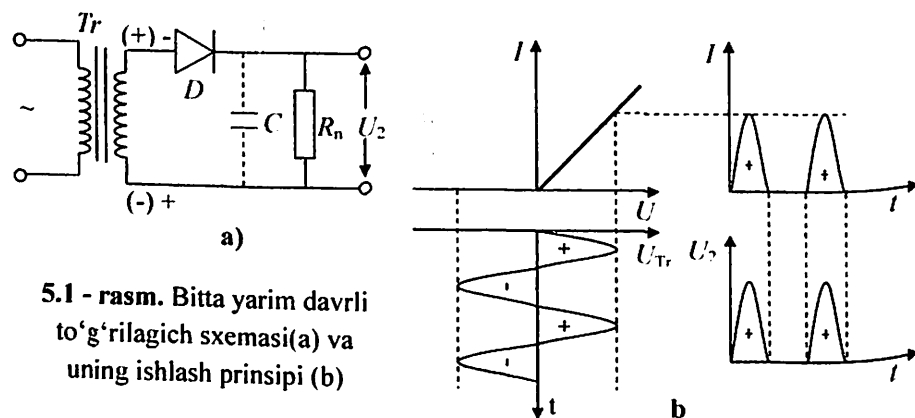
1. Generatorlar va ularning turlari
2. Generatorlarda tebranishlarni hosil qilish usullari
3. Generatorlar klassifikatsiyasi
4. Generatsiya shartlari
5. Yumshoq va qattiq ish rejimlarini tushuntiring
6. Generatsiya shartlari amplitudalari va fazalar balans sharti.
7. Generator uchun teskari bog'lanish zanjirini tanlash usuli
8. RC -generatorlarda faza siljitish zanjirlari
9. Ikki kaskadli RC -generatorlarda Vin ko'prigini vazifasini tushuntiring
10. Ikki kaskadli RC -generatorning tuzilishi va unda generatsiya shartlarining bajarilish tartibi.
11. Ikki kaskadli RC -generator sxemasiga kiritilgan manfiy teskari bog'lanish zanjirining vazifasi
12. Bir kaskadli RC - generatorning tuzilishi va unda generatsiya shartlarining bajarilish tartibi.
13. RC - generatorida ishlab chiqarilgan tebranishlarning chastotasi va amplitudasining kattaligi.
14. LC generatorlarda tebranishlar hosil bo'lish jarayonini tushuntiring
15. Nima uchun LC generatorlar quyi chastotalar sohasida ishlatilmaydi
16. Multivibrator va uning tuzilishi.
17. Multivibratorning ish rejimlari.
18. Multivibratorlarda generatsiya shartlarining bajarilish xususiyatlari.
19. Multivibratorlarda tebranishlarni hosil bo'lish jarayonini tushuntirish
20. Multivibratorlarda tebranish davri nimalarga bog'liq

## 5 BOB. ELEKTRON QURILMALAR UCHUN IKKILAMCHI MANBALAR

### 5.1 O'zgaruvchan tokni to'g'rilash

Chiziqli bo'lmagan zanjir yordamida tok spektrida o'zgarmas tashkil etuvchini hosil qilish va uni ajratib olish jarayoni *o'zgaruvchan tokni to'g'rilash* deb ataladi. Uni amalga oshiruvchi qurilma (chiziqli bo'lmagan zanjir) *to'g'rilagich* deyiladi.

Demak, to'g'rilash jarayonini amalga oshirish uchun faqat tokning o'zgarmas tashkil etuvchisini ajrata olish imkoniyatini beruvchi chiziqli bo'lmagan zanjirgina yaroqli bo'lar ekan. Undan tashqari, to'g'rilash effekti yetarli darajada bo'lishi uchun bu o'zgarmas tashkil etuvchi tok qiymati katta bo'lishi kerak. Bunday xossaga tarkibida ventil xususiyati mavjud bo'lgan element qatnashuvchi chiziqli bo'lmagan zanjir ega bo'ladi. Ventil xususiyatga ega elementga misol sifatida lampaviy va yarimo'tkazgichli diodlarni, gazotron, tiratron va boshqa elementlarni ko'rsatish mumkin. Shuning uchun to'g'rilagichlar ana shu elementlarda yig'iladi.



5.1 - rasm. Bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi (a) va uning ishlash prinsipi (b)

To'g'rilashda zanjirga ta'sir etuvchi tebranish (kirish kuchlanishi) yetarlicha katta amplitudaga ega bo'lgani uchun to'g'rilovchi element volt-amper xarakteristikasi to'g'ri chiziqlar kesmasidan iborat deb olinadi (5.1b-rasm).

To'g'rilash sxemasi ikki xil - bitta va ikkita yarim davrli bo'ladi. Bizga transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami bilan ketma-ket ulangan *D* diod va  $R_n$  qarshilikdan tuzilgan zanjir berilgan bo'lsin (5.1a-rasm; kondensatorsiz). Agar transformatorga o'zgaruvchan kuchlanish berilsa, ikkilamchi cho'lg'am

kuchlanishining musbat yarim davri to'g'ri kelganda diod ochilib, zanjirda tok hosil bo'ladi. Kuchlanishning manfiy yarim davrida esa diod yopilib, zanjirdan tok o'tmaydi. Uning grafik tasviri 5.1b-rasmda ko'rsatilgan (teskari tok hisobga olinmagan). Demak, zanjirdagi tok va chiqish kuchlanishi uzlukli bo'ladi. Bunday tok va kuchlanish *pulslanuvchi tok* yoki *kuchlanish* deb ataladi. Bitta yarim davrli to'g'rilagichda pulslanish chastotasi transformatoridagi kuchlanish chastotasiga teng bo'ladi,  $f_p = f_{tr}$ .

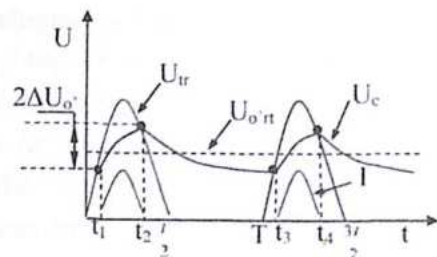
Demak, ko'rilgan sxemada tok kirish kuchlanishining musbat (+) yarim davrlaridagina hosil bo'ladi. Shuning uchun bu sxema *bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasi* deyiladi. Uning asosida tuzilgan to'g'rilagich esa, mos ravishda, bitta yarim davrli to'g'rilagich bo'ladi.

Radioqurilmalarda pulslanuvchi tok yoki kuchlanishdan foydalanilmaydi. Shuning uchun pulslanishni yo'qotish, ya'ni tekislash zarur. Buning uchun pulslanuvchi tok yoki kuchlanish spektridagi o'zgarmas va o'zgaruvchan tashkil etuvchilar bir-biridan ajratiladi va o'zgaruvchan tashkil etuvchidan qutilish chorasi ko'riladi. Bu jarayonni amalga oshiradigan qurilma *tekislovchi filtr* deb ataladi. Nagruzka rezistoriga parallel ulangan kondensator eng sodda tekislovchi filtr hisoblanadi. Uning sig'imi yetarlicha

katta, ya'ni  $R_n \gg \frac{1}{\omega_n C_n}$  bo'lishi kerak. Bu holda diodning ishlashiga transformator kuchlanishidan tashqari kondensatorning kuchlanishi ham ta'sir etadi. Transformatoridan diodga musbat kuchlanish berilganda, undan

o'tadigan tok kondensatorni  $U_c = U_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$  ifoda bo'yicha zaryadlaydi va kondensatorida  $U_c$  ga teng kuchlanish hosil bo'ladi. Uning ishorasi ikkilamchi cho'lg'am kuchlanishi ishorasiga qarama-qarshi - musbat bo'ladi. Shuning uchun dioddan transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanish kondensator kuchlanishidan katta ( $U_{tr} > U_c$ ) bo'lgandagina tok o'tadi.  $U_{tr} < U_c$  bo'lganda esa, diod yopilib, kondensator  $R_n$  qarshilik orqali zaryadsizlanadi.

Agar  $R_n$  nagruzka rezistorining qarshiligi cheksiz bo'lsa, kondensator transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymatigacha zaryadlanishi kerak.



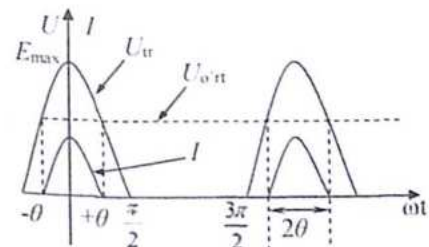
5.2-rasm. Muvozanat xolatda tok va kondensator kuchlanishining vaqt bo'yicha o'zgarishi

Lekin unda dioddan o'tadigan tok nolga teng bo'lib, sxema ishlamay qo'yadi.  $R_n$  rezistorning chekli qiymatida zanjirda muvozanat vujudga keladi va unda transformator kuchlanishining bir davrida kondensator oladigan elektr energiyasi bilan yo'qotiladigan energiya miqdori bir-biriga teng bo'ladi. Muvozanat holatida zanjirdagi tok va kondensator kuchlanishining vaqt bo'yicha o'zgarish grafiği 5.2-rasmida ko'rsatilgan. Unda,  $U_{o'n}$  - nagruzkadan olinadigan kuchlanishning o'rtacha qiymati. Nagruzkadagi kuchlanishning pulslanish kattaligi ( $\Delta U_{o'n}$ )  $C_n$ ,  $R_n$  va  $R_l$  kattaliklar orasidagi munosabatga bog'liq. Xususiy holda,  $R_n$  qarshilikning qiymati kichraytirilsa, chiqish kuchlanishining miqdori kamayib, uning pulslanishining absolut qiymati ortadi. Aksincha,  $R_n$  qarshilikning qiymati ortsa, chiqish kuchlanishi ortib, uning pulslanishi kamayadi. Chunki, qarshilik kamaysa, zaryadsizlanish toki katta va kondensatoridagi qoldiq kuchlanish kichik bo'ladi. Aksincha,  $R_n$  katta bo'lsa, zaryadsizlanish toki kichik bo'lib, kondensatoridagi qoldiq kuchlanish katta bo'ladi. Natijada diod transformator kuchlanishining katta qiymatlarida ochiladi. Shunga ko'ra  $R_n$  qarshilik qiymatining ortishi bilan dioddan tok o'tish vaqti qisqarib, chiqish kuchlanishining  $\Delta U_{o'n}$  pulslanishi kichrayib boradi. To'g'rilangan kuchlanishni baholash pulslanish koeffitsiyenti orqali amalga oshiriladi. U nagruzkadagi kuchlanishning pulslanish kattaligini o'rtacha kuchlanishga nisbatidan topiladi (5.2-rasm):

$$k_p = \frac{\Delta U_{o'n}}{2U_{o'n}} \quad (5.1)$$

Shuni aytish kerakki, transformator kuchlanishining manfiy yarim davrlarida diodga berilgan kuchlanish  $U_m = U_c$  qiymatga erishadi. Ushbu kuchlanish *teskari kuchlanish* deb ataladi. To'g'rilagichlarni yasaganda diod shu kuchlanishga chidaydigan qilib tanlanishi lozim. Demak, tokning pulslanish darajasi kesish burchagiga bog'liq bo'ladi. Elementdan tok o'tish

vaqtining yarmiga mos keladigan fazaviy burchak *kesish burchagi* deyiladi (5.3-rasm).



5.3-rasm. Diodga berilgan kuchlanish va undan o'tgan tokning vaqt bo'yicha o'zgarishi

bo'lgan kesish burchagi.

Transformatoridagi va kondensatoridagi kuchlanishlar o'zaro teng bo'lganda tokning to'xtashi sababli,

$$U_{o'n} = E_{\max} \cos \theta \quad (5.2)$$

bo'ladi. Tok kuchi  $t = 0$  da o'zining maksimumiga erishgani uchun, uning ifodasini

$$I_{\max} = SE_{\max} (1 - \cos \theta) \quad (5.3)$$

ko'rinishida yozish mumkin.

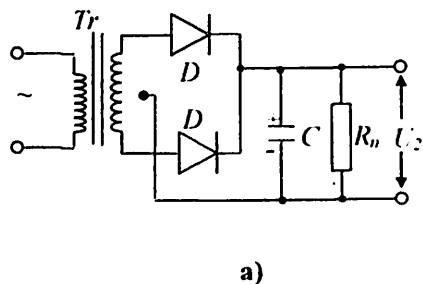
To'g'rilagichdan o'tuvchi tokning o'rtacha qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{o'n} = 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta}^{+\theta} I_d d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\theta} I_d d(\omega t) = \frac{2SE_{\max}}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (5.4)$$

Kesish burchagini hisoblash uchun o'rtacha tok va o'rtacha kuchlanish nisbatidan foydalanamiz:

$$\frac{I_{o'n}}{U_{o'n}} = \frac{2SE_{\max} (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{E_{\max} \cos \theta} = \frac{2S}{\pi} (tg \theta - \theta) \quad (5.5)$$

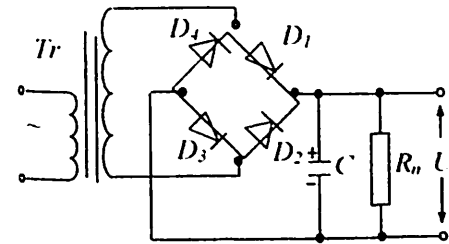
Diodning qiyalik koeffitsiyentini bilgan holda,  $tg \theta - \theta$  ni hisoblab, jadvaldan mos ravishda kesish burchagini topish mumkin.



5.4-rasm. Ikkita yarim davrli to'g'rilagich transformator sxemasi (a) va to'g'rilangan tok va kuchlanishning vaqt diagrammasi (b)

Kesish burchagi kichrayishi bilan pulslanish ham kamayib boradi. Ikkinchi tomondan, kesish burchagi kichrayishi bilan to'g'rilagichning foydali ish koeffitsiyenti ortadi. Sababi bunda diodga kam yuk tushadi va u osonroq ishlaydi hamda uning energiya uzatish qobiliyati ortadi. Bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasida o'zgaruvchan tok manbai energiyasining faqat bir qismidagina foydalaniladi. Undan to'liq foydalanish uchun *ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi* tuziladi. U ikkita bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasining ketma-ket ulanishidan iborat. Ulardan biri transformator kuchlanishining birinchi yarim davrida ishlasa, ikkinchisi esa, ikkinchi yarim davrida ishlaydi.

Ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi asosida tuzilgan to'g'rilagichning prinsipial sxemasi va chiqish kattaliklarining vaqt diagrammasi 5.4-rasmda ko'rsatilgan. Undan ko'rinadiki, sxemaning ishlashi xuddi bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasining ishlashi kabi bo'ladi. Lekin chiqish kuchlanishining pulslanish chastotasi  $f_p = 2f_r$  ikki marta ortiq bo'lib, uning amplitudasi kichik bo'ladi. Sababi kondensatorning  $R_n$  qarshilik orqali zaryadsizlanishi uchun kamroq vaqt talab qilinadi. Natijada undagi qoldiq kuchlanish katta bo'ladi. Demak, to'g'rilash sxemalari ikki xil bo'ladi. To'g'rilagichlar ana shu sxemalar asosida yasaladi. Lekin unda chiziqli bo'lmagan element nagruzka qarshiligiga nisbatan turli usulda ulanishi mumkin. Masalan, shulardan biri 5.5-rasmda ko'rsatilgan. U *ko'priksimon sxema* bo'lib, *Grets sxemasi* deb ataladi. Uning asosini ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi tashkil etadi.



5.5-rasm. Ikkita yarim davrli to'g'rilagichning ko'priksimon sxemasi

Transformator kuchlanishining birinchi yarim davrida D<sub>1</sub> va D<sub>3</sub> diodlar ishlasa, ikkinchi yarim davrida - D<sub>2</sub> va D<sub>4</sub> diodlar ishlaydi. Grets sxemasining asosiy afzalliklari shundaki, to'g'rilangan tok amplitudasining pulslanishi yetarlicha kichik bo'ladi. Undan tashqari, o'rta nuqtali transformatorga hojat qolmaydi. Har bir diodga to'g'ri keluvchi teskari kuchlanish qiymati transformator kuchlanishining amplituda qiymatidan ortmaydi. Grets sxemasining kamchiligi shundaki, diodlar ketma-ket ulangani uchun tarmoqning to'liq qarshiligi ortadi va ko'proq energiya sochadi.

## 5.2 Filtrlar

To'g'rilagichlarning ishini o'rganish jarayonida to'g'rilangan tok yoki kuchlanish amplitudasida pulslanish borligini pulsatsiya koeffitsiyenti va kesish burchaklari orqali kuzatgan edik. Bundan quyidagicha xulosaga kelish mumkin: to'g'rilangan tok yoki kuchlanish amplitudasining pulslanishi ular spektrida o'zgarimas tashkil etuvchi bilan bir qatorda signal chastotasiga karrali chastotaga ega bo'lgan o'zgaruvchi tashkil etuvchilar ham mavjud ekanligi natijasida bu pulslanish sodir bo'ladi. Bu holatga ishonch xosil qilish uchun to'g'rilangan kuchlanishni Fure qatoriga yoyish kerak.

Masalan, ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasining chiqish kuchlanishini quyidagicha ifodalash mumkin

$$U_2 = \frac{2}{\pi} U_m - \frac{4U_m}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4U_m}{15\pi} \cos 4\omega t - \dots \quad (5.6)$$

bu yerda  $U_m$  transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanish amplitudasi.

Bu pulslanishni kamaytirish uchun nagruzka qarshiligiga parallel holda kondensator ulash usuli bilan tanishgan edik. Lekin bu usul ko'p hollarda yetarli bo'lmaydi. Chunki ba'zi elektron qurilmalarni quvvat bilan

ta'minlashda pulslanishning juda kichik bo'lishi talab qilinadi. Ayniqsa tibbiyot sohasida ishlatilayotgan elektron qurilmalarda pulsatsiyalanish darajasi ishlatilayotgan kuchlanishning o'ndan, yuzdan, ba'zi qurilmalarda xatto mingdan bir foizdan oshmasligi talab qilinadi. Ammo to'g'rilagichlar yordamida olinayotgan ular chiqishidagi kuchlanishlar pulsatsiyasi talab darajasidan bir necha barobar yuqori. To'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiyasini pasaytirish uchun tekislovchi filtrlar deb ataluvchi sxemalardan foydalaniladi.

Har qanday tekislovchi filtr to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasini talab qilinayotgan darajagacha kamayishini ta'minlashi, ya'ni kerakli tekislash koeffitsiyentiga ega bo'lishi kerak bo'ladi. Tekislash koeffitsiyenti quyidagi formula yordamida aniqlanadi

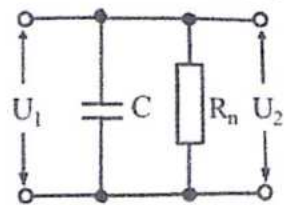
$$q = \frac{K_n}{K_n^1} \quad (5.7)$$

bu yerda  $K_n$  tekislovchi filtdan avvalgi pulsatsiya koeffitsiyenti;  $K_n^1$  tekislovchi filtdan keyingi pulsatsiya koeffitsiyenti.

Tekislovchi filtrlarga qo'yiladigan asosiy talab bu imkon boricha nagruzka qarshiligidagi to'g'rilangan tok yoki kuchlanish tarkibidagi o'zgaruvchan tashkil etuvchilarni maksimal kamaytirishdan iborat. Shu bilan birga, tekislovchi filtr tomonidan o'zgarmas tashkil etuvchi tok yoki kuchlanish miqdorini kamaytirmasligi kerak. Shuning uchun tekislovchi filtrlar asosan reaktiv qarshilikli elementlar induktiv g'altak va kondensatorlarda tuziladi.

To'g'rilagichning chiqishida pulsatsiyasi kichik bo'lgan tok yoki kuchlanishni olish uchun nagruzka qarshiligiga parallel holda kondensator ulash yetarli bo'ladi.

Dioddan tok o'tayotgan vaqtda kondensator elektr energiyasi to'planadi. Diodga teskari kuchlanish uzatilgan vaqtda diod yopiladi va kondensator nagruzka qarshiligi orqali razryadlanadi. Natijada nagruzka qarshiligi orqali tok uzluksiz o'tadi. To'g'rilangan tok yoki kuchlanishning pulsatsiyasi sezilarli darajada kamayadi. Shuning uchun kam quvvatli qurilmalarni energiya birdan ta'minlash uchun ishlatiladigan to'g'rilagichlar chiqishida



5.6-rasm.

To'g'rilagichning chiqish zanjiri sxemasi

kondensator ulangan bo'ladi. Bu kondensator amalda tekislovchi filtrning birinchi elementi vazifasini bajaradi.

Chastotasi  $f_c = 50\text{Hz}$  bo'lgan tarmoqdan pulsatsiyasi 10% dan ortiq bo'lmagan tok olishni ta'minlovchi tekislovchi filtrning kirish kondensatori sig'imini quyidagi formulalar yordamida aniqlash mumkin:

Bir yarim davrli sxema uchun

$$C_0 \approx \frac{50I_0}{U_0} \quad (5.8)$$

Ikki yarim davrli sxema uchun

$$C_0 \approx \frac{25I_0}{U_0} \quad (5.9)$$

bu yerda  $C_0$  - filtrning kirish kondensatori sig'imi,  $I_0$  - tekislangan tok;  $U_0$  tekislangan kuchlanish.

Filtdan o'tayotgan to'g'rilangan tok qiymati va filtr chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanish uchun belgilangan pulsatsiya koeffitsiyenti qiymatidan kelib chiqqan holda tekislovchi filtrlarning mos sxemalari tanlanadi.

Tekislovchi filtrlarda elementlar ketma - ket va parallel ulanuvchi bo'lishi mumkin. Ketma - ket ulanuvchi elementlar sifatida induktiv g'altaklar (drossellar) va aktiv qarshiliklardan foydalaniladi. Parallel ulanuvchi elementlar sifatida asosan kondensatorlardan foydalaniladi.

Drosselning tekislovchi filtr elementi sifatidagi vazifasi unda kuchlanish o'zgaruvchan tashkil etuvchisining katta qismini yo'qotishdan iborat. Buning uchun drosselning reaktiv (induktiv) qarshiligi

$$X_{L_f} = \omega L_f \quad (5.10)$$

ni nagruzka qarshiligi  $R_n$  dan anchagina katta bo'lgan holda tanlanadi.

To'g'rilangan tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi uchun drosselning qarshiligi nolga teng:  $X_{L_{op}} = \omega L_{op} = 0$  chunki  $\omega = 0$ . Demak, to'g'rilangan kuchlanish qiymati asosan drossel yasalgan simning kichik qiymatga ega aktiv omik qarshilikdagi potensial tushuviga teng bo'ladi. Bu qarshilik nagruzka qarshiligiga nisbatan juda kichkina bo'lgani uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Kondensatorning tekislovchi filtr elementi sifatidagi vazifasi nagruzka qarshiligi  $R_n$  ni shuntlab, o'zidan to'g'rilangan tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining juda katta qismini o'tkazib yuborishdan iborat. To'g'rilangan

tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi uchun esa kondensatorning qarshiligi  $X_{cf} \rightarrow \infty$  chunki  $\omega = 0$ .

Tekislovchi filtrlar uchun kondensatorning reaktiv qarshiligi

$$X_{cf} = \frac{1}{\omega C_f} < R_n \quad (5.11)$$

qilib tanlanadi. Natijada tekislangan tokning asosan o'zgarmas tashkil etuvchi qismi  $R_n$  nagruzka orqali o'tadi. Zaruriy tekislash ko'effitsiyenti kattaligidan kelib chiqqan holda  $L_f C_f$  ko'paytma quyidagi formula yordamida aniqlanadi

$$L_f C_f = \frac{2.5 \cdot 10^4 (q+1)}{m^2 f_0^2} \quad (5.12)$$

bu yerda  $f_0$ -manba chastotasi;  $m$  - tekislash fazalari soni (bitta yarim davrli to'g'rilagich uchun  $m = 1$ ; ikkita yarim davrli to'g'rilagich uchun  $m = 2$ );  $q$  tekislash ko'effitsiyenti.

Ko'p qo'llaniladigan ikkita yarim davrli to'g'rilagichlar sxemasi uchun manba chastotasi  $f_c = 50$  Hz bo'lganda

$$L_f C_f = 2.5(q+1) \quad (5.13)$$

bo'ladi. (5.13) ifodadagi  $L_f$  va  $C_f$  lar quyidagi shart bajariladigan qilib tanlanadi

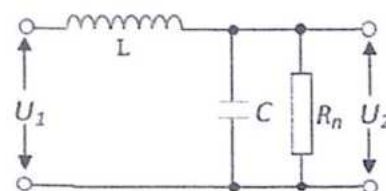
$$m\omega_c L_f > \frac{1}{m\omega_c C_f} \quad (5.14)$$

bu yerda  $\omega_c = 2\pi f_c$  manbaning burchak chastotasi.

Odatda filtr kondensatori sifatida katta sig'imga (10-40 mkF) ega bo'lgan elektrolitik kondensatorlar ishlatiladi. Bunda kondensatorning ishchi kuchlanishi to'g'rilangan kuchlanishdan taxminan 1.5 marta yuqori bo'lishi kerak.

(5.13) formula yordamida  $C_f$  ning berilgan qiymatiga mos  $L_f = \frac{2.5(q+1)}{C_f}$  bo'lgan drosselning  $L_f$  induktivligini aniqlash mumkin. Hisoblarning to'g'riligini esa (5.14) tengsizlik orqali tekshirilishi mumkin.

Elementlarining ulanishiga qarab tekislovchi filtrlar "Γ simon", "Π simon", "Π simon" bo'lishi mumkin. Ularning ba'zilarining ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz.



5.7-рasm. Γ – simon filtr.  $U_1$  – to'g'rilash sxemasi chiqishidagi kuchlanish.  $U_2$  – tekislovchi filtr chikishidagi kuchlanish

5.7-rasmda Γ simon filtr sxemasi keltirilgan.  $L_f$  drosseldan tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi kam qarshilikka uchragan holda o'tadi. Chunki o'zgarmas tashkil etuvchi uchun  $X_{L_f} = \omega_c L_f = 0$  sabab  $\omega_c = 0$

Kondensator esa o'zgarmas tashkil etuvchini o'tkazmaydi. Chunki

$$X_c = \frac{1}{\omega_c C_f}; \quad \omega_c = 0. \quad \text{Natijada } R_n$$

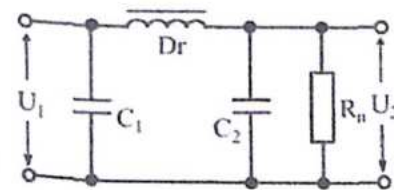
rezistorda o'zgarmas kuchlanish hosil bo'ladi. Uning o'zgarishsiz qolishi uchun tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi drosselda yutilib qolib,  $R_n$  da kuchlanish tushuvini hosil qilmasligi kerak. Bunday holat drossel qarshiligi kondensator qarshiligidan juda katta bo'lganda sodir bo'ladi.

$$\omega_n L_f \gg \frac{1}{\omega_n C_f} \quad \text{va} \quad \frac{1}{\omega_n C_f} \ll R_n \quad (5.15)$$

bu yerda  $\omega_n$  -o'zgaruvchan tashkil etuvchilarning eng kichik chastotasi, ya'ni birinchi garmonika. Garmonikalar chastotasi manba chastotasiga karrali bo'ladi. Bu shart bajarilganda o'zgaruvchan tashkil etuvchilar asosan drosselda eng ko'p potensial tushuvini hosil qiladi va uning juda oz qismi kondensatorga to'g'ri keladi

$$X_{L_f} = \omega L \quad X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (5.16)$$

Xulosa qilib aytganda, tekislovchi filtr o'zgaruvchan tashkil etuvchilarga nisbatan kuchlanish bo'lgichi vazifasini bajarar ekan.



5.8-rasm. Π – simon filtr sxemasi

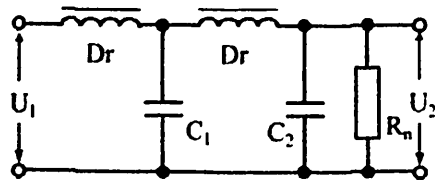
5.8-rasmda Π simon filtr sxemasi keltirilgan. Π simon filtrlarning ishlashi Γ simon filtrlarning ishlashidan farq qiladi. Ularni ikki bosqichli filtrlash deb qarash mumkin. Birinchi bosqichda  $C_1$  kondensator nagruzka qarshiligiga

parallel ulangan kondensator sifatida ishlasa, ikkinchi bosqichda Γ simon filtrni tashkil etadi. Shuning uchun (5.15) tengsizlik quyidagicha ifodalanishi kerak bo'ladi

$$\omega_n L \gg \frac{1}{\omega_n C_2} \quad \text{va} \quad \frac{1}{\omega_n C_2} \ll R_n \quad (5.17)$$

Ko'pincha  $\Pi$  simon filtrlarda  $C_1=C_2=C$  qilib olinadi.

Ko'rinib turibdiki,  $P$  simon filtrlar  $\Gamma$  simon filtrlarga nisbatan sifatliroq ekan. Lekin to'g'rilagich elementida tokning keskin o'zgarishlari kuzatiladigan bo'lsa,  $\Pi$  simon filtrlardan foydalanib bo'lmaydi. Chunki  $C_1$  sig'im tokni o'tkazib yuboradi.  $R_c = \frac{1}{\omega C_1}$  bo'lgani uchun  $R_c$  kichik bo'ladi. Bunday hollarda faqat  $\Gamma$  simon filtrlardan foydalaniladi.



5.9-rasm. Ikki bosqichli tekislovchi filtr sxemasi

5.9-rasmda ikki bosqichli tekislovchi filtr sxemasi keltirilgan. Ikki bosqichli tekislovchi filtrlardan tekislash koeffitsiyentini ko'paytirish uchun foydalaniladi. Ikki bosqichli tekislovchi filtr ikkita bir xil  $\Gamma$  simon filtrlarni ketma-ket

ulangan holda shakllantiriladi. Amaliy hisoblashlar uchun ikki bosqichli tekislovchi filtrning tekislash koeffitsiyenti  $\Gamma$  simon filtrlar tekislash koeffitsiyentlari  $q_1$  va  $q_2$  larning ko'paytmasiga teng deb hisoblash mumkin

$$q = q_1 q_2 \quad (5.18)$$

Biz ko'rib chiqqan filtrlar  $LC$  tipidagi filtrlar hisoblanadi. Ularning asosiy xususiyati bu drosselda to'g'rilangan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi hosil qiladigan potensial tushuvning juda kichik bo'lishidir. Bunday holat ulardan nagruzka toki nisbatan katta bo'lgan qurilmalarda ham foydalanish imkonini beradi.

$LC$  filtrlarning eng katta kamchiligi bu birinchidan massasining kattaligi bo'lsa, ikkinchidan drossel atrofida hosil bo'ladigan magnit maydonidir. Chunki bu magnit maydoni qurilmalarning qolgan qismlariga, ayniqsa sezgirligi kuchli bo'lgan qismlariga katta ta'sir ko'rsatadi.

Bu ko'rinishdagi kamchiliklar  $RC$  filtrlarda bartaraf etilgan. Bu turkumdagi filtrlarda drossellar rezistorlar bilan almashtiriladi. Shuning uchun  $RC$  filtrlar  $LC$  filtrlarga nisbatan arzon bo'lib, kichik o'lchamlar va massaga ega. Ammo  $RC$  filtrlarni to'g'rilangan tok (10-15 mA) va tekislash koeffitsiyenti kichik qiymatlarga ega bo'lgan holatlarda ishlatish maqsadga muvofiq. Bunday chegaralarni qo'yish filtrning  $R_f$  aktiv qarshiligida

to'g'rilangan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi bilan bir vaqtda o'zgarmas tashkil etuvchisida ham energiya yo'qotish sodir bo'ladi. Bunday holat nagruzka toki katta qiymatlarga erishganda filtrning chiqishidagi kuchlanishning keskin kamayib ketishiga olib keladi.

$$R_f C_f = \frac{1.5 \cdot 10^4 q}{m f_c} \quad (5.19)$$

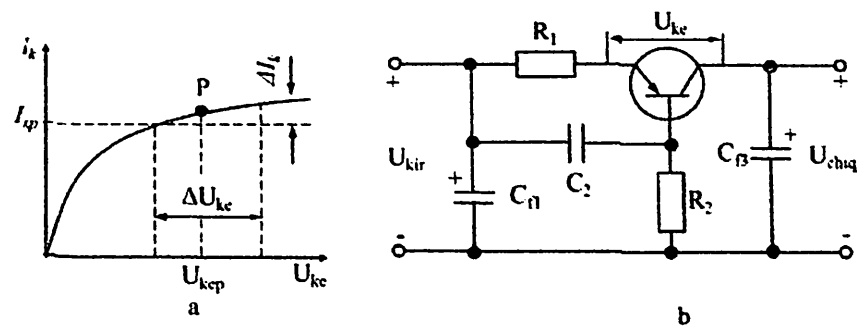
formula yordamida  $R_f$  va  $C_f$  lar ko'paytmasini topish mumkin.

$R_f$  qarshilikning kattaligi filtrda to'g'rilangan kuchlanishning qay darajada pasayishi mumkinligidan kelib chiqqan holda belgilanadi.  $R_f$  qarshilikda yo'qotiladigan quvvatni quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin

$$P = I_0^2 R_f \quad (5.20)$$

bu yerda  $I_0$  to'g'rilangan tok;  $R_f$  qarshilik.

$LC$  va  $RC$  filtrlardan tashqari tranzistorda yasalgan tekislovchi filtrlar ham keng tarqalgan (5.10-rasm). Ular kichik o'lcham va massaga ega,  $LC$  filtrlar drossellari atrofida hosil bo'ladigan magnit maydoniga o'xshash keraksiz magnit maydonini hosil qilmaydilar va nihoyat  $RC$  filtrlarga nisbatan ularda to'g'rilangan kulanishning yo'qotilishi kam.



5.10-rasm. Tranzistorli tekislovchi filtr

Umumiy emitterli ulanish sxemasi bo'yicha ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasi tahlilidan xarakteristikaning egri qismida kollektor emitter qismining o'zgaruvchan tokka qarshiligi  $P$  ishchi nuqtadagi o'zgarmas tokka qarshiligidan katta ekanligi kelib chiqadi (5.10-b-rasm):

$$r_{ke} = \frac{\Delta U_{ke}}{\Delta I_k} \quad (5.21)$$

$$r_{ke p} = \frac{U_{ke p}}{I_{k p}} \quad (5.22)$$

bu yerda (5.21) ifoda kollektor emitter sohasining o'zgaruvchan tokka qarshiligi; (5.22) ifoda P ishchi nuqtadagi doimiy tokka kollektor emitter sohasining qarshiligi.

Har doim  $r_{ke} > r_{ke p}$  shart bajariladi. Mana shu shartni bajarilishi tufayli filtrdagi drosselni tranzistor bilan almashtirish mumkin.

### 5.3 Elektron stabilizatorlar

Radioelektron qurilmalarning normal ishlashi uchun tok manbalaridan olinadigan tok kuchi yoki kuchlanishning qiymati katta aniqlik bilan o'zgarishsiz bo'lishi kerak. Lekin bu qurilmalarda manba vazifasini bajaradigan to'g'rilagichlardan olinadigan tok yoki kuchlanish ko'pincha qo'yilgan talabga javob bermaydi. Chunki to'g'rilagichdan olinadigan kuchlanishning qiymati o'zgarishsiz bo'lishi uchun ikki shart, birinchidan, to'g'rilanadigan kuchlanish qiymatining o'zgarmasligi va ikkinchidan, to'g'rilagich nagruzkasining o'zgarishsiz bo'lishi talab qilinadi. Ma'lumki, bu shartlarning ikkalasi bir vaqtda bajarilishi mumkin emas. Shuning uchun kuchlanish yoki tok kuchining qiymatini bir me'yorda tutib turuvchi maxsus qurilmadan foydalaniladi. Ular tok kuchi yoki kuchlanish *stabilizatori* deb ataladi.

Tok kuchi yoki kuchlanish qiymatini bir me'yorda tutib turish jarayoni *stabillash* deb ataladi. U chiziqli bo'lmagan zanjirda amalga oshiriladi. Stabillovchi chiziqli bo'lmagan elementning turiga qarab stabilizatorlar sodda yoki murakkab stabilizatorlarga ajratiladi.

*Sodda stabilizatorlarda* stabillovchi element vazifasini ayrim gazorazryad asboblari yoki termoqarshiliklar bajarsa, *murakkab stabilizatorlarda* elektron asboblari (elektron lampa yoki tranzistorlar) bajaradi. Shuning uchun murakkab stabilizatorlar *elektron stabilizatorlar* deyiladi.

Sodda stabilizatorlarda bo'lgani kabi elektron stabilizatorlarda ham chiziqli bo'lmagan element nagruzka qarshiligiga nisbatan ketma-ket va parallel ulanishi mumkin. Parallel ulanganda u avtomat shunt, ketma-ket ulanganda esa, so'ndiruvchi qarshilik vazifasini bajaradi.

Sodda stabilizatorlarda chiziqli bo'lmagan element nagruzka qarshiligi bilan ketma-ket ulanganda tok kuchini, parallel ulanganda esa, kuchlanishni

stabillaydi. Elektron stabilizatorlarda bunday chegaralanish bo'lmaydi. Ular ham ketma-ket, ham parallel ulanganda tok kuchi va kuchlanishni stabillashi mumkin. U tartibga soluvchi tranzistorning bazasiga (boshqaruvchi to'r yoki zatvorga) beriladigan *boshqaruvchi kuchlanish* deb ataladigan kuchlanishning xarakteri bilan aniqlanadi.

Agar stabillash sxemasida boshqaruvchi kuchlanish nagruzkadan o'tadigan tokka proporsional bo'lsa, qurilma *tok stabilizatori*, agar u nagruzkadagi potensial tushuviga proporsional bo'lsa, *kuchlanish stabilizatori* deb ataladi. Kuchlanish stabilizatorining ishlashi bilan quyida tanishamiz va ularni oddiy qilib elektron stabilizator deb ataymiz.

Elektron stabilizatorlar asosan ikki turga - kirish va chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorlarga ajratiladi. Kirishdan boshqariluvchi stabilizatorlarda boshqaruvchi kuchlanish kirish (manba) kuchlanishiga proporsional bo'lsa, chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorlarda u foydali nagruzkadagi kuchlanish o'zgarishiga proporsional bo'ladi. Ikkala holda ham stabillovchi element nagruzka qarshiligiga nisbatan parallel va ketma-ket ulangan bo'lishi mumkin. Elektron stabilizatorlarda stabillovchi chiziqli bo'lmagan element tartibga soluvchi element deb ataladi.

Stabilizatorlar ishining sifati *stabillash koeffitsiyenti* orqali baholanadi. Stabillash koeffitsiyenti kirishdagi kuchlanish (tok) ning nisbiy o'zgarishining stabilizator chiqishidagi kuchlanishning (tokning) nisbiy o'zgarishiga nisbati orqali ifodalanadi:

$$K_{stl} = \frac{\Delta U_{kir}}{U_{kir}} : \frac{\Delta U_{chiq}}{U_{chiq}} \quad (5.23)$$

$$K_{stl} = \frac{\Delta U_{kir}}{U_{kir}} : \frac{\Delta I_{chiq}}{I_{chiq}}$$

bu yerda,  $U_{kir}$  va  $U_{chiq}$  stabilizatorning kirishi va chiqishidagi kuchlanish qiymati,  $\Delta U_{kir}$  va  $\Delta U_{chiq}$  stabilizatorning kirishi va chiqishidagi kuchlanishning o'zgarish qiymati,  $I_{chiq}$  - stabilizatorning chiqishidagi tokning qiymati,  $\Delta I_{chiq}$  - stabilizator chiqishida tokning o'zgarish qiymati.

Ideal stabilizatorlarning stabilash koeffitsiyenti cheksizga teng bo'ladi, ya'ni ularda yuz foiz stabilash hosil bo'ladi. Real stabilizatorlarda stabilash jarayoni yuz foiz bo'lmaydi.

Stabilizatorning ikkinchi asosiy parametri uning chiqish qarshiligi hisoblanadi:

$$R_{chiq} = \left. \frac{dU_{chiq}}{dI_{chiq}} \right|_{U_{kir} = const} \quad (5.24)$$

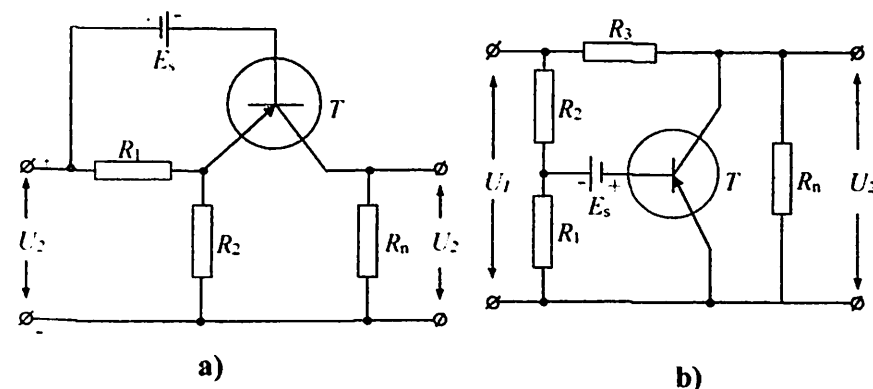
Energetik jihatdan stabilizatorning tejamkorligini foydali ish koeffitsiyentining kattaligi bilan baholanadi. U nagruzkada ajraladigan quvvatning nominal qiymatining kirish quvvatining nominal qiymatiga nisbati ko'rinishida aniqlanadi:

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} \quad (5.25)$$

### 5.3.1 Kirishdan boshqariluvchi elektron stabilizator

5.11a-rasmda kirishdan boshqariluvchi stabilizatorning sodda ketma-ket sxemasi ko'rsatilgan. Unda  $R_1$  qarshilikdagi kuchlanish  $T$ -tranzistorning bazasiga uzatiladi. Uning kattaligi  $U_1$ -kirish kuchlanishiga proporsional bo'lib, boshqaruvchi kuchlanish bo'lib hisoblanadi. Agar kirish kuchlanishi ortsa,  $R_1$  qarshilikda ajraladigan kuchlanish ham ortadi. U teskari ishora bilan bazaga uzatilgani uchun  $T$  tranzistor yopila boshlaydi. Bu o'zgarish tokka nisbatan tranzistor qarshiligining ortishiga ekvivalent bo'lib, natijada boshqaruvchi element - tranzistorda kuchlanish tushuvi ortadi. Aksincha kirish kuchlanishining kamayishi tranzistor qarshiligining kamayishiga olib keladi va undagi kuchlanish tushuvi ham kamayadi.

Shunday qilib,  $R_1$  qarshilik tufayli sxemada manfiy teskari bog'lanish jarayoni sodir bo'lib, u emitter hamda baza kuchlanishlarining qarama-qarshi fazada o'zgarishini ta'minlab turadi. Shuning uchun sxema parametrlarini tanlash yo'li bilan tranzistorning shunday ish rejimini hosil qilish mumkinki, undagi kuchlanish tushuvining o'zgarishi son jihatdan kirish kuchlanish o'zgarishiga teng bo'lsin. U holda chiqish kuchlanishi o'zgarishsiz bo'ladi.



5.11-rasm. Kirishdan boshqariluvchi ketma-ket (a) va parallel (b) stabilizator

Ko'rilayotgan stabilash sxemasining sezgirligini orttirish uchun boshqaruvchi kuchlanishni katta qilib olish kerak. Buning uchun qarshilikni kattalashtirish kerak. Lekin  $R_1$  qarshilikning ortishi bilan undagi o'zgarish kuchlanish ham ortadi va u tranzistorning ishchi nuqtasini uning ishchi (aktiv) sohasidan chiqarib yuboradi. Ishchi nuqtani ishchi sohaga siljitish uchun sxemaga qo'shimcha  $E_c$  manba ulanadi. Uning kuchlanishi *tayanch kuchlanish* deb ataladi.

5.11b-rasmda kirishdan boshqariluvchi stabilizatorning parallel ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Tartibga soluvchi tranzistor bilan ketma-ket ulangan  $R_3$  qarshilik *so'ndiruvchi* yoki *ballast qarshilik* deb ataladi.

Agar kirish kuchlanishi ortsa, chiqish kuchlanishi ham ortishi kerak. Lekin  $R_1$  qarshilikdan tranzistorning bazasiga uzatiladigan boshqaruvchi kuchlanish ham ortadi. U tartibga soluvchi element - tranzistorning yaxshiroq ochilishiga, ya'ni kollektor tokining ortishiga olib keladi. Kollektor tokining ortishi  $R_3$  qarshilikdagi kuchlanish tushuvini orttiradi va kollektor kuchlanishi kamayadi. Tranzistor nagruzkaga qarshiligi bilan parallel ulanganligi uchun chiqish kuchlanishi ham kamayadi. Aksincha, kirish kuchlanishining kamayishi kollektor kuchlanishining ortishiga, ya'ni chiqish kuchlanishining ortishiga olib keladi.

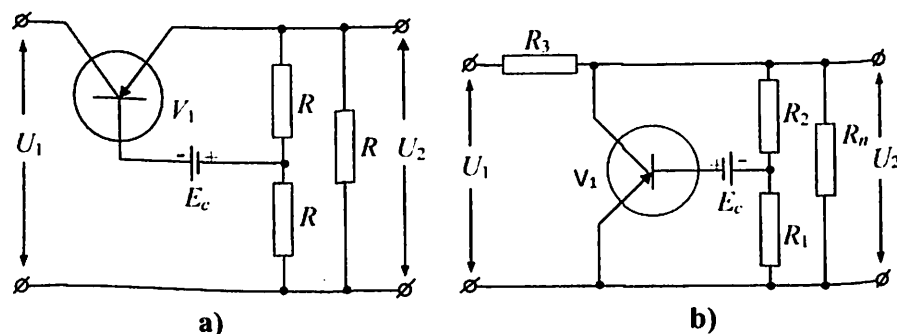
Demak, stabilizatorning parallel ulanish sxemasida kirish kuchlanishi bilan chiqish kuchlanishining o'zgarishi qarama-qarshi yo'nalishda bo'lar ekan. Shuning uchun sxema elementlarini shunday tanlash mumkinki, kirish

kuchlanishining o'zgarishi bilan chiqish kuchlanishi o'zgarishsiz qolsin. Buning uchun kirish kuchlanishi o'zgarishining absolut qiymati kollektor toki o'zgarishi sababli  $R_3$  qarshilikda hosil bo'ladigan kuchlanish tushuviga son jihatdan teng bo'lishi kerak ( $\Delta U_1 = \Delta I_k \cdot R_3$ ). Bu stabilizatorning yuz foizli stabilash shartidir.

Stabilizatorning ketma-ket sxemasi nagruzka toki kichik bo'lganda katta kuchlanishli, parallel turda esa, nisbatan kichik kuchlanishli tok manbalarining ishini stabilashda qo'llaniladi.

### 5.32 Chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorlar

Chiqishdagi boshqariluvchi stabilizatorning soddalashtirilgan sxemalari 5.12-rasmda ko'rsatilgan. Uning ishlash uslubi kirishdan boshqariluvchi stabilizatornikidan farq qilmaydi. Chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorning ketma-ket sxemasida (5.12a-rasm) boshqaruvchi kuchlanish  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklardan tuzilgan kuchlanish bo'lgichidagi  $R_1$  qarshilik orqali tranzistorning bazasiga beriladi. Uning kattaligi  $R_n$  nagruzka qarshiligi klemmalaridagi kuchlanishga proporsional. Chiqish kuchlanishi ortsa,  $R_1$  qarshilikdagi kuchlanish ortadi va u tranzistorning bazasidagi manfiy kuchlanishni kamaytiradi. Buning natijasida tranzistorning o'zgarimas tokka bo'lgan qarshiligi ortadi va undagi potensial tushuvi ko'payadi. Bu esa chiqish kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Aksincha, chiqish kuchlanishi kamaysa, yuqorida ko'rilgan jarayon teskari yo'nalishda sodir bo'ladi va chiqish kuchlanishi ortadi.



5.12-rasm. Chiqishdan boshqariluvchi ketma-ket (a) va parallel (b) stabilizator

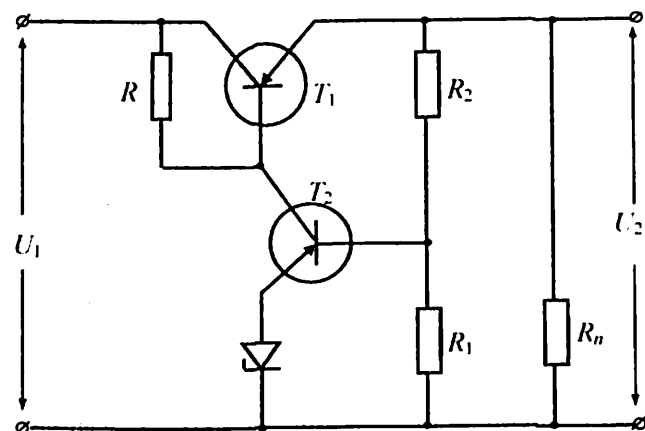
Chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorning parallel sxemasida (5.12b-rasm), chiqish kuchlanishining ortishi natijasida  $R_2$  qarshilikdagi kuchlanish ham ortadi. U tranzistor bazasidagi musbat kuchlanishni kamaytiradi va undan tok ko'proq o'ta boshlaydi. Natijada  $R_3$  so'ndiruvchi qarshilikdagi potensial tushuvi ortib, chiqish kuchlanishi kamayadi. Aksincha, chiqish kuchlanishi kamaysa,  $R_1$  qarshilikdagi kuchlanish kamayadi va tranzistordan tok o'tishi qiyinlashadi hamda  $R_3$  qarshilikdagi kuchlanish tushuvi kamayib, chiqish kuchlanishi ortadi.

Shunday qilib, stabilizatorning ikkala tur sxemasida ham chiqish kuchlanishining har qanday o'zgarishiga tranzistor aks ta'sirni hosil qiladi. Natijada chiqish kuchlanishi biror o'rtacha qiymat atrofida o'zgarib turadi. Stabilash jarayoni sifatli bo'lishi uchun bu o'zgarishlar amplitudasi yetarlicha kichik bo'lishi kerak. Uni ta'minlash esa, tranzistorning chiqish kuchlanishining kichik o'zgarish amplitudasini qanchalik boshqara olishga bog'liq. Shuning uchun qurilmaning sezgirligini oshirish maqsadida stabilash sxemasiga kuchaytirish kaskadi kiritiladi. U boshqaruvchi kuchlanishni kuchaytirib berishga xizmat qiladi. Kuchaytirgichning tranzistori *boshqaruvchi element* deb ataladi.

Amalda chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorning ketma-ket sxemasi keng tarqalgan. Kuchaytirgich kaskadiga ega bo'lgan bunday stabilizatorning prinsipial sxemasi 5.13-rasmda ko'rsatilgan.

Bu sxema quyidagicha ishlaydi. Faraz qilaylik, kirish kuchlanishi  $\Delta U_1$  miqdorga ortsin. U holda tartibga soluvchi  $T_1$  tranzistorning kollektor toki  $\Delta I_{k1}$  miqdorga ortib, chiqish kuchlanishini  $\Delta U_2$  qiymatga orttiradi. Bu kuchlanishning bir qismi  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklardan tuzilgan kuchlanish bo'lgichi orqali boshqaruvchi  $T_2$  tranzistorning bazasiga uzatiladi va kollektor tokini  $\Delta I_{k2}$  miqdorga oshiradi. Buning natijasida  $R$  qarshilikdagi potensial tushuvi ortib, u boshqaruvchi tranzistorning kollektor kuchlanishi  $\Delta U_{k2}$  miqdorga kamayishiga olib keladi.  $T_2$  boshqaruvchi tranzistorning kollektori tartibga soluvchi  $T_1$  tranzistorning bazasi bilan to'g'ridan to'g'ri ulangan bo'lgani uchun baza kuchlanishi ham  $\Delta U_{k2}$  miqdorga kamayadi. Bu tartibga soluvchi  $T_1$  tranzistordan o'tuvchi tokni kamaytiradi. Shunday qilib, tartibga soluvchi tranzistor kollektor tokining boshlang'ich ortishiga qarshi

paydo bo'lgan aks ta'sir natijasida u yanada orta olmaydi. Bu kirish kuchlanishi ortishi bilan tartibga soluvchi tranzistor qarshiligining ortishiga ekvivalentdir. Agar tartibga soluvchi tranzistordagi kuchlanish tushuvi kirish kuchlanishi o'zgarishiga son jihatdan teng bo'lsa, chiqish kuchlanishi deyarli o'zgarishsiz qoladi, ya'ni stabilizatsiya hosil bo'ladi. Kirish kuchlanishi o'zgarishsiz bo'lib, nagruzka qarshiligi o'zgarishi tufayli chiqish kuchlanishi o'zgarishi ham yuqorida ko'rilgan jarayon sodir bo'ladi.



5.13-rasm. Kuchaytirish kaskadiga ega bo'lgan chiqishdan boshqariluvchi ketma-ket stabilizator

Shuni aytish kerakki, stabilizatorning amaliy sxemalarida tayanch (siljitish) kuchlanishi  $E_c$  ni alohida manba yordamida hosil qilish qulay emas. Shuning uchun u avtomatik usulda kollektor manbai hisobiga vujudga keltiriladi. Buning uchun tranzistorning emitter zanjiriga stabilitron (aktiv qarshilik emas) ulanadi. Ishchi rejimda (xarakteristikaning to'g'ri chiziq qismi) stabilitronidagi potensial tushuvi undan o'tuvchi tokka bog'liq bo'lmaydi, ya'ni emitter kuchlanishi deyarli o'zgarishsiz bo'ladi. Bu kuchlanish tranzistorning bazasiga o'zgarishsiz kuchlanish kabi teskari ishora bilan uzatilib turadi.

Chiqishdan boshqariluvchi ketma-ket stabilizatorlarning chiqish qarshiligi kichik bo'ladi. Ular kirish qarshiligi ish jarayonida o'zgarishi mumkin bo'lgan qurilmalar, masalan, kuchaytirish qurilmalarini manba bilan ta'minlashda keng qo'llaniladi.

### Nazorat savollari

1. O'zgaruvchan tokni to'g'rilash jarayonida elementning ventil xususiyati nima?
2. Bitta yarim davrli to'g'rilagichlarda o'zgaruvchan tokni to'g'rilash jarayonini tushuntiring.
3. Kesish burchagi nima?
4. Pulsatsiya koeffitsiyenti nima?
5. O'zgaruvchan tokni to'g'rilash jarayonida tekislovchi filtrning ishlashini tushuntiring.
6. Nima uchun filtrlovchi kondensator va nagruzka qarshiligini o'rtirish pulsatsiyani kamaytiradi?
7. Bitta yarim davrli to'g'rilagichlarning asosiy kamchiliklarini ko'rsating.
8. Ikki yarim davrli to'g'rilagichning transformator sxemasini va ishlashini tushuntiring.
9. Ko'priksimon sxemada tuzilgan ikki yarim davrli to'g'rilagichlarning prinsipial sxemasini va ishlashini tushuntiring.
10. Tekislovchi filtrlarni ishlashini tushuntiring
11. To'g'rilangan tok yoki kuchlanishdagi pulslanish sababini tushuntiring
12. Tekislash koeffitsiyenti nima?
13. Drosselning tekislovchi filtr elementi sifatidagi vazifasini tushuntiring.
14. Kondensatorning tekislovchi filtr elementi sifatidagi vazifasini tushuntiring.
15.  $\Gamma$  - simon filtrning prinsipial sxemasini va ishlash prinsipini tushuntiring.
16.  $\Pi$  - simon filtrning prinsipial sxemasini va ishlash prinsipini tushuntiring.
17. Ikki boshqichli filtr ishlashini tushuntiring
18. Sodda va murakkab stabilizatorlar
19. Sodda stabilizatorlar yordamida tok va kuchlanish qanday stabilanadi
20. Stabilanish koeffitsiyenti nima?
21. Stabilizatorning asosiy parametrlari
22. Kirishdan boshqariluvchi ketma-ket va parallel stabilizatorlar ishlashini tushuntiring
23. Chiqishdan boshqariluvchi ketma-ket va parallel stabilizatorlar ishlashini tushuntiring
24. Kuchaytirish kaskadiga ega stabilizator ishlashini tushuntiring

## 6 BOB. RAQAMLI ELEKTRONIKA ASOSLARI

Insoniyat bugungi kunda ijtimoiy hayotni zamonaviy axborotlashtirishga asosan raqamli texnologiyalar va elektronikaning jadal rivojlanishi natijasida erishdi, ular esa o'z navbatida fan va ishlab chiqarishda, kundalik hayotda insonning tashqi dunyo bilan o'zaro munosabatlarining eng ilg'or shakllari, texnologiyalari va vositalarini ta'minlamoqda. Raqamli aloqa, raqamli televideniye, raqamli radar, raqamli kuzatuv kabi yangi axborot texnologiyalari va ularni qo'llash sohalari paydo bo'ldi. Analog tizimlar bilan taqqoslaganda, raqamli texnologiyalardan foydalanish natijasida ilgari erishib bo'lmaydigan aniqlik, ishonchlilik va tezlikka erishish mumkinligi ko'rindi. Hozirgi vaqtda ishlab chiqilayotgan barcha texnik qurilmalarning katta qismi raqamli qurilmalar va tizimlardir. Raqamli texnologiyalar va raqamli qurilmalar fan, texnika, ishlab chiqarish va kundalik hayotda turli sohalarda keng qo'llaniladi. Masalan, raqamli qurilmalar (mikrokontrollerlar) zamonaviy gadjetlar va turli xil maishiy texnikalarning asosini tashkil etib, ularga mutlaqo yangi sifat va imkoniyatlar beradi.

Raqamli elektronikaning asosini quyidagi uchta komponentdan iborat deb hisoblash mumkin:

- Kotelnikov-Naykvist teoremasi;
- Bul algebrasi (mantiqiy algebra);
- impuls olish texnologiyasi.

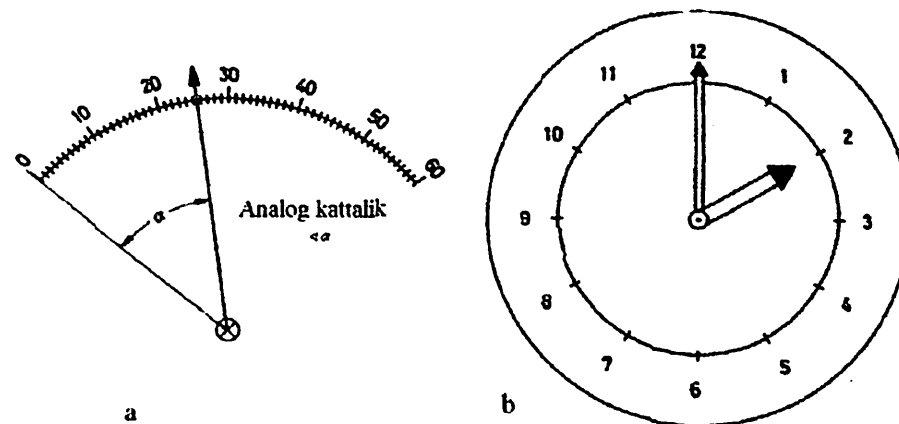
### 6.1 Analogli va raqamli signallar

Elektron qurilmalar, shuningdek kompyuterlarda qayta ishlanayotgan axborotlar asosan *elektr signallari* sifatida tavsiflanadi.

Axborot (fizik kattalik)ni ikki usulda tavsiflash mumkin: analogli (uzluksiz) va raqamli (diskret) ko'rinishda. Ushbu ko'rinishdagi tushunchalar hisoblash texnikasida kiritilgan bo'lib, ular elektrotexnikaning barcha bo'limlari, jumladan o'lchov texnikasida ham qabul qilingan.

Birinchi usulda axborot shu signal qiymatiga mutanosib miqdor ko'rinishida tavsiflanadi. Masalan, 1 raqamiga 1 V kuchlanish to'g'ri keladi, 2 raqamiga 2 V kuchlanish, 5.2 raqamiga 5.2 Volt kuchlanish to'g'ri keladi.

O'lchov texnikasida kattaliklarni analog shaklda tavsiflash muhim ahamiyatga ega. Ko'rsatkichli o'lchov qurilmalari o'lchanadigan kattalikni analog ko'rinishda namoyish etadi (6.1a-rasm). Bu holda analog kattalik ko'rsatkichning dastlabki holati bilan tashkil qilgan burchagiga mos keladi. Ko'rsatkichli soatlar ham vaqtni analog shaklda ko'rsatadi (6.1b-rasm). Bunda analog kattalik burchak yoki yoy hisoblanib, ruxsat etilgan diapazon 360 gradusni tashkil etadi. Demak, analog signal o'z qiymati o'zgarishi doirasida ixtiyoriy qiymatni qabul qiladi (6.2a-rasm).



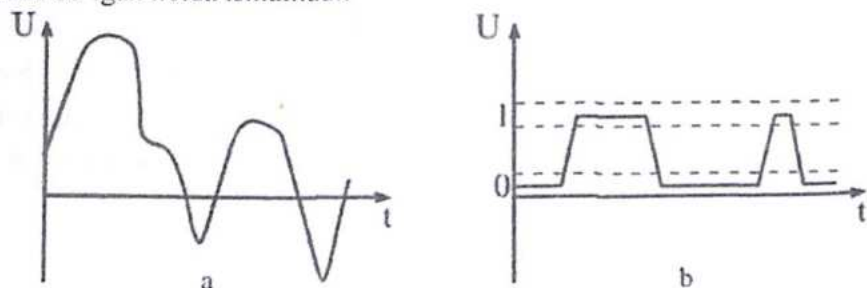
6.1-rasm. a-o'lchanayotgan kattalikning analog tasvirlanishi, b-analog soat

Analog ko'rinishidagi signallarni qabul qilish, qayta ishlash, o'zgartirish uchun mo'ljallangan elektron qurilmalar *analog elektron qurilmalar* (AEQ) deb ataladi. Signalning nazariy jihatdan shakllanishi va uzayishi mumkin qadar aniqlik va tezkorlik bilan amalga oshiriladi. AEQlar nisbatan sodda tuzilishiga qaramasdan signalni ixtiyoriy funksional o'zgartirishga ega bo'ladi.

AEQlar nisbatan qisqa vaqt oralig'ida katta hajmdagi ma'lumotlarni qabul qilish va tezkorlik bilan qayta ishlash imkoniyatiga ega bo'lishiga qaramay bir qator kamchiliklarga ega. Jumladan:

- xalaqit (shovqin)ga bardoshlilikning kichikligi;
- uzoq masofalarga uzatilganda signalning kuchli buzilishi;
- axborotlarni uzoq muddat saqlashning murakkabligi;
- foydali ish koeffitsienti qiymatining kichikligi.

Mana shu sabablardan kelib chiqqan holda AEQLar amaliyotda asosan qisqa vaqt davomida katta hajmdagi axborotni saqlash va qayta ishlash zarurati bo'lgan holda ishlatiladi.



6.2-rasm. Analog va raqamli signalni ko'rinishi

Ikkinchi usulda tavsiflash kerak bo'lgan signal garmonikalari raqamli qiymatlar sifatida tavsiflanadi.

Hozirgi vaqtda axborotlarni raqamli usulda uzatish va qayta ishlash muhim o'rin egallamoqda. Vaqt bo'yicha diskret va sath bo'yicha kvantlangan signallar raqamli signallar deb ataladi (6.2b-rasm). "Raqamli" tushunchasi lotincha *digitus* – barmoq so'zidan olingan. Raqamli signallar umuman olganda ikkiga bo'linadi: analog signalning raqamli ekvivalenti va mantiqiy signallar.

Raqamli signalga aylantirish uchun analog ko'rinishdagi signal ustida ikkita amal bajariladi: kvantlash va kodlash.

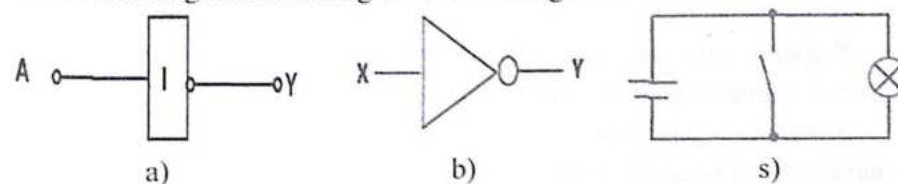
Uzluksiz signalni ma'lum nuqtalardagi qiymatlari ketma-ketligi bilan almashtirish kvantlash deyiladi (Kotelnikov teoremasi). Kvantlash vaqt yoki sathlar bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Kvantlash natijasida elektron qurilmalardagi analog ko'rinishdagi birlamchi signal turli shakldagi elektr impulslar ketma-ketligi ko'rinishida ifodalanadi. Kuchlanish yoki tok qiymatlarini mos ravishda o'rnatilgan qiymatlardan qisqa vaqtlarga og'ishi elektr impuls deb ataladi. Kvantlash natijasida signal ixtiyoriy emas, balki aniq diskret deb ataluvchi qiymatlarni oladi.

Uzluksiz kattalikdan farqli ravishda diskret kattalikning qiymati cheklangan bo'lib, unda axborotni ma'lum qismi yo'qolishi mumkin. Analog signallarni kvantlash natijasida hosil bo'lgan elektr signallarni qabul qilish, qayta ishlash va uzatish uchun mo'ljallangan qurilmalar diskret elektron

VA elementi uchun vaqt diagrammasi 6.8-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki, VA mantiqiy elementida ikkala kirishda ham kirish signallari mavjud bo'lgan vaqt oralig'idagina chiqish signali mavjud bo'ladi (shtrixlangan soha).

Mantiqiy inkor – inversiya yoki "EMAS" (NOT) operatsiyasi deb ataladi. U o'zgaruvchi tepasiga chiziqcha qo'yish orqali belgilanadi:  $y = \bar{x}$ , hamda "Y x ga teng emas" deb o'qiladi.

EMAS operatsiyasi invertor deb ataluvchi mantiqiy element orqali boshqariladi. Ularga misol sifatida tranzistorli kalitni olish mumkin. 6.9a,b-rasmda ularning sxemada belgilanishi keltirilgan.



6.9-rasm. EMAS mantiqiy elementi

EMAS mantiqiy elementi ishlashini 6.9s-rasmda keltirilgan elektr sxemasi asosida tushuntirish qulay hisoblanadi. Ko'rinadiki, EMAS mantiqiy elementida kalit ulansa lampa yonmaydi, kalit ulanmagan holda esa lampa yonadi.

Amalda yuqorida keltirilgan mantiqiy elementlardan tashqari boshqa elementlar ham keng qo'llaniladi va ularning belgilanishi, bajariladigan operatsiyalari 5-jadvalda ko'rsatilgan.

Bu elementlar mantiqiy operatsiyalarni bajarishni soddalashtirish uchun ham qo'llaniladi. YOKI-EMAS elementi  $y = \overline{x_1 + x_2}$  amalini bajaradi va Pirs ko'rsatkichi (Pirs strelkasi) deb ataladi. VA-EMAS element esa  $y = \overline{x_1 \cdot x_2}$  amalini bajaradi va Sheffer shtrixi deb yuritiladi. EMAS amalini bajarishi uchun VA-EMAS (YOKI-EMAS) elementning kirishlarini o'zaro tutashtirish yetarli bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, umumiy holda o'zgaruvchanlar soni ikkitadan ortiq bo'lishi mumkin. U holda mantiqiy element o'zgaruvchilar soni bilan ataladi, masalan 3VA elementi.

Shuning uchun raqamli signallar analog signallarga qaraganda ancha murakkab va ko'p bosqichli ishlov berish, axborotni uzoq vaqt yo'qotishsiz saqlash va yuqori sifatli uzatish imkonini beradi. Bundan tashqari, raqamli qurilmalardagi jarayonlarni har doim aniq hisoblab chiqilishi va prognoz qilinishi mumkin. Raqamli qurilmalar buzilishga nisbatan kamroq sezgir, chunki ularning parametrlaridagi kichik o'zgarishlar ularning ishlashiga deyarli ta'sir qilmaydi. Bundan tashqari, raqamli qurilmalarni loyihalash osonroq. Ushbu afzalliklar raqamli elektronikaning jadal rivojlanishini ta'minlaydi.

## 6.2 Mantiqiy o'zgaruvchilar

Raqamli axborotni ishlatadigan har qanday qurilmaning asosi ikki ko'rinishdagi elementdan: *mantiqiy va xotira elementlaridan* iborat.

*Mantiqiy elementlar* raqamli ma'lumotlar ustida sodda mantiqiy operatsiyalarni bajaradi. *Xotira elementlari* ularni saqlashga xizmat qiladi.

Mantiqiy elementlarning kirishi va chiqishidagi mantiqiy signallar *binar* (ikkilangan) signallar bo'lib, ular faqat ikkita qiymatni qabul qiladi: 0 va 1. Shuning uchun ularni *ikkilangan o'zgaruvchilar* deb ataladi.

0 va 1 qiymatlar amalda hech qanday ma'lumotni bermaydi. Faqat kuzatilayotgan hodisaning mavjud yoki mavjud emasligini bildiradi. Masalan, elektr zanjiri yoki aloqa kanalida tok bor yoki yo'q.

6.4-rasmda bir qutbli signallarining vaqt diagrammalari keltirilgan. Ularda "0" va "1" mantiqiy kuchlanishning turli sathlariga mos keladi, masalan:

$U^1$  – kuchlanishning yuqori sathi mantiqiy "1" ga mos kelsa, *H (High-yuqori)* sath deyiladi;

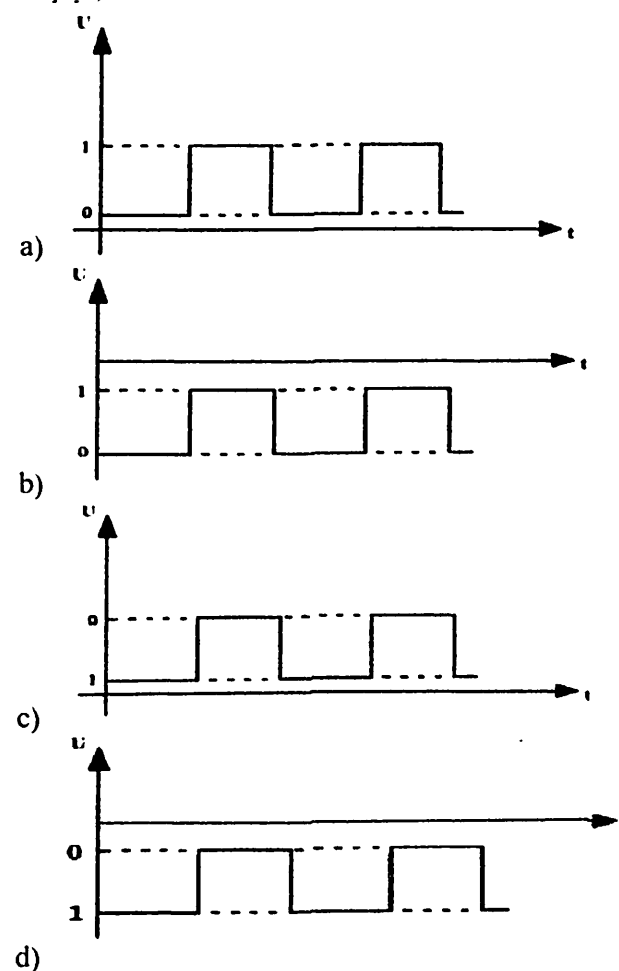
$U^0$  – kuchlanishning quyi sathi mantiqiy "0" ga mos kelsa *L (Low-quyi)* sath deyiladi.

Bunday kodlash *musbat mantiq* deb nom olgan, 6.4-rasm, a,b holatlar.

Huddi shuningdek, *manfiy mantiqda* teskari jarayon kuzatiladi, 6.4-rasm c,d holatlar:

$U^0$  – kuchlanishning yuqori sathi mantiqiy "1" ga mos keladi, ya'ni *H (High-yuqori)* sath;

$U^1$  – kuchlanishning quyi sathi mantiqiy "0" ga mos keladi, ya'ni *L (Low-quyi)* sathi.



6.4- rasm

Binar holatdagi kuchlanishga ma'lum bir qiymatlar oralig'i mos keladi. Amalda "yuqori daraja"dagi binar holatga odatda 5 V (aniqrog'i, 2.5 dan 5 V gacha), "quyi daraja"ga esa 0 V (0 dan 0.5 V intervalgacha) kuchlanish to'g'ri keladi. Bu esa ulardagi signalning kam buzilishini ta'minlaydi (6.3-rasm). Bugungi kunda zamonaviy smartfonlar protsessorlari yoki Arduino mikrosxemalarida bu qiymat 3.3 Voltni tashkil etadi.

### 6.3 Ikkilangan kodlash

Katta hajmdagi axborotlarni uzatish, qayta ishlash yoki saqlash zarurati paydo bo'lgan hollarda odatda bir necha parallel raqamli signallar bir vaqtda birgalikda ko'rilishi kerak. Ana shu holda kodlar raqamli signallar tomonidan hosil qilinib, bu kodlar *ikkilangan kodlar* deb ataladi.

Mantiqiy signallarning har biri razryad deb ataladi. Kodga qanchalik ko'p razryad kiritilsa, mazkur kod shunchalik ko'p qiymatlarni qabul qiladi.

Ikkilangan kodlashda koddagi har bir raqam (ikkilangan kodning har bir razryadi) faqat ikkita qiymatni, mantiqiy "0" yoki mantiqiy "1" raqamlarini qabul qila oladi.

Umumiy ko'rinishda raqamlar ikkilik sanoq sistemasida quyidagicha ifodalanadi:

$$A_n = a_n \cdot 2^n + a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0 = \sum_{i=0}^n a_i \cdot 2^i \quad (6.1)$$

bu yerda "0" va "1"  $a_n$  koeffitsientlarni, funksiya asosi - 2 raqami bo'ladi.

Ma'lumki, biz asosan o'nlik sanoq sistemasidan foydalanishga o'rganganmiz. O'nlik sanoq tizimidagi dastlabki 20 ta sonni ikkilik sanoq tizimida mos belgilanishi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

O'nlik sanoq sistemasi	Ikkilik sanoq sistemasi	O'nlik sanoq sistemasi	Ikkilik sanoq sistemasi
0	0	10	1010
1	1	11	1011
2	10	12	1100
3	11	13	1101
4	100	14	1110
5	101	15	1111
6	110	16	10000
7	111	17	10001
8	1000	18	10010
9	1001	19	10011

Bu jadvaldan ko'rinib turibdiki, ikkilangan kod bo'yicha raqamlarni belgilash uchun ishlatiladigan razryadlar soni o'nlik kodlashdagiga nisbatan ko'p. Shuning uchun katta signallarni ikkilangan kodlarda belgilash anchagina noqulay bo'lib boraveradi.

Ikkilangan sonlarni yozishni soddalashtirish uchun o'n oltilik sistema deb atalgan usul tavsiya etiladi. Bu usulda barcha ikkilangan razryadlar to'rttadan razryadni qamrab olgan guruhlariga ajratiladi va har bir guruh alohida belgi bilan kodlanadi. To'rt razryadli son 16 ta qiymatni qabul qilishi mumkin (0 dan 15 gacha). Shuning uchun o'n oltilik kodlash tizimida zarur bo'lgan belgilar soni ham 16 ta bo'ladi.

Dastlabki 10 ta belgi sifatida 0 dan 9 gacha bo'lgan raqamlar olinib, keyingi 6 ta belgi sifatida lotin alifbosining dastlabki 6 ta harfi foydalanilgan: A, B, C, D, E, F.

Quyidagi 2-jadvalda o'nlik sanoq sistemasidagi dastlabki 20 ta sonni 16 lik sistema orqali belgilash ko'rsatilgan (qavs ichida bu sonlar ikkilik sistemasida ko'rsatilgan).

2-jadval

O'nlik sanoq sistemasi	Ikkilik sanoq sistemasi	O'nlik sanoq sistemasi	Ikkilik sanoq sistemasi
0	0 (0000)	10	A (1010)
1	1 (0001)	11	B (1011)
2	2 (0010)	12	C (1100)
3	3 (0011)	13	D (1101)
4	4 (0100)	14	E (1110)
5	5 (0101)	15	F (1111)
6	6 (0110)	16	10 (10000)
7	7 (0111)	17	11 (10001)
8	8 (1000)	18	12 (10010)
9	9 (1001)	19	13 (10011)

Jadvaldan ko'rinib turibdiki 0-3, 4-7, 8-11, 12-15, 16-19 guruhlar shakllangan.

#### 6.4 Mantiqiy sxemalar nazariyasining asosiy qoidalari

Raqamli qurilmaning ishlashini tavsiflovchi mantiqiy funksiyani tavsiflash uchun ikkita asosiy usul qo'llaniladi: formulali va jadvali. Birinchi holda, mantiqiy funksiya algebraik formula sifatida yoziladi, unda ikkilik o'zgaruvchilar kerakli natijani olish uchun tegishli mantiqiy operatsiyalarga duchor bo'ladi. Ikkinchi holda, jadval har bir o'zgaruvchi to'plami uchun mantiqiy funksiyaning qiymatlari to'plami shaklida qo'llaniladi.

Raqamli tizimlarni tahlil qilish va sintez qilish uchun matematik apparat sifatida mantiq algebrasi (19-asr o'rtalarida uni ishlab chiqqan irland matematigi Djorj Bul (1815-1884 yy.) nomi bilan atalgan mantiqiy algebra) qo'llaniladi.

Bir xil funksiyalarni bajaruvchi mantiqiy sxemalar ulardagi elementlar soni va ulanish usullari bo'yicha bir-biridan farqlanishi mumkin. Iqtisodiy jihatdan foydali mantiqiy sxemalarni loyihalash Bul algebrasi yordamida amalga oshiriladi. Bul algebrasi bu masalani yechishni osonlashtiruvchi matematik apparat hisoblanadi. 1938-yilda Amerikalik olim Klod Shinnon (1916-2001 yy.) elektr zanjirlarini tadqiq qilish jarayonida Bul algebrasini qo'llagan. Bul algebrasida o'zgaruvchilar (0 yoki 1) ustida 3 ta asosiy amalni bajarish mumkin. Ular *mantiqiy qo'shish*, *mantiqiy ko'paytirish* va *mantiqiy inkor* amallari hisoblanadi.

**Mantiqiy qo'shish** – dizyunksiya, YOKI (OR) operatsiyasi deb ataladi va kamida ikkita o'zgaruvchi ustida bajariladi. U " $\vee$ " yoki "+" orqali belgilanadi. YOKI operatsiyasi shartli ko'rinishda quyidagicha yozilishi mumkin:

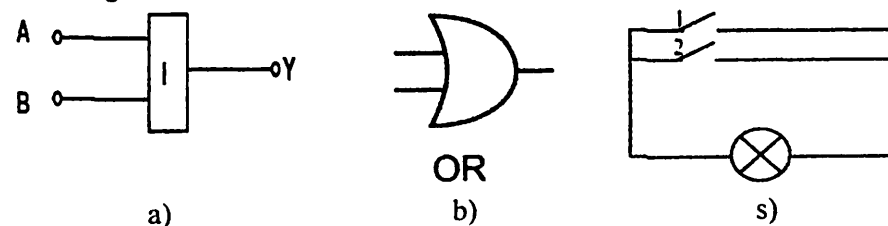
$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n, \quad (6.2)$$

bu yerda  $n$ -butun son.

Agar ikkita o'zgaruvchi uchun yozadigan bo'lsak, u quyidagicha ifodani  $y = x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2$ . Bu yerda  $x_1$  va  $x_2$  mos holda "0" va "1" qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

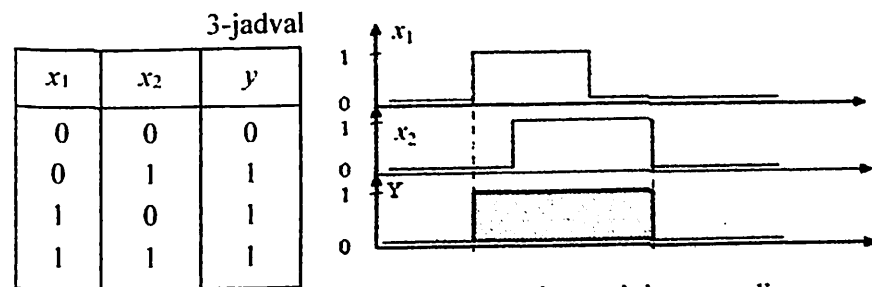
YOKI operatsiyasini bajaruvchi mantiqiy elementlar – *dizyunktorlar* yoki *YOKI elementlari* deb ataladi va ularni sxemada belgilanishi 6.5a, b-rasmda keltirilgan.

Kirishidagi o'zgaruvchilarning hech bo'lmaganda bittasida mantiqiy "1" shakllangan bo'lsa YOKI elementi chiqishda birni shakllantiradi.



6.5-rasm. YOKI mantiqiy elementi

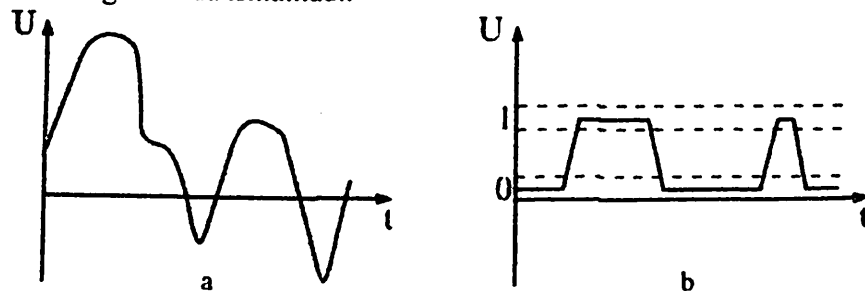
YOKI elementi ishlashini 6.5c-rasmda keltirilgan elektr sxemasi asosida tushuntirish qulay hisoblanadi. Bunda sxemadagi 1-kalit ulansa ham yoki 2-kalit ulansa ham va 1,2-kalitlar barobar ulansa ham lampa yonadi. Ushbu elektr sxemaning ishlashi, ya'ni kalitlarni ulanish kombinatsiyalari *haqiqiylik jadvali* orqali ifodalanishi ham mumkin (3-jadval). Unda kirish signallarining mos signallari keltirilgan. Haqiqiylik jadvali (matematikada-rostlik jadvali) mantiqiy elementning ishlashini to'liq aks ettirgan holda, uning mantiqiy funksiyasini namoyon etadi.



6.6-rasm. YOKI elementining vaqt diagrammasi

Shuningdek, mantiqiy elementlarning ishlashini fizikaviy jihatdan vaqt bo'yicha ketma-ketlikda ko'rib chiqish mumkin. Buning uchun kirish signallari qiymatini vaqtning ketma-ket momentlarida (taktlar bo'yicha) berib, chiqish signalini ko'rish kerak. Ma'lumki, mantiqiy birga mos keluvchi signalning qiymati yuqori kuchlanish qiymatini qabul qiladi, mantiqiy nol uchun esa kuchlanishning nol qiymati mos keladi. YOKI-elementi uchun vaqt diagramma 6.6-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki, YOKI mantiqiy

Mana shu sabablardan kelib chiqqan holda AEQLar amaliyotda asosan qisqa vaqt davomida katta hajmdagi axborotni saqlash va qayta ishlash zarurati bo'lgan holda ishlatiladi.



6.2-rasm. Analog va raqamli signalni ko'rinishi

Ikkinchi usulda tavsiflash kerak bo'lgan signal garmonikalari *raqamli qiymatlar* sifatida tavsiflanadi.

Hozirgi vaqtda axborotlarni raqamli usulda uzatish va qayta ishlash muhim o'rin egallamoqda. Vaqt bo'yicha diskret va sath bo'yicha kvantlangan signallar *raqamli signallar* deb ataladi (6.2b-rasm). "Raqamli" tushunchasi lotincha *digitus* – barmoq so'zidan olingan. Raqamli signallar umuman olganda ikkiga bo'linadi: analog signalning raqamli ekvivalenti va mantiqiy signallar.

Raqamli signalga aylantirish uchun analog ko'rinishdagi signal ustida ikkita amal bajariladi: *kvantlash va kodlash*.

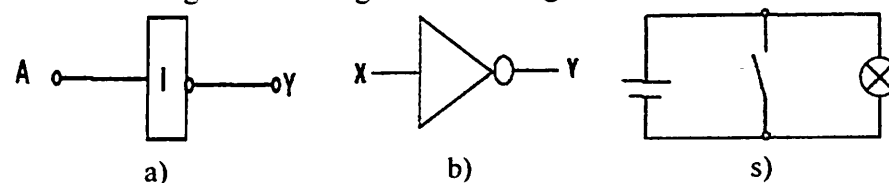
Uzluksiz signalni ma'lum nuqtalardagi qiymatlari ketma-ketligi bilan almashtirish *kvantlash* deyiladi (Kotelnikov teoremasi). Kvantlash vaqt yoki sathlar bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Kvantlash natijasida elektron qurilmalardagi analog ko'rinishdagi birlamchi signal turli shakldagi elektr impulslar ketma-ketligi ko'rinishida ifodalanadi. Kuchlanish yoki tok qiymatlarini mos ravishda o'rnatilgan qiymatlardan qisqa vaqtlarga og'ishi *elektr impuls* deb ataladi. Kvantlash natijasida signal ixtiyoriy emas, balki aniq diskret deb ataluvchi qiymatlarni oladi.

Uzluksiz kattalikdan farqli ravishda diskret kattalikning qiymati cheklangan bo'lib, unda axborotni ma'lum qismi yo'qolishi mumkin. Analog signallarni kvantlash natijasida hosil bo'lgan elektr signallarni qabul qilish, qayta ishlash va uzatish uchun mo'ljallangan qurilmalar *diskret elektron*

VA elementi uchun vaqt diagrammasi 6.8-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki, VA mantiqiy elementida ikkala kirishda ham kirish signallari mavjud bo'lgan vaqt oralig'idagina chiqish signali mavjud bo'ladi (shtrixlangan soha).

*Mantiqiy inkor* – inversiya yoki "EMAS" (NOT) operatsiyasi deb ataladi. U o'zgaruvchi tepasiga chiziqcha qo'yish orqali belgilanadi:  $y = \bar{x}$ , hamda "Y x ga teng emas" deb o'qiladi.

EMAS operatsiyasi invertor deb ataluvchi mantiqiy element orqali boshqariladi. Ularga misol sifatida tranzistorli kalitni olish mumkin. 6.9a,b-rasmida ularning sxemada belgilanishi keltirilgan.



6.9-rasm. EMAS mantiqiy elementi

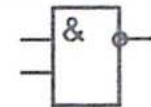
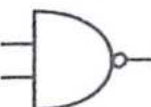
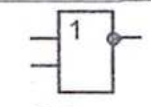
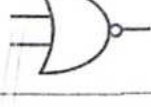
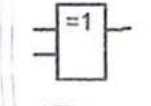

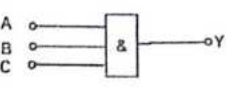
EMAS mantiqiy elementi ishlashini 6.9s-rasmida keltirilgan elektr sxemasi asosida tushuntirish qulay hisoblanadi. Ko'rinadiki, EMAS mantiqiy elementida kalit ulansa lampa yonmaydi, kalit ulanmagan holda esa lampa yonadi.

Amalda yuqorida keltirilgan mantiqiy elementlardan tashqari boshqa elementlar ham keng qo'llaniladi va ularning belgilanishi, bajariladigan operatsiyalari 5-jadvalda ko'rsatilgan.

Bu elementlar mantiqiy operatsiyalarni bajarishni soddalashtirish uchun ham qo'llaniladi. YOKI-EMAS elementi  $y = \overline{x_1 + x_2}$  amalini bajaradi va *Pirs ko'rsatkichi* (*Pirs strelkasi*) deb ataladi. VA-EMAS element esa  $y = \overline{x_1 \cdot x_2}$  amalini bajaradi va *Sheffer shtrixi* deb yuritiladi. EMAS amalini bajarishi uchun VA-EMAS (YOKI-EMAS) elementning kirishlarini o'zaro tutashtirish yetarli bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, umumiy holda o'zgaruvchanlar soni ikkitadan ortiq bo'lishi mumkin. U holda mantiqiy element o'zgaruvchilar soni bilan ataladi, masalan 3VA elementi.

5-jadval

Nomi	Shartli belgisi	Strukturaviy formula ( mantiqiy operatsiya)	Haqiqiylik (holatlar) jadvali																																				
VA-EMAS (NAND)	 	$Y = \overline{x_1 \cdot x_2}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>x_1</math></th> <th><math>x_2</math></th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	$x_1$	$x_2$	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0																					
$x_1$	$x_2$	Y																																					
0	0	1																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	0																																					
YoKI-EMAS (NOR)	 	$Y = \overline{x_1 + x_2}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>x_1</math></th> <th><math>x_2</math></th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	$x_1$	$x_2$	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0																					
$x_1$	$x_2$	Y																																					
0	0	1																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	0																																					
istisnoli YoKI (XOR)	 	$Y = x_1 \oplus x_2$	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>x_1</math></th> <th><math>x_2</math></th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	$x_1$	$x_2$	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0																					
$x_1$	$x_2$	Y																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	0																																					
3VA		$Y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>x_1</math></th> <th><math>x_2</math></th> <th><math>x_3</math></th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Y	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
$x_1$	$x_2$	$x_3$	Y																																				
0	0	0	0																																				
0	0	1	0																																				
0	1	0	0																																				
0	1	1	0																																				
1	0	0	0																																				
1	0	1	0																																				
1	1	0	0																																				
1	1	1	1																																				

Funksiya to'liq aniqlangan bo'lishi uchun hamma o'zgaruvchanlar uchun uning qiymatlari mavjud bo'lishi kerak. Qulaylik uchun ular haqiqiylik jadvalida tasvirlanadi. Keyinchalik bu funksiyaga mos mantiqiy qurilma

(sxema) tuzish uchun algebraik ifodadan foydalaniladi.

### 6.5 Mantiqiy algebraning asosiy qonunlari

Bitta o'zgaruvchi uchun teoremlar. Bu teoremlar  $x$  o'zgaruvchan ustida bajariladigan barcha operatsiyalarni qamrab oladi va qo'shish, ko'paytirish hamda inversiya operatsiyalari ta'rifidan kelib chiqadi.

Oldingi sahifada ko'rsatilgan mantiqiy amallar asosida quyidagi munosabatlarni yozish mumkin:

$$\begin{aligned} x + 0 &= x & x \cdot 0 &= 0 \\ x + 1 &= 1 & x \cdot 1 &= x \\ \bar{0} &= 1 & \bar{1} &= 0 \end{aligned} \quad (6.4)$$

Mantiqiy o'zgaruvchilar ustida bajariladigan amallardan tashqari yana quyidagi qonun, qoida va teoremlar mavjud:

a) kommutatsiya qonuni:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1 \quad x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1 \quad (6.5)$$

b) assotsiatsiya qonuni:

$$x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3 \quad x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 \quad (6.6)$$

s) takrorlash qoidasi:

$$x + x = x \quad x \cdot x = x \quad (6.7)$$

d) inkor qoidasi:

$$x + \bar{x} = 1 \quad x \cdot \bar{x} = 0 \quad (6.8)$$

ye) qo'sh inkor qoidasi:

$$\overline{(\bar{x})} = x \quad (6.9)$$

f) distributiv qonuni:

$$x_1 + x_2 \cdot x_3 = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3) \quad (6.10)$$

$$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$$

g) yutilish qonuni:

$$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1 \quad x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1 \quad (6.11)$$

h) inversiya (de Morgan) teoremasi:

$$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \quad \overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \quad (6.12)$$

De Morgan teoremasi mantiqiy algebra amallarining qo'shloqlik xususiyati natijasi hisoblanadi.

## 6.6 Mantiqiy funksiyalar va ular asosida sxemalar tuzish

Faqat ikkita qiymatni (0 va 1) olishi mumkin bo'lgan ko'p mantiqiy o'zgaruvchanlar funksiyasi *mantiqiy funksiya* deb ataladi. Mantiqiy funksiya ustida bajariladigan amallar mantiqiy qurilmalarda amalga oshiriladi. U mantiqiy elementlardan tashkil topadi.

Mantiqiy signallarni o'zlashtirish uchun umumiy holda EMAS, YOKI va VA mantiqiy elementlar to'plami yetarli deb hisoblanadi. Ular birgalikda *funksional to'liq elementlar sistemasi* yoki *mantiqiy asos* deb yuritiladi. Lekin mantiqiy amallarni qo'shaloqlik xususiyatidan foydalanib, sistemadagi mantiqiy elementlarning sonini kamaytirish mumkin. U sistemadan YOKI yoki VA elementlaridan chiqarib tashlash yo'li bilan amalga oshiriladi. Masalan, de Morgan teoremasiga binoan  $\overline{x_1 \cdot x_2} = x_1 + x_2$ . Undan mantiqiy qo'shish  $x_1 + x_2$  ni o'zgaruvchanlarning invers qiymatlari ko'paytmasi bilan almashtirish va undan keyingi natijaga inversiya amalini qo'llab, YOKI elementini tushirib qoldirish mumkinligi kelib chiqadi.

Mantiqiy funksiya tuzish va u asosida sxema tuzish uchun quyidagi masalani ko'rib chiqamiz.

*Masala:* Men teatrga (T), boraman agar, bilek (B) olsam YOKI meni taklif (Offer) qilishsa VA agarda men xizmat safarida (S) EMAS uyda bo'lsam.

$$T = (B + O) \cdot \bar{S}$$

Natijani ko'rish uchun masala bo'yicha ovoz berish indikator sxemasini yasash so'ralsin. «Masala yechildi» - lampochka yonadi ( $Y = 1$ ). 3 ta ishtirokchi «HA» deb ovoz bersin ( $x_i = 1$ ).

Ovoz berishning barcha varinatlarini o'z ichiga olgan haqiqiylik jadvalini tuzamiz:

qator	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Y
$K_1$	0	0	0	0
$K_2$	0	0	1	0
$K_3$	0	1	0	0
$K_4$	0	1	1	1

$K_5$	1	0	0	0
$K_6$	1	0	1	1
$K_7$	1	1	0	1
$K_8$	1	1	1	1

Ko'rinib turibdiki, quyidagi 4 ta qator bo'yicha chiqish signali  $Y=1$  ga teng:

$$K_4: x_1 = 0, \text{ va } x_2 = 1, \text{ va } x_3 = 1;$$

$$K_6: x_1 = 1, \text{ va } x_2 = 0, \text{ va } x_3 = 1;$$

$$K_7: x_1 = 1, \text{ va } x_2 = 1, \text{ va } x_3 = 0;$$

$$K_8: x_1 = 1, \text{ va } x_2 = 1, \text{ va } x_3 = 1;$$

Barcha ijobiy holatlarni o'z ichiga olgan ifoda quyidagiga teng bo'ladi:  
 $Y = K_4 + K_6 + K_7 + K_8 = \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$  (6.13)

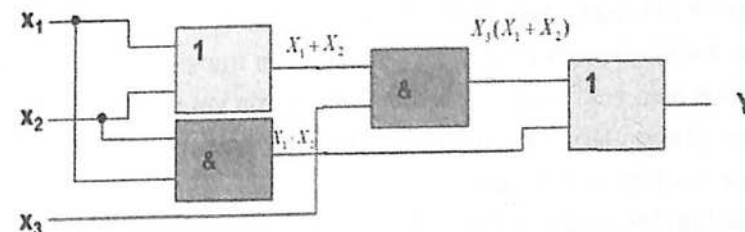
Ushbu ifodaga ko'ra sxemani tuzish uchun 8 ta "VA", 3 ta "YOKI", 3 ta "EMAS" – jami 14 ta mantiqiy element kerak bo'ladi. Amalda bu o'rniga (6.13) ifoda mantiq algebrasi qonunlariga ko'ra soddalashtiriladi. Dastlab takrorlash qoidasidan ( $x + x = x$ ) foydalanamiz:

$$\begin{aligned} Y &= \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = \\ &= (\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3) + (x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3) + (x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3) = \\ &= x_2 \cdot x_3 (\bar{x}_1 + x_1) + x_1 \cdot x_3 (\bar{x}_2 + x_2) + x_1 \cdot x_2 (\bar{x}_3 + x_3) \end{aligned}$$

Ma'lumki, inkor qoidasiga ko'ra  $x + \bar{x} = 1$ . U holda (6.13) ifoda quyidagi sodd ko'rinishga keladi:

$$Y = x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 = x_3(x_1 + x_2) + x_1 \cdot x_2 \quad (6.14)$$

Ushbu (6.14) ifodaga ko'ra sxemani tuzish uchun endi 2 ta "VA", 2 ta "YOKI" – jami 4 ta sxema kerak bo'ladi. Shu sxemani tuzamiz (6.10-rasm).



6.10-rasm

Demak, raqamli elektronkada biror masalani yechish uchun haqiqiylik jadvalini tuzish va unga mos mantiqiy funksiya hosil qilish hamda u asosida sodda sxema tuzish kerak ekan.

Mantiqiy funksiyalar asosida raqamli elektron sxemalar tuzish algoritmi:

1. Haqiqiylik jadvaliga mos keluvchi mantiqiy funksiya topiladi.
2.  $Y_i = 1$  bo'lgan qatorlar ajratiladi va barcha  $x_k$  o'zgaruvchilar yig'indisi olinadi. Agar bu qatorda  $x_k = 0$  bo'lsa, u holda uning invertirlangan qiymati ( $\bar{x}_k$ ) olinadi.
3. Hosil bo'lgan ifoda minimallashtiriladi.
4. Agar chiqish o'zgaruvchilarida 0 lar soni 1 lar sonidan ko'p bo'lsa,  $Y$  ni  $\bar{Y}$  bilan almashtiriladi. Bunda qo'shuv amali ko'paytiruv bilan, aksincha ko'paytiruv qo'shuv bilan almashtiriladi.
5. Natijaviy ifodaga ko'ra «VA», «YOKI», «EMAS» va boshqa mantiqiy elementlar asosida sxema tuziladi.

Mantiqiy funksiyalarni tuzishni soddalashtirishda Karno jadvali usulidan foydalaniladi. Karno Jadvali—eng sodda mantiqiy funksiyalarni topish uchun ishlatiladi. Bunda o'zgaruvchilar huddi shaxmat doskasi kabi vertikal va gorizontal holatda joylashtiriladi. U "Bell Labs" laboratoriyasi fizigi Morris Karno tomonidan 1953-yilda ishlab chiqilgan.

### 6.7 Asosiy mantiqiy elementlarni sxemotexnik amalga oshirilishi

Biz shu paytgacha mantiqiy sxemalarning ichki tuzilishiga to'liq e'tibor bermasdan mulohazalar yuritdik. Bunga asosiy sabab, zamonaviy raqamli texnikada aksariyat holda mikrosxemalar bilan ish ko'riladi va ularda faqat manba ulash uchun kirish, chiqish simlari mavjud bo'ladi.

Zamonaviy mantiqiy elementlar yarimo'tkazgichli qurilmalar asosida yasalgan. Ma'lumki, tranzistor kontaktsiz kalit vazifasida ishlatilishi mumkin. Xuddi shunday kontaktsiz kalit bipolyar tranzistorda ham, maydonli tranzistorda ham yoki yarimo'tkazgichli diodlarda yasalishi mumkin. Bu esa mantiqiy elementlarni yarimo'tkazgichli qurilmalar asosida tayyorlash variantlari ko'pligini bildiradi.

Ma'lum bir aniq uslub asosida yasagan mantiqiy elementlar sxemalar oilasini tashkil etadi. Bir oilaga tegishli bo'lgan mantiqiy elementlar bir-biri

bilan moslashgan holda, muammosiz ravishda sxemalarni yig'adi. Ko'rinadiki, raqamli sxema yig'ish uchun bir oilaga tegishli bo'lgan elementlar qo'llaniladi. Bu elementlarda avval aytib o'tilganidek, kuchlanish manbai qiymati va signal darajasi bir xil bo'ladi.

Turli oilaga tegishli bo'lgan mantiqiy sxemalar esa bir-biri bilan ma'lum bir shartlar asosida kombinatsiyalashadi. Odatda ularni o'zaro moslashtirish uchun maxsus oraliq elementlardan foydalaniladi.

Mikrosxemalarni ulashda ko'pincha bitta mantiqiy element chiqishiga bir nechta boshqa mantiqiy elementlarning kirishlari ulanadi. Shovqinga chidamlilik chegarasini buzmasdan chiqishga ulangan ma'lum turdagi kontaktlarning maksimal ruxsat etilgan soni chiqish *tarmoqlanish koeffitsienti* bilan tavsiflanadi. Agar u 10 ga teng bo'lsa, u holda chiqishga 10 tagacha mantiqiy elementlar ulanishi mumkin. Agar ushbu koeffitsientning qiymati yetarli bo'lmasa, standart mantiqiy element o'rniga yuqori quvvatli element (bufer) ishlatiladi.

*Rezistor bog'lanishli tranzistorli mantiqiy (RTM) sxemalar* oilasi qarshilik va bipolyar tranzistordan iborat bo'ladi. Bunda tranzistor to'yinish rejimida bo'ladi. Agar unda kirish kuchlanishi signalning yuqori sathiga mos kelsa va tranzistor ochiq, chiqishda esa signalning quyi sathi hosil bo'ladi. Bunday holda musbat mantiq bilan ishlovchi YOKI-EMAS elementi hosil bo'ladi. Yetarlicha kichik omli bo'lgan rezistorlar tok bo'yicha kuchsiz kuchaytirish bo'lganda ham tranzistorning o'tkazuvchanligini ta'minlaydi. Biroq, bunda chiqishdagi tarmoqlanish koeffitsienti kichik bo'ladi. Bugungi kunda RTM sxemalari amalda qo'llanilmaydi.

*Diod bog'lanishli tranzistorli mantiqiy (DTM) sxemalar* katta ahamiyatga ega. Bunda musbat mantiq tanlangan bo'lsa, VA-EMAS sxemasini hosil qilish mumkin. Ular bugungi kunda tranzistorning to'yinishi bilan bog'liq bo'lgan tezkorlikning pastligi hisobiga amaliyotda kam ishlatiladi.

*Tranzistor bog'lanishli tranzistorli mantiqiy (TTM) sxema* katta ahamiyatga ega. Ushbu sxemalarning elementlari bipolyar tranzistorlarli integral mikrosxemalarda tuzilgan.

*Emitter bog'lanishli tranzistorli mantiqiy (ETM) sxemada* tranzistorlar umumiy emitter qarshilikka ega bo'ladi. Ushbu sxemalarning elementlari

ham bipolyar tranzistorlarli integral mikrosxemalarda tuzilgan bo'ladi. Musbat mantiq asosida ishlaganda uning chiqishida YOKI, YOKI-EMAS funksiyalari amalga oshiriladi.

*MOYa* (*MOYa*-metall, oksid, yarimo'tkazgich) *tranzistorda tuzilgan tranzistor mantiqli sxemalarda* kanali *n*-tip yoki *p*-tip bo'lgan maydonli tranzistorlardan tuzilgan integral sxemalar qo'llaniladi. Bu turdagi sxemalar komplementar *MOYa*-texnologiya hamda ular *KMOYa mantiq oilasi* deyiladi. Ular elektr quvvatini kam iste'mol qilishi bilan ajralib turadi.

Har bir oilaga oid sxemalar umumiy xoslikka ega bo'ladi. Sxemaning muhim xususiyatlaridan biri tezkorlik va shovqinga chidamlilik darajasi hisoblanadi. Masalan, lift harakatini boshqarish uchun sxema 0,1 mks yoki 0,5 mks da ishlashi ahamiyatga ega emas, muhimi sxemaning "yolg'on"dan ishlamasligi. Shuning uchun bu holda, sekin ishlasa ham shovqinga chidamli sxema yig'ish maqsadga muvofiq bo'ladi. Kompyuter qurilmalari uchun esa bir vaqtning o'zida ham tezkor ham shovqinga chidamli sxemalar bo'lishi talab qilinadi. Bu ikki sifat bir-birini istisno qiluvchi bo'lib, doimo ular o'rtasida mutanosiblik topishga harakat qilinadi.

Raqamli sxemalar katta quvvat iste'mol qiladi. Turli oilaga tegishli sxemalar turlicha quvvat iste'mol qilishi bilan ham farqlanadi.

### 6.8 Funktsional tuzilmalar

Ikkilik (diskret) axborot ustida amal bajaruvchi *funksional tuzilmalar* ikkita katta sinfga ajratiladi:

-*kombinatsion sxemalar*;

-*ketma-ket ko'rinishdagi qurilmalar*.

Kombinatsion sxemalarning asosiy xususiyati ularning xotiraga ega bo'lmaganligi hisoblanadi. Asosiy jihati kombinatsion qurilmaning chiqishidagi signal ixtiyoriy vaqt momentida kirish signalining munosabatidan aniqlanadi va uning avvalgi holati bilan bog'liq bo'lmaydi. Ularga quyidagi mantiqiy elementlar kiradi:

-elektron kalitlar;

-shifratlar;

-deshifratlar;

-multipleksorlar;

-demultipleksorlar va boshqa arifmetik qurilmalar.

Ketma-ket ko'rinishdagi qurilmalarning asosiy xususiyati ularning xotiraga ega bo'lishidir. Ular ham kombinatsion qurilmalardan tashkil topib, asosiy jihati teskari bog'lanishning mavjudligi hisoblanadi. Ketma-ket ko'rinishdagi qurilmalarga quyidagi qurilmalar kiradi:

-triggerlar;

-sanagichlar;

-registrlar;

-jamlagich (summator) va boshqa xotiraga ega qurilmalar.

#### 6.8.1 Kombinatsion ko'rinishdagi raqamli qurilmalar

Xotira elementlari axborotlarni saqlash uchun xizmat qiladi. Agar sxemada xotira elementi ishtirok etmasa, bu sxema *kombinatsion sxema* deb ataladi.

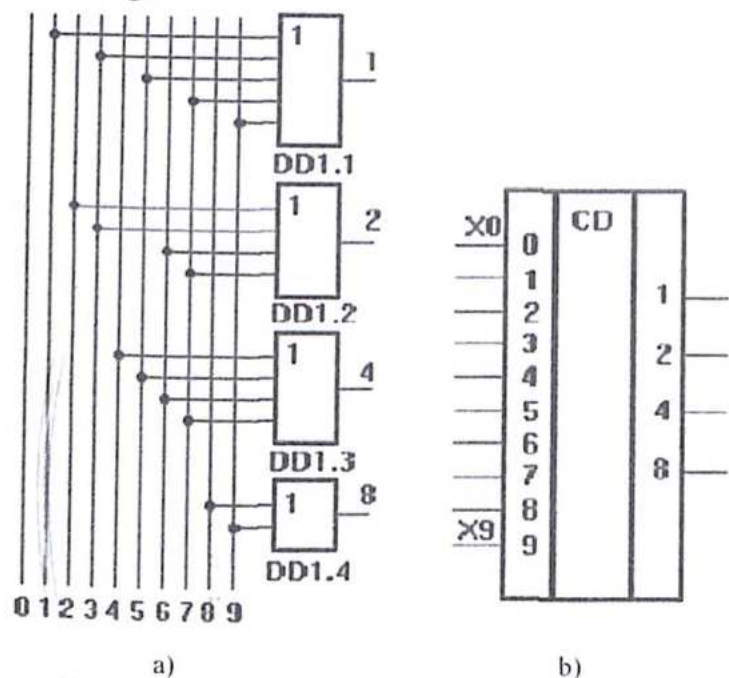
Kombinatsion sxemalar turkumiga shifratlar, deshifratlar, kod o'zgartiruvchilar, kommutatorlar va boshqalar kiradi. Shifratlar va deshifratlar signalning raqamli kodini bir turdan ikkinchi turga aylantiruvchi ya'ni *kod o'zgartiruvchi* qurilma deb ataladi.

**Shifratlar.** *Shifrat (koder)* – o'nlik sonlarni (pozitsion kodni) ikkilik sanoq tizimidagi songa aylantirib beruvchi kombinatsion qurilma bo'lib, uning har bir kirishga o'nlik raqam berilishi mumkin, chiqish mantiqiy signallari to'plami esa ma'lum ikkilik kodga mos keladi. Demak, shifratlar kirish sonlariga mos raqamli kodni mantiqiy amallar bajariladigan signalga aylantirib beradi. Deshifratlar mantiqiy element chiqishidagi signalni kodga aylantirib beradi. Demak, shifratlar deshifrat bajariladigan funksiyaning teskarisini bajarar ekan. Shuning uchun ularning haqiqiylik jadvallari o'xshash bo'lib, faqat deshifratda kirish va chiqishlar o'rnini almashgan bo'ladi. Natijada quyidagicha xulosaga kelish mumkin: Shifratlar kodlovchi qurilma, deshifratlar signalning turli xil kodlari ichidan keraklisini ajratib beruvchi qurilma ekan.

Shifrat *m* kirish va *n* chiqishga ega. Agar shifratda kirishdagi signalning mumkin bo'lgan barcha kombinatsiyalari qo'llanilsa u *to'liq shifrat* deb ataladi. To'liq shifratning kirish va chiqishlari quyidagi ifoda bilan bog'langan:  $m = 2^n$ . Agar shifratda bir qism chiqishlaridan

foydalanilmasa, ya'ni  $n < 2^m$  bo'lsa, u hola shifratör to'liq bo'lmagan deyiladi.

6.11-rasmda YOKI elementi bazasida tuzilgan o'nlik raqamni ikkilik (8421) kodga aylantirib beruvchi shifratör funksional tuzilishi va sxematik belgilanishi keltirilgan.



6.11-rasm

Har qanday kombinatsion mikrosxema mantiqiy elementlardan tashkil etilishi mumkinligini 6.11a-rasmda keltirilgan shifratör funksional tuzilishidan ko'rish mumkin.

Shifratörning haqiqiylik jadvali 6-jadvalda keltirilgan.

6-jadval

Kirishlar (o'nik son)	Chiqish (kod 8421)			
	$y_4$	$y_3$	$y_2$	$y_1$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Haqiqiylik jadvali asosida chiqishlar uchun mantiqiy tenglamalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$y_1 = x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9$$

$$y_2 = x_2 + x_3 + x_6 + x_7$$

$$y_3 = x_4 + x_5 + x_6 + x_7$$

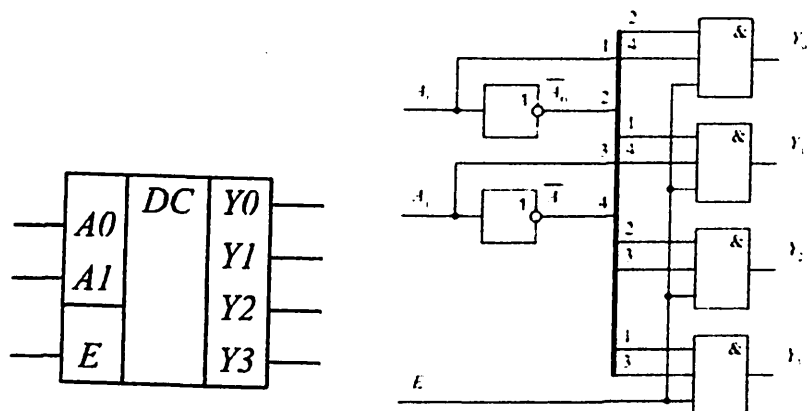
$$y_4 = x_8 + x_9$$

(6.15)

Bunda faqat 1 ta kirishda mantiqiy "1" mavjudligi hisobga olingan. Shifratörnlarni VA-EMAS, YOKI-EMAS elementlari bazasida ham tuzish mumkin. Integrallashgan shifratörnlarni belgilashda ular "IV" harflari kiritilib belgilanadi. Masalan KM555IV1, K555IV3 va h.k.

**Deshifratörlar.** *Deshifratörlar (dekoder)*-bu ikkilik kodni o'nli kodga aylantirib beruvchi qurilmadir. Deshifratörnlarning barcha chiqishlaridan faqat bittasida aktiv sath mavjud bo'ladi. Uning tartib raqami kirishlarga uzatilgan ikkilik raqamga teng bo'ladi. Shuning uchun deshifratörni kod kombinatsiyalarini aniqlovchi qurilma deb ham ataladi. Amalda deshifratör shifratörnlarni bajaradigan funksiyaning teskarisini bajaradi. Shuning uchun ularning haqiqiylik jadvali bir-biriga o'xshash bo'lib, kirish va chiqishlar o'rnini almashgan bo'ladi. Agar deshifratör  $m$  kirish va  $n$  chiqishga ega bo'lib, o'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan barcha to'plamidan foydalanilayotgan

bo'lsa,  $n = 2^m$  bo'ladi va bunday deshifrador *to'liq deshifrador* deb ataladi. Shifradorlardan farqli deshifradorlar "ID" harflari kiritilib belgilanadi. Masalan: K155ID1; KM155ID1; K176ID1, N564D1 va h.k.



6.12-rasm. Deshifradorlarning shartli grafik belgilanishi

6.12-rasmdan ko'rinib turibdiki, deshifrador 6.11b-rasmdagi shifratorning kirish va chiqishlari o'rni almashib turilgan holda belgilangan.

### 6.8.2 Ketma-ket ko'rinisdagi raqamli qurilmalar

Kombinatsion ko'rinisdagi sxemalardan farqli, ketma-ket ko'rinisdagi sxemalarda xotira elementi mavjud bo'ladi. Ketma-ket ko'rinisdagi sxemalarning chiqish signali qiymati kirish signali qiymatidan tashqari yana mazkur momentdan avvalgi momentda sxemaning ichki xolati qanday bo'lganligiga ham bog'liq bo'ladi.

Ketma-ket ko'rinisdagi sxemalarda asosiy xotira elementi, ya'ni ikkilik ma'lumotni yozib oluvchi va uni saqlovchi element bu triggerdir. Triggerlardan tashqari ketma-ket ko'rinisdagi sxemalar tarkibiga registrlar, raqamli sanagichlar (schyotchiklar) va tarkibiga triggerlar bor bo'lgan bir qator qurilmalar kiradi.

### Triggerlar

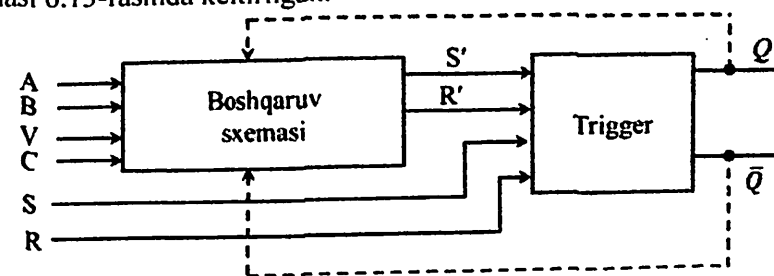
Ikkita turg'un muvozanat holatiga ega bo'lgan va tashqi turtki ta'sirida sakrash bilan bir muvozanat holatidan ikkinchisiga o'tadigan qurilmalar *triggerlar* deb ataladi. Tashqi turtki ishga tushuruvchi va boshqaruvchi signal

deb yuritiladi. Ular ikkilik sanoq sistemasida ifodalangan axborotni ishlash va saqlash (xotiraga olish) vazifasida qo'llaniladi.

Triggerlar 100% musbat teskari bog'lanishli ikki kaskadli teskari RC-kuchaytirgichdan tashkil topadi. Buning uchun kuchaytirgichlardan birining chiqishi ikkinchisining kirishiga to'liq ulangan bo'ladi. Kuchaytirgichlarning boshqaruvchi elementi sifatida bipolyar yoki maydonli tranzistorlardan foydalaniladi. Bipolyar tranzistorli triggerlarning sxemasi kollektor-baza bog'lanishli va emmiter bog'lanishli, ya'ni ikki turli bog'lanishli bo'ladi.

Kollektor-baza bog'lanishli triggerlar simmetrik, emmiter bog'lanishli triggerlar nosimmetrik triggerlar deb ataladi. Simmetrik trigger sxemasidagi mos elementlar soni jihatdan bir-biriga teng bo'lib, tranzistorlardan biri ochiq bo'lganda, ikkinchisi yopiq bo'ladi. Bunday holat turg'un holat hisoblanadi. Bir muvozanat holatdan ikkinchisiga o'tish boshqaruvchi signal ta'sirida amalga oshiriladi.

Triggerga ma'lumotni yozish odatda triggerni boshqaruvchi sxema orqali amalga oshiriladi. Umumiy holda trigger boshqaruv sxemasi bilan birga trigger tizimi (sistemi) deb ataladi. Bunday sistemaning funksional sxemasi 6.13-rasmda keltirilgan.



6.13-rasm. Trigger sistemasining funksional sxemasi: A, V — informatsion ( mantiqiy) kirishlar; V — tayyorlovchi kirish; S — takt (sinxronlovchi) kirish; S' va R' — ichki kirishlar; S va R — tashqi kirishlar; Q va Q — tashqi chiqishlar

Har bir trigger *boshqarish zanjiri* va *xotira qurilmasiga* ajratiladi.

*Boshqarish zanjiri* kirish signalini tahlil qilish va xotirada saqlash uchun o'zgartirib beradi. *Xotira qurilmasi* signalni uzoq muddat saqlash uchun xizmat qiladi va u ikkita yelkadan iborat. Har bir yelkada bir vaqtda ikkita signal saqlanadi (bittasida mantiqiy "0", ikkinchisida — mantiqiy "1").

Axborotni kiritish (yozish) usuli bo'yicha triggerlar quyidagi turga bo'linadi:

- "asinxron" trigger;
- "sinxron" ("taktlanuvchi") trigger.

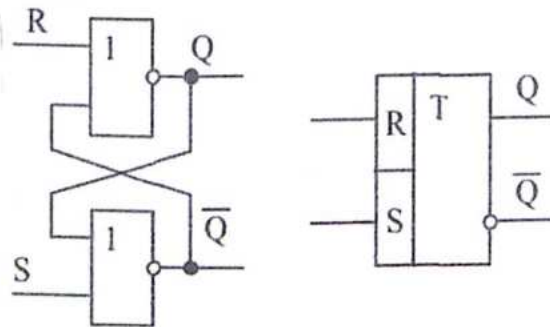
Asinxron triggerlarda har qanday vaqt onida kirish yo'lidagi signallar triggerning tegishli (bir yoki nol) holatini bir ma'noda aniqlaydi. Ya'ni, kirish yo'li axborotining o'zgarishi trigger holatining darhol (o'tkinchi jarayon tugashi bilan) o'zgarishiga olib keladi.

Sinxron (taktlanuvchi) triggerlar qo'shimcha kirish yo'liga ega bo'lib, bu yo'ldan sinxronlovchi (taktlovchi) signallar beriladi. Sinxron triggerlarga axborot faqat navbatdagi sinxrosignal berilishi bilan kiritiladi. Sinxrosignal davomiyligi triggerning bir holatdan ikkinchi holatga o'tish vaqtidan kichik bo'lishi shart.

Boshqaruv usuliga ko'ra triggerlar quyidagi turlarga ajraladi:

- *RS*-trigger, boshqaruvchi ikkita kirishga ega;
- *D*-trigger, bitta boshqaruvchi kirishga ega;
- *JK*-trigger, ikkita kirish boshqaruvchiga ega bo'lib, ta'qiqlangan holatga ega bo'lmaydi;
- *T*-trigger, bitta kirish sanagichiga ega.

**Asinxron *RS*-trigger.** Quyidagi 6.14-rasmda boshqaruvchi ikkita kirishga ega asinxron YOKI-EMAS mantiqiy elementidan tuzilgan *RS*-trigger sxemasi keltirilgan.



6.14-rasm. *RS*-trigger sxemasi va belgilanishi

Unda ikkita kirish bo'lib, *S* - triggerni birlik holatiga o'tkazuvchi kirish yo'li (inglizcha "set-o'rnatish" so'zidan olingan), *R* - triggerni nollik holatiga

o'tkazuvchi kirish yo'li (inglizcha "reset- tushirish" so'zidan olingan) hisoblanadi. Agar kirish signallari  $S = 1$  va  $R = 0$  bo'lsa, u holda chiqish quyidagiga teng bo'ladi:

$$\bar{Q} = \overline{S + Q} = 1 + \bar{Q} = 0,$$

$$Q = \overline{R + \bar{Q}} = 0 + 0 = 1.$$

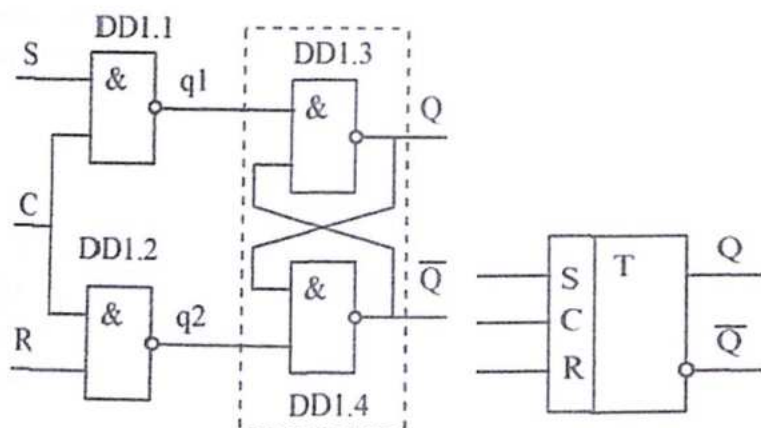
Xuddi shunday  $S = 0$  va  $R = 1$  bo'lsa, u holda chiqish signallarini teskari holatini olamiz,  $S = R = 0$  bo'lganda esa holat o'zgarmaydi. *RS*-triggerni xotira qurilmasi sifatida qo'llash ana shunga asoslangan. YoKI-EMAS mantiqiy elementidan tuzilgan *RS*-triggerning holatlar jadvali 7-jadvalda keltirilgan.

7-jadval

Ish rejimi	Kirish		Chiqish		Izoh
	S	R	Q	$\bar{Q}$	
Taqiqlangan holat	1	1	0	0	Taqiqlangan-foydalanilmaydi
0 ni o'rnatish	1	0	1	0	Q ni 1 ga o'rnatish
1 ni o'rnatish	0	1	0	1	Q ni 0 ga o'rnatish
Saqlash	0	0	Q		Avvalgi holatga bog'liq

**Sinxron *RS*-trigger.** Aksariyat holda mantiqiy elementlar kirishiga signallar bir vaqtda yetib kelmaydi. Bunga sabab ular kirishgacha bo'lgan yo'lni turli elementlar orqali o'tib, turlicha kechikish bilan kelishi hisoblanadi. Natijada ma'lum bir vaqt mobaynida kirishda yangi kelgan signallar avval kelgan signallar bilan qo'shilib, ko'zda tutilmagan holatni ya'ni qurilmaning yolg'ondan ishlashiga olib kelishi mumkin. Buning oldini olish uchun signallarni vaqt bo'yicha sinxronlash kerak bo'ladi.

Sinxronlovchi yoki taktlovchi trigger informatsion kirishdan tashqari sinxronlovchi *S* (inglizcha Clock – soat so'zidan olingan) kirishga ega bo'ladi. 15-rasmda uning tuzilishi va sxematik belgilanishi keltirilgan.



6.15-rasm. Sinxron RS-trigger funksional tuzilishi va sxemada belgilanishi

### Jamlagichlar (Summatorlar)

Barcha matematik summalar (ayirish, ko'paytirish, bo'lish, trigonometrik funksiyalarni hisoblash va boshqalar) yagona qo'shish amali bilan almashtirilishi mumkin. Kompyuterlarning bu amalni bajaradigan qurilmasi *jamlagich* (summator) deb ataladi.

Ko'p xonali sonlarni qo'shishda ishlatiladigan jamlagichlar bir razryadli jamlagichlar to'plamidan iborat bo'ladi. Bir razryadli jamlagich qo'shish amali bajaruvchi mantiqiy elementdan iborat bo'ladi. Mantiqiy sxema tuzish uchun ro'y berishi mumkin bo'lgan barcha holatlarni hisobga olgan holda haqiqiylik jadvali tuziladi.

Bir razryadli jamlagichlardan amal bajarish asosan ikki asosli hisoblash sistemasi bo'yicha olib boriladi. Masalan: A va B sonlarni qo'shish kerak. U quyidagicha amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 \\ 1+0 &= 1 \\ 0+1 &= 1 \\ 1+1 &= 10 \end{aligned}$$

Bunday usul bilan qo'shish amali bajarish quyidagicha amalga oshiriladi. Qo'shish kichik razryaddan boshlanadi. Unda  $1+1=2$  emas, balki  $1+1=10$  bo'lib, "1" bir xona oldinga (oldingi razryadga) ko'chiriladi. Demak jamlagich ikkita chiqishga ega bo'lishi kerak: berilgan razryadda qo'shuvchi,

ikkinchisi esa yuqori razryadga o'tkazuvchi. Haqiqiylik jadvalini tuzish uchun A va B sonlarni mos ravishda  $a_0$  va  $b_0$ , yuqori razryadga o'tkazish kattaligini  $c_1$ , summani esa  $s_0$  deb belgilaymiz.

Mantiqiy funksiya tuzamiz:

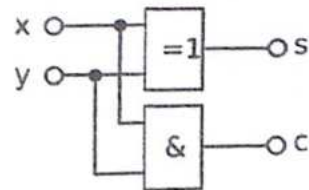
$$c_1 = a_0 b_0$$

va

$$s_0 = \bar{a}_0 b_0 + a_0 \bar{b}_0 = a_0 \oplus b_0$$

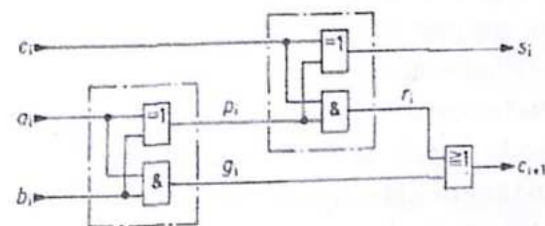
Ko'rinadiki, o'tish signali mantiqiy VA, summa esa istisnoli YOKI mantiqiy elementida amalga oshiriladi. Ushbu ikki amalni bajaruvchi mantiqiy sxema yarimjamlagich (yarimsummator) deb ataladi va uni ko'rinishi 6.16-rasmida, haqiqiylik jadvali esa 8-jadvalda keltirilgan.

8-jadval



$a_0$	$b_0$	$s_0$	$c_0$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

6.16-rasm. Yarimjamlagich sxemasi



6.17-rasm. To'liq jamlagich (summator) sxemasi

Ko'p razryadli ikkilik sonlarni qo'shishda yarimjamlagich faqat kichik razryadli sonlarni qo'shishni amalga oshira oladi. Boshqa barcha razryadlarni qo'shishda ikki emas, balki uch bitni qo'shish talab qilinadi. Uchinchi son quyidagilarni yuqorisiga o'tkazishda hosil bo'ladi. Umumiy holda har bir bit son uchun uchta  $a_i$ ,  $b_i$  va  $c_i$  kirishli va ikkita  $s_i$  hamda  $c_{i+1}$  chiqishli mantiqiy sxema kerak bo'ladi. Bu kabi sxema *to'liq jamlagich* deb ataladi va

u amalda ikkita yarimjamlagich yordamida yig'iladi. To'liq jamlagichning funksional sxemasi va haqiqiylik jadvali 6.17-rasm va 9-jadvalda keltirilgan.

To'liq jamlagich uchun mantiqiy funksiya

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_i; c_{i+1} = a_i b_i + a_i c_i + b_i c_i.$$

9-jadval

kirish			ichki			chiqish		O'nli raqam
$a_i$	$b_i$	$c_i$	$p_i$	$g_i$	$r_i$	$s_i$	$c_{i+1}$	$\Sigma$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	0	1	2
0	0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	1	2
1	0	1	1	0	1	0	1	2
1	1	1	0	1	0	1	1	3

Bir razryadli jamlagichlardan tashqari ko'p razryadli jamlagichlar ham mavjud. Ko'p razryadli jamlagichlar ketma-ket va parallel turlarga ajratiladi. Ketma-ket jamlagichda kirish sonlarini tashkil etuvchi bir razryadli jamlagichlarning kirishlariga koddagi ketma-ketlikda kichik razryaddan boshlab ta'sir ettiriladi. Shuning uchun chiqishdan olinadigan yig'indi ham kod ketma-ketligida hosil bo'ladi. Unda birinchi sinxronlovchi impuls ta'sirida birinchi razryadli sonlar, ikkinchi impuls ta'sirida ikkinchi razryadli sonlar, uchinchi impuls ta'sirida uchinchi razryadli sonlar va to'rtinchi impuls ta'sirida to'rtinchi razryadli sonlar ketma-ket qo'shilib boradi.

Ketma-ket jamlagichlarning afzallik tomoni sxemada mantiqiy elementlarning kam bo'lishi bo'lsa, kamchiligi tezkorligining kichikligidir.

### Registrlar

Mantiqiy elementlar va triggerlarning biror bir ko'rinishdagi ulanishidan tashkil topgan hamda raqamli signallarni qabul qilish, xotirada saqlash, qaytarib berish uchun xizmat qiluvchi qurilmalar *registrlar* ("registr" so'zi inglizcha *register* - qaydlash so'zidan olingan) deb ataladi. Registrlarni qurish uchun ko'p xollarda D- triggerlardan keng foydalaniladi.

Registrga yangi ma'lumotlarni kiritish *yozish* deb ataladi. Registrdagi ma'lumotni tashqi qurilmaga chiqarish *o'qib-sanash* deb ataladi. Yozib o'qish usuliga qarab registrlar umumiy holda 3 turga ajratiladi:

-parallel registrlar, bu registrlarda axborotni yozish va o'qish faqat parallel kod orqali amalga oshiriladi;

-ketma-ket registrlar, bu registrlarda axborotni yozish va o'qish ketma-ket kodlarda amalga oshiriladi. Yozish jarayonida ma'lumotlar vaqt bo'yicha bitlar ketma-ketligida kiritilib, o'qish jarayonida ham bitlarning xuddi shunday ketma-ketligida tashqi qurilmaga uzatiladi.

-parallel ketma-ket registrlar – universal registrlar hisoblanib, parallel kodni ketma-ket kodga aylantiradi va aksincha. Bunday registrlarda yozish jarayonida barcha bitlar registrga bir vaqtda (parallel kodlarda) kiradi, o'qish jarayonida ma'lumotlar bitlar ketma-ketligida registrdan tashqi ketma-ket va parallel qurilmaga uzatiladi (ketma-ket kodda).

Bajaradigan funksiyasi ko'rinishiga qarab registrlar ikkita katta guruhga bo'linadi:

-asosiy funksiyasi sifatida faqat yozilgan ma'lumotlarni *saqlovchi registrlar*;

-ma'lumotlarni saqlashdan tashqari registrlar bo'ylab ularni siljitishni ham amalga oshiruvchi *siljitish registrlari*.

Bu guruh registrlarini orasida *reversiv registrlar* alohida o'rin tutadi. Chunki ular ma'lumotlarni ikkala tomoniga (ham yuqori ham quyi razradlar tomon) siljitish imkonini beradi.

### Parallel registrlar (xotira registrlari)

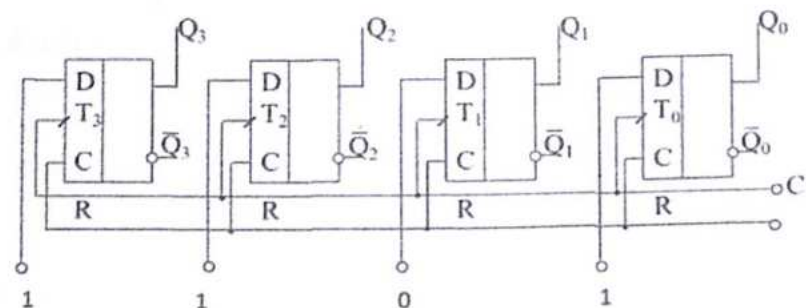
6.18-rasmدا D-triggerlarda tuzilgan to'rt razryadli xotira registrining sxemasi ko'rsatilgan. Sxemadan ko'rinib turibdiki, D-triggerlarning takt bo'yicha kirishlari o'zaro ulangan. Triggerlarning D-kirishlari registrga ma'lumotlarning kirishini ta'minlaydi.

Har bir trigger kirishdagi sonning bitta razryadini saqlaydi, masalan:

$$x_3 x_2 x_1 x_0 = 1101$$

Yozishdan oldin R kirishga musbat impuls beriladi va hamma triggerlar nol holatga keltiriladi. Keyin saqlanadigan son D-trigger kirishiga beriladi. C boshqarish shinasini orqali musbat impuls berilsa, uning fronti bo'ylab 1101 son registrga yoziladi. Bu son registrga C shinaga impuls (signal)

berilmaguncha saqlanadi. Chiqish  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = x_3 x_2 x_1 x_0 = 1101$ .  
 $\bar{Q}_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 = \bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 = 0010$ .



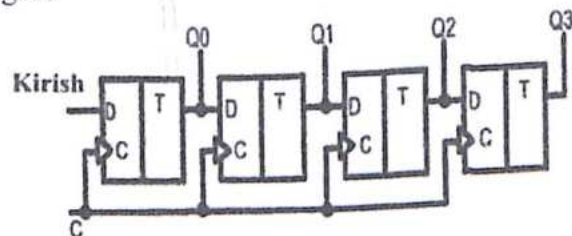
6.18-rasm. D-triggerda tuzilgan 4 razryadli parallel registr sxemasi

Agar yozish kirishga  $C=1$  signal berilsa  $x_1, x_2, x_3, x_n$  ma'lumotlar registrning  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  chiqishlari payda bo'ladi. Berilganlar uchun barcha razryadlar registrga bir vaqtda yoziladi.

#### Ketma-ket registrlar (siljitish registrlar)

Ketma-ket registrlar bitta ma'lumotlar kirishi  $X$ , bitta ma'lumotlar chiqishi  $Y$ , yozish/o'qish  $C$  kirish va registr triggerlarini boshlang'ich holatga keltirish uchun  $R$  kirishga ega bo'ladi. Yozish va o'qish jarayonida ma'lumotlarning registr bo'ylab ko'chirilishi (surilishi) amalga oshadi. Shuning uchun ular siljitish registrleri deb ataladi.

6.19-rasmda D-triggerlarda tuzilgan 4 razryadli ketma-ket registr sxemasi keltirilgan.



6.19-rasm

Bu sxemada triggerlar o'zidan oldindagi triggerdan ma'lumotlarni qabul qiladigan qilib ulangan.  $\bar{R}=1$  ba  $C=0$  bo'lganda registr saqlash rejimida bo'ladi va bu vaqtda triggerlar kirishida oldingi taktda kelgan signallar saqlanadi.

Triggerga ma'lumotlarni yozish uchun uning  $C$  kirishiga  $C=1$  signal berish kerak bo'ladi. Bunda ilgari o'rnatilgan kirish signali birinchi triggerning  $Q_1$  chiqishida ko'rinadi. Ikkinchi triggerning  $Q_2$  chiqishida birinchi triggerning avvalgi taktdagi chiqish signali, uchinchi triggerning  $Q_3$  chiqishida ikkinchi triggerning chiqishidagi, to'rtinchi triggerning  $Q_4$  chiqishida uchinchi triggerning chiqishidagi avvalgi taktdagi signal ko'rinadi.

Agar boshlang'ich hol uchun:  $Q_0=1, Q_1=0, Q_2=1, Q_3=1$  bo'lsa, sinxron signalning musbat (oldi) frontida har bir trigger D-kirish yo'lidagi signalga mos holatga o'tadi:

- birinchi takt signali ta'sirida: mantiqiy "1"  $Q_0$  dan  $Q_1$  ga; mantiqiy "0"  $Q_1$  dan  $Q_2$  ga; mantiqiy "1"  $Q_2$  dan  $Q_3$  ga o'tadi;
- ikkinchi takt signali ta'sirida: mantiqiy "0"  $Q_0$  dan  $Q_1$  ga; mantiqiy "1"  $Q_1$  dan  $Q_2$  ga; mantiqiy "0"  $Q_2$  dan  $Q_3$  ga o'tadi;
- uchinchi takt signali ta'sirida: mantiqiy "0"  $Q_0$  dan  $Q_1$  ga; mantiqiy "0"  $Q_1$  dan  $Q_2$  ga; mantiqiy "1"  $Q_2$  dan  $Q_3$  ga o'tadi va h.k.

#### Nazorat savollari

1. Axborotni analog usulda tasvirlash.
2. Axborotni raqamli usulda tasvirlash.
3. Analog elektron qurilmalar va ularning afzallik va kamchiliklari.
4. Analog signallarni kvantlash qanday amalga oshiriladi?
5. Diskret elektron qurilmalar va ularning afzallik tomonlari.
6. Mantiqiy o'zgaruvchilar.
7. Musbat va manfiy mantiq.
8. Ikkilangan kodlash.
9. Raqamlarni ikkilangan kodda ifodalash.
10. O'n oltilik sistema va undan foydalanish.
11. Raqamlarni o'n oltilik kodda ifodalash.
12. Ikki elementli sxemalar uchun o'z nomiga ega funksiyalar va ularning haqiqiylik jadvali.
13. Bul algebrasining asosiy amallari.
14. YOKI va VA elementlari uchun haqiqiylik jadvalini tushuntirish.
15. Mantiqiy elementlarning shartli belgilanishi.

## 7 BOB. SIGNALLAR

*Informatsiya – informatio* ya'ni fizik hodisalar, kimyoviy jarayonlar, voqealar, jismlar, aniqrog'i olamdagi barcha narsalar haqidagi ma'lumotlar majmuasi. *Xabar* – alohida voqea, hodisa, jarayonni (ya'ni informatsiyani) ifodalovchi, aks ettiruvchi belgilar (ishoralar) to'plami. *Signal – signum* qandaydir kuzatuv obyekti haqidagi informatsiyani tashuvchi fizik jarayon. Xabar tashuvchi kuchlanish yoki tok bo'lsa *elektr signali*, elektromagnit to'lqinlar bo'lsa *radiosignal* deyiladi.

### 7.1 Signallar klassifikatsiyasi

Elektronika va radioelektronikada turli ko'rinishdagi signallardan foydalaniladi. Ular turli xarakteristikalariga ko'ra klassifikatsiyalanadi: Biz ham signallarni klassifikatsiyalashni ba'zi bir prinsiplariga to'xtalib o'tamiz.

Amalda signallarni axborot uzatishdagi tutgan o'rniga qarab ikki turga ajratish mumkin:

– foydali, kerakli axborotni tashuvchi signallar *foydali signallar* deb ataladi.

– xalaqit beruvchi, foydali signalga qo'shilib uni qabul qilishga halaqit beruvchi har qanday ta'sir *xalaqit beruvchi signal* deb ataladi.

Demak xalaqit beruvchi signallar foydali signal yordamida kelayotgan axborotning buzilishi (qisman o'zgarishi) ga sabab bo'ladi. Keng tarqalgan halaqit beruvchi signallar manbalari bu: begona radiostansiyalar, atmosfera hamda elektron asboblarda hosil bo'ladigan razryadlar va buzilishlar.

Signallar *determinirlangan (aniqlangan)* va *tasodifiy signallarga* bo'linadi. Agar vaqtning ixtiyoriy momentida signalning parametri va oniy qiymatini yuqori ehtimollik bilan aniqlash mumkin bo'lsa, bunday signallar determinirlangan signallar deyiladi va ular signalni tavsiflovchi biron-bir analitik vaqtning funksiyasi orqali ifodalanadi:

$$S = S(t) \quad (7.1)$$

Deteminirlangan signallarga amplitudasi va davri aniq bo'lgan garmonik signallar (7.1a-rasm), to'g'ri burchakli impulslar ketma-ketligi (7.1b-rasm), davri, ampitudasi va davomiyligi aniq bo'lgan, ixtiyoriy shakldagi impuls (7.1c-rasm) va boshqalar kiradi. Bu kabi determinirlangan signallar hech

16. O'z nomi va belgilanishiga ega mantiqiy funksiyalar va ularning haqiqiylik jadvali.

17. Bul algebrasining asosiy qonunlari: bitta o'zgaruvchi uchun.

18. Bul algebrasining asosiy qonunlari: ikkita va undan ortiq o'zgaruvchi uchun.

19. De Morgan teoremlari.

20. Raqamli qurilmalar qanday elementlardan tuzilgan?

21. Kombinatsion va ketma- ket sxemalar orasidagi farq nimadan iborat?

22. Shifratonga ta'rif bering.

23. To'g'ri kirishga ega shifrador va uning shartli belgilanishi.

24. Invers kirishga ega shifrador va uning shartli belgilanishi.

25. Shifratorning haqiqiylik jadvali asosida chiqishlar funksiyalarini hosil qilish.

26. Deshifrador ta'rif bering.

27. Deshifratorning shartli belgilanishini tushuntiring

28. Ketma – ket raqamli qurilmalar tarkibi haqida nimalarni bilasiz?

29. Triggerni ta'rif bering

30. Triggerlarning tuzilishi haqida nimalarni bilasiz?

31. Trigger sistemasining funksional sxemasini tushuntiring.

32. Jamlagich ( Summator) ta'rif bering.

33. EHM da jamlagichlarida raqamlarni qo'shish qanday amalga oshiriladi?

34. Ketma – ket jamlagichlarning afzallik tomoni va kamchiligi.

35. Paralel jamlagichlarda amallar qanday bajariladi?

36. Registr ta'rif bering.

37. Yozib o'qish usuliga qarab registrnlarni guruhlarga ajrating?

38. Bajaradigan funksiyasi bo'yicha registrlar qanday guruhlarga ajratiladi?

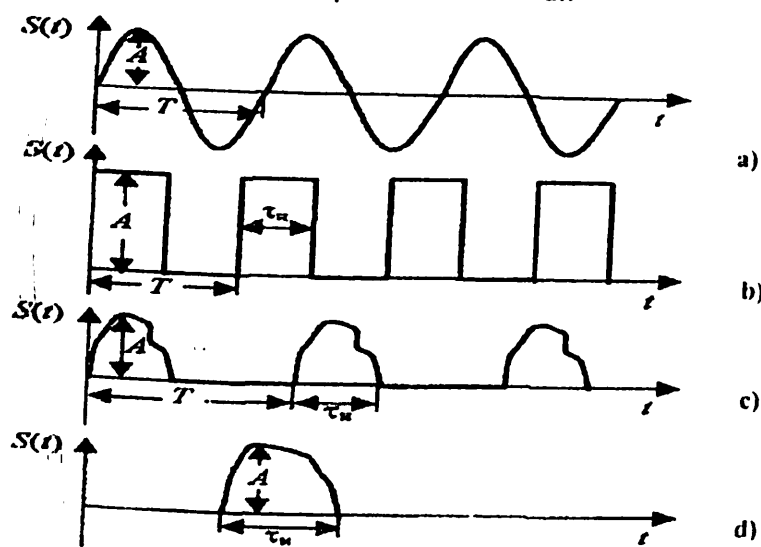
39. Paralel registning prinsipial sxemasi yordamida qanday ishlashini tushuntiring

40. Ketma-ket triggerning prinsipial sxemasi yordamida qanday ishlashini tushuntiring.

41. Reversiv riggerlar qanday ishlashini tushuntiring.

qanday axborot bermaydi. Determinirlangan signallarning asosiy xarakteristikasi alohida garmonikalarning amplitudasi va fazasi haqida ma'lumot beruvchi spektral xarakteristika hisoblanadi.

Agar biz signalning ixtiyoriy vaqt momentidagi qiymatini oldindan bashorat qila olmasak u holda signal *tasodifiy signal* deyiladi. Ularga amplitudasi va davomiyligi ma'lum bo'lgan yakka impuls (7.1d-rasm), musiqa ohanglari, nutqni ifodalovchi elektr toki yoki kuchlanish, qabulqilgich kirishidagi radiolokatsion signal, shovqin va boshqalar kiradi. Odatda tasodifiy signallar turli voqea va hodisalar haqidagi ma'lumotni beradi. Tasodifiy signallarning asosiy xarakteristikalari bu ehtimolliklar taqsimot qonuni, chastota bo'yicha spektral taqsimoti hisoblanadi.



7.1-rasm.

Bunda uzatilayotgan signal chastotasi, fazasi va amplitudasida sodir bo'ladigan o'zgarishlar orqali turli axborot yoki ma'lumotlarni olish mumkin.

Determinirlangan signallar ichida aniq vaqt oraliqlarida qaytariladigan signal ham mavjud. Bunday signallar *davriy signallar* deb ataladi. Ular uchun

$$S(t) = S(t + mT) \quad (7.2)$$

shart bajariladi, bu yerda  $T$  – signalning qaytarilish davri,  $m = 1, 2, \dots$  butun sonlar qatori. Odatda  $S(t)$  sifatida tok, kuchlanish yoki zaryadning vaqt bo'yicha o'zgarishlari tushuniladi (7.1-a,b,c-rasmlar).

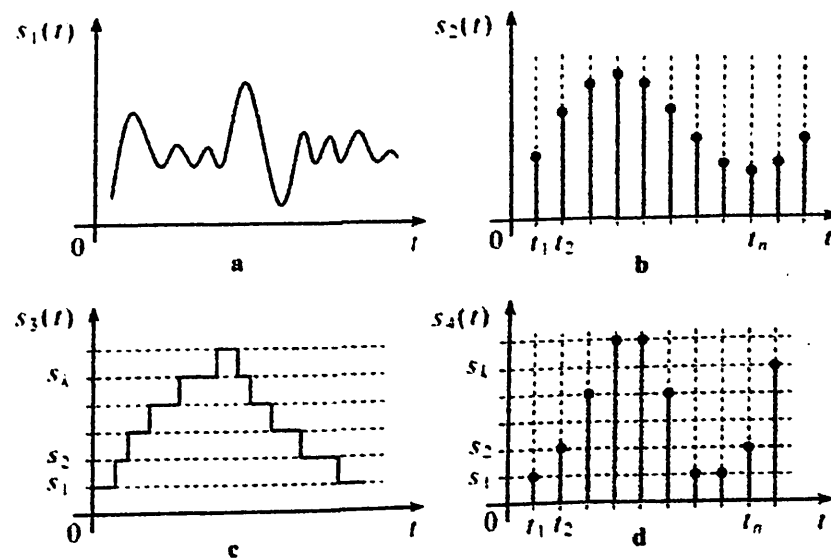
Signallar vaqt bo'yicha uzluksiz (analog), diskret, kvantlangan va raqamli bo'lishi mumkin. Ularni ko'rinishi 7.2-rasmda keltirilgan.

*Analog signallar* (7.2a-rasm) belgilangan vaqt oralig'ida ixtiyoriy amplituda qiymatiga ega bo'lishi mumkin. Ular o'zida fizik jarayonning qaytarilish qonuniyatini ifoda etadi.

*Diskret signallar* (7.2b-rasm) deb vaqt bo'yicha diskret (uzlukli), qiymat bo'yicha uzluksiz bo'lgan signallarga aytiladi. Bunda  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  vaqt momentlari *diskretlash vaqtini* hosil qiladi, ular orasidagi  $\Delta t$  esa *diskretlash qadami* bo'ladi. Odatda  $\Delta t = const$  bo'ladi.

*Kvantlangan signallar* (7.2c-rasm) deb qiymat (sath) bo'yicha diskret va vaqt bo'yicha uzluksiz bo'lgan signallarga aytiladi. Bunda  $s_1, s_2, \dots, s_k$  *kvantlash sathlari* deyiladi. Qo'shni sathlar orasidagi  $\Delta s$  *kvantlash qadami* bo'ladi. Signalning sathi o'zgarishi vaqt bo'yicha ixtiyoriy bo'lishi mumkin.

*Raqamli signallar* (7.2d-rasm) deb sath bo'yicha kvantlangan, vaqt bo'yicha diskret bo'lgan signallarga aytiladi. Bu kabi signallar to'liq raqamlar ketma-ketligi bo'yicha ifodalanadi.



7.2-rasm.

Ko'p hollarda murakkab signallarni bir xil ko'rinishdagi sodda signallar yig'indisi sifatida qarab, quyidagicha ifodalash mumkin:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i S_i(t) \quad (7.3)$$

bu yerda  $a_i$ -doimiy koeffitsiyentlar.

Bu murakkab signalni tashkil etuvchi signallarning har birida ro'y berayotgan o'zgarishlarni alohida-alohida o'rganish qulay bo'ladi. Chunki chiziqli differensial tenglamalar orqali tavsiflanadigan elektr zanjirlarining ko'p sinfi uchun superpozitsiya prinsipi o'rinlidir.

## 7.2 Davriy signallar spektri

(7.2) ifoda orqali aniqlanuvchi har qanday murakkab davriy signalni berilgan vaqt intervali oralig'ida sodda garmonik signallar yig'indisi ko'rinishida ifodalash mumkin. Agarda davriy signal Dirixli shartini qanoatlantirsa, u holda yuqoridagi ifodalash trigonometrik Fure qatori orqali amalga oshiriladi:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_1 t - \varphi_n) \quad (7.4)$$

bu yerda  $\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) dt$  - doimiy tashkil etuvchi, ya'ni davr bo'yicha o'rtacha qiymat.

Signal garmonikalari amplitudasi va boshlang'ich fazasi signal amplitdasining kosinusoidal va sinusoidal tashkil etuvchilarni ifodalovchi koeffitsiyentlar orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) \cos n\omega_1 t dt - \text{kosinusoidal tashkil etuvchi amplitudasi,}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) \sin n\omega_1 t dt - \text{sinusoidal tashkil etuvchi amplitudasi.}$$

$n$ -garmonikaning amplitudasi (moduli) va boshlang'ich fazasi (argument)

$a_n$  va  $b_n$  koeffitsiyentlar orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \varphi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n}. \quad (7.5)$$

$A_n$  va  $\varphi_n$  kattaliklarning umumlashgan qiymatlari signalning spektri deb ataladi, bunda  $A_n$  amplitudaviy spektr,  $\varphi_n$  esa fazaviy spektr deyiladi.

Agar signalni ifodalashda uning kompleks shaklidan foydalanilsa, u quyidagiga teng bo'ladi:

$$S(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n e^{j(n\omega_1 t - \varphi_n)} \quad (7.6)$$

bu yerda  $\dot{A}_n = A_n e^{-j\varphi_n}$  - signalning kompleks amplitudasi bo'lib quyidagiga

teng  $\dot{A}_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt$  hamda  $a_n$  va  $b_n$  koeffitsiyentlar bilan quyidagicha

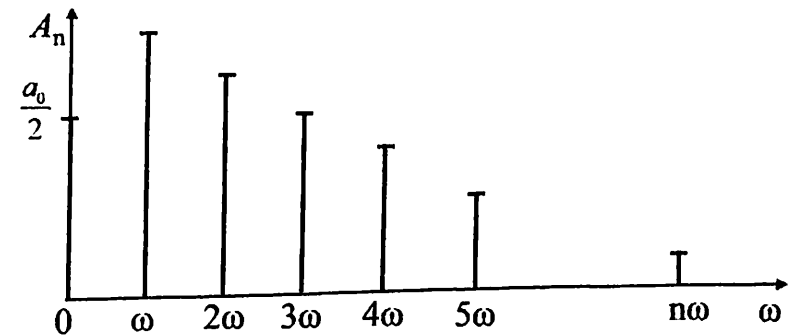
bog'langan:

$$\begin{aligned} \dot{A}_n &= A_n e^{-j\varphi_n} = a_n - jb_n, \text{ agarda } n > 0 \text{ bo'lsa;} \\ \dot{A}_{-n} &= A_n e^{j\varphi_n} = a_n + jb_n, \text{ agarda } n < 0 \text{ bo'lsa.} \end{aligned} \quad (7.7)$$

Agar ushbu kattaliklarni ham hisobga olsak, umumiy holda signal kompleks ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:

$$S(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \dot{A}_n e^{jn\omega_1 t} \quad (7.8)$$

Signalning spektri spektral diagramma orqali aniqlanadi. Bunda absissa o'qiga chastota, ordinata o'qiga amplitada (amplitudaviy spektr uchun) yoki faza (fazaviy spektr uchun) qiymatlari qo'yiladi.



7.3-rasm.

(7.4) ifodaga ko'ra davriy signalning spektri chiziqli yoki alohida  $\omega_1, 2\omega_1, 3\omega_1, \dots, n\omega_1$  chastotaga mos keluvchi diskret chiziqlardan

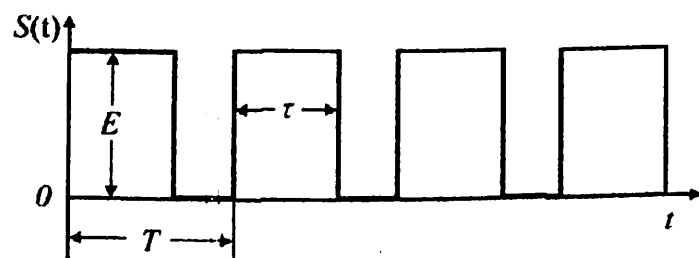
(garmonikalardan) tashkil topgan bo'ladi. Bunda  $\omega_1 = 2\pi/T$  -asosiy garmonika, qolganlari esa yuqori garmonikalar deyiladi. 7.3-rasmda davriy signalning spektri keltirilgan. Davriy funksiyani Fure qatoriga yoyishda uning koordinata boshiga nisbatan simmetrik ekanligini hisobga olish kerak. Shuningdek, garmonik tebranishlarning chastotasi qanchalik kichik bo'lsa, uning spektral chiziqlari shunchalik zich joylashadi.

### 7.3 Davriy to'g'ri burchakli impulslar spektri

7.4-rasmda davriy to'g'ri burchakli impulslar ketma-ketligi keltirilgan. Uning spektrini aniqlaylik. Yuqorida qayd etilganidek, Fure qatorining doimiy tashkil etuvchisi bu holda quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt = \frac{\tau}{T} E \quad (7.9)$$

bu yerda  $T$ —davri,  $\tau$  — impuls davomiyligi,  $E$ —uning amplitudasi.



7.4-rasm.

Mos ravishda kosinusoidal tashkil etuvchi amplitudasi quyidagicha:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \cos n\omega t dt = \frac{2}{T} \int_0^\tau E \cos n\omega t dt = \frac{2}{T} E \frac{1}{n\omega} \sin n\omega t \Big|_0^\tau = \frac{E}{\pi n} \sin n\omega \tau, \quad (7.10)$$

sinusoidal tashkil etuvchi amplitudasi esa

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \sin n\omega t dt = \frac{2}{T} E \frac{1}{n\omega} (-\cos n\omega t) \Big|_0^\tau = \frac{E}{\pi n} (1 - \cos n\omega \tau) \quad (7.11)$$

ifodalar orqali aniqlanadi. (7.5) ifodadan  $n$ -garmonika amplitudasi

$$\begin{aligned} A_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = \frac{E}{\pi n} \sqrt{(1 - \cos n\omega \tau)^2 + \sin^2 n\omega \tau} = \\ &= \frac{E}{\pi n} \sqrt{1 - 2 \cos n\omega \tau + \cos^2 n\omega \tau + \sin^2 n\omega \tau} = \\ &= \frac{E}{\pi n} \sqrt{2(1 - \cos n\omega \tau)} = \frac{E}{\pi n} \sqrt{2 \cdot 2 \sin^2 \frac{n\omega}{2} \tau} = \frac{2E}{\pi n} \sin \frac{n\omega}{2} \tau \end{aligned} \quad (7.12)$$

ga tengligi kelib chiqadi.

(7.12) ifodadan ko'rinadiki,  $n$ -garmonika amplitudasi  $\frac{\sin \frac{n\omega}{2} \tau}{\pi n}$

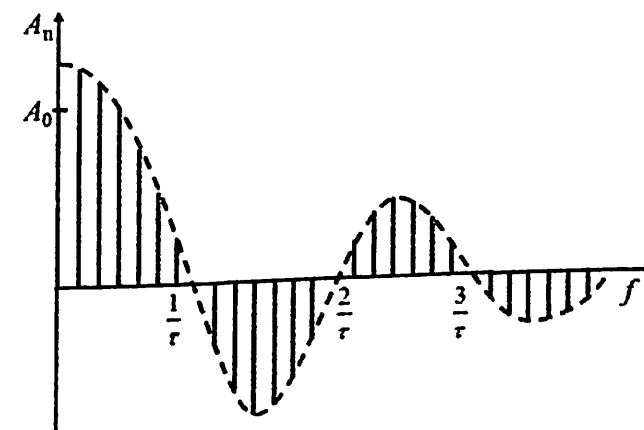
qonuniyat bo'yicha o'zgarar ekan.

Endi amplitudasi nolga teng bo'ladigan  $n_{ok}$  garmonikalar qatorini quyidagi shartdan aniqlaymiz:

$$\sin \frac{n_{ok} \omega}{2} \tau = \sin \frac{n_{ok} \frac{2\pi}{T}}{2} \tau = \sin \frac{n_{ok} \pi}{T} \tau = 0 \quad (7.13)$$

bu yerda  $n_{ok} = \frac{T}{\tau} k$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$

7.5-rasmda davriy to'g'ri burchakli impulslar spektri keltirilgan. Impuls davri va davomiyligi o'zgarishiga qarab bu spektral diagramma ham turlicha bo'lishi mumkin.



7.5-rasm.

Xuddi shuningdek, amplitudasi nolga teng bo'ladigan  $f_{0k}$  - "nolinchi" chastotalar ham quyidagicha aniqlanadi:

$$f_{01} = n_{01}f, f_{02} = n_{02}f, \dots, f_{0k} = n_{0k}f = \frac{T}{\tau} k \frac{1}{T} = \frac{k}{\tau}. \quad (7.14)$$

#### 7.4 Davriy bo'lmagan signallar spektri. Spektral zichlik

Davriy bo'lmagan signal uchun (7.2) ifoda  $S(t) \neq S(t+mT)$  ko'rinishida bo'lib, uni ham chastotasi diskret bo'lmagan garmonik tashkil etuvchilar ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Faraz qilaylik, davriy bo'lmagan  $S(t)$  signal  $t_1 < t < t_2$  berilgan bo'lib, uni  $T = t_2 - t_1$  davri bilan qaytariluvchi davriy signal deb hisoblash mumkin. U holda uni Fure qatoriga yoyib, mos holdagi koeffitsiyentlarni aniqlash mumkin.

Buning uchun signalning kompleks ko'rinishidan foydalanamiz:

$$S(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{A}_n e^{jn\omega t} \quad (7.15)$$

bu yerda

$$\dot{A}_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) e^{-jn\omega t} dt \quad (7.16)$$

ga teng. Agar (7.16) ni (7.15) ifodaga qo'ysak, u holda quyidagi hosil bo'ladi:

$$S(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) e^{-jn\omega t} dt \right] e^{jn\omega t} \quad (7.17)$$

Agar  $T \rightarrow \infty$  u holda davriy funksiya davriy bo'lmagan funksiyaga intiladi:

bunda  $\omega \rightarrow d\omega$ ,  $n\omega \rightarrow \omega$ ,  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \rightarrow \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}}$  ga almashadi. Mos holda integrallash

chegaralari  $-\frac{T}{2}$  dan  $+\frac{T}{2}$  intervaldan  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgaradi. Bu o'zgarishlarning barchasini (7.17) ifodaga olib borib qo'ysak, davriy bo'lmagan signal uchun ushbu ifodani hosil qilamiz:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j\omega t} d\omega \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt \right] \quad (7.18)$$

(7.18) ifodada kvadratik qavs ichidagi ifodani  $\dot{S}(\omega)$  bilan belgilaymiz:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt \quad (7.19)$$

$\dot{S}(\omega)$  - funksiya signallar nazariyasida *signalning spektral zichligi* deyiladi. (7.19) ifodani (7.18) ifodaga olib borib qo'ysak, quyidagi tenglik hosil bo'ladi:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (7.20)$$

(7.19) va (7.20) ifodalar Furening *to'g'ri va teskari almashtirishi* deyiladi. Shunday qilib, Fure almashtirishlari orqali har qanday shakldagi signalning amplitudasi va fazasi ma'lum bo'lgan garmonik tashkil etuvchilar ko'rinishida ifodalash mumkin va bunda garmonik signalning o'zi esa elektr zanjirini tahlil qilishda elementar sinov signaliga aylanadi. Shuni qayd etish kerakki, Fure almashtirishlari  $S(t)$  signal to'liq integrallanuvchi bo'lgandagina o'rinli, aks holda almashtirishning boshqa usullari topiladi.

#### 7.5 To'g'ri burchakli impulsning spektral zichligi

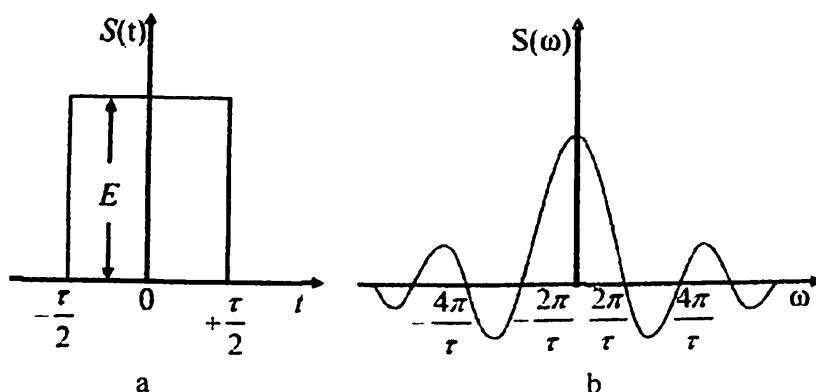
Davriy bo'lmagan signalning spektral zichligini aniqlashga misol sifatida to'g'riburchakli impulsning spektral zichligini aniqlashni ko'rib chiqamiz. Amplitudasi  $E$  va davomiyligi  $\tau$  bo'lgan impuls 7.6a-rasmda keltirilgan. Ta'rifga ko'ra uning spektral zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$S(\omega) = E \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} e^{-j\omega t} dt = -\frac{E}{j\omega} \left( e^{-\frac{j\omega\tau}{2}} - e^{\frac{j\omega\tau}{2}} \right) \quad (7.21)$$

Ushbu ifodaga  $\sin x = -\frac{e^{-jx} + e^{jx}}{2j}$  bo'lgan Eyler formulasini qo'llasak, u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S(\omega) = \frac{2E}{\omega} \sin \frac{\omega\tau}{2} = E\tau \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \quad (7.22)$$

(7.22) ifoda bilan aniqlanuvchi spektral zichlikning ko'rinishi 7.6b-rasmda keltirilgan.



7.6-rasm.

Ko'rinadiki, to'g'ri burchakli impulsning spektral zichligi  $\sin \frac{\omega\tau}{2} = 0$

bo'lganda nolga teng bo'ladi, ya'ni  $\frac{\omega\tau}{2} = \pm k\pi$ , yoki  $\omega = \frac{\pm 2k\pi}{\tau}$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$

Demak, spektral zichlikning chastota o'qi bilan kesishish nuqtalari  $\pm \frac{2\pi}{\tau}$ ,  $\pm \frac{4\pi}{\tau}$ , ....

(7.22) ifodadan ko'rinadiki, agar signal davomiyligi  $\tau$  o'zgarmas bo'lib davr  $T$  va mos holda chastotasi orttirib borilsa, quyidagi holat ro'y beradi:

Spektr chiziqlari o'zaro yaqinlasha boshlaydi, chunki spektr chuqurligi ortadi. Spektr chuqurligi deganda signal davri  $T$  bo'lgan vaqt oralig'iga davomiyligi  $\tau$  bo'lgan nechta signal impulsi joylashishi mumkinligini ifodalovchi kattalik tushuniladi:  $q = \frac{T}{\tau}$ .

Signal garmonikalari amplitudasiga teng bo'lgan spektr chiziqlarining uzunligi qisqara boshlab nolga yaqinlashadi.

Bu o'zgarishlarga qaramay spektr yaproqlari kengligi o'zagarmaydi, chunki u faqat signal davomiyligi  $\tau$  ga bog'liq edi.

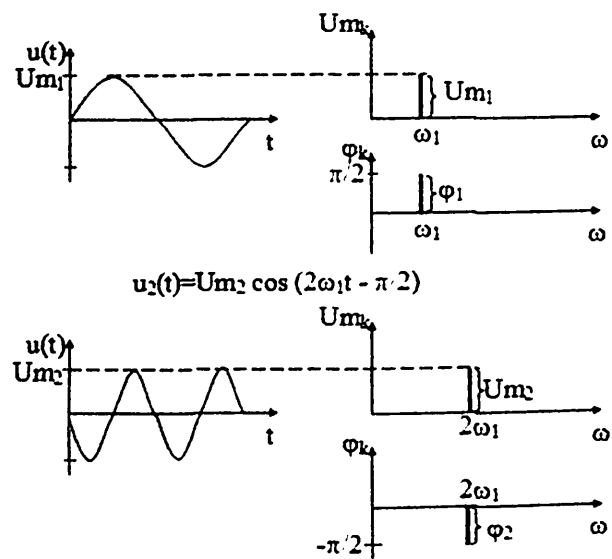
Bu paragrafni yakunlashdan avval bir narsaga alohida e'tibor qaratish kerak. Biz ko'rib chiqqan signal determinarlangan signal edi. Demak uning matematik moduli aniq bir vaqt funksiyasidir. Bu holda biz ixtiyoriy vaqt momentida bu funksiyasi qanday qiymatga ega bo'lishini oldindan bashorat qilishimiz mumkin.

Nutq, musiqa, tasvirlarni aks ettiruvchi real elektr signallari ham davriy bo'lmagan signallardir. Ammo ularni determinirlangan vaqt funksiyalari yordamida tavsiflab bo'lmaydi.

### 7.6 Spektri chegaralangan signallar. Spektr kengligi

Har qanday signal, signal energiyasining chastotalari bo'yicha taqsimlanishi bilan tavsiflanadi. Endi yana bir asosiy tushuncha bilan tanishamiz. Bu tushuncha signalning *spektr kengligi* deb ataladi. Chastotalar o'qi bo'ylab signalning barcha spektr chiziqlari joylashgan chastotalar oralig'i signal spektr kengligi deb ataladi. Bu ta'rif davriy signallar uchun, birinchi navbatda garmonik tebranishlar uchun o'rinalidir. Davriy bo'lmagan signallar uchun signal spektr kengligi deb chastotalar o'qi bo'ylab signal spektr zichligi noldan farqli bo'lgan chastotalar oralig'i tushuniladi.

Agar bu chastotalar oralig'i aniq bir chastotada chegaralangan bo'lsa bunday signal *spektri chegaralangan signal* deb ataladi. Agar bunday chegarani signal uchun ko'rsatish imkoni bo'lmasa signal *spektri chegaralanmagan signal* deb ataladi. Masalan garmonik tebranish ko'rinishidagi davriy signal spektri chegaralangan signal bo'ladi. Chunki bunday signallar bitta spektr chizig'iga ega bo'lib u asosiy chastota qiymatiga teng chastotada joylashgan (7.7-rasm). Demak, bunday signal spektri asosiy chastota kattaligi  $\omega_1$  bilan chegaralangan bo'lib, bu chastota mazkur signal uchun eng yuqori chastota bo'ladi. 7.7-rasmdan ko'rinadiki,  $\omega_1$ -chastotali signal  $\omega_1$ -spektrga,  $2\omega_1$ -chastotali signal esa  $2\omega_1$ -chastotali spektrga ega. Bu chastota spektrning *yuqori chegaraviy chastotasi* ( $f_m$ ) deb ataladi. Demak,  $\omega > 2\pi f_m$  bo'lganda signal spektri  $\dot{S}(\omega) = 0$  ga teng bo'ladi.



7.7-rasm

Bu kabi signallarga misol sifatida  $\sin x/x$  ko'rinishida qatorga yoyilgan  $\sin x$  misol bo'la oladi (7.6b-rasm). Bu ko'rinishdagi qatorga yoyish 1933-yilda V.Kotelnikov tomonidan teorema isbot qilinganidan keyin keng tarqaldi.

Davriy bo'lmagan signallar chegaralanmagan spektrga ega bo'ladi. Chunki bunday signallar garmonikalari amplitudalari butun chastotalar oralig'ida noldan farqli bo'ladi.

To'g'ri signal spektrini bunday chegaralash signal shaklini o'zgarishi va energiyasining biroz o'zgarishiga olib keladi. Ammo signal spektrini bunday chegaralash natijasida sodir bo'ladigan o'zgarishlar juda kichik bo'lib, umumiy natijasiga deyarli ta'sir etmaydi. Masalan: Davriy to'g'riburchakli signalning bitta davrdagi energiyasining 95% chastotaning 0 dan  $2(\frac{2\pi}{T})$  oralig'iga to'g'ri keladi. Qolgan 5% energiya chastotalarning qolgan barchasi bo'yicha taqsimlanadi.

Amalda spektr kengligini chegaralash o'rganilayotgan masala shartiga, ya'ni signal energiyasining qanday qismini qayd qilinishi zarurligidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi. Shuning uchun signal spektri kengligi sifatida chastotaning shunday qiymati olinadiki, bu qiymat oralig'ida

joylashgan garmonikalar energiyalari yig'indisi qayd qilinishi zarur bo'lgan signal energiyasi qiymatiga teng bo'lsin.

Ixtiyoriy signal spektri kengligi signal davomiyligiga bog'liq. Signal davomiyligi qanchalik kichik bo'lsa signal spektri shunchalik keng bo'ladi.

### 7.7 Kotelnikov teoremasi

Signallarni klassifikatsiyalashda biz signallar uzluksiz va diskret bo'lishi mumkin degan edik. Ma'lumki, uzluksiz funksiyalar yordamida ifodalanadigan signallar uzluksiz signallar deyiladi. Ko'pincha real signallar uzluksiz signallardir. Nutq, musiqa, tasvirlarni uzatish bilan bog'liq signallar uzluksiz signallar hisoblanadi. Ammo ba'zi bir, masalan to'g'riburchakli signallar uzluksiz signallar qatoriga kirmaydi. Ularda vaqtning ba'zi momentlarida amplituda sakrab birdaniga o'zgaradi. Ba'zi uzluksiz signallar chegaralangan spektrga ega.

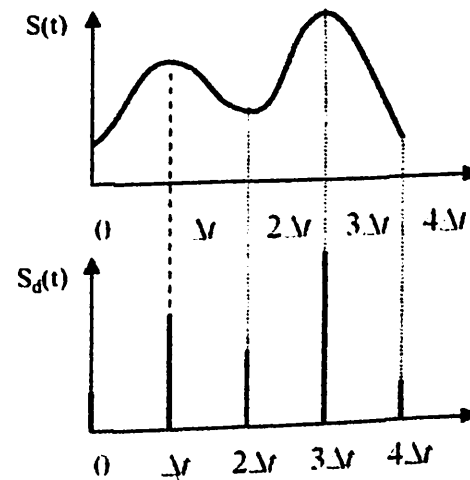
Signallarni uzatishda amalda uzluksiz ko'rinishda emas, balki diskret ko'rinishda uzatish qulay bo'lib, keyinchalik uni diskret shakldan uzluksiz signalga tiklab olinadi. Bunda deyarli axborot yo'qolishiga yo'l qo'yilmaydi. Uzluksiz signal qanday qilib diskret signalga aylantiriladi? Buni matematik asosini 1933-yilda V.Kotelnikov ko'rsatib bergan va u fanda Kotelnikov teoremasi, xorijiy adabiyotlarda esa Shannon-Naykvist teoremasi deyiladi.

Teorema quyidagicha aytiladi:

*Spektri chegaralangan uzluksiz signal vaqtning  $\Delta t = 1/2f_m$  diskret momentlaridagi o'zining qiymatlari orqali to'liq aniqlanadi.* Bu qiymatlar bir-biridan  $\frac{\pi}{\omega_m}$  vaqt oralig'ida joylashgan bo'ladi.  $\omega_m$  - signalning yuqori chegaraviy chastotasi, demak bu chastotadan keyin spektr chiziqlari yo'q.

Uzluksiz va spektri chegaralangan signal uzatilayotgan bo'lsin. Yuqori chegaraviy chastota

$\omega_{yu}$  ga teng. Kotelnikov teoremasiga ko'ra signalning doimiy amplitudasi



7.8-rasm.

$\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t \dots$  diskret vaqt momentlarda aniq o'Ichangan deylik. 7.8-rasmda uzluksiz signal va diskret signalning vaqt diagrammalari keltirilgan. U holda bu signalning ixtiyoriy vaqt momentidagi qiymatini hisoblash mumkin, ya'ni shu diskret qiymatlariga ko'ra tiklash mumkin. Bunda Kotelnikov qatori deb ataluvchi formuladan foydalaniladi:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S(k \cdot \Delta t) \frac{\sin 2\pi f_m(t - k \cdot \Delta t)}{2\pi f_m(t - k \cdot \Delta t)} \quad (7.23)$$

(7.23) ifodadagi birinchi qo'shiluvchi  $S(k \cdot \Delta t)$  ko'paytma  $t_k = k \cdot \Delta t = k/2f_m$  vaqt momentidagi  $S(t)$  ning tanlangan qiymatini, ikkinchisi esa  $\sin x/x$  funksiyani ifodalaydi.

Tabiiy hol, signalning oniy qiymatini aniqlashga oid bo'lgan barcha sanoqlar  $(n \cdot \Delta t, m \cdot \Delta t)$  oraliqda bo'lganligi uchun, signal (7.23) ifoda bilan emas, balki quyidagi ifoda bilan ba'zi xatoliklar orqali tiklanadi:

$$S^*(t) = \sum_{k=-n}^m S(k \cdot \Delta t) \frac{\sin 2\pi f_m(t - k \cdot \Delta t)}{2\pi f_m(t - k \cdot \Delta t)} \quad (7.24)$$

Barcha radiotexnik qurilmalar chegaralangan o'tkazish kengligiga ega. Shuning uchun biz amalda chastotaviy o'tkazish kengligi yuqori chegaraviy chastotaga teng signallar bilan ishlaymiz. Shuning uchun diskret vaqtlarda o'Ichangan qiymatlarni uzatish orqali bu signallarning ixtiyoriy vaqt momentidagi qiymatini anqlash mumkin. Bunda faqat ikkita shart bajarilishi kerak:

1. Uzatilayotgan signal spektri chegaralangan bo'lishi kerak.
2. Alohida qiymatlarga mos impulslarni uzatish chastotasi  $f_d > 2f_m$  bo'lishi kerak.

#### Nazorat savollari

1. Signal deb nimaga aytiladi? Signallar klassifikatsiyasi.
2. Superpozitsiya prinsipini tushuntiring.
3. Murakkab signallarni sodda ko'rinishida tavsiflash uchun bajarilishi kerak bo'lgan shartlar.
4. Murakkab elektr signallarni Fure qatori yordamida tavsiflash.
5. Garmonik tashkil etuvchilarni ifodalovchi Fure koeffitsiyentlarini formulasini yozing.

6.  $U_0, U_{mn}$  va  $\varphi_n$  larni aniqlash.
7. Signal spektri nima?
8. Davriy garmonik signallar spektrini tushuntirish.
9. Davriy to'g'ri to'rtburchakli signallar spektrini tushuntiring.
10. Davriy signal chuqurligi nima?
11. Davriy bo'lmagan signallar spektrini tushuntirish.
12. Davriy bo'lmagan signal uchun normallashtirilgan funksiyani hosil qilish.
13. Davriy bo'lmagan signal spektri qanday topiladi?
14. Furening to'g'ri almashtirishi uchun ifodani yozing.
15. Furening teskari almashtirishi uchun ifodani yozing.
16. Signalning spektral zichligi deb nimaga aytiladi?
17. Spektri chegaralangan signallar.
18. Spektr kengligi nimaga yutiladi?
19. Kotelnikov teoremasini tushuntiring.
20. Diskret qiymatlar orqali signallarni uzatish shartlari.

## Glossary

*Almashtirish (ekvivalent) sxemalari* – parametrlari almashtirilayotgan elementlar parametrlaridek, ideal elementlardan tuzilgan elektr zanjirining grafik tasviri.

*Aktiv element* – bipolyar va maydonli tranzistorlar, raqamli va analog mikrosxemalar, elektron lampalar, magnetronlar, klistronlar, lazerlar va shu kabilari.

*Absolyut buzilish* – chastotaning rezonans chastotadan qancha qiymatga chetlashganini ko'rsatuvchi  $\Delta f = f - f_0$  kattalik.

*Aktiv qarshilik* – elektr energiyasini boshqa tur energiyaga, ko'proq issiqlik (shuning uchun qarshilikni aktiv deyish qabul qilingan, zero passiv qarshiliklar ham mavjud) energiyasiga qaytmas o'zgarishi bilan bog'liq elektr zanjiri yoki uning bir qismi qarshiligi.

*Ikki qutbli zanjir* – ikkita chiqishi bo'lgan elektr zanjiri.

*Ketma-ket kontur* – generator va kontur elementlari ketma-ket elektr zanjirini hosil qiladigan tebranish konturi.

*Ko'p qutbli zanjir* – zanjirining bo'g'inlaridan biri bo'lib, to'rtidan ko'p chiqishlarga ega.

*Kuchaytirgich* – agar energiyani boshqarish uzluksiz, bir me'yorda va o'zgarish qonuni saqlangan holda bo'lsa, uni *kuchaytirish jarayoni* deb, amalga oshiruvchi qurilma esa kuchaytirgich deb ataladi.

*Kuchaytirish koeffitsiyenti* – kuchaytirgichning chiqishidagi kattalik qiymatining kirishidagi kattalik qiymatiga nisbati. U kuchaytirgich chiqishida qaysi bir kattalik tok, kuchlanish yoki quvvat asosiy bo'lishiga qarab aniqlanadi va mos nom bilan ataladi.

*Kuchaytirgichning chastotaviy (yoki amplituda-chastotaviy) xarakteristikasi* deganda kuchaytirish koeffitsiyenti modulining chastotaga bog'liqligi, *fazaviy (yoki faza-chastotaviy) xarakteristika* deganda kuchaytirgich chiqish va kirish kuchlanishlari orasidagi faza farqining chastotaga bog'liqligi tushuniladi.

*Tebranish konturining o'tkazish sohasi* – rezonans chastota yaqinidagi chastotalar oralig'ida bo'lib, bu oralig'ida konturning uzatish koeffitsiyenti  $\sqrt{2}$  marta kamayadi.

*Logarifmik dekrement* – ixtiyoriy momentda konturda mavjud bo'lgan energiyaning qanday qismi tebranish davrining yarmiga teng vaqt ichida issiqlikka aylanishini ko'rsatadigan kattalik.

*Operatsion kuchaytirgich (OK)* – o'zgarimas tok kuchaytirgichi bo'lib, juda katta ichki kuchaytirish koeffitsiyenti va differensial kirishga ega.

*Parametrlari mujassamlashgan zanjirlar* – fizik o'lchamlari ishchi to'lqin uzunligidan juda kichik bo'lgan elektr zanjirlari.

*Raqamli signallar* – sath bo'yicha kvantlangan, vaqt bo'yicha diskret bo'lgan signallarga aytiladi. Bu kabi signallar to'liq raqamlar ketma-ketligi bo'yicha ifodalanadi.

*Signal* – qandaydir kuzatuv ob'ekti haqidagi infokatsiyani tashuvchi fizik jarayon. Xabar tashuvchi kuchlanish yoki tok bo'lsa *elektr signali*, elektromagnit to'lqinlar bo'lsa *radiosignal* deyiladi.

*To'rt qutbli zanjir* – juft “kirish” va “chiqish” chiqishlardan iborat bo'lib, to'rtta qutbga ega.

*Tebranish konturi* – induktiv g'altak va kondensatordan tuzilgan berk elektr zanjiri.

*Teskari bog'lanish* – kuchaytirgichdan kuchayib chiqqan signal energiyasining bir qismini uning kirishiga qayta uzatish jarayoni.

*Tranzistor* – inglizcha *transfer* – o'zgartiruvchi, hamda, *resistor* – qarshilik so'zlari birikmasidan hosil bo'lgan bo'lib, elektr tokini o'zgartirish xususiyatiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbob hisoblanadi va elektr signalini hosil qilish, kuchaytirish va qayta ishlash uchun qo'llaniladi. Bipolyar va maydonli tranzistorlar mavjud.

*Tranzistorni ulanish sxemalari* – umumiy bazali (UB); umumiy emitterli (UE); umumiy kollektorli (UK).

*Tok kuchuni stabillash* – tok kuchi yoki kuchlanish qiymatini bir me'yorda tutib turish jarayoni deb ataladi.

*Umumlashgan buzilish* – konturning reaktiv qarshiligini uning yo'qotish qarshiligiga nisbati sifatida aniqlanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. А. П. Молчанов, П. Н. Занадворов. Курс электротехники и радиотехники: учеб. пособие. — 4-е изд., стереотипн. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 608 с.
2. V.K. Mehta, Rohit Mehta. Principles of Electronics. S. Chand Publishing, 12 Edition-2022 M01 3 - 1040 p.
3. Матвиенко В.А. Основы теории цепей: учебное пособие для вузов. — Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. — 162 с.
4. Paul Scherz., Simon Monk. Practical Electronics for Inventors. Fourth Edition-McGraw-Hill Education, 2016-1056p.
5. Смирнов Ю.А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники. Санкт Петербург-Лань-2024-496с.
6. Stepanenko I.P. Osnovi teorii tranzistorov i tranzistornix sxem. M.: 1978.
7. Nigmatov X. Radioelektronika asoslari. Toshkent, "O'zbekiston". 1994.
8. А. С. Левченко, К. С. Коротков, В. М. Аванесов, Н. А. Яковенко / Основы электроники: лабораторный практикум. — Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2020. — 158 с. .
9. Gershunskiy V.S. Osnovi elektroniki i mikroelektroniki. M.: 1987.
10. Борздов В.М. Основы радиоэлектроники. Курс лекций. Минск: БГУ, 2003. 196 с.
11. А.В. Карпов, С.А. Калабанов, Р.А. Ишмуратов. Основы цифровой электроники: учебное пособие/— Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2019.—75 с
12. Пономаренко В.К., Хардинов Е.В., Файзуллаева А.В. Элементы систем автоматизации: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД. — СПб., 2019.— 138 с.
13. Сацук, С. М. Основы радиоэлектроники: учеб.-метод. пособие — Минск : БГУИР, 2020. — 122 с.
14. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов — Москва: КноРус, 2013. — 798 с.
15. Зырянов Ю.Т., Удовикин В.Л., Белоусов О.А. - Радиоприемные устройства в системах радиосвязи: учебное пособие - Издательство "Лань" - 2018 - 320с.
16. В. И. Нефедов, А. С. Сигов. Основы радиоэлектроники и связи. М.: Высшая школа. 2009— 736 с.
17. Каганов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи: учебное пособие— 2-е изд., стер. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2018. — 542 с.

## MUNDARIJA

<b>KIRISH</b>	3
<b>I BOB. ELEKTR ZANJIRI VA ULARNING TURLARI</b>	11
1.1 Elektr zanjiri	11
1.2 Elektr zanjiri elementlari	12
1.3 Elektr zanjirining real elementlari	20
1.4 Elektr zanjirlari turlari	22
1.5 Chiziqli elektr zanjirlari	23
1.6 Chiziqli bo'lmagan elektr zanjirlari	26
1.7 Parametrik zanjirlar	28
1.8 Elektr zanjirlarining asosiy qonunlari	29
1.9 Ekvivalent almashtirishlar	31
1.10 Elektr zanjirlarini chiziqli bo'lmagan elementlari	34
1.11 Garmonik o'zgaruvchi tok	40
1.12 Garmonik o'zgaruvchan tokning elektr zanjiri elementlaridan o'tishi	42
1.13 Chiziqli zanjirdagi jarayonlarni tahlil qilish metodlari	45
1.14 RC-zanjirdagi o'tish jarayonlari	47
1.15 Signallarni differensiallash va integrallash	52
1.15.1 Differensiallovchi zanjir	53
1.15.2 Integrallovchi zanjirlar	57
1.16 Tebranish konturlari	60
1.17 Ideal tebranish konturidagi erkin tebranishlar	61
1.18 Real konturlarda erkin tebranishlar	66
1.19 Tebranish konturining parametrlari	71
1.20 Yakka konturlarning turlari	72
1.20.1 Ketma-ket tebranish konturlaridagi o'tish jarayonlari	73
1.20.2 Kuchlanish rezonansi	75
1.20.3 Ketma-ket tebranish konturining amplituda-chastotaviy xarakteristikasi	77
1.20.4 Parallel tebranish konturlari	81
1.21 Bog'langan tebranish konturlari	86
1.21.1 Konturlar orasidagi bog'lanishlar	87
1.21.2 Kiritilayotgan qarshilik va kritik bog'lanish	90
1.21.3 Bog'langan konturlarning AChX va o'tkazish sohasi	94
Nazorat savollari	98

<b>2 BOB. YARIMO'TKAZGICHLI ASBOBLAR</b>	100	3.7 Kuchaytirgichlarda teskari bog'lanish	193
2.1 Elektro'tkazuvchanlik nazariyasining asosiy tushunchalari	100	3.7.1 Teskari bog'lanishning kuchaytirgichning amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikasiga ta'siri	198
2.1.1 Aralashmali yarimo'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik	105	3.7.2 Teskari bog'lanishning kuchaytirgichning chiqish va kirish qarshiligiga ta'siri	199
2.2 Yarimo'tkazgichlarning asosiy xususiyati va xarakteristikalari	108	3.7.3 Teskari bog'lanish zanjirini kuchaytirish sxemasiga kiritish	200
2.2.1 Fermi sathi va temperatura potentsiali	108	3.8 Emitter qaytargichi	203
2.2.2 Elektr o'tishlar	111	3.9 O'zgarmas tok kuchaytirgichi	207
2.3 P-n o'tish hodisasi	112	3.10 Differensial kuchaytirgich	209
2.3.1 To'g'ri ulash	115	3.11 Operatsion kuchaytirgichlar	212
2.3.2 Teskari ulash	116	3.11.1 Operatsion kuchaytirgichning asosiy xarakteristikalari	216
2.3.3 P-n o'tishning volt-amper xarakteristikasi	117	3.12 Operatsion kuchaytirgichni qo'llanilishi	219
2.4 Real p-n o'tishdagi jarayonlar	119	3.12.1 Operatsion kuchaytirgichni inventirolovchi (faza o'zgartiruvchi) ulanishi	219
2.4.1 P-n o'tishdagi sig'implar	119	3.12.2 Operatsion kuchaytirgichni inventirlamaydigan (faza o'zgartirmaydigan) ulanishi	221
2.4.2 P-n o'tishdagi buzilishlar	121	3.12.3 Operatsion kuchaytirgichning differensial ulanishi	223
2.5 Yarimo'tkazgichli diodlar va ularning klassifikatsiyasi	125	3.12.4 Kuchlanishni-tokka almashtiruvchi OK sxemasi	224
2.5.1 Yarimo'tkazgichli diodlarning turlari	127	3.12.5 Tok-kuchlanish almashtirgichi	225
2.5.2 Yarimo'tkazgichli diodning ish rejimi	130	3.12.6 Qaytargichlar	226
2.6 Bipolyar tranzistor	132	3.12.7 Summatorlar	227
2.6.1 Bipolyar tranzistordagi fizik jarayonlar va uning ishlash prinsipi	134	3.12.8 Integrallovchi qurilma (Integrator)	229
2.6.2 Bipolyar tranzistorning ulanish sxemalari	138	3.12.9 Differensiallovchi qurilma (Differensiator)	230
2.6.3 Bipolyar tranzistorning statik xarakteristikalari	141	3.12.10 To'g'rilagichlar	230
2.6.4 Bipolyar tranzistorning dinamik xarakteristikalari	144	3.13. Yuqori chastotali kuchaytirgichlar	231
2.6.5 Bipolyar tranzistorlarning kuchaytirish xususiyatlari	147	3.13.1 Rezonans kuchaytirgich	232
2.6.6 Bipolyar tranzistorning fizik parametrlari	149	3.13.2 O'zgarmas sohali kuchaytirgich	236
2.6.7 Tranzistorning ekvivalent sxemalari	153	Nazorat savollari	239
2.7 Maydonli tranzistorlar	158	<b>4 BOB. ELEKTR SIGNALI GENERATORLARI</b>	241
2.7.1 Boshqariluvchi p-n- o'tishli maydonli tranzistorlar	159	4.1 Generatsiya shartlari	242
2.7.2 Zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar	165	4.2 Generatorlarning ish rejimi	245
Nazorat savollari	171	4.3 RC – generator	248
<b>3 BOB. ELEKTR SIGNALLARINI KUCHAYTIRISH</b>	173	4.4 Ikki kaskadli RC - generator	250
3.1 Elektr signallarini kuchaytirishning fizik asoslari	173	4.5 LC - generator	253
3.2 Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlari	176	4.6 Multivibrator	259
3.3 Kuchaytirgichlardagi buzilishlar	182	Nazorat savollari	267
3.4 Kuchaytirgichning ish rejimlari	184		
3.5 Kuchaytirgichning ish rejimlarini hosil qilish	186		
3.6 RC-kuchaytirgich	191		

<b>5 BOB. ELEKTRON QURILMALAR UCHUN IKKILAMCHI</b>	268
<b>MANBALAR</b>	268
5.1 O'zgaruvchan tokni to'g'rilash	273
5.2 Filtrlar	280
5.3 Elektron stabilizatorlar	282
5.3.1 Kirishdan boshqariluvchi elektron stabilizator	284
5.3.2 Chiqishdan boshqariluvchi stabilizatorlar	287
Nazorat savollari	288
<b>6 BOB. RAQAMLI ELEKTRONIKA ASOSLARI</b>	288
6.1 Analogli va raqamli signallar	292
6.2 Mantiqiy o'zgaruvchilar	294
6.3 Ikkilangan kodlash	296
6.4 Mantiqiy sxemalar nazariyasining asosiy qoidalari	301
6.5 Mantiqiy algebraning asosiy qonunlari	302
6.6 Mantiqiy funksiyalar va ular asosida sxemalar tuzish	304
6.7 Asosiy mantiqiy elementlarning sxemotexnik amalga oshirilishi	306
6.8 Funksional tuzilmalar	307
6.8.1 Kombinatsion ko'rinishdagi raqamli qurilmalar	310
6.8.2 Ketma-ket ko'rinishdagi raqamli qurilmalar	319
Nazorat savollari	321
<b>7 BOB. SIGNALLAR</b>	321
7.1 Signallar klassifikatsiyasi	324
7.2 Davriy signallar spektri	326
7.3 Davriy to'g'ri burchakli impuls spektri	328
7.4 Davriy bo'lmagan signallar spektri. Spektral zichlik	329
7.5 To'g'riburchakli impulsning spektral zichligi	331
7.6 Spektri chegaralangan signallar. Spektr kengligi	333
7.7 Kotelnikov teoremasi	334
Nazorat savollari	336
<b>GLOSSARIY</b>	338
<b>FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR</b>	

ISBN 978-9910-709-46-3



9 789910 709463