

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

BUXORO MUXANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

“Elektrotexnika va ich akt” fakulteti

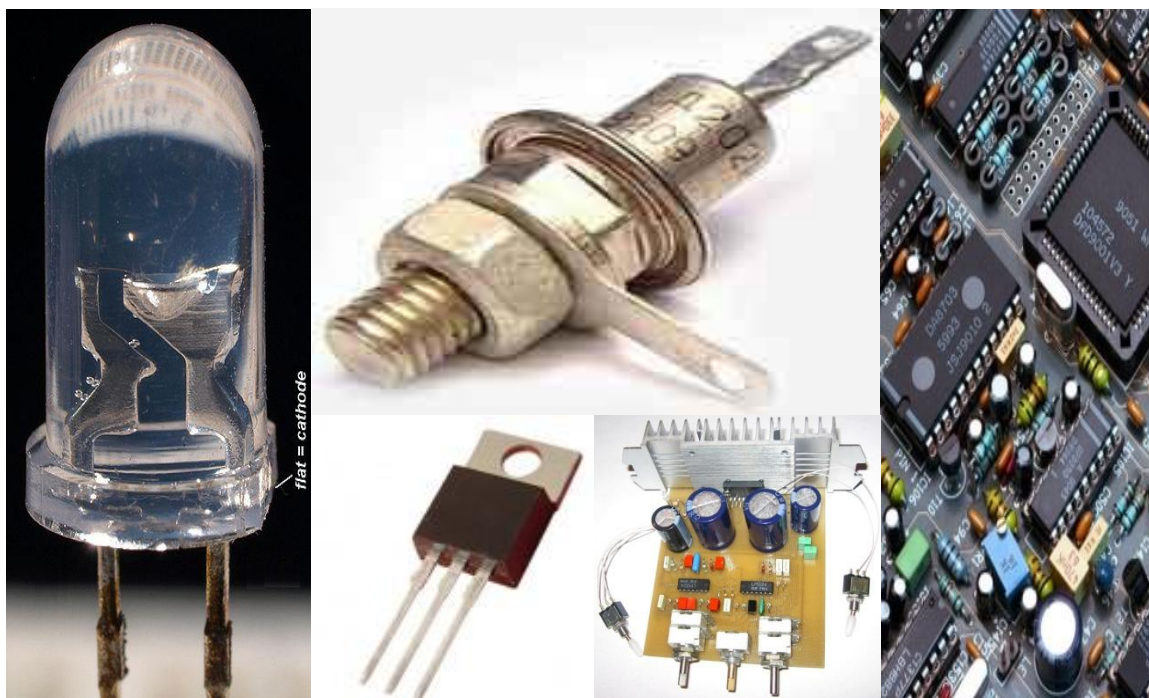
“Elektroenergetika” kafedrası

ELEKTRONIKA

FANIDAN

MA'RUZALAR MATNI

**I.I. Hafizov
M.D. Talabov**



Buxoro – 2018

MUNDARIJA

1. Kirish.Yarim o'tkazgichli asboblari. Yarim o'tkazgichli materiallarda o'tkazuvchanlikni hosil qilish.....
2. Yarim o'tkazgichli materiallarning ahamiyati, ularda o'tkazuvchanlikni hosil qilish. Energetik zonalar nazariyasi. Yarim o'tkazgichli asboblarning turlari.....
3. Yarim o'tkazgichli diodlar. Elektron-kovak (p-n) o'tish hosil bo'lishi, elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari va tasviflari, votl-amper xarakteristikasi. Tashqi kuchlanish ta'sirida elektron-kavak o'tish.....
4. Diodning asosiy parametrlari. Yarim o'tkazgichli diodda o'tkinchi jarayonlar. Yarim o'tkazgichli diodlar, turlari, ularning xarakteristikalarini va parametrlari.....
5. Nuqtaviy diodlar. Stabilitronning tuzilishi va ishlash prinsipi. Tunel diodlarning tuzilishi va ishlash prinsipi.Varikaplarning tuzilishi va ishlash prinsipi.....
6. Tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlar. tuzilishi, ishlash prinsipi, statik tavsiflari va parametrlari. Bipolyar tranzistorning sxemaga ulash usullari. Bipolyar tranzistorning dinamik ish rejimlari.....
7. Maydonli tranzistorlar tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy xarakteristikalarini va parametrlari. Maydonli tranzistorning umumiy zatvor, umumiy stok va umumiy istok bo'yicha ulanish sxemalari.....
8. Tiristorlar. Tiristorlarning tuzilishi ishlash prinsipi, asosiy xarakteristikalarini va parametrlari. Dinistop- ikki ekvivalent tranzistor misolida.....
9. Integral mikrosxemalar. Ishlab chiqarish texnologiyasi, ishlatilish sohalari.....
10. Kuchaytirgichlar. Kuchaytirgichlarning turlari, asosiy xarakteristikalarini va parametrlari. Teskari bog'lanish va ularni kuchaytirgichlarda kullanishi.....
11. Quvvat kuchaytirgichlari. Operatsion kuchaytirgichlar. Differensial kuchaytirgichlar.....
12. Elektron generatorlar. LC va RC avtogeneratorlari. Operatsion kuchaytirgichlar asosidagi generatorlar.....
13. Impuls jixozlari va mantiqiy elementlar. RS, D, T, JK triggerlar.....
14. Impuls sanaydigan va taksimlaydigan sxemalar. Registrlar. Xotiralovchi sxemalar. RS zanjirlari.....
15. Bir fazali tugrilagichlar, yarim davrli, to'liq davrli, nol nuqtali hamda ko'prik chizmalı to'g'rilagichlar.....
16. Uch fazali to'g'rilagichlar hamda boshqarilmaydigan va boshqariladigan to'g'rilagichlar.....
17. Kuchlanish invertorlari. Tok invertorlari.....
18. Chastota o'zgartirgichlar.....

1-Mavzu. Kirish.Yarim o'tkazgichli asboblari. Yarim o'tkazgichli materiallarda o'tkazuvchanlikni hosil qilish.

Elektronika – elektronlarni elektr maydoni bilan ta'sirini va axborot uzatish, qayta ishlash va saqlashda qo'llaniladigan elektron asbob va qurilmalarni yaratish usullarini o'rganish bilan shug'ullanadigan fan.

Elektronika, avvalambor inson jamiyatining axborotga bo'lgan talablarini qondirishga mo'ljallangan. Ishlab chiqarish kuchlarining va ishlab chiqarish munosabatlarining rivojlanishi texnika va texnologiyaning yangi turlarini yaratishga asoslangan va axborot vositalarining rivojlanishi bilan kuchli ravishda bog'liq. Insonlar o'rtasidagi axborot almashish qurilmalarining rivojlanish tarixi bir necha bosqichlardan iborat: harakat va mimika, tovush, yozuv, kitob bosmasi, elektronika. Hozirgi kunda axborot uzatish, qayta ishlash va saqlash qurilmalarining barchasi inson jamiyati tomonidan ishlatilmoqda. Axborot uzatishning yangi usuliga o'tish doim jamiyatda ishlab chiqarish kuchlarini keskin o'sishiga olib kelgan. Elektronika uzoq masofalarga uzatilayotgan axborotning uzatish tezligi va hajmini keskin ortirdi. Elektronika rivojlanish jaaryonida to'rt bosqichni bosib o'tdi.

Birinchi bosqich 1895 yilda A.S. Popov tomonidan simsiz telegraf – radio ixtiro qilinishi bilan boshlandi. Bu davrdagi aloqa qurilmalari passiv elementlardan: simlar, induktivlik g'altaklari, magnitlar, rezistorlar, kondensatorlar, elektromexanik qurilmalar (almashlab ulagichlar, rele va boshqalar) dan iborat edi.

Ikkinchi bosqich 1906 yili L.de Forest tomonidan birinchi aktiv elektron asbob - triod lampasining yaratilishi bilan boshlandi. Triod – elektr signallarini turli o'zgartirish usullariga ega bo'lgan, asosan – quvvat kuchaytirish xossasiga ega bo'lgan birinchi aktiv elektron asbob bo'ldi. Kuchsiz signallarni elektron lampalari yordamida kuchaytirish hisobiga telefon orqali suhbatlarni uzoq masofalarga uzatish imkoniyati yuzaga keldi. Elektron lampalari radio orqali tovush, musiqa, keyinchalik esa televidenie orqali tasvirlarni ham uzatishga o'tishga imkon yaratdi. Ikkinchi bosqich elektronika apparaturalari elementlariga – elektron lampalar, rezistorlar, kondensatorlar, transformatorlar kiradi.

Uchinchi bosqich 1948 yili Dj. Bardin, V. Brattein va V. Shoklilar tomonidan qattiq jismli (yarim o'tkazgichli) elektronikaning asosiy aktiv (kuchaytirgich) elementi bo'lgan - bipolyar tranzistorning kashf etilishi bilan boshlandi. Tranzistor elektron lampaning barcha funktsiyalarini bajarishga qodir.

Tranzistor yaratilishi bilan, uning almashlab ulagich vazifasini bajara olish xossasi, kichik o'lchamlari va yuqori ishonchliliga ko'ra bir necha ming elektr radioelementlardan (ERE) tashkil topgan murakkab elektron qurilma va tizimlarni yaratish imkoniyati tug'ildi. Bunday qurilmalarni loyihalash juda oson, lekin xatosiz yig'ish va ishlashini ta'minlash esa deyarli mumkin emas edi. Gap shundaki, har bir ERE alohida yaratilgan edi (diskret elementlar) va boshqa elementlar bilan individual bog'lanishni (montajni) talab qilar edi. Hatto juda aniq montajda ham uzilish, qisqa tutashuv kabi xatoliklar yuzaga kelar va tizimni darhol ishg'a tushishini ta'minlamas edi. Masalan, 50 yillar so'ngida yaratilayotgan

EHMlar o'nlab rezistor va kondensatorlarni hisobga olmaganda, 100 mingga yaqin diodlar va 25 mingtacha tranzistorlardan iborat edi.

Diskret elementlar quyidagi xossalarga ega: o'rtacha quvvati 15 mVt, o'lchamlari (bog'lanishlari bilan) 1 sm^3 , o'rtacha og'irligi 1 g va buzilish ehtimolligi 10^{-5} s^{-1} . Natijada diskret elementlardan tuzilgan EHMning sochilish quvvati 3 kVt, o'lchamlari $0,2 \text{ m}^3$, og'irligi 200 kg bo'lib, har bir soatda ishdan chiqar edi. Bu albatta EHM ish qobiliyatini kichikligidan dalolat beradi. Bunday diskret tranzistorli texnika yordamida murakkab elektron qurilmalarni yaratish imkoni mavjud emas. Demak, buzilishlar ehtimoli, o'lchamlari va og'irligi, tannarxi va boshqalar bir necha darajaga kichik bo'lgan sifatli yangi element baza yaratish talab qilinardi. Integral mikrosxemalar xuddi shunday element baza talabalariga javob berdi.

To'rtinchi bosqich integral mikrosxemalar (IMS) asosida qurilma va tizimlar yaratish bilan boshlandi va **mikroelektronika davri** deb ataladi.

Mikroelektronikaning birinchi mahsulotlari – integral mikrosxemalar 60 yillar so'ngida paydo bo'ldi. Hozirgi kunda IMSlar uch xil konstruktiv – texnologik usullarda yaratiladi: qalin pardali va yupqa pardali gibridd integral mikrosxemalar (GIS) va yarim o'tkazichli integral mikrosxemalar.

Integral mikrosxemalar radio elektron apparaturalarda elementlararo ulanishlarni ta'minlash bilan birgalikda, ularning kichik o'lchamlarini, energiya ta'minotini, massa va material hajmini ta'minlaydilar. Ko'p sonli chiqishlar va qobiqlarning yo'qligi radio elektron apparaturalarning hajmi va massasini kichraytiradi.

Elektronikaning rivojlanishiga elektrovakuum asboblarning paydo bo'lishiga asos bo'ldi. Ko'pchilik elektrovakuum asboblarning ishlashi termoelektron emissiyaga, ya'ni vakuumda qizdirilgan metallardan elektronlarning uchib chiqishiga asoslanadi.

Elektrovakuum asboblarning yeng soddasi, - ichiga ikki elektrod (anod va katod) joylashtirilgan, havosi so'rib olingan shisha balon – elektrovakuum diod hisoblanadi. Agar diodning anodini tashqi manbaning musbat qutbiga, katodni yesa manfiy qutbiga ulasak, lampadan anod toki I_a o'tadi.

E.YU.K. E_a o'zgarmas bo'lsa, lampadagi tok katodning qizdirilish darajasiga va anod bilan katod orasidagi kuchlanish U_a ga bog'liq bo'ladi. $I_a=f(U_a)$ bog'lanish diodning anod xarakteristikasi deyiladi.

Kuchlanish U_a teskari qutblanishda ulansa tok nolga teng bo'ladi. Bunga sabab manfiy zaryadlangan anodning elektronlarni o'zidan uzoqlashtirishidir. Elektron lampaning tokni faqat bir yo'nalishda o'tkazish xususiyatidan o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirishda foydalaniladi. Ikki elektrodli elektrovakuum asbobda tokning bir yo'nalishda o'tishini ta'minlovchi elektron jarayonlar yarim o'tkazgichlarda ham kuzatiladi.

Qattiq jism o'zlarining elektr o'tkazuvchanlik xususiyatiga ko'ra o'tkazgichlar, dielektriklar va yarim o'tkazgichlarga ajratiladi.

O'tkazgichlar guruhiga metallar va elektr o'tkazuvchanligi $10^5 - 10^6 \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$ bo'lgan materiallar kiradi.

Elektr o'tkazuvchanligi 10^{-10} - 10^{-15} $\text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$ tarkibda bo'lgan jismlar dielektriklar yoki izolyatorlar guruhini tashkil yetadi. Yarim o'tkazgichlar guruhiga yesa, elektr o'tkazuvchanligi 10^5 - 10^{10} $\text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$ bo'lgan barcha materiallar kiradi.

Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyati metallarnikidan sifat jixatdan farq qiladi. Ular quyidagilar:

- Oz miqdordagi aralashmaning o'tkazuvchanlikka kuchli ta'sir yetishi;
- O'tkazuvchanlik xarakteri va darajasining temperaturaga bog'liqligi;
- O'tkazuvchanlikning tashqi kuchlanishga kuchli bog'liqligi;

Demak, yarim o'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi qiymat jihatdan metallar bilan dielektrik elektr o'tkazuvchanligining oraligiga to'g'ri keladigan moddalar yekan.

Yarim o'tkazgich materiallarga kimyoviy yelementlarga germaniy, kremniy, kimyoviy birikmalara –metall oksidlari, (oksidlar), oltingugurt birikmalari (sulfidlar), selen birikmalari (selenidlar) va boshqalar misol bo'la oladi. Biz shulardan sof yarim o'tkazgich material – germaniy (yoki kremniy) ning ayrim xususiyatlari bilan tanishib chiqamiz. Germaniy sirtqi elektron qobig'ida 4 ta valent yelektron bor. Bu elektronlar qo'shni atomlarning har biri bip-biriga **kovalent bog'lanish** deb ataladigan juft elektronli bog'lanish tufayli o'zaro ta'sir ko'rsatadi. Bu bog'lanishni hosil bo'lishida har bir atomdan bittadan valentlik elektroni qatnashadi, bu elektronlar atomdan ajralib chiqib, kristalda mushtarak bo'lib qoladi va o'z harakatida ko'proq vaqt qo'shni atomlar orasidagi fazoda yuradi. Ularning manfiy zaryadi germaniyning musbat ionlarini bip-biri yaqinida tutib turadi.

Germaniyning juft elektronli bog'lanishlari ancha mustahkam bo'lib, past haroratlarda uzilmaydi. Shuning uchun past haroratda germaniy elektr tokini o'tkazmaydi.

Faraz qilaylik, kimyoviy sof germaniy kristalli yetarli yenergiyaga yega bo'lgan zarralar bilan bombardimon qilinayotgan bo'lsin. Bu holda bog'lanish yenergiyasidan katta yenergiya olgan elektronlar bog'lanishni uzib, yerkin elektronga aylanadi va o'z o'rnidan uzoqlashadi. Bunda atomning elektr jihatdan neytralligi buziladi va zaryadi elektronning zaryadiga teng bo'lgan musbat zaryad ortiq bo'lib qoladi. Bog'lanishlan chiqqan elektron bir vaqtda ikki atomga tegishli bo'ladi. Shuning uchun bir vaqtda ikki atomning qisman ionlanishi vujudga keladi. Bunda hosil bo'ladigan musbat zaryad bog'lanishda elektron yetishmasligini – bog'lanish yetishmovchiligi (defekti)ni ko'rsatadi. Uni **kavak** deb ataladi.

Kavak- vakant (bo'sh) o'rin bog'lanishdagi qo'shni elektron yoki ozod bo'lgan yerkin elektron bilan toldirilishi mumkin. Agar u yerkin elektron hisobiga to'ldirilsa, atomning elektr neytralligi tiklanadi. Bu jarayon **rekombinasiya** deb ataladi. Agar kavak qo'shni boglanishdagi elektronning siljishi hisobiga to'lsa, ko'chish o'rnida yangi kavak vujudga keladi.

Umuman olganda bog'lanishdagi elektronning bog'lanish defekti o'rniga o'tishi uzoq vakt ichida yuz beradi va tartibsiz xaotik harakatda bo'ladi.

Agar yarim o'tkazgich kristalli elektr maydoniga joylashtirilsa, bog'lanishni uzib chiqqan elektronlar manbaning musbat qutbi tomon ko'cha boshlaydi va elektron tokini hosil qiladi. Bu holda bog'lanish defektlarining ko'chishi ham

yoʻnalganlik xarakteriga yega boʻladi, yaʼni kavaklar manbaning manfiy qutbi tomon harakatlanadi va kavak toki vujudga keladi.

Shuni yodda tutish kerakki kavak toki elektronlar hisobiga, yaʼni bogʻlangan elektronlarning bir oʻrnidan ikkinchi oʻrniga oʻtishi hisobiga vujudga keladi. Shuning uchun kavaklarning koʻchishi uzlukli boʻladi. Lekin qulaylik uchun kavaklar elektronlar kabi yerkin tok tashuvchi deb olinib, harakati uzluksiz deb qaraladi.

Kavak toki ion tokidan tupdan farq qiladi. Chunki ion toki hosil boʻlishida elektrolitda joylashgan atom yoki malekula bir joydan ikkinchi joyga koʻchadi va maʼlum miqdordagi moddani olib oʻtadi. Kavak toki hosil boʻlishida yesa, atomlar koʻchmay, oʻz oʻrnida qoladi. Ularda navbat bilan ionlashish vujudga keladi.

Shunday qilib, kimyoviy sof yarim oʻtkazgich kristallida elektron kavak juftining hosil boʻlishi asosida ikki xil oʻtkazuvchanlik – elektron va kavak oʻtkazuvchanligi mavjud boʻlib, ularning miqdori – bir biriga tengdir.

Yarim oʻtkazgichning elektron oʻtkazuvchanligi **n-tur oʻtkazuvchanlik** (negative – manfiy soʻzdan olingan), **p-tur oʻtkazuvchanlik** (positive-musbat soʻzidan olingan) deb ataladi. Ular birgalikda yarim oʻtkazgichning **xususiy oʻtkazuvchanligi** deyiladi.

Yuqorida koʻrib chiqilgan oʻtkazuvchanlikni hosil qilish usuli rasional yemas. Chunki amalda oʻtkazuvchanlik turlaridan biri –yo elektron, yo kavak oʻtkazuvchanligi asosiy qilib olinadi. Uni sof germaniy (yoki kremniy) kristalliga begona modda qoʻshib qotishma tayorlash yoʻli bilan amalga oshiriladi. Kiritilgan begona moddaning (aralashmaning) miqdori asosiy kristall miqdoriga nisbatan juda oz boʻladi.

Yarim oʻtkazgichning muhim xususiyati shundan iboratki, ularda aralashmalar boʻlsa, **aralashmali oʻtkazuvchanlik** deb ataladigan qoʻshimcha oʻtkazuvchanlik paydo boʻladi. Aralashmaning konsentrasiyasini oʻzgartirib, musbat yoki manfiy ishorali zaryad tashuvchi zarralar sonini ancha oʻzgartirish mumkin. Yarim oʻtkazgichlarning bu xususiyati amalda qoʻllanishga keng imkoniyatlar ochib beradi.

Donorli aralashma. Yarim oʻtkazgichda juda oz konsentrasiyada aralashma boʻlsa, masalan, unga juda oz mishʼyak atomlari qoʻshilsa, yerkin elektronlar soni koʻp marta ortadi. Buning sababi quyidagicha. Mishʼyak atomlarining valentlik elektronlari beshta boʻladi. Ulardan toʻrtasi bu atomning atrofdagi atomlar bilan kovalent bogʻlanish hosil qilishida ishtirok yetadi. Beshinchi valentlik elektroni yesa oʻz atomi bilan zaif bogʻlangan. Bu elektron mishyak atomidan osongina chiqib ketib, yerkin boʻlib qoladi.

Elektronlarni oson beradigan va binobarin, yerkin elektronlari sonini oson ortiradigan aralashmalar **donor aralashmalar** deb ataladi.

Donor aralashma qoʻshilgan yarim oʻtkazgichlarda elektronlar soni teshiklar sonidan koʻp boʻlgani uchun bunday yarim oʻtkazgichlar **n-tip** yarim oʻtkazgich deb ataladi.

Akseptor aralashmalar. Aralashma sifatida uch valentli indiy olinsa yarim oʻtkazgich oʻtkazuvchanligining xarakteri oʻzgaradi. Bu holda indiy atomi qoʻshni atomlar bilan juft elektronli normal bogʻlanish hosil qilishi uchun unga bitta

elektron yetishmaydi. Natijada kovak hosil bo‘ladi. Bu holda kristalltagi kovaklar soni aralashmaning atomlari soniga teng bo‘lib qoladi. Bunday aralashma akseptor aralashmalar deb ataladi.

Shuni aytib o‘tish kerakki, yarim o‘tkazgich asboblarda asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar o‘tkazuvchanligi katta ahamiyatga ega. Ularning hosil bo‘lishi va tugatilishi rekombinasiya markazlari deb atalgan joylarda sodir bo‘ladi. Bunday markazlar vazifasini donor yoki akseptor yelementlarning tugunlari- atomlari bajaradi. Shuning uchun begona yelementlarning miqdori ortishi bilan rekombinasiya markazlari ham ko‘payadi va asosiy tok tashuvchilarning yashash vaqti qisqaradi. Bu hol begona yelementning miqdori va turini tanlashda albatta hisobga olinishi kerak.

Shunday qilib, biz yuqorida tanishgan o‘tkazuvchanlik turlarini hosil qilish usuli va uni tushuntirish juda yuzagi va taqribiydir. Ular asosan zonalar nazariyasi bilan tekshiriladi va miqdor o‘lchovlari kiritiladi.

Tekshirish uchun savollar.

1. Agar diodning anodini tashqi manbaning musbat qutbiga, katodni yesa manfiy qutbiga ulasak, lampadan qanaqa tok o‘tadi?
2. Ye.YU.K E_A o‘zgarmas bo‘lsa, lampadagi tok nimaga bog‘liq bo‘ladi?
3. Diodning anod xarakteristikasi deb nimaga aytiladi?
4. Yarim o‘tkazgich materiallarga kimyoviy yelementlardan qaysilari misol bo‘la oladi?
5. Germaniy sirtqi elektron qobigida nechta valent yelektron bor va qo‘shni atomlarning har bir jufti bip-biriga qanaqa bog‘langan?
6. Xususiy o‘tkazuvchanlik nima?
7. Kovak toki qachon hosil bo‘ladi?
8. Elektron toki qachon hosil bo‘ladi?
9. Rekombinasiya tushunchasini tushuntiring?
10. Aralashmali o‘tkazuvchanlik qachon paydo bo‘ladi?
11. Donor aralashma deb nimaga aytiladi?
12. Akseptor aralashma deb nimaga aytiladi?

2-Mavzu. Yarim o‘tkazgichli materiallarning ahamiyati, ularda o‘tkazuvchanlikni hosil qilish. Energetik zonalar nazariyasi. Yarim o‘tkazgichli asboblarning turlari.

Zamonaviy elektronika qurilmalari yarim o‘tkazgichli materiallardan tayyorlanadi. Yarim o‘tkazgichlar kristall, amorf va suyuq bo‘ladi. Yarim o‘tkazgichli texnikada asosan kristall yarim o‘tkazgichlar (10^{10} asosiy modda tarkibida bir atomdan ortiq bo‘lmagan kiritma monokristallari) qo‘llaniladi. Odatda yarim o‘tkazgichlarga solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi σ metallar va dielektriklar oralig‘ida bo‘lgan yarim o‘tkazgichlar kiradi (ularning nomi ham shundan kelib chiqadi). Xona temperaturasida ularning solishtirma elektr

o'tkazuvchanligi 10^{-8} dan 10^5 gacha Sm/m (metrga Siemens)ni tashkil etadi. Metallarda $\sigma = 10^6 - 10^8$ Sm/m, dielektrlarda esa $\sigma = 10^{-8} - 10^{-13}$ Sm/m. Yarim o'tkazgichlarning asosiy xususiyati shundaki, temperatura ortgan sari ularning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ham ortib boradi, metallarda esa kamayadi. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi yorug'lik bilan nurlantirish va hatto juda kichik kiritma miqdoriga bog'liq. Yarim o'tkazgichlarning xossalari **qattiq jism zona nazariyasi** bilan tushuntiriladi.

Har bir qattiq jism ko'p sonli bip-biri bilan kuchli o'zaro ta'sirlashayotgan atomlardan tarkib topgan. Shu sababli bir bo'lak qattiq jism tarkibidagi atomlar majmuasi yagona tuzilma deb qaraladi. Qattiq jismda atomlar bog'liqligi atomning tashqi qobig'idagi elektronlarni juft bo'lib birlashishlari (valent elektronlar) natijasida yuzaga keladi. Bunday bog'lanish **kovalent bog'lanish** deb ataladi.

Atomdagi biror elektron kabi valent elektron energiyasi W ham diskret yoki kvantlangan bo'ladi, ya'ni elektron **energetik sath** deb ataluvchi biror ruxsat etilgan energiya qiymatiga ega bo'ladi. Energetik sathlar elektronlar uchun ta'qiqlangan energiyalar bilan ajratilgan. Ular **ta'qiqlangan zonalar** deb ataladi. Qattiq jismlarda qo'shni elektronlar bip-biriga juda yaqin joylashganligi uchun, energetik sathlarni siljishi va ajralishiga olib keladi va natijada **ruxsat etilgan energetik zonalar** yuzaga keladi. Energetik zonada ruxsat etilgan sathlar soni kristaldagi atomlar soniga teng bo'ladi. Ruxsat etilgan zonalar kengligi odatda bir necha elektron – voltga teng (elektron – volt – bu 1V ga teng bo'lgan potentsiallar farqini yengib o'tgan elektronning olgan energiyasi). Ruxsat etilgan zonadagi minimal energiya sathi tubi (W_c), maksimal energiya esa shipi (W_v) deb ataladi.

1.1-rasmda yarim o'tkazgichning zona diagrammasi keltirilgan. Ta'qiqlangan zona kengligi ΔW_t yarim o'tkazgichning asosiy parametri bo'lib hisoblanadi.



1.1 – rasm.

Elektronikada keng qo'llaniladigan yarim o'tkazgichlarning ta'qiqlangan zona kengliklari ΔW_t (eV) quyidagiga teng: germaniy uchun – 0,67, kremniy uchun – 1,12 va galliy arsenidi uchun -1,38.

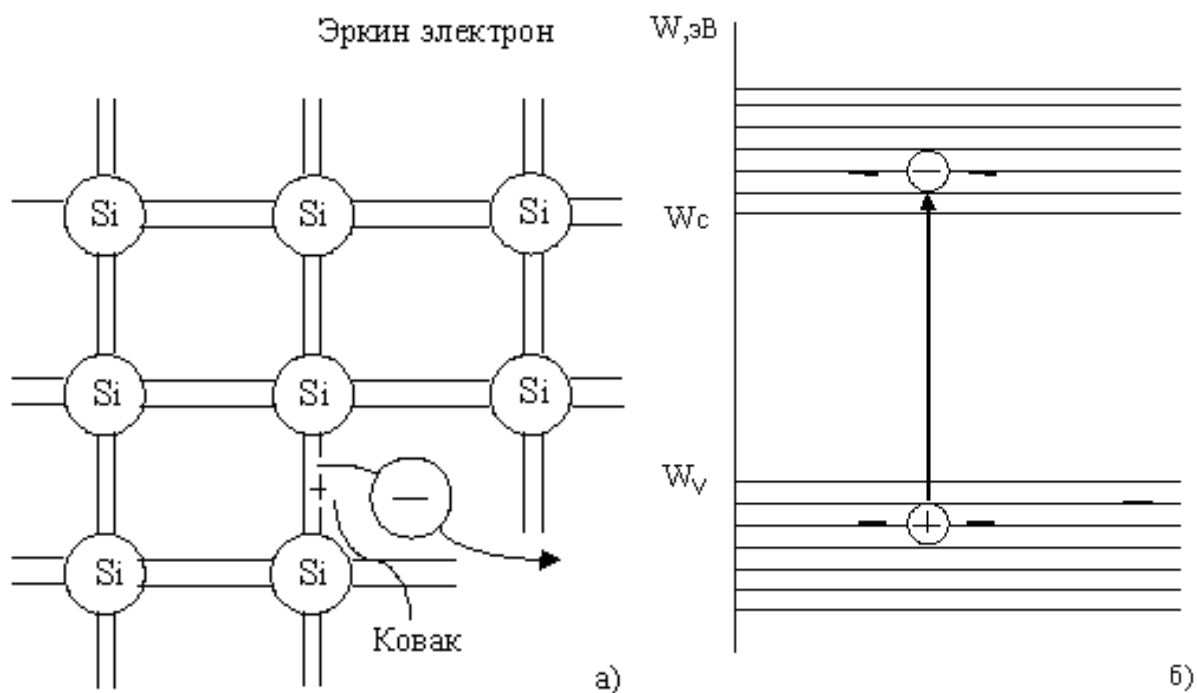
Dielektriklarda ta'qiqlangan zona kengligi $\Delta W_t \geq 2$ eV, metallarda esa ruxsat etilgan zonalar biP – biriga kirib ketgan bo'ladi, ya'ni mavjud emas.

Yuqoridagi ruxsat etilgan zona **o'tkazuvchanlik zonasi** deb ataladi, ya'ni mos energiyaga ega bo'lgan elektronlar, tashqi elektr maydoni ta'sirida yarim o'tkazgich hajmida harakatlanishlari mumkin, bunda ular elektr o'tkazuvchanlik yuzaga keltiradilar. O'tkazuvchanlik zonasidagi biror energiyaga mos keladigan elektronlar **o'tkazuvchanlik elektronlari** yoki **erkin zaryad tashuvchilar** deb ataladilar. Quyidagi ruxsat etilgan zona **valent zona** deb ataladi.

Absolyut nol temperaturada (0 K) yarim o'tkazgichning valent zonasidagi barcha sathlar elektronlar bilan to'lgan, o'tkazuvchanlik zonasidagi sathlar esa elektronlardan xoli bo'ladi.

Xususiy elektr o'tkazuvchanlik

Yarim o'tkazgichli elektronika maxsulotlarining deyarli 97 % kremniy asosida yasaladi. 1.2 – rasmda kiritmasiz kremniy panjarasining soddalashtirilgan modeli (a) va uning zona energetik diagrammasi (b) keltirilgan. Agar yarim o'tkazgich kristalli tarkibida kiritma umuman bo'lmasa va kristall panjaraning tuzulmasida nuqsonlar (bo'sh tugunlar, panjara siljishi va boshqalar) mavjud bo'lmasa, bunday yarim o'tkazgich xususiy deb ataladi va i harfi bilan belgilanadi.



1.2 - rasm

1.2 – rasmdan ko'rinib turibdiki, kremniy xususiy kristallida uning atomining to'rtta valent elektroni kremniyning qo'shni atomining to'rtta elektroni

bilan bog'lanib, mustahkam sakkiz elektronli qobiq (to'g'ri chiziq) hosil qiladi. O K temperaturada bunday yarim o'tkazgichda erkin zaryad tashuvchilar mavjud bo'lmaydi. Lekin temperatura ortishi bilan yoki yorug'lik nuri tushirilganda kovalent bog'lanishlarning bir qismi uziladi va valent elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish uchun yetarlicha energiya oladilar (1.2 b-rasm).

Natijada valent elektron erkin zaryad tashuvchiga aylanadi va kuchlanish ta'sir ettirilsa, u tok hosil qilishda ishtirok etadi. Elektron yo'qotilishi natijasida atom musbat ionga aylanadi.

Bir vaqtning o'zida valent zonada bo'sh sath hosil bo'ladi va valent elektronlar o'z energiyalarini o'zgartirishlariga, ya'ni valent zonasining biror ruxsat etilgan sathidan boshqasiga o'tishiga imkon yaratiladi. Shunday qilib, u tok hosil bo'lish jarayonida qatnashishi mumkin. Temperatura ortgan sari ko'proq valent elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadilar va elektr o'tkazuvchanlik ortib boradi.

Valent zonadagi erkin energetik sath yoki erkin valent bog'lanish qovakli deb ataladi va u elektron zaryadining absolyut qiymatiga teng bo'lgan erkin musbat zaryad tashuvchi hisoblanadi. Kovakning harakatlanishi valent elektroni harakatiga qarama – qarshi bo'ladi.

Shunday qilib, atomlar orasidagi kovalent bog'lanishning uzilishi bir vaqtning o'zida erkin elektron va elektron ajralib chiqqan atom yaqinida kovak hosil bo'lishiga olib keladi. Elektron – kovak juftligining hosil bo'lish jarayoniga **zaryad tashuvchilar generatsiyasi** deb ataladi. Agar bu jarayon issiqlik ta'sirida amalga oshsa, u issiqlik generatsiyasi deb ataladi. O'tkazuvchanlik zonasida elektronning hosil bo'lishi va valent zonasida kovakning yuzaga kelishi 1.2 b-rasmda mos ishoralar yordamida aylanalar ko'rinishida tasvirlangan. Strelka yordamida elektronning valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi ko'rsatilgan.

Generatsiya natijasida yuzaga kelgan elektronlar va kovaklar yarim o'tkazich kristallida yashash vaqti deb ataladigan biror vaqt mobaynida tartibsiz harakatlanadilar, so'ngra erkin elektron to'liq bo'lmagan bog'lanishni to'ldiradi va bog'lanish hosil bo'ladi. Bu jarayon **rekombinatsiya** deb ataladi.

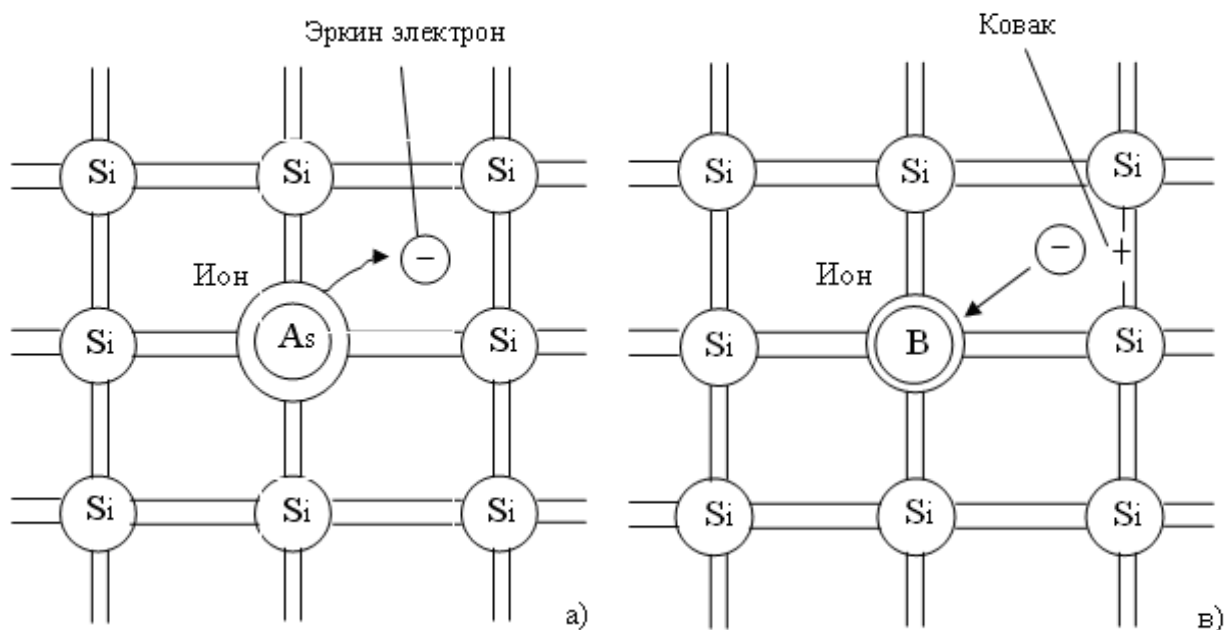
O'zgarmas temperaturada (boshqa tashqi ta'sirlar mavjud bo'lmaganda) kristall muvozanat holatda bo'ladi. Ya'ni, generatsiyalangan zaryad tashuvchilar juftligi soni rekombinatsiyalangan juftliklar soniga teng bo'ladi. Birlik hajmdagi zaryad tashuvchilar soni, ya'ni ularning konsentratsiyasi, solishtirma elektr o'tkazuvchanlik qiymatini beradi. Xususiylar yarim o'tkazgichlarda elektronlar konsentratsiyasi kovaklar konsentratsiyasiga teng bo'ladi ($n_i = p_i$). n (negative so'zidan) va p (positive so'zidan) harflari mos ravishda elektron va kovakka mos keladi. Kiritmasiz yarim o'tkazgichda hosil bo'lgan elektron va kovaklar **xususiylar erkin zaryad tashuvchilar** va ularga asoslangan elektr o'tkazuvchanlik esa – **xususiylar elektr o'tkazuvchanlik** deb ataladi.

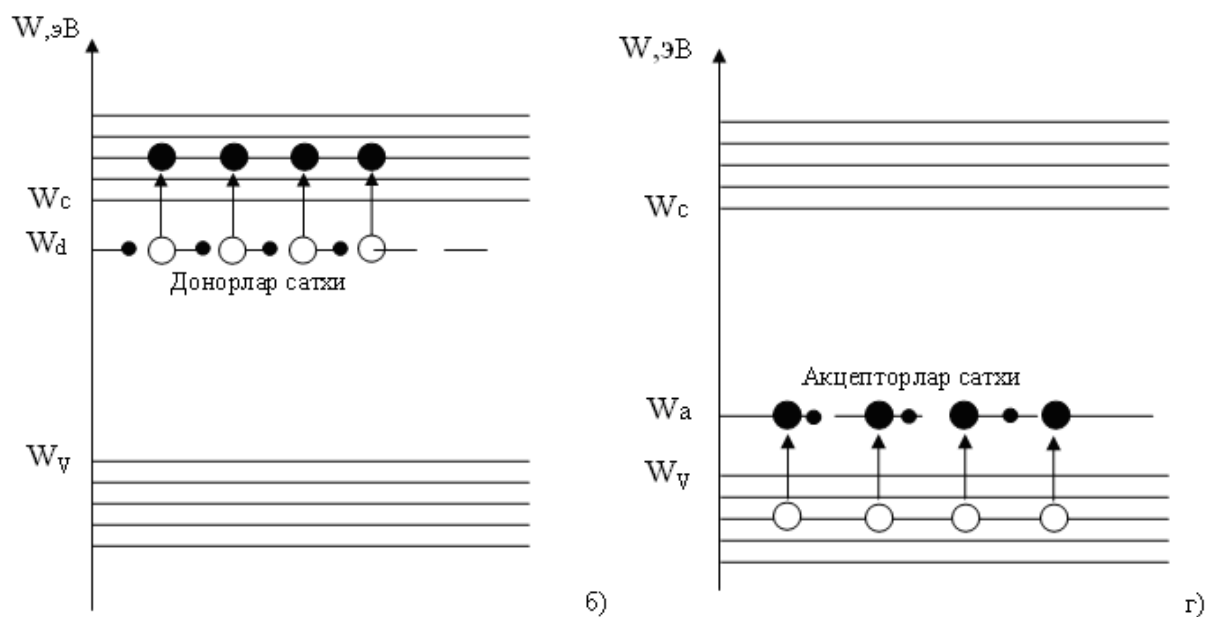
Kiritmali elektr o'tkazuvchanlik

Yarim o'tkazgichli asboblarning ko'p qismi kiritmali yarim o'tkazichlar asosida yaratiladi. Elektr o'tkazuvchanligi kiritma atomlari ionizatsiyasi natijasida hosil bo'ladigan zaryad tashuvchilar bilan asoslangan yarim o'tkazgichlar **P – kiritmali yarim o'tkazgichlar** deyiladi.

Kremniy atomiga D.I. Mendeleyev davriy elementlar tizimidagi V guruh elementlari (masalan, margumush As) kiritilsa uning 5ta valent elektronidan to'rttasi qo'shni kremniy atomining to'rtta valent elektronlari bilan bog'lanib - sakkiz elektrondan tashkil topgan mustahkam qobiq hosil qiladilar. Beshinchi elektron ortiqcha bo'lib, o'zining atomi bilan kuchsiz bog'langan bo'ladi. Shuning uchun kichik issiqlik energiyasi ta'sirida u uziladi va erkin elektronga aylanadi (1.3 a - rasm), bu vaqtda kovak hosil bo'lmaydi. Energetik diagrammada bu jarayon elektronning donor sathi W_d dan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishiga mos keladi (1.3 b - rasm). Kiritmali atom musbat zaryadlangan qo'zg'almas ionga aylanadi. Bunday kiritma **donor** deb ataladi.

Yarim o'tkazgichli asboblarda yasashda ko'p kiritma atomlari kiritiladi (1 sm^3 hajmga 10^{14} - 10^{18} darajadagi atomlar). Xona temperaturasida kiritmaning har bir atomi bittadan erkin elektron hosil qiladi. Kovaklar esa xususiy yarim o'tkazichlardagi kabi kremniy atomi elektronlarining o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishidagi termogeneratsiya hisobiga hosil bo'ladi.





1.3 – rasm.

Yarim o'tkazgich tarkibiga katta darajadagi donor kiritmaning kiritilishi erkin elektronlar kontsentratsiyasini oshiradi, kovaklar kontsentratsiyasi esa xususiy yarim o'tkazgichdagiga nisbatan sezilarli kamayadi. Erkin zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasining ko'paytmasi $n \cdot p$ o'zgarmas temperaturada o'zgarmas qoladi va faqat yarim o'tkazgich ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi. Shuni yodda tutish kerakki, $T=300 \text{ K}$ (xona temperaturasida) kremniyda $np \cong 0,64 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, germaniyda esa $np \cong 4 \cdot 10^{26} \text{ sm}^{-3}$. Shunday qilib, agar kremniy kristalliga kontsentratsiyasi 10^{16} sm^{-3} bo'lgan donor kiritma kiritilsa, $T=300 \text{ K}$ da elektronlar o'tkazuvchanligi $n=10^{16} \text{ sm}^{-3}$, kovaklarniki esa – atigi 10^4 sm^{-3} ga teng bo'ladi. Demak bunday kiritmali yarim o'tkazgichda elektr o'tkazuvchanlik asosan elektronlar hisobiga amalga oshiriladi, yarim o'tkazgich esa – **elektron** yoki **n- turdagi elektr o'tkazuvchanlik** deb ataladi. n –turdagi yarim o'tkazgichda elektronlar - asosiy zaryad tashuvchilar, kovaklar esa - asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar deb ataladi.

Kremniy atomiga D.I. Mendeleyev davriy elementlar tizimidagi III guruh elementlari (masalan, bor V) kiritilsa uning valent elektronlari qo'shni kremniy atomlari valent elektronlari bilan uchta to'liq bog'liqlik hosil qiladilar. To'rtinchi bog'lanish esa to'lmay qoladi. Uncha katta bo'lmagan issiqlik energiyasi ta'sirida qo'shni kremniy atomining valent elektronlari bu bog'lanishni to'ldiradi. Natijada borning tashqi qobig'ida ortiqcha elektron hosil bo'ladi, ya'ni u manfiy zaryadga ega bo'lgan qo'zg'almas ionga aylanadi. Kremniy atomining to'lmagan bog'lanishi – bu kovakdir (1.3 v - rasm). Energetik diagrammada bu jarayon elektronning valent zonadan akseptor sathi W_a ga o'tishiga va valent zonada kovak hosil bo'lishiga mos keladi (1.3 g - rasm). Bu vaqtda erkin elektron hosil bo'lmaydi. Bunday kiritma – akseptorli deb ataladi, akseptor atomlari kiritilgan yarim o'tkazgich esa – **kovak** yoki **P – turdagi elektr o'tkazuvchanlik** deb ataladi. P-

turdagi yarim o'tkazgich uchun kovaklaP – asosiy zaryad tashuvchilar, elektronlar esa - asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

Fermi sathi. Berilgan temperaturada harakatchan va qo'zg'almas zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi Fermi sathi W_F holati bilan aniqlanadi. Bu sath bir elektronga mos keluvchi jismning o'rtacha issiqlik energiyasiga mos keladi. Absolyut nol temperaturadan farqli temperaturada bu sathning to'lish ehtimoli 0,5 ga teng.

Elektronlar va kovaklarning o'rtacha issiqlik energiyasi yarim o'tkazgich temperaturasi bilan aniqlanadi va kT ga teng, bu yerda k – Boltsman doimiysi, T – absolyut temperatura. Qattiq jismda zarrachalar harakatini ifodalaydigan Boltsman qonuniga asosan, n – yarim o'tkazgichdagi energiyasi W_i kichik bo'lmagan elektronlar quyidagiga teng:

$$n = n_n \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right), \quad (1.1)$$

bu yerda n_n – erkin elektronlarning to'liq kontsentratsiyasi. Xuddi shunday ifodalar kovaklarni energiya bo'ylab taqsimotini ifodalaydi. (1.1) dan ko'rinib turibdiki, zarracha energiyasining ortishi bilan, zarrachalar soni keskin kamayadi.

Ikkala ishoradagi erkin zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi teng bo'lgan xususiy yarim o'tkazgichlar uchun Fermi sathi ta'qiqlangan zonaning o'rtasidan o'tadi. Elektronli yarim o'tkazgichda elektronlarning (butun yarim o'tkazgichning) o'rtacha energiyasi yuqori bo'ladi, demak Fermi sathi o'rtadan o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga siljiydi va donor kiritma kontsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga yaqinlashadi. P- turdagi yarim o'tkazgichda Fermi sathi ta'qiqlangan zona o'rtasidan valent zona shipi tomonga siljiydi va akseptor kiritma kontsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha valent zonasi shipi tomonga yaqinlashadi.

Ba'zi yarim o'tkazgichli asboblarda (tunnel diodlari, tunnel teshilishli stabilitronlar) **ajralmagan yarim o'tkazgichlar** qo'llaniladi. Bunday yarim o'tkazgichlarda Fermi sathi ruxsat etilgan zonalarda: elektronli yarim o'tkazgich uchun – o'tkazuvchanlik zonasida, kovakli yarim o'tkazgich uchun – valent zonada joylashadi. Ajralmagan yarim o'tkazgichlar juda katta kiritma kontsentratsiyasi ($10^{19} - 10^{21} \text{ sm}^{-3}$) hisobiga hosil qilinadilar.

Zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi μ - bu elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E} = 1 \text{ V/sm}$ bo'lgandagi yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning o'rtacha yo'naltirilgan tezligi. Elektronlar harakatchanligi μ_n doim kovaklar harakatchanligi μ_p dan yuqori bo'ladi. Bundan tashqari zaryadlar harakatchanligi yarim o'tkazgich turiga ham bog'liq bo'ladi. Shunday qilib, kremniydagi elektronlar harakatchanligi $\mu_n = 1500 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, germaniyda $\mu_n = \text{sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, galliy arsenidida $\mu_n = \text{sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$.

Agar yarim o'tkazgichda elektr maydoni hosil qilinsa, u holda erkin zaryad tashuvchilar siljishi yuzaga keladi. Bunday siljish **dreyf harakati** deb ataladi.

Dreyf tezligi $\vec{v}_{DP}$ elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ ga proporsional bo'ladi

$$\vec{v}_{DP} = \mu \cdot \vec{E} \quad (1.2)$$

Elektron va kovaklar dreyf tokining natijaviy zichligi

$$\vec{j}_{DP} = q(n\mu_n + p\mu_p)E. \quad (1.3)$$

Diffuziya koeffitsienti. Yarim o'tkazgichda elektr toki hosil bo'lishiga faqat elektr maydoni emas, balki harakatchan zaryad tashuvchilar gradienti ham sabab bo'ladi. Yarim o'tkazgich hajmida teng taqsimlanmagan erkin zaryad tashuvchilar harakatining yo'nalishi **diffuziya harakati** deb ataladi.

Elektron va kovak diffuziya toklarining zichligi quyidagiga teng

$$\vec{j}_{nDII} = qD_n \left(\frac{dn}{dx} \right); \quad \vec{j}_{pDII} = -qD_p \left(\frac{dp}{dx} \right). \quad (1.4)$$

bu yerda q – elektron (kovak) zaryadi, D_n i D_p – mos ravishda elektron va kovak diffuziya koeffitsientlari, dn/dx i dp/dx – mos ravishda elektron va kovak kontsentratsiya grandientlari.

Dreyf va diffuziya harakati parametrlari o'zaro **Eynshteyn nisbati** bilan bog'langan

$$Dn = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_n = \varphi_T \mu_n;$$

$$Dp = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_p = \varphi_T \mu_p. \quad (1.5)$$

(1.4) ifodadagi proporsionallik koeffitsientlari $\varphi_T = kT/q$ potentsial o'lcham birligiga teng (volt) va issiqlik potentsiali deb ataladi. Xona temperaturasida ($T=300$ K) $\varphi_T = 0,026$ V = 26mV.

Yashash vaqti τ . Zaryad tashuvchining yashash vaqti deganda uning generatsiyasidan rekombinatsiyasigacha bo'lgan vaqt tushuniladi. Yarim o'tkazgichning bu parametri yarim o'tkazgichli asboblarni (bipolyar tranzistorlardagi baza kengligi, maydoniy tranzistorlarda kanal uzunligi)

konstruksiyalashda katta ahamiyatga ega. Yashash vaqtida zaryad tashuvchining diffuziya harakati natijasida diffuziya uzunligi deb ataluvchi, o'rtacha masofasi ma'lum Lga teng bo'lgan masofani bosib o'tadi.

Nazorat savollari

1. Yarim o'tkazgichlarni o'ziga xos xususiyatlarini aytib bering.
2. Yarim o'tkazgich zona diagrammasini izohlab bering.
3. Erkin zaryad tashuvchi (EZT) deganda nimani tushunasiz ?
4. Valent zonadagi elektronlarning harakati qanday ifodalanadi ? Elektron va kovak o'tkazuvchanlikka ta'rif bering.
5. Xususiy elektr o'tkazuvchanlik nima ? Xususiy yarim o'tkazgichdagi EZT kontsentratsiyasi.
6. Yarim o'tkazgich xarakteristikasiga qanday kiritmalar ta'sir ko'rsatadi ?
7. Donor va akseptor kiritmalari nima ?
8. Elektron va kovak yarim o'tkazgichlarga ta'rif bering.
9. Qanday EZT – asosiy va qaysilari – asosiy bo'lmagan deb ataladi?
10. Temperatura o'zgarganda yarim o'tkazgichdagi EZT kontsentratsiyasi nima sababli va qanday o'zgarishini tushuntirib bering.

3-Mavzu. Yarim o'tkazgichli diodlar. Elektron-kovak (p-n) o'tish hosil bo'lishi, elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari va tasviflari, votl-amper xarakteristikasi. Tashki kuchlanish ta'sirida elektron-kovak o'tish.

P -n o'tishning hosil bo'lishi

Yarim o'tkazgichli asboblarning ko'pchiligi bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgichlardan tayyorlanadi. Xususiy xolatda bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgich bir sohasi p-turdagi, ikkinchisi esa n-turdagi monokristaldan tashkil topadi.

Bunday bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgichning p va n – sohalarining ajralish chegarasida hajmiy zaryad qatlami hosil bo'ladi, bu sohalar chegarasida ichki elektr maydoni yuzaga keladi va bu qatlam **elektron – kovak o'tish** yoki **p-n o'tish** deb ataladi. Ko'p sonli yarim o'tkazgichli asboblarning va integral mikrosxemalarning ishlash printsipli p-n o'tish xossalriga asoslangan.

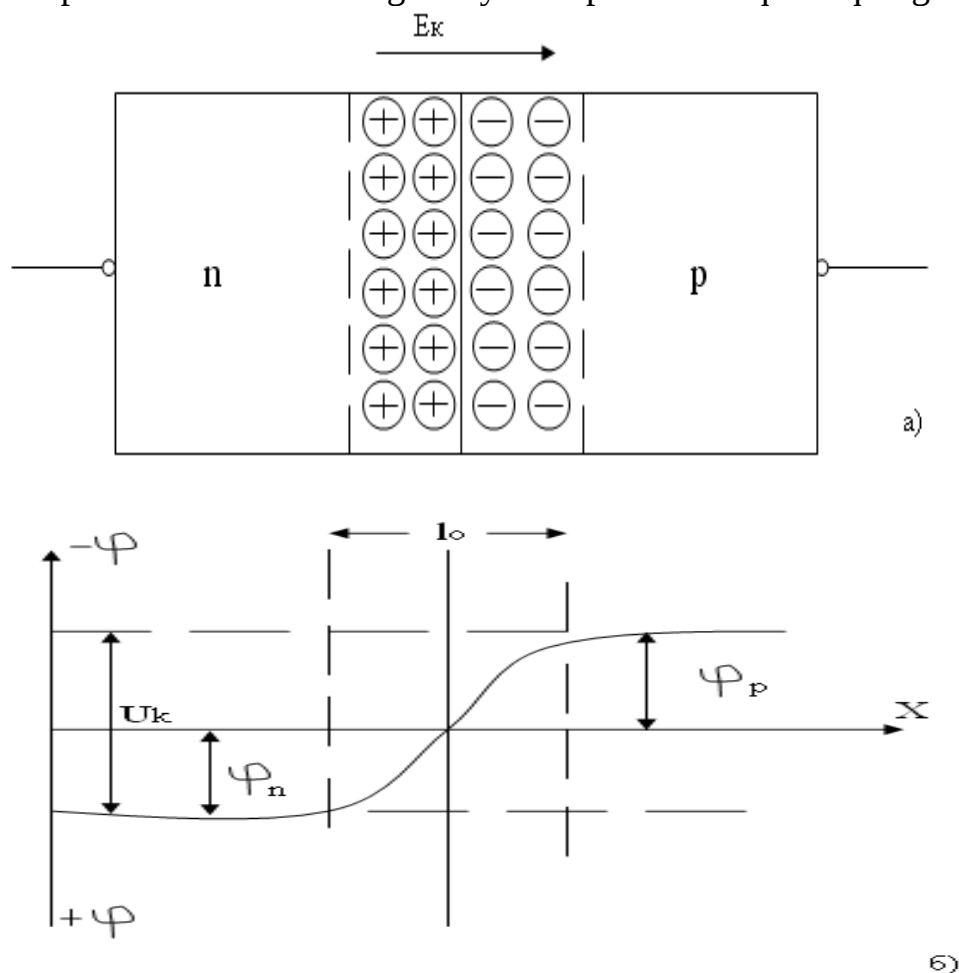
P-n o'tish hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun, n-sohadagi elektronlar va p-sohadagi kovaklar sonini teng olamiz. Bundan tashqari, har bir sohada uncha katta bo'lmagan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning miqdori mavjud. Xona temperaturasida p-turdagi yarim o'tkazgichda akseptor manfiy ionlarining kontsentratsiyasi N_a kovaklar kontsentratsiyasi n_p ga, n-turdagi yarim o'tkazgichda donor musbat ionlarining kontsentratsiyasi N_d elektronlar kontsentratsiyasi n_n ga teng bo'ladi. Demak, p- va n-sohalar o'rtasida elektronlar va kovaklar kontsentratsiyasida sezilarli farq mavjudligi tufayli, bu sohalar birlashtirilganda elektronlarning p-sohaga, kovaklarning esa n-sohaga diffuziyasi boshlanadi.

Diffuziya natijasida n-soha chegarasida elektronlar kontsentratsiyasi musbat donor ionlari kontsentratsiyasidan kam bo'ladi va bu soha musbat

zaryadlana boshlaydi. Bir vaqtning o'zida p-soha chegarasidagi kovaklar konsentratsiyasi kamayib boradi va u aktseptor kiritmasi bilan kompensatsiyalangan ion zaryadlari hisobiga manfiy zaryadlana boshlaydi (2.1 – rasm). Musbat va manfiy ishorali aylanalar mos ravishda donor va aktseptor ionlarini tasvirlaydi.

Hosil bo'lgan ikki hajmiy zaryad qatlami p-n o'tish deb ataladi. Bu qatlam harakatchan zaryad tashuvchilar bilan kambag'allashtirilgan. Shuning uchun uning solishtirma qarshiligi p- va n-soha qarshiliklariga nisbatan juda katta. Ba'zi adabiyotlarda bu qatlam **kambag'allashgan** yoki **i – soha** deb ataladi.

Hajmiy zaryadlar turli ishoralarga ega bo'ladilar va p-n o'tishda kuchlanganligi $\vec{E}$ ga teng bo'lgan elektr maydon hosil qiladilar. Asosiy zaryad tashuvchilar uchun bu maydon tormozlovchi bo'lib ta'sir ko'rsatadi va ularni p-n o'tish bo'ylab erkin harakat qilishlariga qarshilik ko'rsatadi. 2.1 b-rasmda o'tish yuzasiga perpendikulyar bo'lgan, X o'qi bo'ylab potentsial o'zgarishi ko'rsatilgan. Bu vaqtda nol potentsial sifatida chegaraviy soha potentsiali qabul qilingan.



2.1 – rasm.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, p-n o'tishda voltlarda ifodalanadigan **kontakt potentsiallar farqiga** $U_K = \varphi_n - \varphi_p$ teng bo'lgan potentsial to'siq yuzaga keladi. U_K kattaligi dastlabki yarim o'tkazgich material ta'qiqlangan zona kengligi

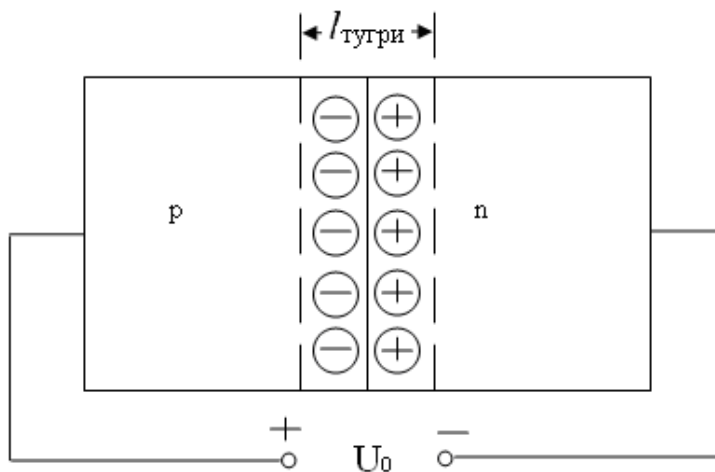
va kiritma kontsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. p-n o'tish kontakt potentsiallar farqi: germaniy uchun $U_K \approx 0,35 \text{ V}$, kremniy uchun esa $= 0,7 \text{ V}$.

P-n o'tish kengligi $l_0 \sqrt{U_K}$ ga proporsional bo'ladi va mkmning o'nlik yoki birlik qismlarini tashkil etadi. Tor p-n o'tish hosil qilish uchun katta kiritma kontsentratsiyasi kiritiladi, l_0 ni kattalashtirish uchun esa kichik kiritmalar kontsentratsiyasi qo'llaniladi.

P-n o'tish toklari. $U_i = \frac{U_R}{q}$ energiyaga ega bo'lgan ko'pgina zaryad tashuvchilar (1.1- rasmga qarang) p-n o'tish orqali qo'shni sohalarga diffuziya hisobiga p-n o'tish maydoniga qarama-qarshi ravishda siljiydilar. Ular **diffuziya tokini** yuzaga keltiradilar. Asosiy zaryad tashuvchilarning p-n o'tish orqali harakati bilan bir vaqtda, p-n o'tish ular uchun tezlatuvchi bo'lib ta'sir ko'rsatayogan maydon ta'sirida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar ham harakatlanadilar. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar oqimi **dreyf tokini** yuzaga keltiradi. Tashqi maydon ta'sir ettirilmaganda dinamik muvozanat o'rnatiladi, ya'ni diffuziya va dreyf toklarining absolyut qiymatlari teng bo'ladi. Lekin diffuziya va dreyf toklari o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda yo'nalganligi uchun, p-n o'tishdagi natijaviy tok nolga teng bo'ladi.

2.2. P-n o'tishning to'g'ri ulanishi

Agar p-n o'tishga tashqi kuchlanish manbai U ulansa, u holda muvozanat sharti buziladi va tok oqib o'ta boshlaydi. Agar kuchlanish manbaining musbat qutbi p-turdagi sohaga, manfiy qutbi esa n-turdagi sohaga ulansa, bunday ulanish **to'g'ri ulanish** deb ataladi (2.2 - rasm).



2.2 – rasm.

Kuchlanish manbaining elektr maydoni kontakt maydon tomonga yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p-n o'tishdagi natijaviy maydon kuchlanganligi kamayadi. Maydon kuchlanganligining kamayishi potentsial to'siq balandligini kuchlanish manbai qiymatiga kamayishiga olib keladi: $U_K = U_0$. Bu vaqtda p-n o'tish kengligini ham kamayishini ko'rish mushkul emas.

Potentsial to'siq balandligining kamayishi shunga olib keladiki, p-n o'tish orqali harakatlanayotgan asosiy zaryad tashuvchilarni soni ham ortadi, ya'ni diffuziya toki ortadi. Har bir sohada ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi yuzaga keladi – n-sohada kovaklar, p-sohada elektronlar. Biror yarim o'tkazgich sohasiga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni siqib kiritish jarayoni **injektsiya** deb ataladi.

Kuchlanish o'zgarishi bilan diffuziya tokining o'zgarishi eksponentsial qonun asosida ro'y beradi:

$$I_{\text{Диф}} = I_0 e^{qU_0/kT} \quad (2.1)$$

bu yerda I_0 – dreyf toki bo'lib, uni **p-n o'tishning teskari toki** deb ham atashadi.

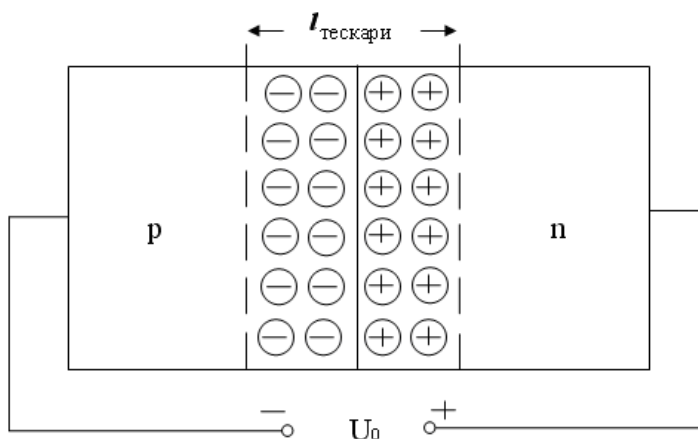
To'g'ri kuchlanish berilganda potentsial to'siq balandligiga teskari tok ta'sir ko'rsatmaydi, chunki bu tok faqat p-n o'tish orqali birlik vaqt ichida tartibsiz issiqlik harakati tufayli olib o'tilayotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning soni bilan belgilanadi. Diffuziya va dreyf toklari bip-biriga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan natijaviy (to'g'ri) tok (2.1) dan kelib chiqqan holda

$$I_{\text{ТҶГ}} = I_{\text{Диф}} - I_0 = I_0 (e^{qU_0/kT} - 1). \quad (2.2)$$

I_0 toki germaniyli p-n o'tishlarda o'nlab mkA yoki kremniyli p-n o'tishlarda nanoamperlarni tashkil etadi va temperatura ortishi bilan kuchli ravishda tok ham ortadi. Lekin I_0 qiymatidagi katta farq ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi.

2.3. R-n o'tishning teskari ulanishi

Bu holatda tashqi kuchlanish manbaining musbat qutbi n-sohaga ulanadi (2.3 - rasm).



2.3 - rasm

Kuchlanish manbaining elektr maydoni o'tishning kontakt maydoni yo'nalgan tomonga yo'nalgan. Shu sababli potentsial to'siq balandligi ortadi va $U_K = U_0$ ga teng bo'ladi. Teskari kuchlanish qiymatining ortishi p-n o'tish

kengligining kengayishiga olib keladi ($I_{T\ddot{Y}T} \prec I_{TECK}$). Amaliy hisoblarda quyidagi ifodadan foydalanish qulay:

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U_0}{U_K}} \quad , \quad (2.3)$$

bu yerda $I_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0}{q} U_K \left(\frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$ - tashqi maydon ta'sir etmagandagi p-n

kengligi, ϵ - yarim o'tkazgich nisbiy dielektrik doimiysi, ϵ_0 - elektr doimiy.

Potentsial to'siqning ortishi diffuziya tokining kamayishiga olib keladi. Diffuziya tokining o'zgarishi eksponentsial qonun asosida ro'y beradi

$$I_{\text{diff}} = I_0 e^{-qU_0/kT} \quad . \quad (2.4)$$

Dreyf toki potentsial to'siq balandligiga bog'liq emasligi va I_0 ga teng bo'lganligi sababli, p-n o'tishdan o'tayotgan natijaviy tok

$$I_{TECK} = I_0 e^{-qU_0/kT} - I_0 = I_0 (e^{-qU_0/kT} - 1) \quad . \quad (2.5)$$

Teskari ulanishda kontaktlashuvchi yarim o'tkazgichlardan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar chiqarib olinadi (ekstraksiya). Shu sababli teskari tok **ekstraksiya toki** deb ataladi.

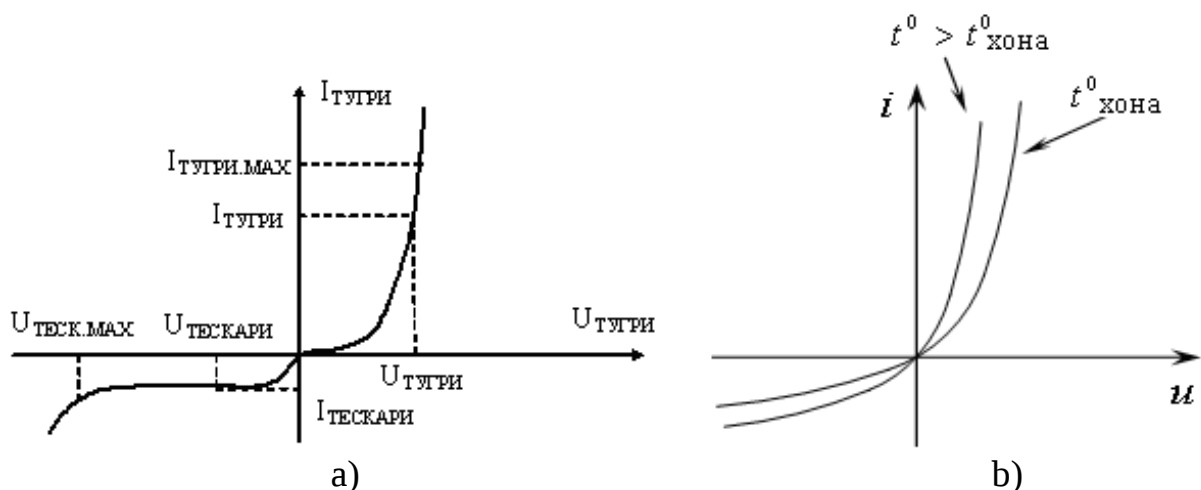
P-n o'tishning volt – amper xarakteristikasi (VAX)

P-n o'tish tokining unga berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi $I=f(U)$ volt–amper xarakteristika (VAX) deyiladi. (2.2) va (2.5) lar asosida umumiy holda eksponentsial bog'liqlik yordamida ifodalanadi (2.4. a - rasm).

$$I = I_0 (e^{\pm qU_0/kT} - 1) \quad . \quad (2.6)$$

Agar p-n o'tishga to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lsa, U_0 kuchlanish ishorasi

– musbat, teskari kuchlanish berilgan bo'lsa esa - manfiy bo'ladi. $U_{TUG} \geq 0,1$ V bo'lsa eksponentsial songa nisbatan birni hisobga olmasa ham bo'ladi va kuchlanish ortishi bilan tok ham eksponentsial ortib boradi. Teskari kuchlanish berilganda esa -0,2 V kuchlanish qiymatida tok I_0 qiymatiga yetib keladi va keyinchalik kuchlanish qiymati o'zgarmaydi. I_0 kattaligi shu sababli teskari ulangan **p-n o'tishning to'yinish toki** deb ham ataladi.



2.4 - rasm

Teskari tok to'g'ri tokka nisbatan bir necha darajaga kichik, ya'ni p-n o'tish to'g'ri yo'nalishda tokni yaxshi o'tkazadi, teskari yo'nalishda esa yomon. Demak, p-n o'tish to'g'rilovchi harakat bilan xarakterlanadi va uni o'zgaruvchi tokni to'g'rilashda qo'llashga imkon beradi.

Eksponentsial tashkil etuvchi $e^{qU_0/kT}$ temperatura ortishi bilan kamayishiga qaramay VAX to'g'ri shaxobchasidagi qiyalik ortadi (2.4. b-rasm). Bu hodisa I_0 ni temperaturaga kuchli to'g'ri bog'liqligi bilan tushuntiriladi. To'g'ri kuchlanish berilganda temperatura ortishi bilan tok ortishiga olib keladi. Amaliyotda p-n o'tish VAXga temperaturaning bog'liqligi **kuchlanishning temperatura koeffitsienti (KTK)** deb ataladigan kattalik bilan baholanadi. KTKni aniqlash uchun temperaturani o'zgartirib borib, o'zgarmas tokdagi p-n o'tish kuchlanishini o'zgarishi o'lchab boriladi. Odatda KTK manfiy ishoraga ega, ya'ni temperatura ortishi bilan o'tishdagi kuchlanish kamayadi. Kremniydan yasalgan p-n o'tish uchun KTK 3 mV/grad darajani tashkil etadi.

(2.6) ifoda ideallashtirilgan p-n o'tish VAX sini ifodalaydi. Bunday o'tishda r va n-sohalarning hajmiy qarshiligi nolga teng va tok o'tish vaqtida p-n o'tishda rekombinatsiya jarayoni sodir bo'lmaydi deb hisoblanadi. Real o'tishda esa baza qarshiligi o'nlab Omga teng bo'ladi. Shu sababli (2.6) ifodaga p-n o'tishdagi va tashqi kuchlanish U_0 orasidagi farqni hisobga oluvchi o'zgartirish kiritiladi

$$I = I_0 \left(e^{q(U_0 - r_B I) / kT} \right) \quad (2.7)$$

P-n o'tish sig'imi. Past chastotalarda p-n o'tish toki faqat elektron – kovak o'tishning aktiv qarshiliklari hamda yarim o'tkazgichning r va n –sohalarining qarshiligi (r_B) bilan aniqlanadi. Yuqori chastotalarda p-n o'tishning inertsiyasi uning sig'imi bilan aniqlanadi. Odatda p-n o'tishning ikkita asosiy sig'imi hisobga olinadi: diffuziya va to'siq (barer).

To'g'ri ulangan p-n o'tishda qo'shni sohalarga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyalanadi. Natijada p-n o'tishning yupqa chegaralarida qiymati jihatidan teng lekin qarama-qarshi ishoraga ega bo'lgan qo'shimcha asosiy

bo'lmagan zaryad tashuvchilar Q_{DIF} yuzaga keladilar. Kuchlanish o'zgarisa injektsiyalanayotgan zaryad tashuvchilar soni, demak zaryad ham o'zgaradi. Berilayotgan kuchlanish ta'siridagi bunday o'zgarish, kondensator qoplamalaridagi zaryad o'zgarishiga aynan o'xshaydi. Bazaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar diffuziya hisobiga tushganliklari sababli, bu sig'im **diffuziya sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{\mathcal{D}\Phi} = \frac{qI\tau}{kT} . \quad (2.8)$$

(2.8) ifodadan ko'rinib turibdiki, p-n o'tishdan oqib o'tayotgan tok va bazadagi zaryad tashuvchilarning yashash vaqti τ qancha katta bo'lsa, diffuziya sig'imi ham shuncha katta bo'ladi

Ikki elektr qatlama ega bo'lgan elektron – kovak o'tish zaryadlangan kodensatorga o'xshaydi. O'tish sig'imi o'tish yuzasi S , uning kengligi va dielektrik doimiysi ϵ bilan aniqlanadi. O'tish sig'imi **to'siq sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{T0} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon q N d}{2U_K \left(1 + \frac{Nd}{Na}\right)}} . \quad (2.9)$$

O'tishga kuchlanish berilsa, bu vaqtda o'tish kengligi o'zgarganligi sababli, sig'im ham o'zgaradi. Sig'imning berilayotgan kuchlanish U qiymatiga bog'liqligi quyidagicha

$$C_B = C_{B0} \sqrt{\frac{U_K}{U_K \pm U}} . \quad (2.10)$$

To'g'ri ulangan o'tishda musbat ishorasi, teskari ulanganda esa manfiy ishora olinadi. S_B berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi sababli p-n o'tishni o'zgaruvchan sig'imli kondensator sifatida qo'llash mumkin.

To'g'ri kuchlanish berilganda diffuziya sig'imi to'siq sig'imidan ancha katta bo'ladi, teskari kuchlanishda esa teskari. Shuning uchun to'g'ri kuchlanish berilganda p-n o'tish inertsiasini diffuziya sig'imi bilan, teskari ulanganda esa to'siq sig'imi bilan aniqlanadi.

2.5. P-n o'tishning teshilish turlari

Yuqorida aytib o'tilganidek, uncha katta bo'lmagan teskari kuchlanishlarda I_0 qiymati katta emas. Teskari kuchlanish ma'lum chegaraviy qiymatga U_{ChEG} yetganda, teskari tok keskin ortib ketadi, o'tishning elektr teshilishi yuz beradi.

O'tishning teshilish turlari ikki guruhga bo'linadi: elektr va issiqlik. Elektr teshilishining ikki mexanizmi mavjud: ko'chkisimon va tunnel teshilish.

Ko'chkisimon teshilish nisbatan keng p-n o'tishlarda sodir bo'ladi. Bunday o'tishda teskari kuchlanishda elektron va kovaklar zarba ionizatsiyasi uchun yetarli bo'lgan energiya oladilar va natijada qo'shimcha elektron-kovak juftlar hosil bo'ladi. Bu juftliklarning har bir tashkil etuvchisi, o'z navbatida, elektr maydonida

tezlashib, yana yangi juftlikni yuzaga keltiradi va x.z. Zaryad tashuvchilarning bunday ko'chkisimon ko'payishi natijasida o'tishdagi tok keskin ortadi.

Tor p-n o'tishga ega bo'lgan yarim o'tkazgichlarda tunnel effektiga asoslangan **tunnel teshilish** sodir bo'ladi. $U_{TES} \geq U_{ChEG}$ yetganda zaryad tashuvchilarning bir sohadan ikkinchisiga energiya sarf qilmasdan o'tishga imkon yaratiladi (tunnel effekti). U_{ChEG} ning yanada ortishi bilan shuncha ko'p zaryad tashuvchilar tunnel o'tishi sodir etadilar va teskari tok keskin ortib boradi.

P-n o'tishda **issiqlik teshilishi** teskari tok o'tish natijasida o'tishning qizishi hisobiga sodir bo'ladi. Teskari tok, issiqlik toki bo'lib, u ortgan sari qizish ham ortadi. Bu holat tokning ko'chkisimon ortishiga olib keladi, natijada p-n o'tishda issiqlik teshilishi yuz beradi va u ishdan chiqadi.

Nazorat savollar

1. P-n o'tish nima va u qanday aniqlanadi ?
2. P-n o'tishga to'g'ri va teskari kuchlanish berilganda qanday hodisalar sodir bo'ladi ?
3. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning injektsiyasi va ekstraktsiyasi nima?
4. O'tishdagi kuchlanish o'zgarganda injektsiya va ekstraktsiya toklari qanday o'zgaradi ?
5. Nima sababli p-n o'tish to'siq sig'imi deb ataladigan sig'imga ega ?
6. Teskari kuchlanish orttirilsa p-n o'tishdani to'siq sig'imi qanday o'zgaradi?
7. P-n o'tishning diffuziya sig'imi nima ?
8. Real diod tuzilmasi idellashtirilgan p-n o'tishdan nimasi bilan farq qiladi ?
9. P-n o'tish toki temperaturaga qanday bog'liq ?
10. P-n o'tishda qanday teshilish turlari mavjud va ulardagi farq nimada ?

4-Mavzu. Diodning asosiy parametrlari. Yarim o'tkazgichli diodda o'tkinchi jarayonlar. Yarim o'tkazgichli diodlar, turlari, ularning xarakteristikalar va parametrlari.

Diod deb odatda bir yoki bir necha elektr o'tishlar va tashqi zanjirga ulanish uchun ikkita chiqishga ega bo'lgan elektr o'zgartirgich asbobga aytiladi. Yarim o'tkazgichli diodlar ma'lumotnomalarda radioelektron apparaturalarda qo'llanilish sohalari yoki vazifasiga ko'ra sinflanadilar.

To'g'rilovchi diodlar

To'g'rilovchi diodlar kuchlanish manbai o'zgaruvchan kuchlanishini o'zgarmasga o'girishda qo'llaniladi. To'g'rilovchi diodlarning asosiy xossasi– bir tomonlama o'tkazuvchanlik bo'lib, uning mavjudligi to'g'rilash effekti bilan aniqlanadi.

To'g'rilovchi diodlarning ishlatilish chastota diapazoni juda keng. Shu sababli ular ishchi chastota diapazoni bo'yicha sinflanadilar.

Past chastotali to'g'rilovchi diodlar (PCh diodlar) sanoat chastotasidagi (50 Gts) o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga o'girishda qo'llaniladi. PCh diodlariga

qo'yiladigan asosiy talab – bu katta qiymatga ega bo'lgan to'g'rilangan toklar olish. To'g'rilovchi diodlar odatda 0,3 A gacha, 0,3 A dan 10 A gacha va 10 A dan yuqori bo'lgan to'g'rilangan toklarga mo'ljallangan kichik, o'rta va katta quvvatli diodlarga bo'linadi. PCh diodlari katta p-n o'tish bilan xarakterlanadilar.

Yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar (YuCh diodlar) o'n va yuz megagerts chastotagacha bo'lgan signallarni nochiziqli elektr o'zgartirishga mo'ljallangan. YuCh diodlari yuqori chastota signallari detektorlari, aralashtirgichlar, chastota o'zgartirgich sxemalar va boshqalarda qo'llaniladi. Yuqori chastota diodlari kichik inertsiyaga ega, chunki kichik yuzaga ega bo'lgan nuqtaviy p-n o'tishga ega va shu sababli ularning to'siq sig'imi pikofaradning bir qismini tashkil etadi.

Shottki to'sig'ili diodlar kuchlanish manbai qayta ulagichlarida keng tarqalgan, chunki ular qayta ulanish ishchi chastotasini 100 kGts va undan yuqoriga orttirishga, radioelektron apparatura og'irligi, o'lchamlarini kichraytirishga va kuchlanish manbai FIK oshirishga imkon yaratadilar. Shottki to'sig'i metallni yarim o'tkazgich bilan kontakti natijasida hosil qilinadi. Yarim o'tkazgich material sifatida ko'p hollarda n-turdagi kremniy, metall sifatida esa Al, Au, Mo va boshqalar qo'llaniladi. Bu vaqtda metall chiqish ishi kremniy chiqish ishidan katta bo'lishi talab qilinadi. Bunday diodlarda diffuziya sig'imi nolga teng, to'siq sig'imi esa 1 pF dan oshmaydi.

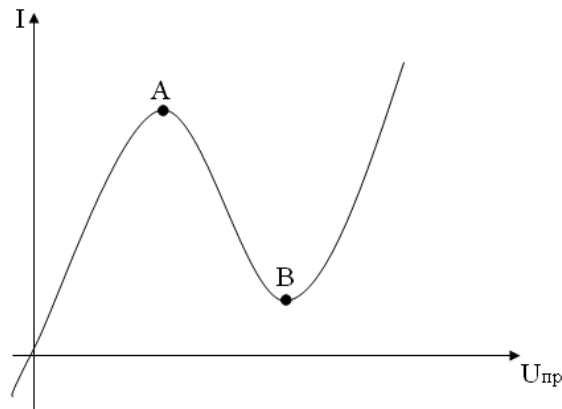
Tunnel diodlari

Tunnel diodi deb qo'zg'otilgan yarim o'tkazgich asosida loyihalangan yarim o'tkazgichli asbobga aytiladi. Unda teskari va uncha katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanishda tunnel effekti yuzaga keladi va volt–amper xarakteristikada manfiy differentsial qarshilikka ega bo'lgan soha mavjud bo'ladi.

Tunnel diodlar boshqa turdagi diodlardan sezilarli farq qilmaydi, lekin ularni yasash uchun 10^{20} sm^{-3} kiritmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli materiallar qo'llaniladi.

VAX nochiziqli bo'lsa, uning har bir kichik sohasi to'g'ri chiziq deb qaraladi va xarakteristikaning bu nuqtasida $R_i = \frac{dU}{dI}$ differentsial qarshilik kiritiladi. Agar xarakteristika kamayuvchi bo'lsa, bu sohada qarshilik R_i manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Tunnel diodi VAX 3.2 – rasmda keltirilgan. AV soha manfiy differentsial qarshilik bilan xarakterlanadi. Agar tunnel diodi tebranma kontur elektr zanjiriga ulansa, u holda kontur va shu zanjirdagi manfiy qarshilik kattaligi o'rtasidagi ma'lum nisbatlarda tebranishlar kuchayishi yoki generatsiyalanishi mumkin. Tunnel diodlari asosan 3-30 GGts diapazonda O'YuCh generatorlar qurishda, hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy yuta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.



3.2 - rasm

Generator diodlar

Generator diodlaridan biri bo'lib **ko'chkili-uchma diodlar (KUD)** hisoblanadi. Uning VAXsida p-n o'tishdagi ko'chkisimon teshilishda yuqori chastotalarda manfiy qarshilikka ega bo'lgan soha yuzaga keladi. Agar KUD rezonatorga joylashtirilsa, unda chastotasi 100 GGts gacha bo'lgan so'nmaydigan tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarning chiqish quvvati ($f=1$ GGts bo'lganda) 10 Vtgacha yetishi mumkin. KUDning FIK 30-50 %ga yetadi.

Generator diodining yana bir turi bo'lib **Gann diodi** hisoblanadi, u uzunligi 10^{-2} - 10^{-3} smdan iborat (p-n o'tishsiz) bo'lgan bir jinsli yarim o'tkazgich plastinka ko'rinishida bo'ladi. Plastinkaning yon qismlariga katod va anod deb ataluvchi metall kontaktlar surtiladi. Gann diodlarini yasash uchun n-turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan intermetall birlashmalar - GaAs, InSb, InAs va InPlar qo'llaniladi. Diod tebranma konturga joylashtiriladi. Kontaktlarga o'zgarmas kuchlanish berilganda Gann diodida kuchlanganligi $3 \cdot 10^3$ V/sm bo'lgan elektr maydon hosil qiladigan chastotasi 60 GGts bo'lgan elektr tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlar quvvati 10 – 15 Vtgacha yetishi mumkin, FIK esa 10-12 % ga yetadi.

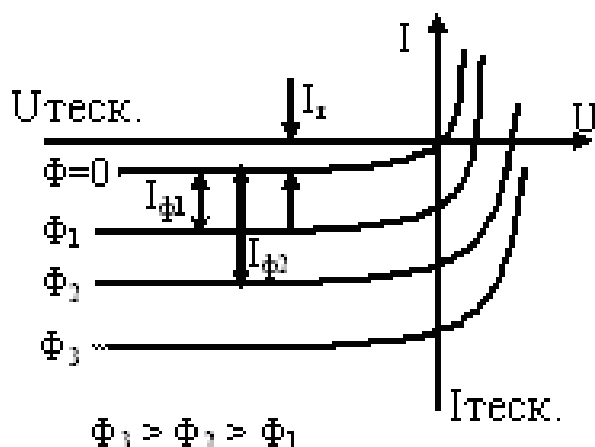
Optoelektronika diodlari

Optoelektronika – elektronikaning bir bo'limi bo'lib, axborotni qabul qilish, uzatish va qayta ishlash jarayonlari yorug'lik signallarini elektr signallarga aylantirish va aksinchaga asoslangan qurilmalarni nazariyasi va amaliyotini o'rganadi. Optoelektronika elementlari bo'lib fotodiod va yorug'lik diodi hisoblanadilar.

Fotodiod deb bitta p-n o'tishga ega bo'lgan foto-elektr asbobga aytiladi. Fotodiod tashqi kuchlanish manbaili (fotodiodli rejim), hamda tashqi kuchlanish manbaisiz sxemalarga ulanishi mumkin. Tashqi kuchlanish manbai shunday ulanadiki, p-n o'tish teskari siljigan bo'lsin. Yorug'lik tushurilmaganda diod orqali juda kichik “qorong'ulik” ekstraksiya toki I_0 oqib o'tadi va u berilayotgan kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. n-baza sohasiga ta'qiqlangan zona kengligidan ancha katta bo'lgan $h\nu$ energiyali fotonlardan tashkil topgan yorug'lik tushurilganda, elektron–kovak juftliklar generatsiyalanadi. Agar juftliklar o'tishdan

diffuziya uzunligidan oshmaydigan oraliqda hosil bo'lsalar, yorug'lik ta'sirida generatsiyalangan kovaklar o'tishning elektr maydoni ta'sirida ekstraksiyalanadilar va teskari tok uning "qorong'ulik" qiymatiga nisbatan ortadi. Yorug'lik oqimi F qancha intensiv bo'lsa, diod teskari toki I_F qiymati shuncha katta bo'ladi.

3.3 – rasmda turli yorug'lik oqimi qiymatlaridagi fotodiod VAXsi keltirilgan. Yorug'likning keng nurlanish chegaralarida fototok yorug'lik oqimiga deyarli chiziqli bog'liq bo'ladi.



3.3 – rasm.

Proportsionallik koeffitsienti $K_\Phi = \frac{dI_\Phi}{d\Phi}$ bir necha mA/mm ni tashkil etadi va **fotodiod sezgirli** deb ataladi. Fotodiod turli o'lchash qurilmalarida yorug'lik oqimini qabul qilgich, hamda optik – tolali aloqa liniyalarida qo'llaniladi.

Fotodiod rejimidan tashqari fotodiodning ventil (fotovoltai) rejimi keng qo'llaniladi. Bu rejimda fotodiod tashqi kuchlanish manbaiga ulanmasdan ishlaydi va quyosh energiyasini bevosita elektr signalga aylantirishga xizmat qiladi. Diod ventil rejimida nurlatilganda uning chiqishlarida ventil kuchlanish yuzaga keladi. Fotodiod bu holatda **quyoshli aylantirgich** deb ataladi. Bir biri bilan elektr jihatdan bog'langan aylantirgich va batareyalar kosmik apparatlar va yer usti qurilmalaridagi REAlarni ta'minlash uchun elektr energiya manbai sifatida qo'llanilishi mumkin.

Yorug'lik diodi – bu elektr energiyasini nokogerent yorug'lik nuriga aylantiradigan, bitta p-n o'tishga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli asbob. Yorug'lik nuri elektron – kovak juftlarining rekombinatsiyasi natijasida yuzaga keladi. Rekombinatsiya, p-n o'tish to'g'ri ulanganda kuzatiladi. Rekombinatsiya doim ham nurlatuvchi bo'lavermaydi va to'g'ri zonali yarim o'tkazgichlarda, jumladan galliy arsenidida sodir bo'ladi. Bunday yarim o'tkazgichlar spetsifik xona diagrammasiga ega bo'ladilar.

Nurlanayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi λ kvant energiyasi bilan aniqlanadi. U esa nurlanuvchi rekombinatsiyada yarim o'tkazgichning ta'qiqlangan zona kengligiga deyarli teng bo'ladi. Galliy arsenididan tayyorlangan yorug'lik diodlari uchun $\lambda = 0,9-1,4$ mkm. Qizil, sariq va yashil rang nurlatuvchi diodlar

galliy fosfati, siyoxrang nurlatuvchi diodlar esa— kremniy karbidi asosida yasaladilar va x.z.

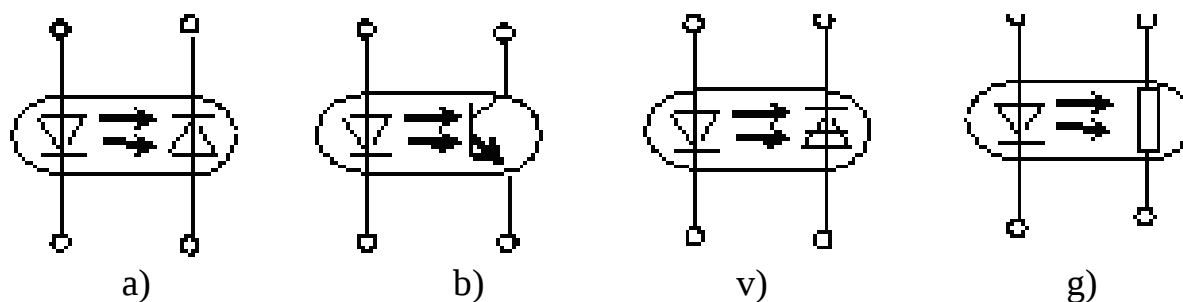
Yorug'lik diodining energetik xarakteristikasi bo'lib **kvant chiqishi** (effektivligi) hisoblanadi. U zanjir bo'ylab o'tayotgan har bir elektronga yorug'lik diodi chiqishida qancha yorug'lik kvanti mos kelishini ko'rsatadi. Zamonaviy yorug'lik diodlari uchun kvant chiqishi 0,01-0,04 ni, ikki va uch yarim o'tkazgichli birikmalardan yasalgan geteroo'tishli yorug'lik diodlarida esa ancha katta (0,3 gacha) bo'ladi. Lekin doim birdan kichik bo'ladi. Volt – amper xarakteristikasi oddiy diodniki kabi eksponentsial bog'liqlik bilan ifodalanadi. Yorug'lik diodi 10^{-7} - 10^{-9} s da qayta ulanadi, ya'ni yuqori tezlikda ishlovchi yorug'lik manbai hisoblanadi.

Yorug'lik diodlari optik aloqa liniyalari, indikator qurilmalar, optoparalar va x.z.larda qo'llaniladi.

Optoelektron juftlik, yoki optopara, konstruktiv jihatdan optik muhitda bog'langan yorug'lik nurlatuvchi va foto qabul qilgichdan tashkil topgan. Yorug'lik nurlatuvchi va foto qabul qilgich orasidagi to'g'ri optik aloqa barcha turdagi elektr aloqalarni bartaraf etadi.

Optronlar

Kirish elektr signali ta'sirida yorug'lik diodi yorug'lik nurlatadi, foto qabul qilgich (fotodiod, fotorezistor va x.z.) esa yorug'lik ta'sirida tok generatsiyalaydi.



3.4-rasm.

3.4-rasmda yorug'lik diodi va fotodiod (a), fototranzistor (b), fototiristor (v), fotorezistor (g) dan tashkil topgan optoparalar keltirilgan. Optoparalar raqamli va impuls qurilmalar, analog signallarni uzatish qurilmalari, yuqori voltli manbalarni kontaktsiz boshqarish avtomatik tizimlari va boshqalarda ajratuvchi element sifatida qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Stabilitronlarda qanday elektr teshilish turlari qo'llaniladi ?
2. Siz diodning qanday turlarini bilasiz ? Ularning shartli belgilarini keltiring.
3. Yarim o'tkazgichli diod va tranzistorlarni belgilanish printsipini tushuntiring.
4. To'g'rilovchi diodlarning ishlashini tushuntiring.
5. Varikap nima va u qaerlarda qo'llaniladi ?
6. Elektr zanjirida stabilitronni qo'llanishi qanday qilib chiqish kuchlanishini barqarorlaydi ?
7. To'g'rilovchi va tunnel diodlarining ajratib turuvchi xossalari nimada?
8. Optoelektron asbob nima va ular qaerlarda ishlatilishini tushuntiring.
9. Fotodiod ishlash printsipi va asosiy xarakteristikasini tushuntiring.

10. Yorug'lik diodi ishlash printsipli va asosiy xarakteristikasini tushuntiring.

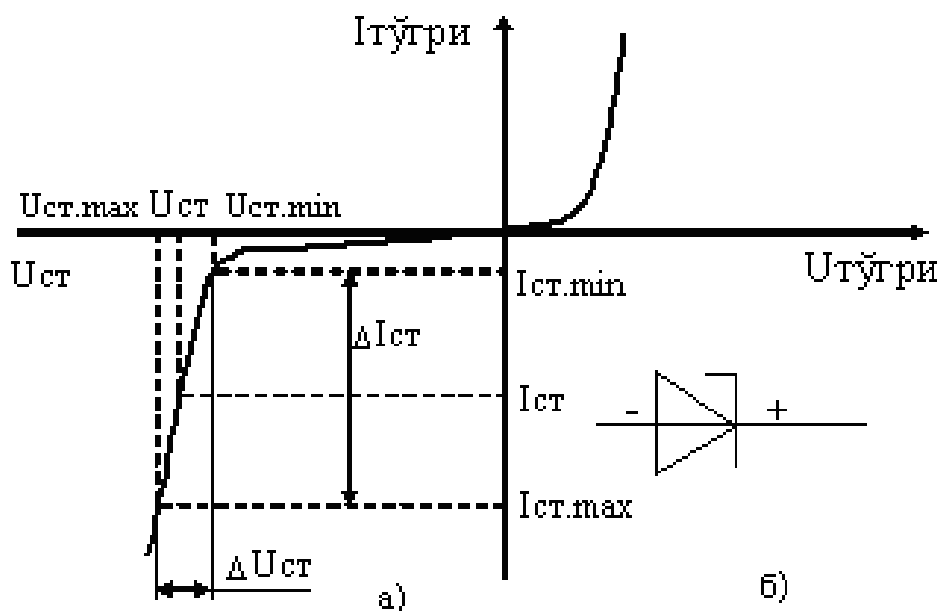
5-Mavzu. Nuqtaviy diodlar. Stabilitronning tuzilishi va ishlash printsipli. Tunel diodlarning tuzilishi va ishlash printsipli. Varikaplarning tuzilishi va ishlash printsipli.

Stabilitron - yarim o'tkazgichli diod bo'lib, uning ishlash printsipli p-n o'tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelishiga asoslangan. Stabilitronning shartli belgisi 3.1.b –rasmda keltirilgan. Stabilitron sxemalarda kuchlanishni barqarorlash uchun ishlatiladi.

Stabilitronning asosiy parametri bo'lib, tokning $I_{ST.min}$ dan $I_{ST.max}$ gacha keng o'zgarish oralig'ida barqarorlash kuchlanishi U_{ST} hisoblanadi (3.1 a- rasm).

Stabilitron VAX sidagi ishchi soha elektr teshilish sohasida joylashadi. Barqarorlash kuchlanishi diod bazasidagi kiritma kontsentratsiyasi bilan aniqlanadigan p-n o'tishga bog'liq. Agar yuqori kontsentratsiyaga ega bo'lgan yarim o'tkazgich qo'llanilsa, u holda p-n o'tish tor bo'ladi va tunnel teshilish kuzatiladi. U_{ST} ishchi kuchlanishi 3-4 V dan oshmaydi.

Yuqori voltli stabilitronlar keng p-n o'tishga ega bo'lishi kerak, shuning uchun ular kuchsiz legirlangan kremniy asosida yasaladilar. Ularda ko'chkisimon teshilish sodir bo'ladi, barqarorlash kuchlanishi esa 7 V dan ortmaydi. U_{ST} 3 dan 7 V gacha bo'lgan oraliqda teshilishning ikkala mexanizmi ishlaydi. Sanoatda barqarorlash kuchlanishi 3 dan 400 V gacha bo'lgan stabilitronlar ishlab chiqariladi.



3.1 - rasm

Stabilitronning elektr teshilish sohasidagi differentsial qarshiligi r_D barqarorlash darajasini xarakterlaydi. Bu qarshilik qiymati dioddagi kichik kuchlanish o'zgarishi qiymatining diod toki o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi

(3.1 a- rasm). r_D qiymati qancha kichik bo'lsa, barqarorlash shuncha yaxshi bo'ladi.

$$r_D = \frac{\Delta U_{CT}}{\Delta I_{CT}}$$

Stabilitronning asosiy parametri bo'lib barqarorlash kuchlanishining temperatura koeffitsienti (KTK) hisoblanadi. KTK – bu temperatura bir gradusga o'zgarganda barqarorlash kuchlanishining nisbiy o'zgarishi. Ko'chkisimon teshilish kuzatiladigan kichik voltli stabilitronlar odatda musbat KTKga ega. KTK qiymati odatda 0,2 -0,4 % /grad dan oshmaydi.

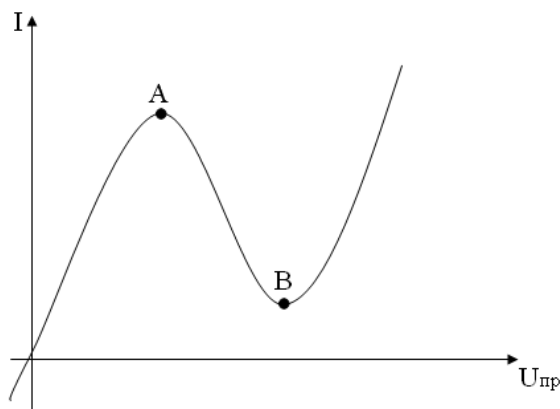
Tunnel diodlari

Tunnel diodi deb qo'zg'otilgan yarim o'tkazgich asosida loyihalangan yarim o'tkazgichli asbobga aytiladi. Unda teskari va uncha katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanishda tunnel effekti yuzaga keladi va volt–amper xarakteristikada manfiy differentsial qarshilikka ega bo'lgan soha mavjud bo'ladi.

Tunnel diodlar boshqa turdagi diodlardan sezilarli farq qilmaydi, lekin ularni yasash uchun 10^{20} sm^{-3} kiritmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli materiallar qo'llaniladi.

VAX nochiziqli bo'lsa, uning har bir kichik sohasi to'g'ri chiziq deb qaraladi va xarakteristikaning bu nuqtasida $R_i = \frac{dU}{dI}$ differentsial qarshilik kiritiladi. Agar xarakteristika kamayuvchi bo'lsa, bu sohada qarshilik R_i manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Tunnel diodi VAX 3.2 – rasmda keltirilgan. AV soha manfiy differentsial qarshilik bilan xarakterlanadi. Agar tunnel diodi tebranma kontur elektr zanjiriga ulansa, u holda kontur va shu zanjirdagi manfiy qarshilik kattaligi o'rtasidagi ma'lum nisbatlarda tebranishlar kuchayishi yoki generatsiyalanishi mumkin. Tunnel diodlari asosan 3-30 GGts diapazonda O'YuCh generatorlar qurishda, hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy yuta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.



3.2 - rasm

Varikaplar

Varikap elektr yordamida boshqariladigan sig‘im sifatida qo‘llanishga mo‘ljallangan. Varikapning ishlash printsipli elektr o‘tish to‘siq sig‘imining teskari kuchlanishga bog‘liqligiga asoslangan.

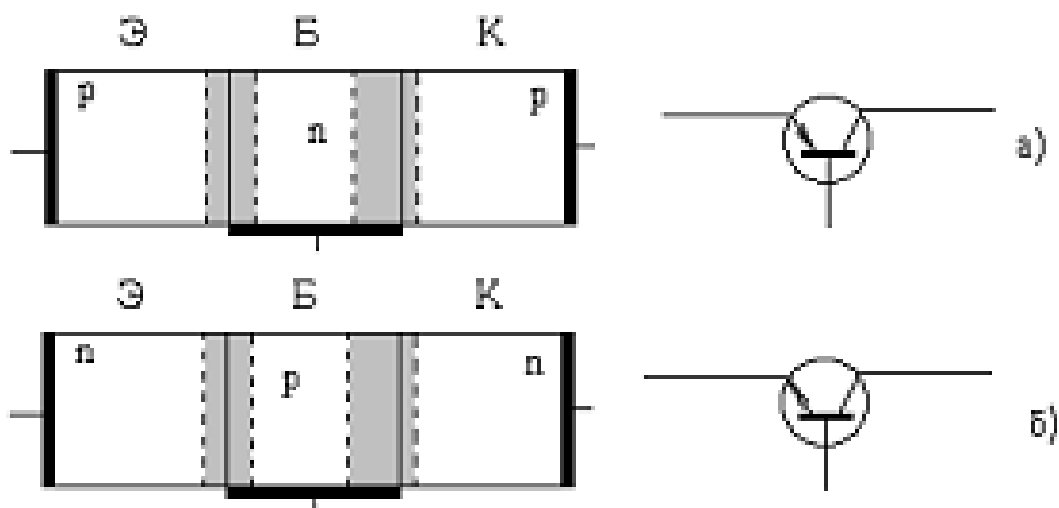
Varikaplar asosan tebranma konturlarni chastotasini elektron qayta sozlashda qo‘llaniladi. Varikaplarning bir necha turi mavjud. Masalan, parametrik diodlar o‘ta yuqori chastota signallarini kuchaytirish va generatsiyalashda, ko‘paytiruvchi diodlar esa keng chastota diapazoniga ega bo‘lgan ko‘paytirgichlarda qo‘llaniladi.

6-Mavzu. Tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlar. tuzilishi, ishlash prinsipi, statik tavsiflari va parametrlari. Bipolyar tranzistorning sxemaga ulash usullari. Bipolyar tranzistorning dinamik ish rejimlari.

Bipolyar tranzistor deb o‘zaro ta’sirlashuvchi ikkita p-n o‘tish va uchta elektrod (tashqi chiqishlar)ga ega bo‘lgan yarim o‘tkazgich asbobga aytiladi. Tranzistordan tok oqib o‘tishi ikki turdagi zaryad tashuvchilar - elektron va kovaklarning harakatiga asoslangan.

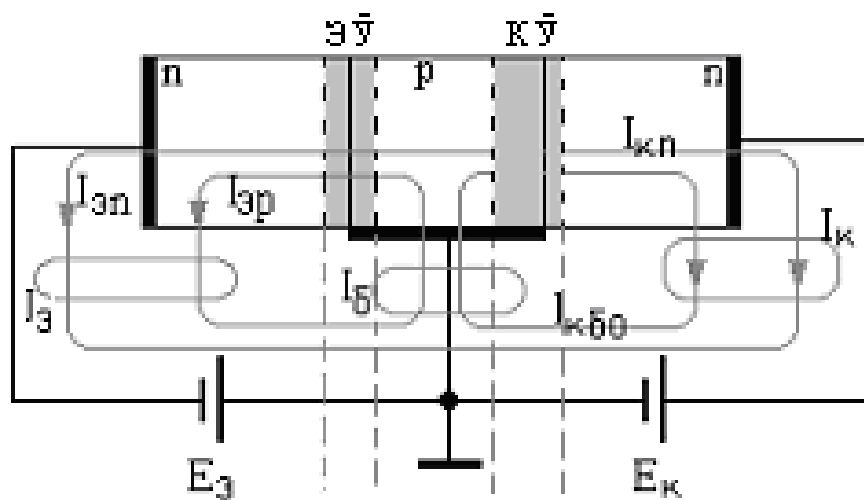
Bipolyar tranzistor p-n-r va n-p-n o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan uchta yarim o‘tkazgichdan tashkil topgan (4.1 a va b-rasm). Endilikda keng tarqalgan n-p-n tuzilmali bipolyar tranzistorni ko‘rib chiqamiz.

Tranzistorning kuchli legirlangan chekka sohasi (n^+ - soha) **emitter** deb ataladi va u zaryad tashuvchilarni **baza** deb ataluvchi o‘rta sohaga (r - soha) injektsiyalaydi. Keyingi chekka soha (n - soha) **kollektor** deb ataladi. U emitterga nisbatan kuchsizroq legirlangan bo‘lib, zaryad tashuvchilarni baza sohasidan ekstraktsiyalash uchun xizmat qiladi (4.2- rasm). Emitter va baza oralig‘idagi o‘tish emitter o‘tish, kollektor va baza oralig‘idagi o‘tish esa -kollektor o‘tish deb ataladi.



4.1 – rasm.

Tashqi kuchlanish manbalari (U_{EB} , U_{KB}) yordamida emitter o‘tish to‘g‘ri yo‘nalishda, kollektor o‘tish esa – teskari yo‘nalishda siljiydi. Bu holda tranzistor **aktiv** yoki normal rejimda ishlaydi va uning kuchaytirish xossalari namoyon bo‘ladi.

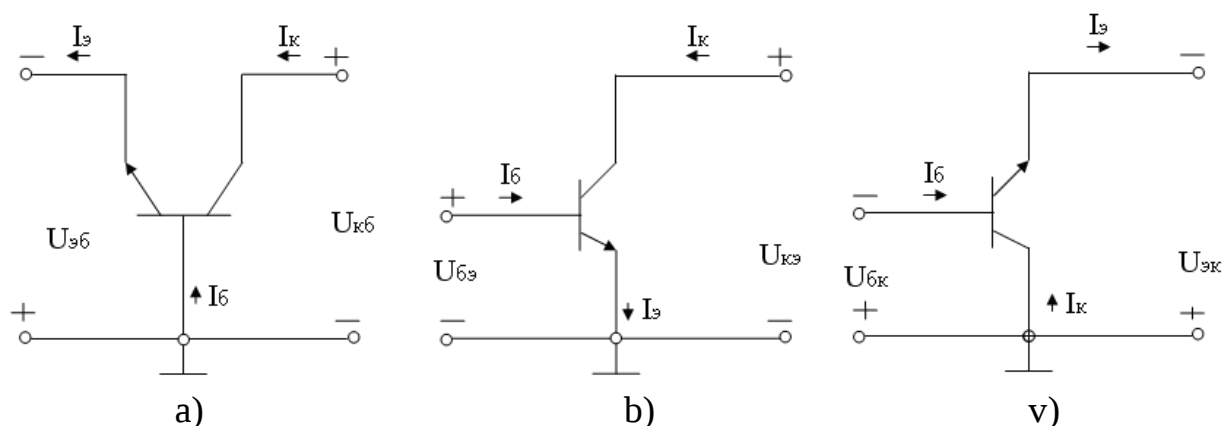


4.2 – rasm.

Agar emitter o'tish teskari yo'nalishda, kollektor o'tish esa to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'lsa, u holda bu tranzistor **invers** yoki teskari ulangan deb ataladi. Tranzistor raqamli sxemalarda qo'llanilganda u **to'yinish** rejimida (ikkala o'tish ham to'g'ri yo'nalishda siljigan), yoki **berk** rejimda (ikkala o'tish teskari siljigan) ishlashi mumkin.

Bipolyar tranzistorning ulanish sxemalari

Tranzistor sxemaga ulanayotganda chiqishlaridan biri kirish va chiqish zanjiri uchun umumiy qilib ulanadi, shu sababli quyidagi ulanish sxemalari mavjud: **umumiy baza (UB)** (4.3 a-rasm); **umumiy emitter (UE)** (4.3 b-rasm); **umumiy kollektor (UK)** (4.3 v- rasm). Bu vaqtda umumiy chiqish potentsiali nolga teng deb olinadi. Kuchlanish manbai qutblari va tranzistor toklarining yo'nalishi tranzistorning aktiv rejimiga mos keladi. UB ulanish sxemasi qator kamchiliklarga ega bo'lib, juda kam ishlatiladi.



4.3 – rasm.

Bipolyar tranzistorning aktiv rejimda ishlashi. UB ulanish sxemasida aktiv rejimda ishlayotgan n-p-n tuzilmali diffuziyali qotishmali bipolyar tranzistorni o'zgarmas tokda ishlashini qo'rib chiqamiz (4.3 a-rasm). Bipolyar tranzistorning normal ishlashining asosiy talabi bo'lib baza sohasining yetarlicha kichik kengligi W hisoblanadi; bu vaqtda

$W < L$ sharti albatta bajarilishi kerak (L -bazadagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi).

Bipolyar tranzistorning ishlashi uchta asosiy hodisaga asoslangan:

- emitterdan bazaga zaryad tashuvchilarning injeksiyasi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilarni kollektorga o'tishi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilar va kollektor o'tishga

yetib kelgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni bazadan kollektorga ekstraktsiyasi.

Emitter o'tish to'g'ri yo'naliishda siljiganda (U_{EB} kuchlanish manbai bilan ta'minlanadi) uning potentsial to'siq balandligi kamayadi va emitterdan bazaga elektronlar injeksiyasi sodir bo'ladi. Elektronlarning bazaga injeksiyasi, hamda kovaklarni bazadan emitterga injeksiyasi tufayli emitter toki I_E shakllanadi. Shunday qilib, emitter toki

$$I_{\Sigma} = I_{\Sigma n} + I_{\Sigma p} , \quad (4.1)$$

bu yerda I_{en} , I_{er} mos ravishda elektron va kovaklarning injeksiya toklari.

Emitter tokining I_{er} tashkil etuvchisi kollektor orqali oqib o'tmaydi va zararli hisoblanadi (tranzistorning qo'shimcha qizishiga olib keladi). I_{er} ni kamaytirish maqsadida bazadagi aktseptor kiritma konsentratsiyasi emitterdagi donor kiritma konsentratsiyasiga nisbatan ikki darajaga kamaytiriladi.

Emitter tokidagi I_{en} qismini **injeksiya koeffitsienti** aniqlaydi.

$$\gamma = \frac{I_{\Sigma n}}{I_{\Sigma}} , \quad (4.2)$$

Bu kattalik emitter ishi samaradorligini xarakterlaydi ($\gamma = 0,990-0,995$).

Injektsiyalangan elektronlar kollektor o'tish tomon baza uzunligi bo'ylab elektronlar zichligining kamayishi hisobiga bazaga diffundlanadilar va kollektor o'tishga yetgach, kollektorga ekstraktsiyalanadilar (kollektor o'tish elektr maydoni hisobiga tortib olinadilar) va I_{Kn} kollektor toki hosil bo'ladi.

Zichlikning kamayishi **konsentratsiya gradienti** deb ataladi. Gradient qancha katta bo'lsa, tok ham shuncha katta bo'ladi. Bu vaqtda bazadan injeksiyalanyotgan elektronlarning bir qismi kovaklar bilan bazaga ekstraktsiyalanishini ham hisobga olish kerak. Rekombinatsiya jarayoni bazaning elektr neytrallik shartini tiklash uchun talab qilinadigan kovaklarning kamchiligini yuzaga keltiradi. Talab qilinayotgan kovaklar baza zanjiri bo'ylab kelib tranzistor baza toki I_{brek} ni yuzaga keltiradi. I_{brek} toki kerak emas hisoblanadi va shu sababli uni kamaytirishga harakat qilinadi. Bu holat baza kengligini kamaytirish hisobiga amalga oshiriladi $W \leq L_n$ (elektronlarning diffuziya uzunligi). Bazadagi rekombinatsiya uchun emitter elektron tokining yo'qotilishi **elektronlarning uzatish koeffitsienti** bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{I_{Kn}}{I_{\Sigma n}} \quad (4.3).$$

Real tranzistorlarda $\alpha_{\Pi} = 0,980-0,995$.

Aktiv rejimda tranzistorning kollektor o'tishi teskari yo'naliishda ulanadi (U_{kb} kuchlanish manbai hisobiga amalga oshiriladi) va kollektor zanjirida, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardan tashkil topgan ikkita dreyf toklaridan iborat bo'lgan kollektorning xususiy toki I_{k0} oqib o'tadi.

Shunday qilib, kollektor toki ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi

$$I_K = I_{Kn} + I_{K0}$$

Agar I_{Kn} ni emitterning to'liq toki bilan aloqasini hisobga olsak, u holda

$$I_{Kn} = \alpha I_{\ominus} + I_{K0}, \quad (4.4)$$

bu yerda $\alpha = \gamma \alpha_{II}$ - **emitter tokining uzatish koeffitsienti**. Bu kattalik UB ulanish sxemasidagi tranzistorni kuchaytirish xossalarini namoyon etadi.

Kirxgofning birinchi qonuniga mos ravishda baza toki tranzistorning boshqa toklari bilan quyidagi nisbatda bog'liq

$$I_{\ominus} = I_B + I_K. \quad (4.5)$$

Bu ifodani (4.4)ga qo'yib, baza tokining emitterning to'liq toki orqali ifodasini olishimiz mumkin:

$$I_B = (1 - \alpha)I_{\ominus} + I_{K0}. \quad (4.6)$$

Koeffitsient $\alpha < 1$ ligini hisobga olgan holda, shunday hulos qilish mumkin: UB ulanish sxemasi tok bo'yicha kuchayish bermaydi ($I_K \approx I_{\ominus}$).

Tok bo'yicha yaxshi kuchaytirish natijalarini umumiy emitter sxemasida ulangan tranzistorda olish mumkin (4.3 b-rasm). Bu sxemada emitter umumiy elektrod, baza toki - kirish toki, kollektor toki esa – chiqish toki hisoblanadi.

(4.4) va (4.5) ifodalardan kelib chiqqan holda UE sxemadagi tranzistorning kollektor toki quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I_K = \alpha(I_K + I_B) + I_{K0}.$$

Bundan

$$I_K = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{K0}. \quad (4.7)$$

Agar $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ belgilash kiritilsa, (4.7) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$I_K = \beta I_B + (\beta + 1)I_{K0}. \quad (4.8)$$

Koeffitsient β - **baza tokining uzatish koeffitsienti** deb ataladi. β ning qiymati o'ndan yuzgacha, ba'zi tranzistor turlarida esa bir necha minglarga oraliq'ida bo'lishi mumkin. Demak, UE sxemasida ulangan tranzistor tok bo'yicha yaxshi kuchaytirish xossalariga ega hisoblanadi.

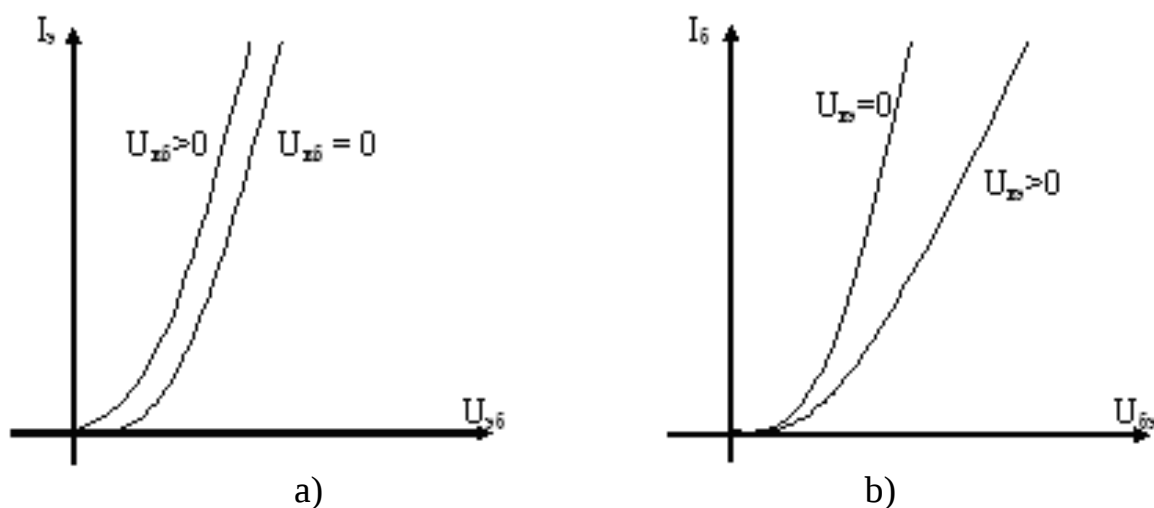
Bipolyar tranzistorlarning statik tavsiflari va parametrlari.

Tranzistor statik xarakteristikallari kollektor zanjiriga yuklama qo'yilmagan holda o'rnatilgan kirish va chiqish toklari va kuchlanishlar orasidagi o'zaro bog'liqlikni ifodalaydi. Har bir ulanish uchun statik xarakteristikalar oilasi ma'lumotnomalarda keltiriladi. Eng asosiylari bo'lib tranzistorning **kirish** va

chiqish xarakteristikalarini hisoblanadi. Qolgan xarakteristikalar kirish va chiqish xarakteristikalaridan hosil qilinishi mumkin.

UB sxemasi uchun kirish statik xarakteristikasi bo'lib $U_{KB} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_E = f(U_{EB})$ bog'liqlik, UE sxemasi uchun esa $U_{KE} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_B = f(U_{BE})$ bog'liqlik hisoblanadi. Kirish xarakteristikalarining umumiy xarakteri odatda to'g'ri yo'nalishda ulangan p-n bilan aniqlanadi. Shu sababli tashqi ko'rinishiga ko'ra kirish xarakteristiklari eksponentsial xarakterga ega (4.4- rasm).

Rasmlardan ko'rinib turibdiki, chiqish kuchlanishining o'zgarishi kirish xarakteristikalarini siljishiga olib keladi. Xarakteristikaning siljishi Erli effekti (baza kengligining modulyatsiyasi) bilan aniqlanadi. Buning ma'nosi shundaki, kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning ortishi uning kengayishiga olib keladi, bu vaqtda baza sohasidagi kengayish uning kengligining kichrayishi hisobiga sodir bo'ladi. Baza kengligining kichrayishi ikkita effektga olib keladi: zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasining kamayishi hisobiga baza tokining kamayishi va bazadagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar kontsentratsiya gradientining ortishi hisobiga emitter tokining ortishi.

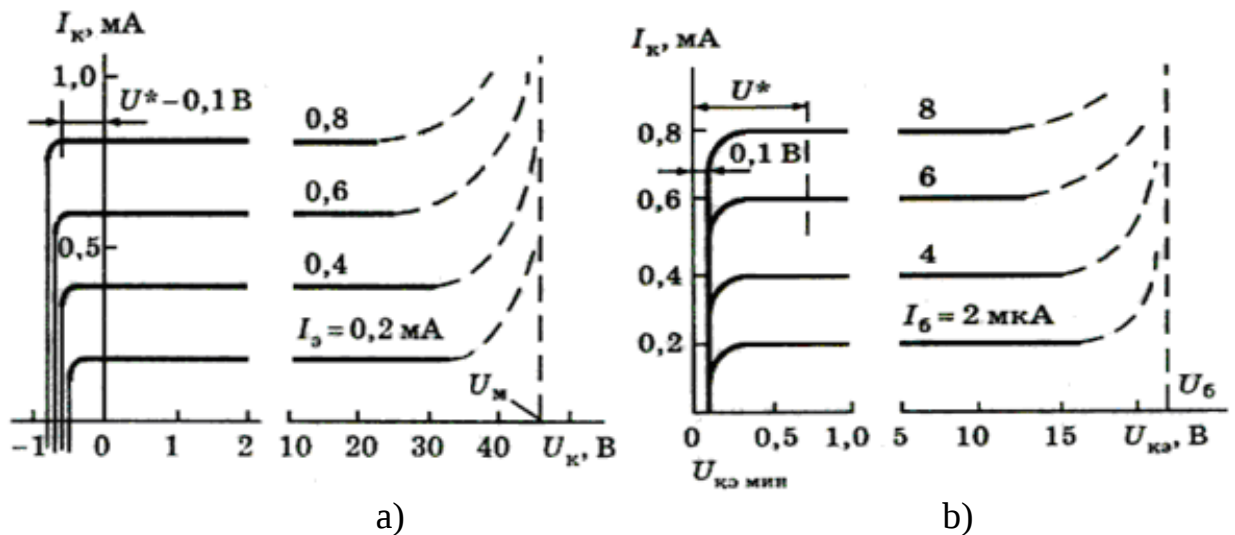


4.4 – rasm.

Shu sababli kollektor o'tishdagi teskari kulanishning ortishi bilan UB sxemadagi kirish xarakteristika chapga, UE sxemada esa o'ngga siljiydi.

UB sxemadagi tranzistorning chiqish xarakteristikalarini oilasi bo'lib $I_E = \text{const}$ bo'lgandagi $I_K = f(U_{KB})$ bog'liqlik, UE sxemada esa $I_B = \text{const}$ bo'lgandagi $I_K = f(U_{KE})$ bog'liqlik hisoblanadi.

Chiqish xarakteristikalarini ko'rinishiga ko'ra teskari ulangan diod VAX siga o'xshaydi, chunki kollektor o'tish teskari ulangan. Xarakteristikalarini qurishda kollektor o'tishning teskari kuchlanishini o'ngda o'rnatish qabul qilingan (4.5 – rasm).



4.5 – rasmlar.

4.5 a - rasmdan ko‘rinib turibdiki, UB sxemadagi chiqish xarakteristikalarini ikki kvadrantlarda joylashgan: birinchi kvadrantdagi VAX aktiv ish rejimiga, ikkinchi kvadrantdagisi esa – to‘yinish ish rejimiga mos keladi. Aktiv rejimda chiqish toki (4.4) nisbat bilan aniqlanadi. Aktiv rejimga mos keluvchi xarakteristika sohalari abstsissa o‘qiga uncha katta bo‘lmagan qiyalikda, deyarli parallel o‘tadilar. Qiyalik yuqorida aytib o‘tilgan Erli effekti bilan tushuntiriladi. $I_E=0$ bo‘lganda (emitter zanjiri uzilganda) chiqish xarakteristikasi teskari siljigan kollektor o‘tish xarakteristikasi ko‘rinishida bo‘ladi. Emitter o‘tish to‘g‘ri yo‘nalishda ulanganda injeksiya toki hosil bo‘ladi va chiqish xarakteristikalarini $\alpha(I_{E2} - I_{E1})$ kattalikka chapga siljiydi va x.z.

UE sxemasida ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasi UB sxemada ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasiga nisbatan katta qiyalikka ega. Chunki uning ko‘rinishiga Erli effekti katta ta‘sir ko‘rsatadi. Bog‘liqliklarning umumiy xarakteri (4.5 b-rasm) kollektor va baza toklari orasidagi quyidagi bog‘liqlik bilan aniqlanadi:

$$I_K = \beta I_E + I_{KE0}, \quad (4.9)$$

bu yerda $I_{KE0} - I_B=0$ (uzilgan baza) bo‘lgandagi kollektorning to‘g‘ri toki. I_{KE0} toki I_{K0} tokidan $\beta + 1$ martaga katta bo‘ladi, chunki $U_{BE}=0$ bo‘lganda U_{KE} kuchlanishining bir qismi emitter o‘tishga qo‘yilgan bo‘ladi va uni to‘g‘ri yo‘nalishda siljitadi. Shunday qilib, $I_{KE0}=(\beta + 1)I_{K0}$ – ancha katta tok bo‘lib, tranzistor ishining buzilishini oldini olish maqsadida baza zanjirini uzish kerak.

Baza toki ortishi bilan kollektor toki $\beta(I_{E2} - I_{E1})$ kattalikka ortadi va x.z., va xarakteristika yuqoriga siljiydi. UE sxemadagi chiqish VAXlarining asosiy xossasi shundaki, ham aktiv va ham to‘yinish rejimlarida bir kvadrantda joylashadi. Ya‘ni, elektrodning berilgan kuchlanish ishoralarida ham aktiv rejim, ham to‘yinish rejimida bo‘lishi mumkin. Rejimlar almashinishi kollektor o‘tishdagi kuchlanishlar nolga teng bo‘lganda sodir bo‘ladi. Kollektor soha qarshiligini hisobga olmagan holda $U_{KE} = U_{KB} + U_{BE}$ bo‘lgani uchun, talab qilinayotgan bo‘lag‘aviy kuchlanish qiymati $U_{KE}^* = U_{BE}$ bo‘ladi. U_{BE} qiymati berilgan baza tokida kirish xarakteristikasidan aniqlanadi.

Bipolyar tranzistor fizik parametrlari

Tok bo'yicha α va β ko'effitsientlar statik parametrlar hisoblanadi, chunki ular o'zgarish toklar nisbatini ifodalaydilar. Ulardan tashqari tok o'zgarishlari nisbati bilan ifodalanadigan differentsial kuchaytirish ko'effitsientlari ham keng qo'llaniladi. Statik va differentsial α kuchaytirish ko'effitsientlari bir-biridan farq qiladilar, shu sababli talab qilingan hollarda ular ajratiladi. Tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsientining kollektordagi kuchlanishga bog'liqligi Erli effekti bilan tushuntiriladi.

UE sxemasi uchun tok bo'yicha differentsial kuchaytirish ko'effitsienti

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_E} \text{ temperaturaga bog'liq bo'lib baza sohasidagi asosiy bo'lmagan zaryad}$$

tashuvchilarning yashash vaqtiga bog'liqligi bilan tushuntiriladi. Temperatura ortishi bilan rekombinatsiya jarayonlari sekinlashishi sababli, odatda tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsientining ortishi kuzatiladi.

Tranzistor xarakteristikalarining temperaturaviy barqaror emasligi asosiy kamchilik hisoblanadi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan tok bo'yicha uzatish ko'effitsientidan tashqari, fizik parametrlarga o'tishlarning differentsial qarshiliklari, sohalarining hajmiy qarshiliklari, kuchlanish bo'yicha teskari aloqa ko'effitsientlari va o'tish hajmlari kiradi.

Tranzistorning emitter va kollektor o'tishlari o'zining differentsial qarshiliklari bilan ifodalanadilar. Emitter o'tish to'g'ri yo'nalishda siljiganligi sababli, uning differentsial qarshiligi r_E ni (2.6) ifodani qo'llab aniqlash mumkin:

$$r_E = \frac{dU_{\text{ЭБ}}}{dI_E} = \frac{\varphi_T}{I_E}, \quad (4.10).$$

bu yerda I_E – tokning doimiy tashkil etuvchisi. U kichik qiymatga ega (tok 1 mA bo'lganda $r_E=20-30$ Om ni tashkil etadi) bo'lib, tok ortishi bilan kamayadi va temperatura ortishi bilan ortadi.

Tranzistorning kollektor o'tishi teskari yo'nalishda siljiganligi sababli, I_K toki U_{KB} kuchlanishiga kuchsiz bog'liq bo'ladi. Shu sababli kollektor o'tishning

differentsial qarshiligi $r_K = \frac{dU_{KB}}{dI_K} = 1\text{Mom}$ bo'ladi. r_K qarshiligi asosan Erli

effekti bilan tushuntiriladi va odatda u ishchi toklarning ortishi bilan kamayadi.

Baza qarshiligi r_B bir necha yuz Omni tashkil etadi. Yetarlicha katta baza tokida baza qarshiligidagi kuchlanish pasayishi baza va emitter tashqi chiqishlari kuchlanishiga nisbatan emitter o'tishdagi kuchlanishni kamaytiradi.

Kichik quvvatli tranzistorlar uchun kollektor qarshiligi o'nlab Om, katta quvvatliklariniki esa birlik Omlarni tashkil etadi.

Emitter soha qarshiligi yuqori kiritmalar kontsentratsiyasi sababli baza qarshiligiga nisbatan juda kichik.

UB sxemadagi kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffitsienti ($I_E = \text{const}$ bo'lganida) $\mu_{vB} = \frac{d|U_{\text{ЭБ}}|}{dU_{KB}}$ kabi aniqlanadi, UE sxemasida esa ($I_B = \text{const}$ bo'lganida) $\mu_{vЭ} = \frac{d|U_{\text{БЭ}}|}{dU_{KЭ}}$ orqali aniqlanadi. Koeffitsientlar absolyut qiymatlariga ko'ra deyarli biP – xil bo'ladilar va kontsentratsiya va tranzistorlarning tayyorlanish texnologiyasiga ko'ra $\mu_{vЭ} = 10^{-2} - 10^{-4}$ ni tashkil etadilar.

Bipolyar tranzistorlarning xususiy xossalari asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning baza orqali uchib o'tish vaqti va o'tishlarning to'siq sig'implarining qayta zaryadlanish vaqti bilan aniqlanadilar. Bu ta'sirlarning nisbiy ahamiyati tranzistor konstruksiyasi va ish rejimiga, hamda tashqi zanjir qarshiliklariga bog'liq bo'ladi.

Juda kichik kirish signallari va aktiv ish rejimi uchun bipolyar tranzistorni chiziqli to'rtqutblik ko'rinishida ifodalash mumkin va bu to'rtqutblikni biror parametrlar tizimi bilan belgilash mumkin. Bu parametrlarni **h-parametrlar** deb atash qabul qilingan. Ularga quyidagilar kiradi: h_{11} – chiqishda qisqa tutashuv bo'lgan vaqtdagi tranzistorning kirish qarshiligi; h_{12} – uzilgan kirish holatidagi kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffitsienti; h_{21} – chiqishda qisqa tutashuv bo'lgan vaqtdagi tok bo'yicha kuchaytirish (uzatish) koeffitsienti; h_{22} – uzilgan kirish holatidagi tranzistorning chiqish o'tkazuvchanligi. Barcha h – parametrlar oson va bevosita o'lchanadi.

Elektronika bo'yicha avvalgi adabiyotlarda kichik signalli parametrlarning chastotaviy bog'liqliklariga juda katta e'tibor qaratilgan. Hozirgi vaqtda 10 GGts gacha bo'lgan chastotalarda normal ishni ta'minlaydigan tranzistorlar ishlab chiqarilmoqda. Bunday xollarda talab qilinayotgan chastota xarakteristikalarini olish uchun ma'lumotnomadan kerakli tranzistor turini tanlash kerak.

Nazorat savollari

1. Bipolyar tranzistor (BT) nima ?
2. Bipolyar tranzistorning ishlash printsipi nimaga asoslangan ?
3. Bipolyar tranzistor kollektor, emitter va bazalarining vazifasi.
4. n-p-n va p-n-p tuzilmali BTlarning ishlash printsipida farq bormi?
5. Bipolyar tranzistorning qanday ulanish sxemalarini bilasiz ?
6. BT asosiy ish rejimlarini aytib bering.
7. Turli ulanish sxemalaridagi BT statik xarakteristikalaridan aktiv va to'yinish rejim sohalarini aniqlang.
8. Tranzistorning tok bo'yicha uzatish koeffitsienti nima ? UB va UE ulanish sxemalaridagi tok bo'yicha uzatish koeffitsienti kattaliklarini solishtiring.
9. Tranzistorni to'rtqutblik ko'rinishida ifodalab, kichik signalli parametrlarni aniqlashni tushuntiring. Bu parametrlar ma'nosini tushuntiring.

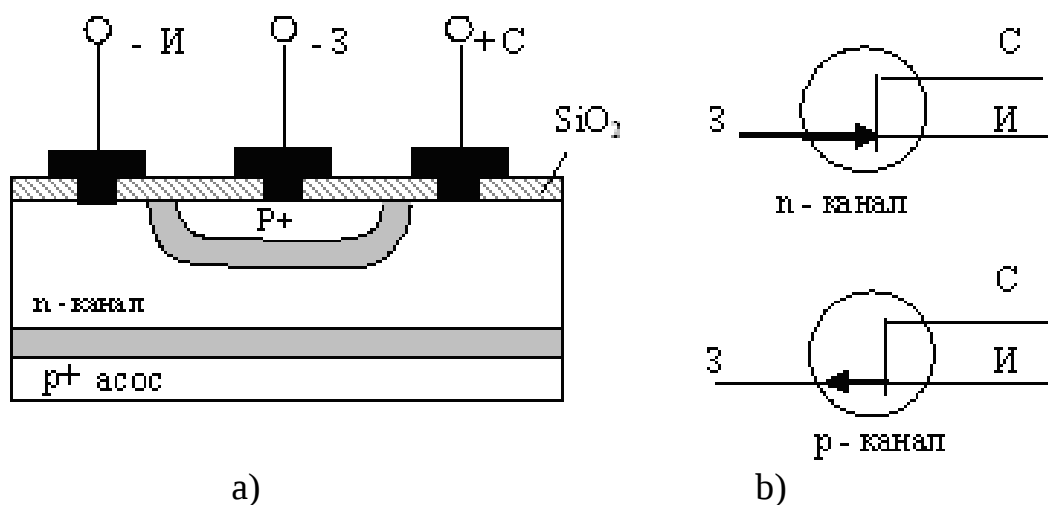
7-Mavzu. Maydonli tranzistorlar tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy xarakteristikalari va parametrlari. Maydonli tranzistorning umumiy zatvor, umumiy stok va umumiy istok bo'yicha ulanish sxemalari.

Maydoniy tranzistor (MT) deb, tok kuchi qiymatini boshqarish ychun o'tkazuvchi kanaldagi elektr o'tkazuvchanligikni o'zgartirish hisobiga elektr maydon o'zgarishi bilan boshqariladigan yarim o'tkazgichli aktiv asbobga aytiladi.

Maydoniy tranzistorlar turli elektr signallar va quvvatni kuchaytirish uchun mo'ljallangan. Maydoniy tranzistorlarda bipolyar tranzistorlardan farqli ravishda tok tashkil bo'lishida faqat bir turdagi zaryad tashuvchilar ishtirok etadi: yoki elektronlar, yoki kovaklar. Shuning uchun ular yana **unipolyar** tranzistorlar deb ham ataladi.

Maydoniy tranzistorlarning tuzilishi va kanal o'tkazuvchanligiga ko'ra ikki turi mavjud: r-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor hamda metall – dielektrik – yarim o'tkazgichli (MDYa) tuzilishga ega bo'lgan zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar. Ular MDYa- tranzistorlar deb ham ataladilar.

R-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor. 5.1 – rasmda n-kanalli r-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorning tuzilishining qirqimi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.



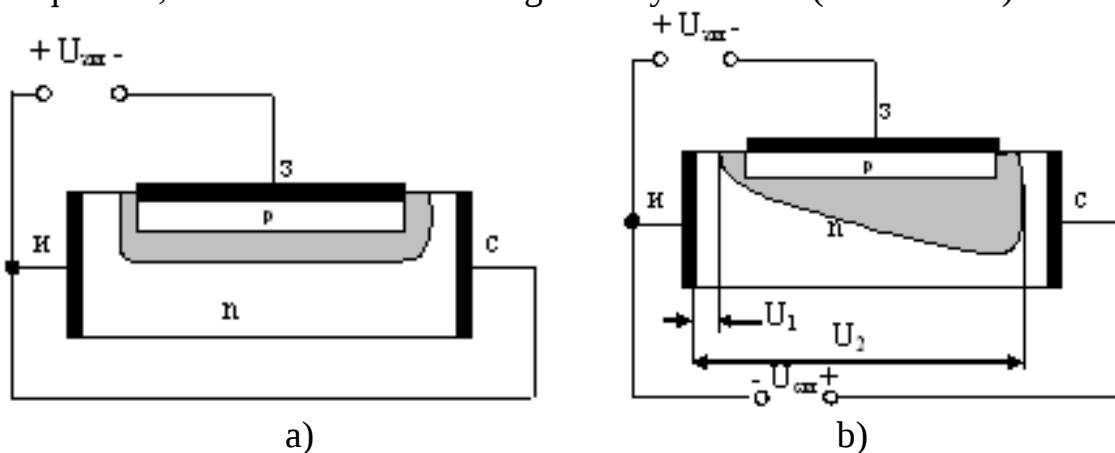
5.1 – rasm.

n-turdagi soha **kanal** deb ataladi. Kanalgacha zaryad tashuvchilar kiritiladigan kontakt **istok (I)**; zaryad tashuvchilar chiqib ketadigan kontakt **stok (S)** deb ataladi. **Zatvor (Z)** boshqaruvchi elektrod hisoblanadi. Zatvor va istok oralig'iga kuchlanish berilganda yuzaga keladigan elektr maydoni kanal o'tkazuvchanligini, natijada kanaldan oqib o'tayotgan tokni o'zgartiradi. Zatvor sifatida kanalgacha nisbatan o'tkazuvchanligi teskari turdagi soha qo'llaniladi. Ishchi rejimda u teskari ulangan bo'lib kanal bilan P – n o'tish hosil qiladi.

Kanalning o'tkazuvchanligi uning qarshiligi bilan aniqlanadi $R = \rho \frac{l}{S}$, bu yerda ρ - kanal materialining solishtirma qarshiligi, l- uzunligi, S – kanalning ko'ndalang kesim yuzasi. Tashqi kuchlanish mavjud bo'lmaganda kanal uzunligi

bo'ylab zatvor ostidagi kanalning ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'ladi. Berilgan qutblanishda zatvor va istok oralig'iga tashqi kuchlanish berilsa U_{ZI} r-n o'tish teskari yo'nalishda siljiydi, kanal tomonga kengayadi, natijada kanal uzunligi bo'ylab kanalning ko'ndalang kesim yuzasi bir tekis torayadi. Kanal qarshiligi ortadi, lekin chiqish toki $I_S = 0$ bo'ladi, chunki $U_{SI}=0$ (5.2 a - rasm).

Agar istok va stok oralig'iga kuchlanish manbai ulansa, u holda kanal bo'ylab istokdan stok tomonga elektronlar dreyfi boshlanadi, ya'ni kanal orqali stok toki I_S oqib o'ta boshlaydi. Kuchlanish manbai U_{SI} ning ulanishi r-n o'tish kengligiga ham ta'sir ko'rsatadi, chunki o'tish kuchlanishi kanal uzunligi bo'ylab turlicha bo'ladi. Kanal potentsiali uning uzunligi bo'ylab o'zgaradi: istok potentsiali nolga teng bo'lib, stok tomonga ortib boradi, stok potentsiali esa U_{SI} ga teng bo'ladi. R-n o'tishdagi teskari kuchlanish istok yaqinida $|U_{3H}|$ ga, stok yaqinida esa $|U_{3H}| + U_{CH}$ teng bo'ladi. Natijada o'tish kengligi stok tomonda kattaroq bo'lib, kanal kesimi stok tomoga kamayib boradi (5.2. b -rasm).



5.2 –rasm.

Shunday qilib, kanal orqali oqib o'tayotgan tokni U_{ZI} kuchlanish qiymatini (kanal kesimini o'zgartiradi) hamda U_{SI} kuchlanish qiymatini (tok va kanal uzunligi bo'ylab kesimni o'zgartiradi) boshqarish mumkin. Istok tomonda kanal kengligi berilgan U_{ZI} qiymati bilan, stok tomonda esa $U_{ZI} + U_{SI}$ yig'indi qiymati bilan aniqlanadi. U_{SI} qiymati qancha katta bo'lsa, kanalning **ponaligi (klinovidnost)** va uning qarshiligi shuncha katta bo'ladi.

Kanalning ko'ndalang kesimi nolga teng bo'ladigan vaqtdagi zatvor kuchlanishi **berkilish kuchlanishi** $U_{ZI.BERK.}$ deb ataladi.

$|U_{3H}| + U_{CH.T\ddot{Y}\ddot{H.}}$ kuchlanish berkilish kuchlanishiga $U_{ZI.BERK.}$ ga teng bo'ladigan vaqtdagi stok kuchlanishi **to'yinish kuchlanishi** $U_{SI.TO'Y.}$ deb ataladi.

Bu yerdan

$$U_{CH.T\ddot{Y}\ddot{H.}} = |U_{3H.BERK.}| - |U_{3H}| \quad (5.1)$$

$U_{CH} \leq U_{CH.T\ddot{Y}\ddot{H.}}$ vaqtidagi tranzistorning ishchi rejimi **tekis o'zgarish** rejimi, $U_{CH} \geq U_{CH.T\ddot{Y}\ddot{H.}}$ vaqtidagi tranzistorning ishchi rejimi esa **to'yinish** rejimi deb ataladi. To'yinish rejimida U_{SI} kuchlanish qiymatining ortishiga qaramay I_C tokining ortishi deyarli to'xtaydi. Bu holat bir vaqtning o'zida zatvordagi U_{ZI}

kuchlanishining ham ortishi bilan tushuntiriladi. Bu vaqtda kanal torayadi va I_C tokini kamayishiga olib keladi. Natijada I_C dreyfrli o'zgarmaydi.

Biror uch elektrodli asbob kabi, maydoniy tranzistorlarni uch xil sxemada ulash mumkin: umumiy istok (UI), umumiy stok (US) va umumiy zatvor (UZ). UI sxema keng tarqalgan sxema hisoblanadi.

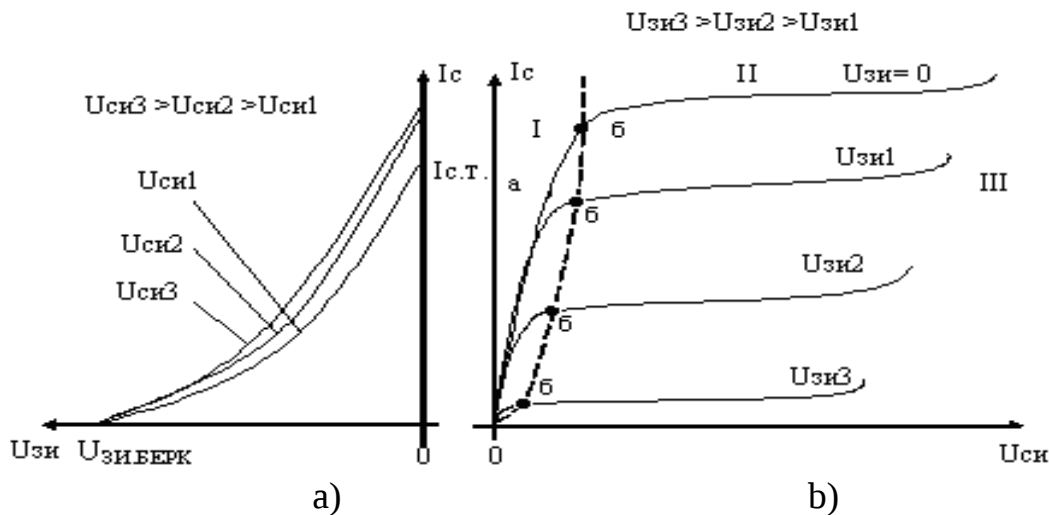
Maydonli tranzistorlarning asosiy xarakteristikalar va parametrlari.

Zatvordagi kuchlanish U_{ZI} yordamida stok toki I_C ni boshqarish **stok – zatvor** xarakteristikasidan aniqlanadi. Bu xarakteristika tranzistorning **uzatish** xarakteristikasi deb ham ataladi. 5.3 a-rasmda $U_{SI} = \text{const}$ bo'lgandagi stok zatvor xarakteristikalar oilasi $I_S = f(U_{ZI})$ keltirilgan.

Stok – zatvor xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, $U_{ZI} = 0$ bo'lganda tranzistor orqali maksimal tok oqib o'tadi. U_{ZI} qiymati ortishi bilan kanal kesimi tusha boshlaydi va ma'lum $U_{ZI.BERK.}$ qiymatga yetganda nolga teng bo'lib qoladi va stok toki I_S deyarli nolga teng bo'lib qoladi. Tranzistor berkiladi. U_{SI} ortishi bilan xarakteristika tikkalasha boradi, bu holat kanal uzunligining uncha katta bo'lmagan kamayishi bilan tushuntiriladi. Stok – zatvor xarakteristika tenglamasi quyidagi qo'rinishga ega bo'ladi:

$$I_C = I_{C.T\ddot{Y}I} \left(1 - \frac{U_{3И}}{U_{3И.BEPK.}}\right)^2. \quad (5.2)$$

5.3 b-rasmda maydoniy tranzistorning chiqish (stok) xarakteristikalar keltirilgan. **Stok xarakteristika** - bu ma'lum $U_{ZI} = \text{const}$ qiymatlaridagi $I_S = f(U_{SI})$ bog'liqlik. U_{SI} ortishi bilan I_S deyarli to'g'ri chiziqli o'zgaradi (tekis o'zgarish rejimi) va $U_{SI} = U_{SI.TO'Y.}$ qiymatiga yetganda (b nuqta) I_S ortishi to'xtaydi.



5.3 – rasm.

MT asosiy parametrlari

Maydoniy tranzistorlarning asosiy parametrlaridan biri bo'lib **xarakteristika tikligi** hisoblanadi

$$S = \frac{dI_C}{dU_{3И}} \quad (\text{mA/V}),$$

va uni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$S = S_{\max} \left(1 - \frac{U_{3H}}{U_{3H.BEPK}}\right), \quad (5.3)$$

bu yerda $S_{\max} - U_{ZI}=0$ bo'lgandagi maksimal tiklik. (5.2) (5.3) ifodalardan ko'rinib turibdiki, U_{ZI} ortishi bilan stok toki va maydoniy tranzistor xarakteristika tikligi kamayadi.

Statik xarakteristikalaridan maydoniy tranzistorning boshqa parametrlarini ham aniqlash mumkin.

Tranzistorning **differentsial (ichki) qarshiligi** istok va stok oralig'idagi kanal qarshiligini ifodalaydi

$$R_i = \frac{dU_{CH}}{dI_C} \quad U_{ZI} = \text{const bo'lganda} \quad (5.4)$$

To'yinish rejimida (VAX ning tekis qismida) R_i bir necha MOmni tashkil etadi va U_{SI} ga bog'liq emas.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti tranzistorning kuchaytirish xususiyatini ifodalaydi:

$$\mu = - \frac{dU_{CH}}{dU_{3H}} \quad I_S = \text{const bo'lganda} \quad (5.5)$$

Bu koeffitsient stokdagi kuchlanish stok tokiga zatvordagi kuchlanishga nisbatan qanchalik ta'sir ko'rsatishini ifodalaydi. "Manfiy" ishora kuchlanish o'zgarishi yo'nalishlarining qarama-qarshiligini bildiradi. Har doim ham bu koeffitsientni xarakteristikadan aniqlab bo'lmaganligi sababli, bu kattalikni quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\mu = SR_i. \quad (5.6)$$

Kanali induktsiyalangan MDYa - tranzistorlar

P – n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardan farqli ravishda MDYa–tranzistorlarda metall zatvor kanal hosil qiluvchi o'tkazgichli sohadan doim dielektrik qatlami yordamida izolyatsiyalangan. Shu sababli MDYa–tranzistorlar zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar turiga kiradi. Dielektrik qatlami SiO_2 dielektrik oksidi bo'lganligi sababli, bu tranzistorlar MOYa – tranzistorlar (metall – oksid- yarim o'tkazgichli tuzilma) deb ham ataladilar.

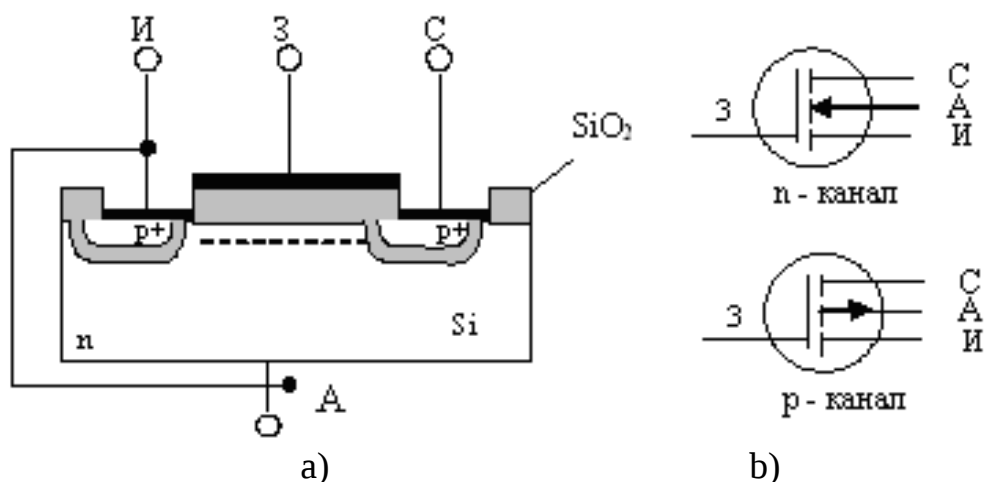
MDYa–tranzistorlarning ishlash printsiplari ko'ndalang elektr maydoni ta'sirida dielektrik bilan chegaralangan yarim o'tkazgichning yuqori qatlamida o'tkazuvchanlikni o'zgartirish effektiga asoslangan. Yarim o'tkazgichning yuqori qatlami tranzistorning tok o'tkazuvchi kanali vazifasini bajaradi.

P – kanali induktsiyalangan MDYa - tranzistor tuzilmasi 5.4 a –rasmda va uning shartli belgisi 5.4 b- rasmda keltirilgan.

Tranzistor quyidagi chiqishlarga ega: istokdan – I, stokdan – S, zatvordan – Z va asos deb ataluvchi – A kristalldan.

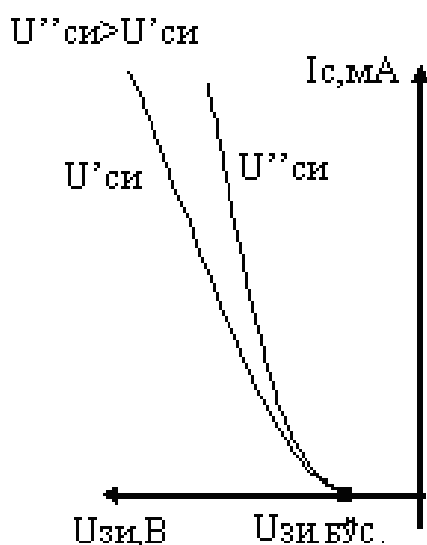
Stok va istoklarning r^+ - sohalari n – turdagi yarim o'tkazgich bilan ikkita r– n o'tish hosil qilganligi sababli, U_{SI} kuchlanishining biror qutblanishida bu

o'tishlardan biri teskari yo'nalishda ulanadi va stok toki I_S deyarli nolga teng bo'ladi.

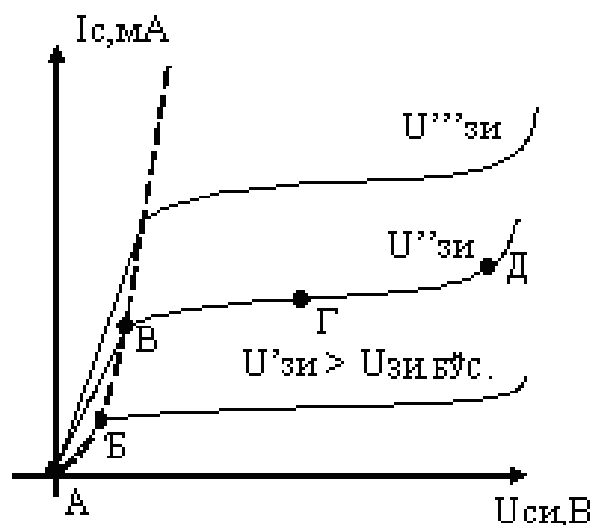


5.4 – rasm.

Tranzistorda tok o'tkazuvchi kanal hosil qilish uchun zatvorga teskari qutbdagi kuchlanish beriladi. Zatvor elektr maydoni SiO_2 dielektrik qatlami orqali yarim o'tkazgichning yuqori qatlamiga kiradi, undagi asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar) ni itarib chiqaradi va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar (kovaklar) ni o'ziga tortadi. Natijada yuqori qatlam elektronlari kambag'allashib, kovaklar bilan esa boyib boradi. Zatvor kuchlanishi bo'sag'aviy deb ataluvchi ma'lum qiymati U_0 ga yetganda, yuqori qatlamda elektr o'tkazuvchanlik kovak o'tkazuvchanlik bilan almashadi va istok va stokni biP – biri bilan bog'lovchi p-turdagi kanal shakllanadi. $U_{3H} > U_0$ bo'lganda yuqori qatlam kovaklar bilan boyib boradi, bu esa kanal qarshiligini kamayishiga olib keladi. Bu vaqtda stok toki I_S ortadi. 5.5 – rasmda P – kanali induktsiyalangan MDYa - tranzistorning stok – zatvor VAXsi keltirilgan.



5.5 – rasm.



5.6 – rasm.

5.6 – rasmda n - kanali induktsiyalangan MDYa - tranzistorning chiqish (stok) xarakteristiklar oilasi keltirilgan. Zatvorga ma'lum kuchlanish berilganda

$|U_{CH}|$ ning ortib borishiga ko'ra stok toki nol qiymatdan avvaliga chiziqli ko'rinishda ortib boradi (VAX ning tikka qismi), keyinchalik esa ortish tezligi kamayadi va yetarlicha katta $|U_{CH}|$ qiymatlarida tok o'zgarmas qiymatga intiladi. Tok ortishining to'xtashi stok yaqinidagi kanalning berkilishi bilan bog'liq.

Kanali qurilgan MDYa - tranzistorlar

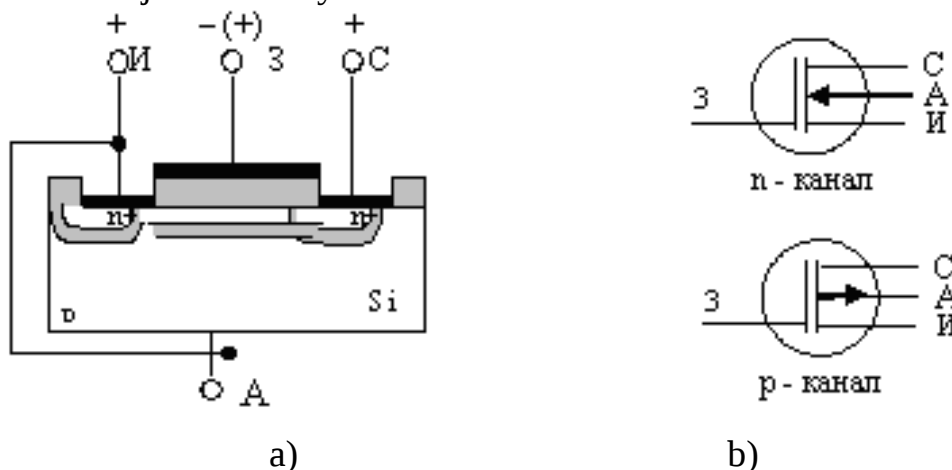
5.7 –rasmda n – turdagi kanali qurilgan MDYa tranzistor tuzilmasi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.

Agar $U_{ZI} = 0$ bo'lganda U_{SI} kuchlanish o'rnatilsa, u holda kanal orqali elektronlar hisobiga tok oqib o'tadi. Zatvorga istokka nisbatan manfiy kuchlanish berilsa, kanalda ko'ndalang elektr maydon yuzaga keladi va uning ta'sirida kanaldan elektronlar itarib chiqariladilar. Kanal elektronlar bilan kambag'allashib boradi, uning qarshiligi ortadi va stok toki kamayadi. Zatvordagi manfiy kuchlanish qancha katta bo'lsa, bu tok shuncha kichik bo'ladi. Tranzistorning bunday rejimi **kambag'allashish rejimi** deb ataladi.

Agar zatvorga musbat kuchlanish ta'sir ettirilsa, hosil bo'lgan elektr maydoni ta'sirida, istok va stok, hamda kristalldan kanalga elektronlar kela boshlaydilar, kanalning o'tkazuvchanligi va shu bilan birga stok toki ortib boradi. Bu rejim **boyish rejimi** deb ataladi.

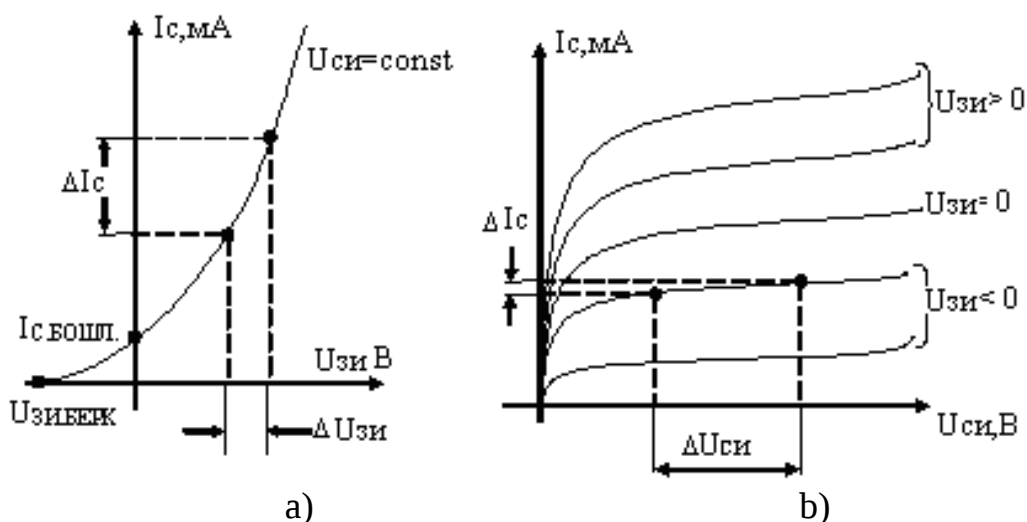
Ko'rib o'tilgan jarayonlar 5.8 a – rasmida keltirilgan statik stok – zatvor xarakteristikada: $U_{SI} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_S = f(U_{ZI})$ bilan ifodalanagan.

$U_{3H} > 0$ bo'lganda tranzistor boyish rejimida, $U_{3H} < 0$ bo'lganda esa kambag'allashish rejimida ishlaydi.



5.7 – rasm.

Boyish rejimida stok xarakteristikalarini $U_{ZI} = 0$ da olingan boshlang'ich xarakteristikadan - yuqorida, kambag'allashish rejimida esa – pastda joylashadi (5.8 b- rasm).



5.8 – rasm.

S , R_i va μ statik differentsial parametrlar xuddi r-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagi (5.4), (5.5) va (5.6) ifodalardan mos ravishda aniqlanadi.

Xarakteristika tikligi va ichki qarshilik barcha turdagi maydoniy tranzistorlardagi kabi qiymatlarga ega bo'ladi. Kirish qarshiligi va elektrodlararo sig'implarga kelsak, MDYa – tranzistorlar p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagiga nisbatan yaxshi ko'rsatkichlarga ega. R_{ZI} kirish qarshiligi bir necha darajaga yuqori bo'lib 10^{12} - 10^{15} Om ni tashkil etadi. Elektrodlararo sig'implar qiymati S_{ZI} , S_{SI} lar uchun -10 pF dan, S_{ZS} uchun -2 pF dan ortmaydi. Bu ko'rsatkichlar tranzistor inertsiasini belgilaydilar.

Nazorat savollari

1. Maydoniy tranzistor nima va nima sababli ular unipolyar tranzistorlar deb ataladi ?
2. Maydoniy tranzistorlar sinflanishini keltiring.
3. Maydoniy tranzistor kanali, zatvor, stok, istok va asoslari nima ?
4. P-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor ishlash printsipli nimadan iborat ?
5. Asosga nisbatan zatvor va istok oralig'idagi kuchlanish o'zgarishida kanal geometriyasi qanday o'zgaradi ?
6. Zatvor va istok oralig'idagi kuchlanish maydoniy tranzistor stok toki qiymatiga qanday ta'sir ko'rsatadi ?
7. Maydoniy tranzistorlarning asosiy ulanish sxemalarini aytib bering.
8. Maydoniy tranzistor qanday rejimlarda ishlashi mumkin ?
9. Maydoniy tranzistor asosiy xarakteristikalarini aytib bering.

8-Mavzu. Tiristorlar. Tiristorlarning tuzilishi ishlash prinsipi, asosiy xarakteristikalar va parametrlari. Dinistop- ikki ekvivalent tranzistor misolida.

TiristoP – to'rt qatlamli yarim o'tkazgichli asbob. Uning tuzilishi 1.17a – rasmda keltirilgan. Unda uchta p-p o'tish bo'lib, A nuqtaga manbaning musbat qutbi, B nuqtaga manfiy qutbi ulansa, P1 va P3 o'tishlar to'g'ri, P2 esa teskari p-p

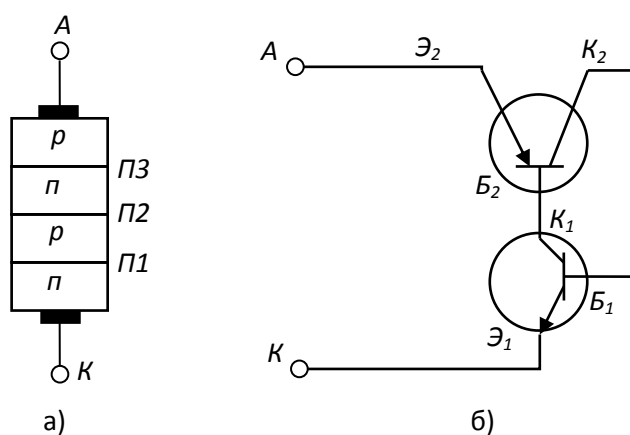
o'tishga ega bo'ladi. Uning ishlash prinsipini tushuntirish uchun, tiristorni ikkita p-p-r va p-p-p tipli tranzistorlarga ekvivalent deb qaraladi (1.17b – rasm). Bu paytda tiristordan o'tuvchi umumiy tok uchta tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

$$I = I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2} + I_{\text{enuk}}$$

bundan

$$I = \frac{I_{\text{enuk}}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

bu yerda I_{yopiq} – tiristor yopiq bo'lganda o'tadigan tok, α_1 va α_2 – mos ravishda tranzistorlarning tok uzatish koeffisientlari.

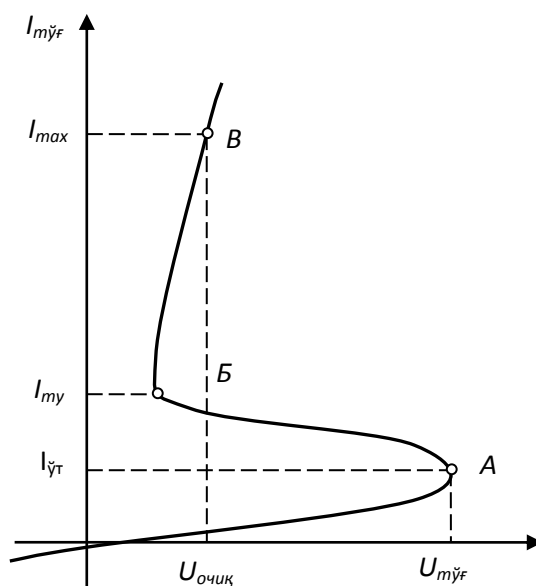


1.17 – rasm. Tiristorning tizimiy tuzilishi (a) va uni qo'sh tranzistor kabi tasvirlash (b)

Agar $\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat birga nisbatan kichik bo'lsa, u holda umumiy tok I_{yopiq} ga yaqin bo'ladi. Asbobni ochiq holatga o'tkazish uchun $\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat birga intilishi kerak. Bunday holda tiristor orqali o'tuvchi tok keskin ortadi.

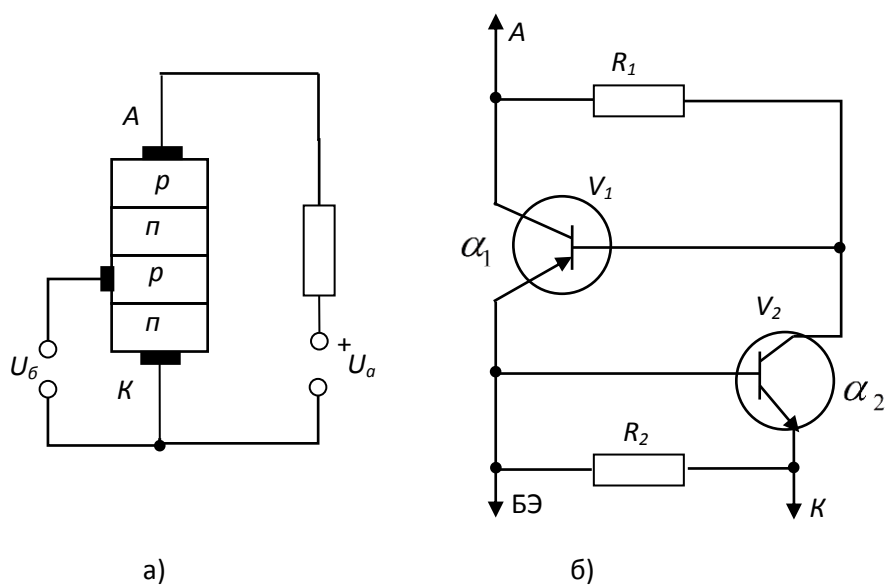
Tranzistorning ishlash prinsipiga ko'ra, α ning qiymati emitter tokiga bog'liq. Emitter toki kichik bo'lganda, α ham kichik qiymatga ega bo'ladi. Emitter toki oshishi bilan α ham keskin ortadi. A va K nuqtalar orasidagi kuchlanishni orttirib borilsa, tiristor orqali o'tuvchi tok dastlab sezilarli darajada o'zgarmaydi. Kuchlanish ma'lum yorib o'tish qiymatiga yetganda P2 o'tishda zaryadlarning ko'chkisimon ko'payishi ro'y berib, α_1 va α_2 qiymati keskin ortadi. Natijada asbob osiq holatga o'tadi. Bu holatga o'tishi uchun kerak bo'ladigan kuchslanish qiymati U_{kyu} – ko'chkisimon ko'payish kuchlanishi deb yuritiladi. Agar tiristordan o'tuvchi tok $\alpha_1 + \alpha_2 \approx 1$ shartni qanoatlantirsa, tiristor osiq holatda qoladi. Bu tok, tutib turuvchi tok I_{tut} deb ataladi. Tiristorning volt-amper tavsifi 1.18 – rasmda keltirilgan. Tavsifning OA qismi tiristorning yopiq (uzilgan) holatini ifodalaydi. Bunda tiristorning qarshiligi katta bo'ladi (bir necha MOm). Kuchlanish yorib o'tish qiymatiga yetganda (A nuqta) tiristordan o'tuvchi

tok keskin ko‘payadi. A nuqtada tiristorning differensial qarshiligi qiymati nolga yaqin bo‘ladi. AV qismda esa differensial qarshilik manfiy qiymatga ega bo‘ladi. Kuchlanishning bundan keyingi ortishi tokning ortishiga olib keladi (BV qism). Kuchlanishni kamaytirib tiristordan o‘tuvchi tokni I_{tut}

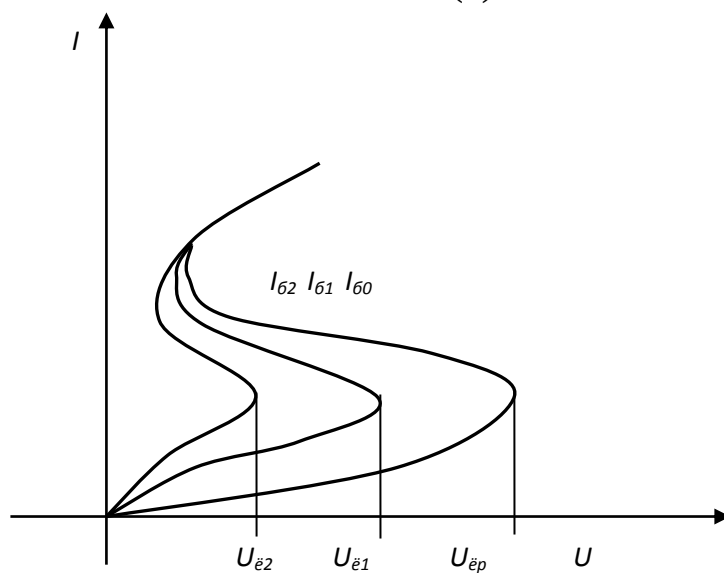


1.18 – rasm. Tiristorning volt-amper tavsifi

Faqat ikki chetki qismlaridan ulanish uchlari chiqarilgan tiristor diodli tiristor (dinistor) deb ataladi. O‘rta sohalarining biridan ulanish uchi chiqarilgan tiristor triodli tiristor yoki trinistor deb ataladi. Bu uchta qo‘shimcha manbadan anodga yoki katodga nisbatan to‘g‘ri p-p o‘tish hosil qiladigan kuchlanish berilsa α_1 yoki α_2 ning keskin ortishiga olib keladi (1.19 – rasm). Bipolyar tranzistordagi kabi α_1 yoki α_2 ning ortishi bilan boshqaruvchi kuchlanishning katta qiymatga ega bo‘lishi shart emas. Trinistorning VAT i 1.20 – rasmda keltirilgan. Tavsifda boshqaruvchi tok ortishi bilan yorib o‘tuvchi kuchlanish kamayishi ko‘rsatilgan.

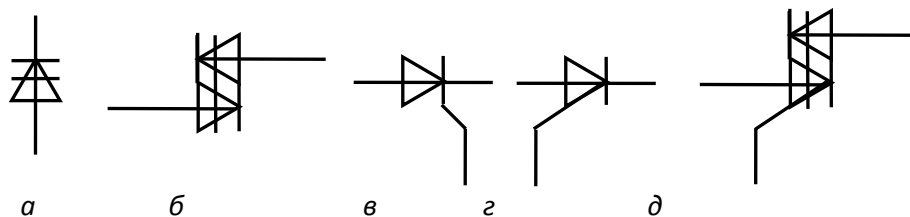


1.19 – rasm. Triodli tiristorning tizimiy tuzilishi (a) va uni qo‘sh tranzistor kabi tasvirlash (b)



1.20 – rasm. Triodli tiristorning valt-amper tavsifi

Odatdagi trinistorlarga nisbatan teskari holatda ishlaydigan berkiluvchi trinistorlar mavjud. Bunday trinistorlarda boshqaruvchi elektrodga manfiy potensial berilganda ochiq holatdan yopiq holatga o‘tadi. Berkiluvchi trinistorlarning tuzilishi odatdagi trinistorlardan farq qilmaydi.



1.21 – rasm. Tiristorlarning shartli belgilanishlari:

a – dinistor, b – simmetrik dinistor, v – katod tomonidan boshqariladigan trinistor, g – anod tomonidan boshqariladigan trinistor, d – simistor

Besh qatlamga ega bo'lgan tiristorlar simmetrik tiristor (simistor) deb ataladi. VAT ning to'g'ri va teskari shohobchalarida manfiy qarshilikli sohalari mavjud. Simistorni ochiq holatga o'tkazish boshqarish signali yordamida, yopiq holatga o'tkazish – kuchlanishni uzish yoki uning ulanish qutbini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi.

9-Mavzu. Integral mikrosxemalar. Ishlab chiqarish texnologiyasi, ishlatilish sohalari.

Yarim o'tkazgichlar texnikasining rivojlanishi yarim o'tkazgichli asboblarning ma'lum kombinasiyadagi sistemasini bir qobiqda joylashtirish imkoniyatini yaratdi. Bunday asboblarni **modul-sxemalar** yoki **mikromodullar** deb ataladi. Ularda o'ta ixcham qobiqsiz yarim o'tkazgichli asboblarni, plyonkali qarshilik va kondensatorlar ma'lum sxema asosida bir qobiq ichiga yigiladi va biror elektron qurilmaning to'liq sxemasini tashkil yetadi. Shuning uchun ham ular mikrosxemalar deb ataladi.

Mikrosxemalarning 1 sm^3 hajmida kamida 5ta yelement (tranzistor, diod, rezistor, sig'im va induktivlik) qatnashib, ular biror elektron qurilmaning tugallangan sxemasini tashkil yetishi lozim. Hozir integral mikrosxema (IMS) deb ataladigan yarim o'tkazgichli asboblarni keng qo'llaniladi. Ular qurilmaning umumiy hajmini 20000 martadan ortiq kichraytirish imkonini beradi. IMS shunday qurilmak, uning barcha yelementlari yoki ularning bir qismi ajralmas qilib bog'langan bo'ladi. Ular bip-biri bilan shunday tutashganki, natijada bir butun qurilma bo'lib xizmat qiladi.

Mikrosxemalarni turlarga ajratish juda ko'p belgilarga asoslanadi: materiallarning turi, yelementlarining soni, funksional bog'lanishi, qanday maqsadga xizmat qilishi, ishlab chiqarish texnologiyasi, konstruksiyasi va boshqalar.

IMSning murakkabligi yarim o'tkazgich kristallida nechta yelement joylashtirilganligi bilan belgilanadi. Shunga ko'ra mikrosxemalar integrallanish darajasi orqali xarakteralanadi. Masalan, yelementlarning soni 10 tagacha bo'lgan mikrosxemalar birinchi darajali integral sxema (IS1) yoki oddiy mikrosxema, yelementlarining soni 100 ta gacha bo'lganlari-ikkinchi darajali integral sxema (IS2) yoki o'rta (UIS) mikrosxema deb ataladi. Yelementlarining soni 100-10000 bo'lgan ISlar III darajali, ya'ni katta integral sxema (KIS), 10000 dan ortiq yelementga yega bo'lgan mikrosxemalar yesa, o'ta katta (UKIS), ya'ni yuqori darajada integrallanishli mikrosxemalar hisoblanadi. Oddiy IMSga mantiqiy yelementlar, o'rta IMSga yesa, YeHMning xotira qurilmalari, hisoblagichlar, jamlash qurilmalari-summatorlar misol bo'ladi.

Integral mikrosxemalar funksional bog'lanishiga qarab 2 xil- impuls-qiyosiy va mantiqiy (logik) bo'ladi. Impuls-qiyosiy IMS garmonik yoki impuls tebranishlarni hosil qilish yoki kuchaytirishda, mantiqiy IMS yesa, qurilmani elektron kalit rejimida ishlashini ta'minlashda qo'llaniladi.

Ko'pincha yarim o'tkazgich sifatida kremniy kristali olinadi. U mikrosxemaning asosini tashkil qiladi va **taglik** yoki **kristall** deb ataladi. Kristallda p-n o'tishlar hosil qilish yo'li bilan sxemaning passiv va aktiv yelemntlari joriy qilinadi. Ular bip-biridan himoyalangan **orolchalar** deb ataladigan qimslarda tashkil topadi.

Yarim o'tkazgichli IMSlar ko'p to'plamli qilib yasaladi. Har bir to'plamga bir vaqtda juda ko'p mikrosxema joylashadi. Masalan, diametri 76 mm bo'lgan bitta plastinkaga 5000 tagacha mikrosxema joylanishi mumkin. Uning har birida 10 tadan 20000 tagacha elektron yelemnt qatnashadi.

Yarim o'tkazgichli IMSlarning yelemntlari yarim o'tkazgich kristallining sirti yoki hajmida joylashadi. Ularning har biri yarim o'tkazgichning ma'lum sohasini yegallaydi va mustaqqil yelemnt-diod, tranzistor, rezistor, kondensator va boshqalar bo'lib xizmat qiladi. Bu sohalar bip-biridan yo dielektrik, yoki teskari kuchlanish ulangan p-n o'tishlar yordamida himoya qilinadi. Ular purkash yo'li bilan hosil qilinadigan simchalar yordamida biror elektr sxemani aks yettirgan holda tutashtiriladi. Tutashtirish simchalari **metall tayoqchalar** deb ataladi. Ular, asosan, alyuminiydan tayyorlanadi.

Yarim o'tkazgichli IMS larning yelemntlarini yasash murakkab texnologik jarayon bo'lib, ularning turlari xilma-xildir. Barcha jarayonlarning negizini tranzistorlar tarkibi tashkil qiladi, ya'ni barcha passiv va aktiv yelemntlar vazifasini bipolyar yoki unipolyar tranzistorlar bajaradi.

Tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlarning yasashda uning har ikki formulasi p-n-p va n-p-n dan foydalaniladi. Ulardan n-p-n turi yeng ko'p tarqalgan. Tranzistorlarni yasashda, asosan, planar va yepitaksal-planar deb atalgan texnologik jarayonlar qo'llaniladi. Planar texnologiyada yarim o'tkazgich kristalliga donor va akseptor moddalar diffuziya usulida kiritiladi. Unda tranzistorlarning elektrodlarining tutashtirish uchlari bir tekislikda joylashtiriladi. Bu ularni dielektrik pardasi yordamida tashqi ta'sirlardan himoya qilish imkonini beradi.

Yepitaksal-planar texnologiya usulda tranzistorlar yupqa monokristallni o'stirish yo'li bilan hosil qilinadi.

Planar texnologiya tranzistorlar yasashda yeng ko'p tarqalganidir. Lekin unda IMSda hosil qilinadigan p-n o'tishlar aniq chegeragaga bo'lmaydi, chunki diffuziya materialning atomlari boshlang'ich materialda bir xil taksimlanmaydi-sirtida ko'p, ichki tarafga yesa, kamayib boradi. Bu sxema yelemntlarining sifatiga katta ta'sir ko'rsatadi. Ikkinchi usulda bu kamchilik yo'qoladi.

Planar texnologiya asosida yasalgan n-p-n turdagi bipolyar tranzistorlarda yemitter va kollektor o'tishlaridan o'tadigan tok vertikal yo'nalishda oqadi. Shuning ular **vertikal tranzistorlar** deb ataladi. Bundan farqlash uchun p-n-p turdagi tranzistorlarda p-n o'tishlardan o'tadigan tok gorizontal yo'nalishda o'tadigan qilinadi va ular **gorizontal tranzistorlar** deb ataladi.

Mikroelektronikaning rivojlanishi diskret yarim o'tkazgichlar texnikasida mavjud bo'lgan yangicha bipolyar tranzistorlarni yasash imkonini beradi. Ko'p yemitterli va ko'p kollektorli tranzistorlar shular jumlasidandir. Uni umumiy baza va kollektorga yega bo'lgan bir necha n-p-n tranzistorning to'plami deb qarash

mumkin. Bunda har bir qo'shni yemitter jufti baza qatlami bilan birgalikda zararli n-p-n- turdagi tranzistorni hosil qiladi. Agar yemitterlardan biriga to'g'ri, ikkinchisiga teskari kuchlanish ulansa, to'g'ri kuchlanish ulangan yemitterdan baza qatlamiga elektronlar kiritila boshlaydi, teskari ulanishli yemitter yesa, ulardan baza qatlamida rekombinasiyalanib ulgurmaganlarini qabul qiladi. Natijada yopiq turishi zarur bo'lgan qatlamdan tok o'ta boshlaydi. Bu zararli yeffekt hisoblanadi. Bundan qutilish uchun yemitterlar orasidagi masofa katta (10-15 mkn) qilib olinadi, chunki baza qatlamiga o'tgan elektronlar kavaklar bilan to'la rekombinasiyalanib ulgurishi kerak.

Diodlar. Odatda diod qilish uchun bitta p-n o'tish yasash yetarli bo'ladi. Lekin IMSlarda tranzistor tarkibi asos qilib olingani uchun u bipolyar tranzistorning o'tishlari orqali yaratiladi.

Bipolyar tranzistordan diod qilishning 5 xil turi mavjud. Ular bip-biridan parametrlari bilan farq qiladi. Masalan, a-ulanishda diodning ochiq holadan yopiq holanga o'tish vaqti yetarlicha qisqa bo'lsa, b- ulanishda katta bo'ladi. Bundan tashqari, bu ulanish turlarining sig'imi yeng kichikdir.

Rezistorlar. IMSda rezistorlar bipolyar tranzistorning baza, kollektor yoki yemitter qatlamlari tarkibida yuzaga keladi. Bunda diffuziya usulidan foydalangani uchun ular **diffuzion rezistorlar** deb ataladi. Diffuzion rezistorlar yarim o'tkazgich hajmidan p-n o'tishlar yordamida himoya qilib ajratiladi.

Diffuzion rezistorning qarshiligi rezistor vazifasini bajaruvchi sohaning geometrik o'lchamlariga va undagi qotishmaning konsentrasiyasiga bog'liq. P-qatlam, ya'ni tranzistorning bazasi asosida yaratiogan rezistorlarning qarshiligi bir necha 10 kiloomni tashkil qilsa, yemitter qatlami asosida yaratilgan rezistorlarning qarshiligi kichik bo'ladi. Katta qarshilikli rezistorlar ion implantasiyasi usulida tayyorlanadi.

Kondensatorlar. IMSlarda kondensatorlar maxsus texnologiya asosida yasalmaydi. Ular tranzistorlar va diffuzion rezistorlarni yasash jarayonida hosil qilinadi. Bunda p-n o'tishga teskari yo'nalishda kuchlanish ulangandagi to'siq qatlamining sig'imi kondensator vazifasini bajaradi. Ular **diffuzion kondensatorlar** deb ataladi.

Bipolyar tranzistorlarda kondensatorlar hosil qilishning 3 xil usuli mavjud: yemitter-baza o'tishi; kollektor-baza o'tishi; kollektor-taglik ("yer") oralig'i.

Takrollash uchun savollar

1. Modul-sxemalar yoki mikromodullar deb nimaga aytiladi?
2. Mikrosxemalarni turlarga ajratish qaysi belgilarga asoslanadi?
3. Mikrosxemalar integrallanish darajasi nima orqali xarakteralanadi?
4. Integral mikrosxemalar funksional bog'lanishiga qarab necha xil bo'ladi, qaysilar?
5. Yarim o'tkazgichli IMSlarda yelementlarni joylashtirish qay tartibda bajariladi?

6. IMSlarda tranzistorlarni qanday tayyorlanadi?
7. Vertikal tranzistorlar tayyorlash usulini tishuntiring.
8. Gorizontal tranzistorlar tayyorlash usulini tushuntiring.
9. IMSlarda diodlarni tayyorlash.
10. IMSlarda rezistorlarni tayyorlash.
11. IMSlarda kondensatorlarni tayyorlash.

10-Mavzu. Kuchaytirgichlar. Kuchaytirgichlarning turlari, asosiy xarakteristikalari va parametrlari. Teskari bog'lanish va ularni kuchaytirgichlarda kullanishi.

O'zgarmas tok kuchaytirgichlari, keng polosali va tanlov kuchaytirgichlari analog mikroelektron apparatura negiz elementlari hisoblanadi.

Kuchaytirgich deb kirish signali quvvatini kuchaytirishga mo'ljallagan qurilmaga aytiladi. Kuchaytirish manbadan energiya iste'mol qilayotgan tranzistorlar hisobiga amalga oshiriladi. Ixtiyoriy kuchaytirgichda kirish signali faqat manbadan energiyani yuklamaga uzatishni boshqaradi.

Kuchaytirgich xossalarini ifodalash maqsadida kuchlanish bo'yicha $K_U = \frac{U_{qHK}}{U_{KHP}}$, tok bo'yicha $K_I = \frac{I_{qHK}}{I_{KHP}}$ yoki quvvat bo'yicha $K_P = \frac{P_{qHK}}{P_{KHP}}$ kuchaytirish koefitsientlari qo'llaniladi. Kuchaytirgichlar turli kuchaytirish koefitsienti qiymatlariga ega bo'lishi mumkin, lekin doim $K_P > 1$ bo'ladi.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsienti detsibellarda (dB) $K_U = 20 \lg \frac{U_{qHK}}{U_{KHP}} = 20 \lg K_U$ ga teng. Agar ko'p bosqichli kuchaytirgichning kuchaytirish koefitsienti detsibellarda ifodalansa, u holda ko'p bosqichli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish bosqich kuchaytirish koefitsientlari yig'indisiga teng bo'ladi.

K_U, dB	0	1	2	3	10	20	40	60	80
K_U	1	1,12	1,26	1,41	3,16	10	10^2	10^3	10^4

Kuchaytirgich o'zining kirish R_{KHP} va chiqish R_{qHK} qarshiliklari bilan, kirish signali manbai – EYuK Yeg esa ichki qarshilik R_f bilan xarakterlanadi.

Agar kuchaytirgichda $R_{KHP} \gg R_f$ bo'lsa, kuchaytirgich kirishidagi signal manbai Y_{eG} ga yaqin kuchlanish yuzaga keltiradi. Bunday rejim potentsial kirish deb, kuchaytirgichning o'zi esa **kuchlanish kuchaytirgichi** deb ataladi.

Agar $R_{KHP} \ll R_f$ bo'lsa, chiqish kuchlanishi va signal manbai quvvati juda kichik. Bunday rejim tok kirishi, kuchaytirgichning o'zi esa **tok kuchaytirgichi** deb ataladi.

Quvvat kuchaytirgichida $R_{KHP} \approx R_f$ bo'ladi, ya'ni kirish signali manbai bilan muvofiqlashgan bo'ladi.

R_{qHK} va kuchaytirgich yuklama qarshiligi R_{IO} qiymatlari nisbatlarini kuchlanish kuchaytirgichi ($R_{\text{qHK}} \ll R_{\text{IO}}$), tok kuchaytirgichi ($R_{\text{qHK}} \gg R_{\text{IO}}$) va quvvat kuchaytirgichi ($R_{\text{qHK}} \approx R_{\text{IO}}$) ga ajratish mumkin.

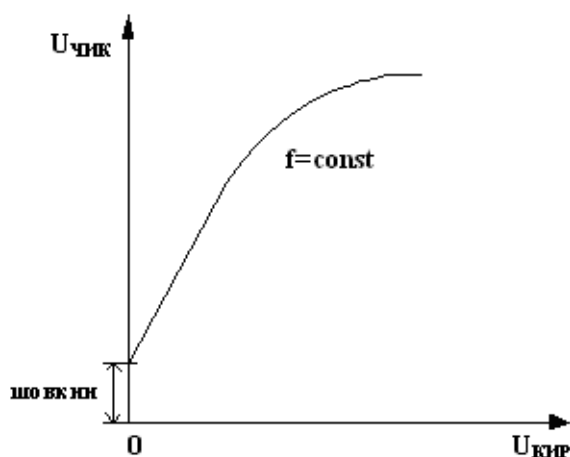
Bundan tashqari, o'zgarmas tok kuchaytirgichi parametri bo'lib nol dreyfi hisoblanadi. Nol dreyfi bu barqarorlikni buzuvchi ta'sirlar (kuchlanish manbai qiymatining tebranishi, temperatura va boshqalar) natijasida kuchaytirgich elementlari ish rejimlarining o'zgarishi bo'lib, natijada kuchaytirgich chiqishida soxta signal yuzaga keladi.

Kuchaytirgich odatda signalni kuchaytirishdan tashqari uning shaklini ham o'zgartiradi. Kirish va chiqish signallari shaklining normadan og'ishi – **buzilishlar** deb ataladi. Ular ikki turda bo'lishi mumkin: nochiziqli va chiziqli.

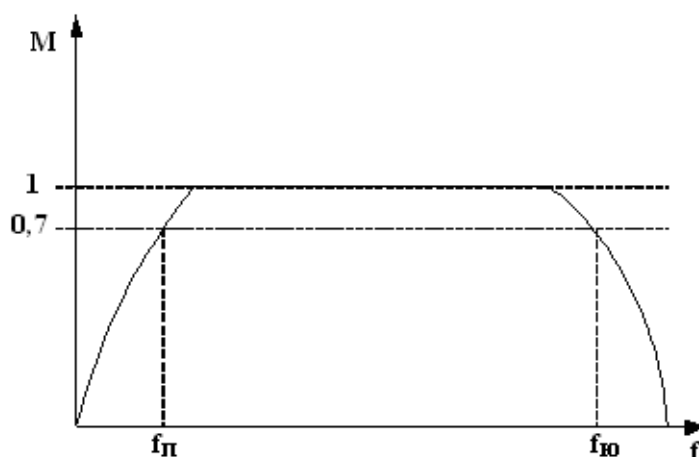
Barcha kuchaytirgichlar volt – amper xarakteristikalarini (VAX) nochiziqli bo'lgan tranzistorlardan tashkil topadi. Bipolyar tranzistor VAX to'g'ri chiziq emas, balki eksponenta shakliga ega. Shu sababli, sinusoidal shaklga ega bo'lgan kirish signali kuchaytirilganda, chiqishdagi signal shakli qisman sinusoidal ko'rinishga ega bo'ladi. Chiqish signali spektrida kirish signalida mavjud bo'lmagan boshqa chastotaga ega bo'lgan tashkil etuvchilar (garmonikalar) paydo bo'ladi. Bu turdagi buzilishlar **nochiziqli** deb ataladi.

Agar kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi matematik funktsiya ko'rinishida ifodalangan bo'lsa, nochiziqli buzilishlarni analitik usulda hisoblash mumkin. Uzatish xarakteristikasi (8.1 - rasm) deganda o'zgarmas chastotadagi chiqish signali amplitudasi U_{qHK} ning kirish signali amplitudasi U_{KHP} ga bog'liqligi tushuniladi. Nochiziqli buzilishlar koeffitsienti ko'p hollarda berilgan uzatish xarakteristikasidan grafik usulda aniqlanadi.

Chiziqli buzilishlar esa tranzistor parametrlarining chastotaga bog'liqligidan aniqlanadi. Kuchaytirgichning chastota xususiyatlari amplituda-chastota xarakteristikasi (AChX) dan aniqlanadi. AChX deganda kuchaytirish koeffitsientining chastotaga bog'liqligi tushuniladi. Ideal AChX gorizontali chiziq hisoblanadi. Real AChX esa kamayuvchi sohalarga ega bo'ladi. 8.2 – rasmda normallashtirilgan AChX $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$ keltirilgan. Bu yerda K_0 – nominal kuchaytirish koeffitsienti, ya'ni kuchaytirish koeffitsienti o'zgarmas bo'lgan chastota sohalari. Odatda chastota buzilishlarining ruxsat etilgan koeffitsient kattaligi 3 dB dan oshmaydi. $\Delta f = f_{\text{IO}} - f_{\text{II}}$ kattaligi **kuchaytirgichning o'tkazish polosasi** deyiladi.



8.1 – rasm.



8.2 – rasm.

O'zgarmas tok kuchaytirgichlari deb tok va kuchlanishning nafaqat o'zgaruvchan, balki o'zgarmas tashkil etuvchilarini ham kuchaytirishga mo'ljallangan qurilmalarga aytiladi. Bunday kuchaytirgichlarning past chastotasi nolga teng ($f_{\Pi}=0$), yuqori chastotasi esa juda katta ($f_{\text{Ю}}$ - bir necha o'n MGts) bo'ladi. O'zgarmas tok kuchaytirgichlarining turlari ko'p (differentsial, operatsion kuchaytirgichlar, signal o'zgartiruvchi kuchaytirgichlar va boshqalar).

Integral keng polosali kuchaytirgichlar berilgan past chastota f_{Π} dan yuqori chegaraviy chastota $f_{\text{Ю}}$ gacha bo'lgan keng chastota diapazonidagi signallarni kuchaytiradilar. Keng polosali kuchaytirgichlarga qo'yiladigan asosiy talab - kirish signalini f_{Π} dan $f_{\text{Ю}}$ gacha diapazonda berilgan kuchaytirish koefitsientida bir tekis kuchaytirish. Bu vaqtda f_{Π} dan $f_{\text{Ю}}$ gacha oraliqdagi kuchaytirish koefitsienti moduli 3 dB ($M(f)=0,7$) dan oshmasligi kerak. $f_{\text{Ю}}$ chastota qiymati bir necha yuz megagertsgacha yetishi mumkin.

Tanlov kuchaytirgichlari (filtrlar) deb berilayotgan signallar majmuidan ma'lum chastota spektridagi sinusoidal shaklga ega bo'lganlarini tanlab, ularni kuchaytiradigan kuchaytirgichlarga aytiladi. Tanlov kuchaytirgichlari maxsus shakldagi AChX ga egadirlar.

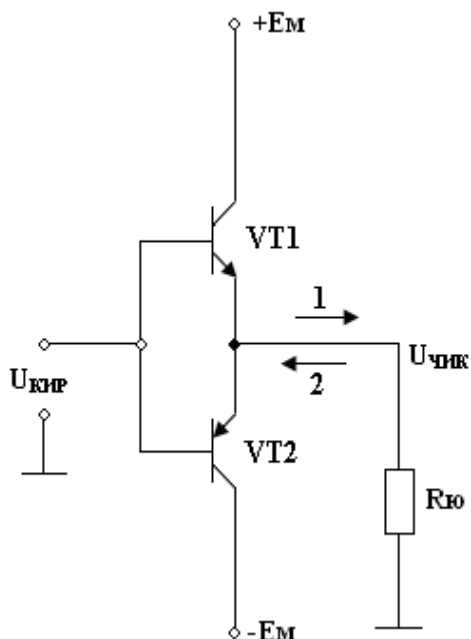
Signalni kuchaytirish amalga oshiriladigan chastotalar oralig'i, **o'tkazish polosasi** deb ataladi. Signallar so'ndiriladigan chastota polosasi **chegaralovchi chastota** deb ataladi. O'tkazish va chegaralovchi chastotalarning o'zaro joylashishiga ko'ra quyidagi tanlov kuchaytirgichlari turlari mavjud: past chastota, yuqori chastota, polosali o'tkazuvchi, polosali chegaralovchi. Filtrlar RC zanjirlar va aktiv elementlar asosida amalga oshiriladi. Shuning uchun ular **aktiv filtrlar** deb ataladi.

Komplementar emitter qaytargich

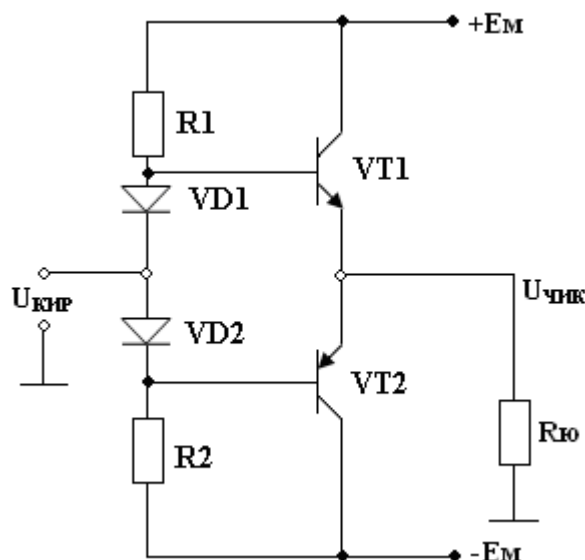
8.3 – rasmda komplementar tranzistorlarda: VT1 – tranzistor n-p-n turli va VT2 – tranzistor p-n-r turli bajarilgan V sinfiga mansub sodda ikki taktli chiqish bosqichi sxemasi keltirilgan. Yuklama tranzistorlarning emitter zanjiriga ulanadi, demak ular kuchlanish qaytargichlari rejimida ishlaydilar. Quvvat kuchayishi tok

kuchayishi bilan amalga oshiriladi. Ikki qutbli kuchlanish manbalari ($+E_M$ va $-E_M$) qo'llanilganiga alohida e'tibor qaratamiz. Shu sababli sokinlik rejimida ikkala tranzistor berk holatda bo'ladi, chunki emitter o'tishlardagi kuchlanish nolga teng bo'ladi. Natijada, sokinlik rejimida sxema energiya iste'mol qilmaydi.

Kirishga U_{KHP} signalning musbat yarim davri berilsa VT1 ochiladi va R_{IO} yuklama orqali 1 strelka yo'nalishida tok oqib o'tadi. Manfiy yarim davr mobaynida p-n-r turli tranzistor ochiladi va tok 2 strelka yo'nalishida oqib o'tadi. Quvvat kuchaytirish koeffitsienti taxminan emitter va baza toklari nisbatiga teng bo'ladi, ya'ni $(\beta + 1)$.



8.3 – rasm.



8.4 – rasm.

Lekin, V turli kuchaytirgich bo'la turib, sxema katta noxiziqli buzilishlar koeffitsientiga ega ($K_G > 10\%$). Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida kuchaytirgich murakkablashtiriladi. R1 va R2 rezistorlar, hamda VD1 va VD2 diodlar yordamida tranzistor bazalariga individual siljish kiritiladi (8.4 - rasm). Natijada dastlabki ishchi nuqta ikkala tranzistor ozgina ochiq holatdagi (AV rejim) sohada joylashadi, lekin ulardan A turli kuchaytirgichlardagiga nisbatan ancha kichik tok oqib o'tadi.

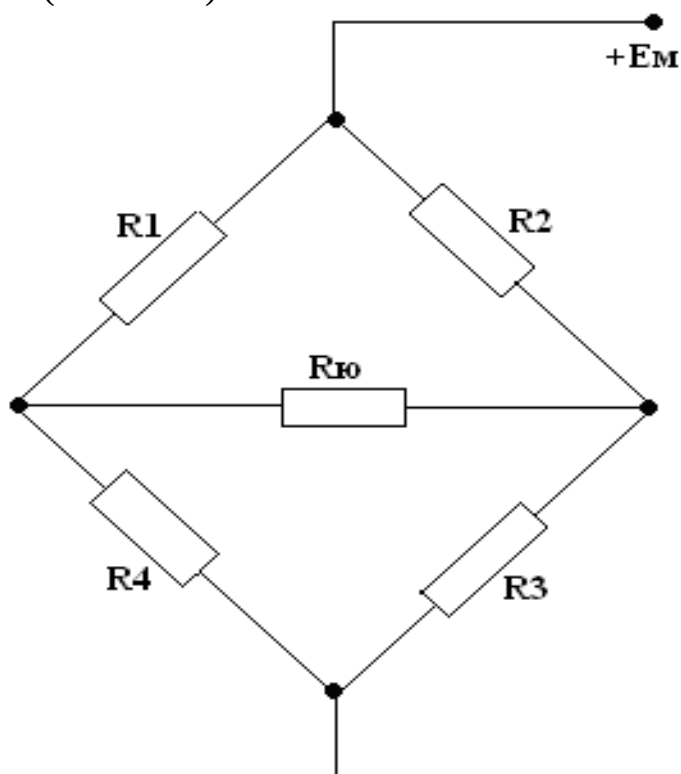
Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar

Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yo'li bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin.

Bir vaqtning o'zida balans sxemalar asosida qurilgan kuchaytirgichlarda xarakteristikalar sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlarda kirish bosqichi sifatida balans turli soddaxemalar – differentsial kuchaytirgichlar (parallel – balansli yoki farqli). Ular ishining yuqori barqarorligi va kichik nol dreyfi bilan ajralib turadi.

Balans sxema ishlash printsipini to'rt yelkali ko'prik sxema misolida tushuntirish mumkin (8.5 - rasm).



8.5 - rasm

Agar ko'prik balans sharti bajarilsa, ya'ni $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$, u holda yuklama qarshiligi R_{Yu} da tok va mos ravishda kuchlanish nolga teng bo'ladi. Kuchlanish manbai qiymati va ko'prik yelkasidagi rezistorlar qarshilik qiymatlari o'zgarsa ham balans buzilmaydi, faqat rezistor qarshiliklari nisbati o'zgarishsiz qolsagina.

Bitta tranzistorda bajarilgan kuchaytirgich bosqichlarida kollektor (emitter) yuklamalarida signalga bog'liq bo'lmagan kuchlanish ajraladi. Bu kuchlanish manba qiymati o'zgarsa, qizish natijasida tranzistor toklari qiymatlari o'zgarsa va boshqa ta'sirlar natijasida o'zgaradi va bu bilan kuchaytirish qurilmasi parametrlarini barqarorligini pasaytiradi.

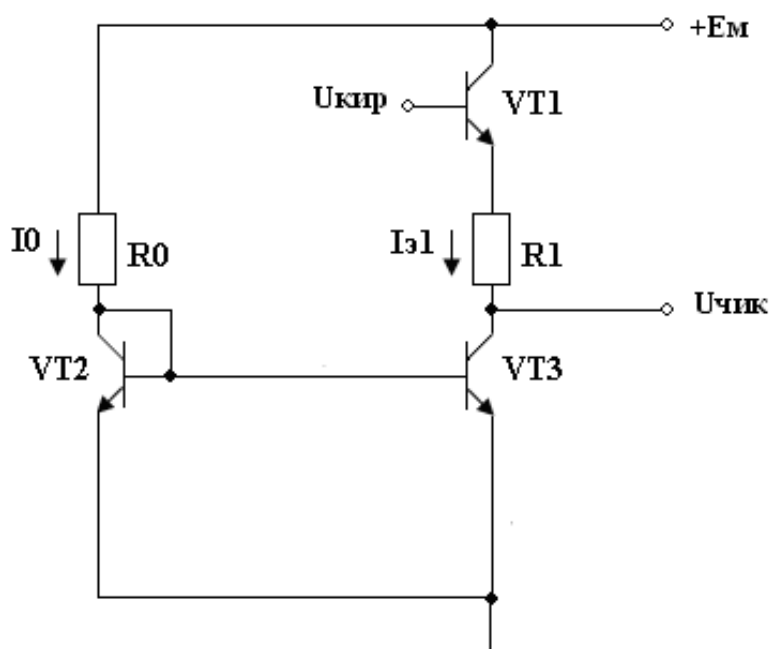
Elementar kuchaytirish bosqichlariga nisbatan differentsial kuchaytirgich dinamik xarakteristikalarini barqaror tok generatori hisobiga uning ish rejimini barqarorlash yordamida amalga oshirish ham mumkin.

O'zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmasi

Integral kuchaytirgichlar bevosita bog'langan bosqich sxemalari ko'rinishida quriladilar. Bu vaqtda bosqichdan bosqichga o'tganda signal doimiy tashkil etuvchisining o'zgarishi kuzatiladi. Bu holat esa keyingi bosqichlarni ishlab chiqarishda qiyinchiliklar tug'diradi. Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida o'zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmalari qo'llaniladi. Ular sath transformatorlari deb ham ataladilar. Bu vaqtda sath siljitish qurilmasi signal

o'zgaras tashkil etuvchisini keyingi bosqichga o'zgarishlarsiz uzatishi kerak, ya'ni kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti $K_U \approx 1$ bo'lishi kerak.

Operatsion kuchaytirgichlarda U_{CHIK} sathini siljitish VT1 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich asosida amalga oshiriladi. Uning emitter zanjiriga R1 rezistor va VT2 hamda VT3 tranzistorlarda bajarilgan barqaror tok generatorlari ulanadi (8.7 - rasm). Signal mavjud bo'maganda U_{KHP} kirish potentsiali oldingi bosqich chiqish kuchlanishining o'zgaras tashkil etuvchisi qiymatiga teng bo'ladi. U_{CHIK} chiqish potentsiali siljitish sxemasi hisobiga $\Delta U = U_{E31} + I_{31} R1$ kattalikka kamayadi. I_{E1} tok barqaror bo'lganligi sababli ΔU siljish kuchlanishi ham o'zgaras bo'ladi. Ixtiyoriy U_{KHP} qiymatida U_{CHIK} chiqish potentsiali $\frac{R1}{R0}$ nisbatlarni to'g'ri tanlash natijasida nolga teng qilinishi mumkin. BTG dinamik chiqish qarshiligi R1 dan ancha katta bo'lganligi sababli, siljish sxemasida signal deyarli so'nmaydi.

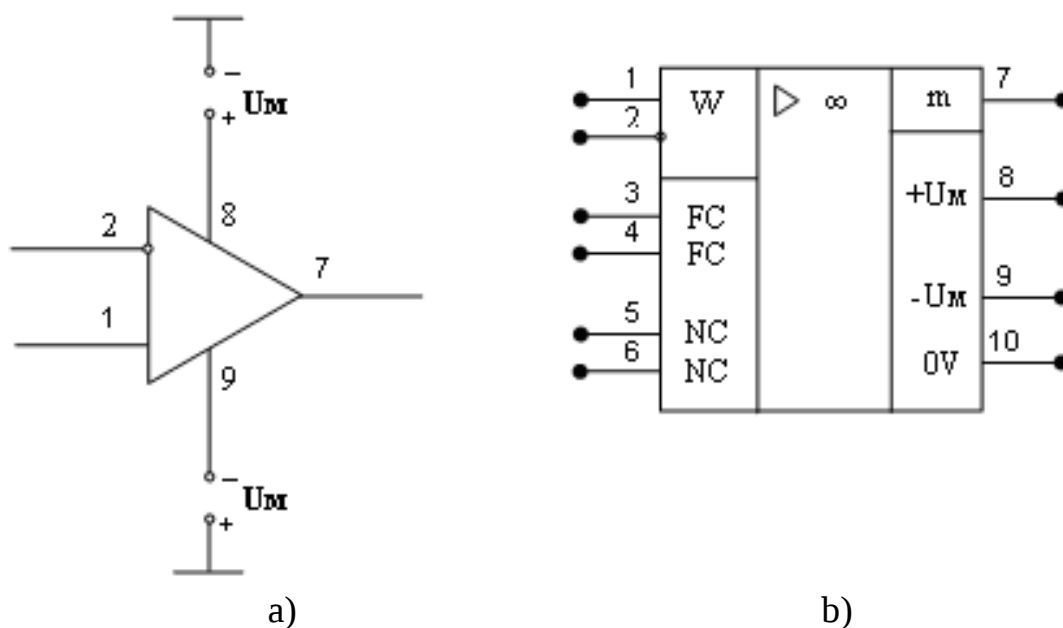


8.7 – rasm.

11-Mavzu. Quvvat kuchaytirgachlari. Operatsion kuchaytirgichlar. Differensial kuchaytirgichlar.

Operatsion kuchaytirgich (OK) – bu kuchlanish bo'yicha yuqori kuchaytirish koeffitsienti ($10^4 \div 10^6$), yuqori kirish ($10^4 \div 10^7$ Ohm) va kichik chiqish ($0,1 \div 1$ kOhm) qarshiliklariga ega bo'lgan o'zgaras tok kuchaytirgichi. OK ikkita kirish va bitta chiqishga ega. Chiqish va kirishdagi signallarning qutbiga ko'ra kirishlarning biri **inverslaydigan** ("–" ishorasi bilan belgilanadi), ikkinchisi – **inverslamaydigan** ("+" ishorasi bilan belgilanadi) deb ataladi.

OKning shartli belgisi 8.10 a, b - rasmda keltirilgan. Manba qiymatlari $\pm U_M$ – biriga teng, lekin umumiy shinaga nisbatan ishoralari teskari bo‘lgan ikkita manbadan ta‘minlanadi. Bu bilan kirish signali mavjud bo‘lmaganda chiqishda nol potentsial ta‘minlanadi va chiqishda ham musbat, ham manfiy signal olish imkoniyati yuzaga keladi. Real OKlarda kuchlanish manbai qiymati $\pm 3 \text{ V} \div \pm 18 \text{ V}$ oralig‘ida yotadi. Signal umumiy shinaga ulangan simmetrik signal manbaidan 1 va 2 kirishlarga, yoki ikkita alohida manbalardan uzatilishi mumkin. Bu kirishlardan biri inverslaydigan kirish va umumiy shinaga, ikkinchisi esa – inverslamaydigan kirish va umumiy shinaga ulanadi.



8.10 – rasm.

OK doim teskari aloqa zanjirlari bilan qamrab olinagan bo‘ladi. Teskari aloqa zanjiri turiga ko‘ra OK analog signallar ustidan turli amallarni (operatsiyalarni) bajarishi mumkin. Bunday amallarga yig‘indi olish, integrallash, differentsiallash, solishtirish, logarifmlash va boshqalar kiradi. Shuning uchun bunday kuchaytirgichlaP – **operatsion** deb ataladi.

OK ideal kuchaytirgich element hisoblanadi va butun analog elektronikaning asosini tashkil etadi. OK yetarlicha murakkab tuzilmaga ega bo‘lib, yagona kristall yuzasida bajariladi va birvarakayiga ko‘p miqdorda ishlab chiqariladi. Shuning uchun OKni diod, tranzistor va x.z. kabi elektron sxemalarning sodda elementi kabi qarash mumkin. Hozirgi kunda OKlarning yuzlab turi ishlab chiqariladi, kichik o‘lchamga ega va juda arzon hisoblanadi.

Katta kuchaytirish olish uchun OKlar ikki yoki uch bosqichli o‘zgarmas tok kuchaytirgichlari asosida quriladi.

8.11 – rasmda uch bosqichli OK tuzilmasi keltirilgan.



8.11 – rasm.

OKlarda kirish bosqichi sifatida differentsial kuchaytirigich qoʻllaniladi, bu kuchaytirish dreyfini maksimal kamaytirishga va ancha yuqori kuchaytirish olishga imkon yaratadi. U bilan kuchaytirigichning yuqori kirish qarshiligi, sinfaz signallarga sezgirlik va siljish kuchlanishi aniqlanadi. Oraliq (muvofiqlashtiruvchi) bosqichlar kerakli kuchaytirishni taʼminlaydilar va differentsial kuchaytirigich chiqishidagi kuchlanish siljishini nolga yaqin qiymatgacha kamaytiradi. Oraliq bosqichlarda differentsial kuchaytirigichlar kabi, bir bosqichli kuchaytirigichlar ham qoʻllaniladi. Chiqish bosqichlari OKning kichik chiqish qarshiligi va katta chiqish quvatini taʼminlashi kerak. Chiqish bosqichlari sifatida odatda AV rejimda ishlaydigan komplementar emitter qaytargich qoʻllaniladi (8.4 - rasimga qarang).

Birinchi avlod operatsion kuchaytirgichlari, masalan K140UD1, uch bosqichli tuzilmasi sxema asosida n–p-n tranzistorlarda bajarilgan. Birinchi kuchaytirish bosqichi klassik differentsial kuchaytirgichda bajarilgan (DK rasmiga qarang). Ikkinchi bosqich ham differentsial kuchaytirgichda bajarilgan boʻlib, bu bosqichda BTG qoʻllanilmaydi. Chiqish bosqichi A rejimida ishlaydi, yaʼni emitter qaytargich vazifasini bajaradi. Mazkur operatsion kuchaytirgichlarning kamchiligi boʻlib uncha katta boʻlmagan kuchaytirish koeffitsienti ($K_{U0}=300\div4000$) va kichik kirish qarshiligi ($R_{KIR}\cong4\text{ kOm}$) hisoblanadi.

Aytib oʻtilgan kamchiliklar **ikki bosqichli** sxemada yasalgan ikkinchi avlod OKlarda bartaraf etilgan. Xarakteristikalarini yaxshilash **tarkibiy tranzistorlar**, yuqori omli rezistorlar qoʻllash va differentsial bosqich yuklama rezistorlarini dinamik yuklamalarga almashtirish hisobiga amalga oshirilgan. Bir qator ikkinchi avlod OKlari maydoniy tranzistorlarda bajarilgan, buning natijasida kirish qarshiligi yanada oshirilgan.

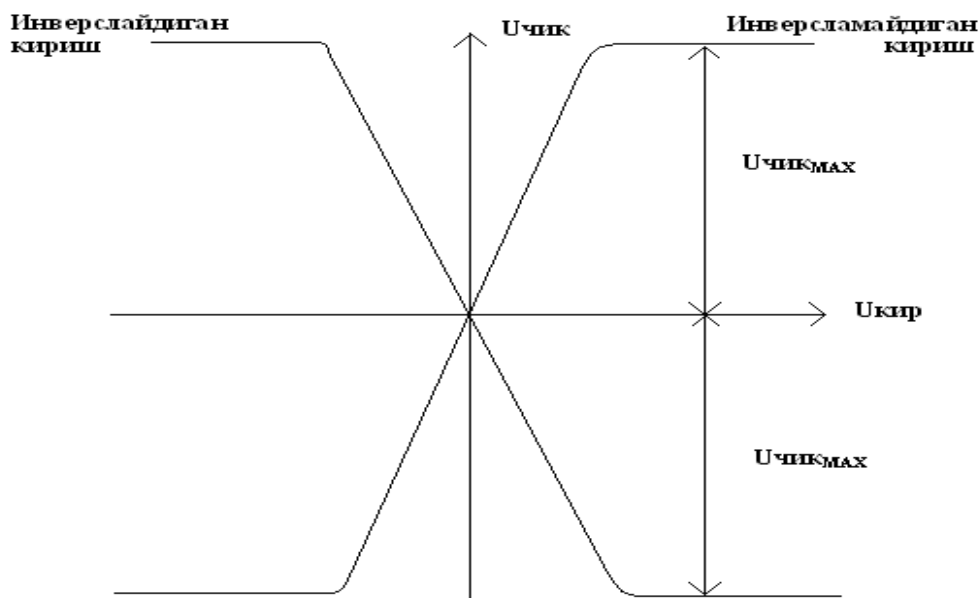
140UD7 turdagi kuchaytirgich keng tarqalgan ikki bosqichli OK hisoblanadi. Bu OK kuchaytirish koeffitsienti $K_{U0}=45000$, kirish qarshiligi esa $R_{KIR}=400\text{ kOm}$.

Maʼlumotnomalarda K_{U0} , R_{KIR} i R_{ChIQ} qiymatlari MTAsiz OK lar uchun keltiriladi. OK chiqish bosqichini yana maksimal chiqish toki (tez ishlaydigan keng polosali OKlar uchun $I_{ChIQ,max}\leq20\text{ mA}$ va quvvati katta OKlar uchun $I_{ChIQ,max}\leq500\text{ mA}$) va yuklamaning minimal qarshiligi ($R_{Yu,min}\geq1\text{ kOm}$) parametrlari ham keltiriladi.

OKning asosiy xarakteristikalari boʻlib uning amplituda (uzatish) xarakteristikalari hisoblanadi. Ular 8.12 – rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning ogʻish burchagi K_{U0} qiymati

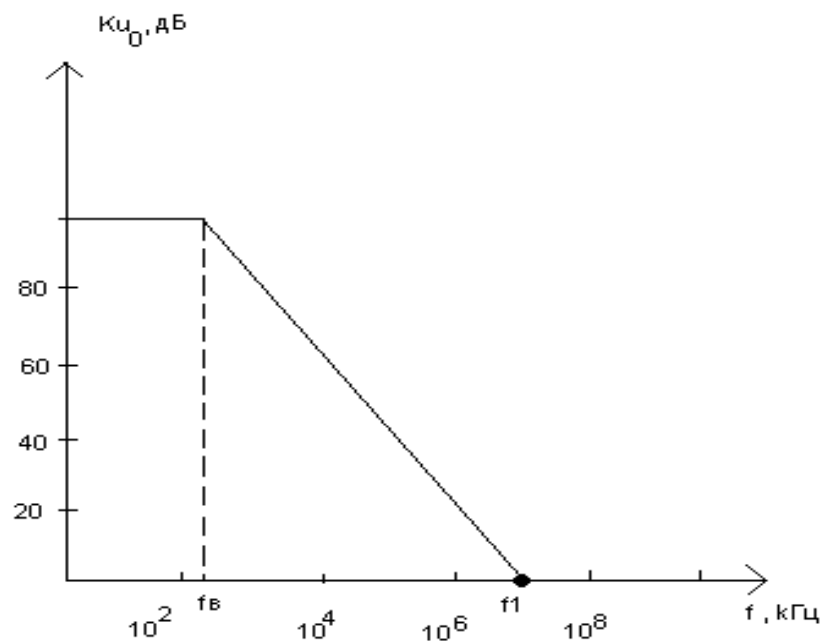
bilan aniqlanadi. $U_{ChIQ,max}$ - maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi U_e qiymatidan ozgina kichik bo'ladi.

OKning chastota xossalari uning AChXsida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U0} dBlarda ifodalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizontall o'q bo'ylab o'rnatiladi.



8.12 – rasm.

OKning bunday AChXsi logarifmik amplituda – chastota xarakteristikasi (LACHX) deb ataladi. 8.13 – rasmda tez ishlaydigan K140UD10 turdagi OKning LACHXsi keltirilgan. f_{Yu} – chastotadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffitsienti $20 \lg K_{U0}$ ga teng bo'ladi, ya'ni LACHX chastota o'qiga parallel to'g'ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U0} kamaya boshlaydi va f_1 chastotada kuchaytirish koeffitsienti birga teng bo'ladi.



8.13 – rasm.

OK asosiy ulanish sxemalari. OKlarda doim chiziqli yoki nochiziqli zanjir ko‘rinishidagi chuqur manfiy teskari aloqa bajarilgan bo‘ladi. MTA xossalari OK asosida turli analog va impuls elektron quurilmalar yaratish imkonini beradi.

Bunday sxemalarni ishlash printsipini tushunish va ularni taxminiy tahlil qilish uchun **ideal** operatsion kuchaytirgich tushunchasi kiritiladi. Ideal operatsion kuchaytirgich quyidagi xossalarga ega bo‘ladi:

a) kuchlanish bo‘yicha cheksiz katta differentsial kuchaytirish koeffitsienti K_{U0} ;

b) nol siljish kuchlanishining nolga tengligi U_{SIL} , ya’ni kirish signallari biP – biriga teng bo‘lganda, chiqish kuchlanishi nolga teng bo‘ladi; demak, OK kirish potentsiallari doim biP – biriga teng;

v) kirish toklari nolga teng;

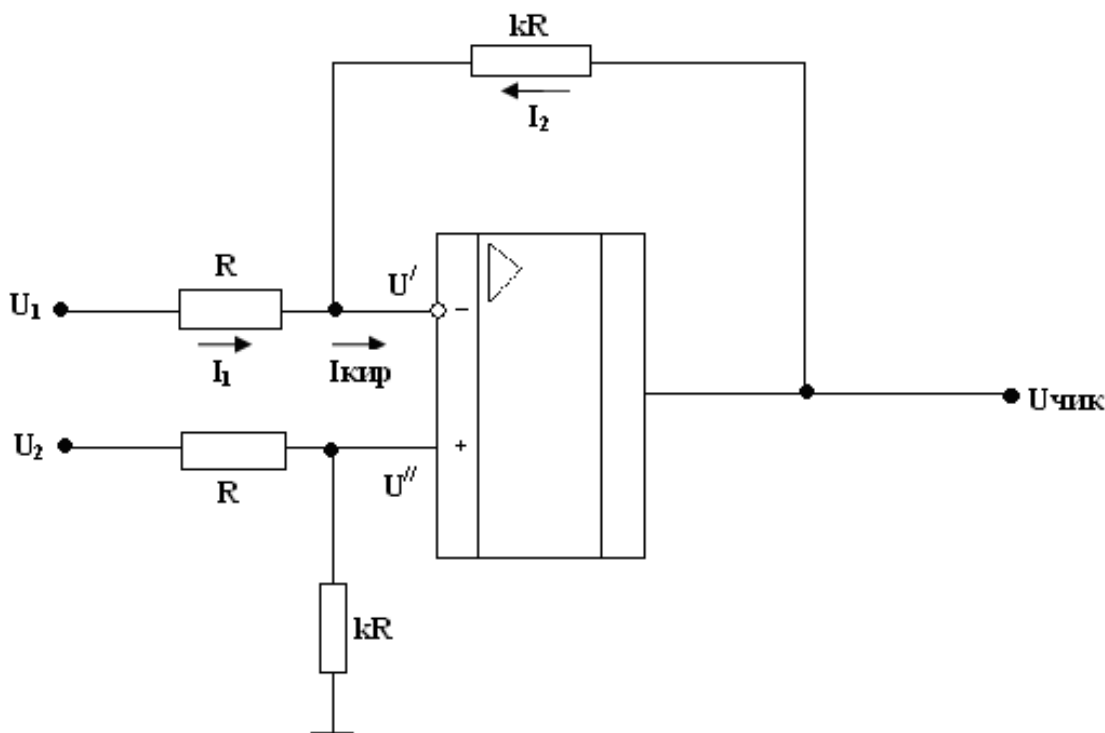
g) chiqish qarshiligi nolga teng;

d) sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsienti nolga teng.

OKning differentsial ulanishi. 8.14–rasmda OKning differentsial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{KIP} = 0$. Bundan v) xossa $I_{KIP} = 0$ bo‘lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R} \quad ; \quad I_2 = \frac{U_{qIK} - U''}{\kappa R} ;$$

$$\frac{U_1 - U'}{R} = \frac{U_{qIK} - U''}{\kappa R} ; \quad \kappa U_1 - U'' (\kappa + 1) = -U_{qIK}$$



8.14 – rasm.

b) xossaga ko‘ra $U' = U'' = U_2 \frac{\kappa}{\kappa + 1}$. Bu yerdan $U_{\text{ЧИК}} = \kappa(U_2 - U_1)$.

Shunday qilib, OKning differentsial ulanishi natijasida yuzaga kelgan qurilma **ayiruvchi – kuchaytirgich** hisoblanadi.

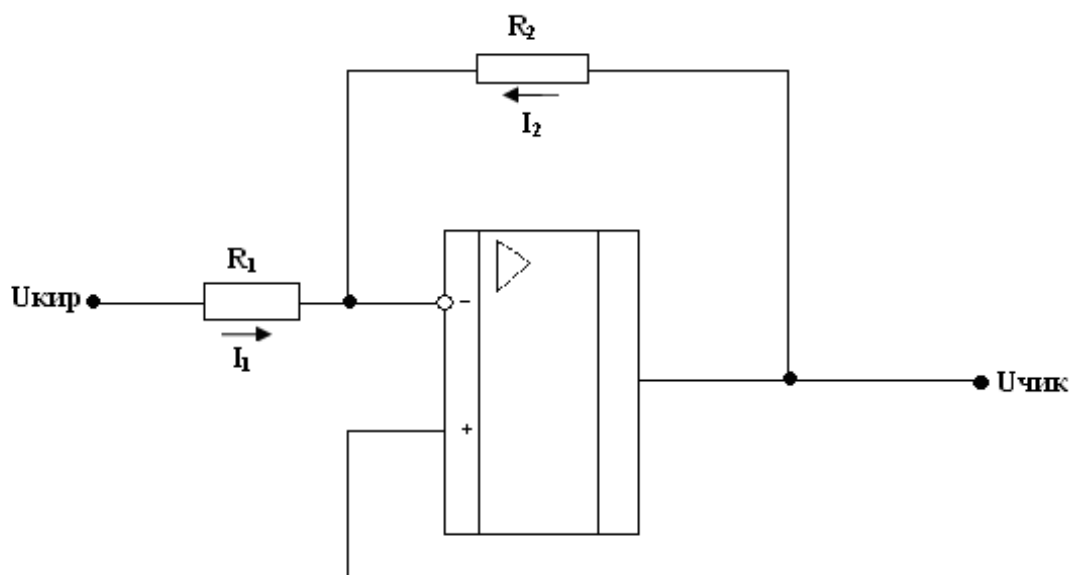
OKning invers ulanishi. Invers ulanishda OKning inverslamaydigan kirishi umumiy shina bilan ulanadi (8.15 - rasm). v) xossa natijasida $I_1 + I_2 = 0$. Kirish potentsiallari nolga teng, demak

$$I_1 = \frac{U_{\text{КНП}}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{\text{ЧИК}}}{R_2};$$

$$\kappa = \frac{U_{\text{ЧИК}}}{U_{\text{КНП}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

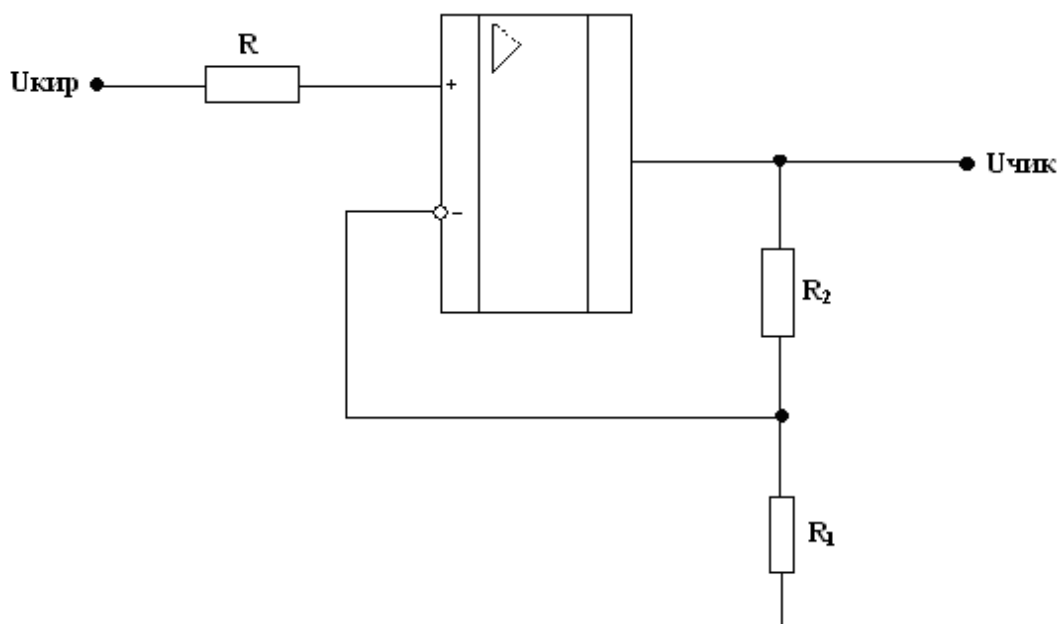
Real OK uchun bu formulaning qo‘llanilishi kuchaytirish koeffitsientini hisoblashda xatoliklarga olib keladi. OKning K_{U0} va $R_{\text{КИР0}}$ qancha katta bo‘lsa, bu formuladan foydalanish shuncha kichik xatolik beradi. Shunday qilib, $K_{U0}=10^3$, $R_1=1 \text{ kOm}$, $R_2=100 \text{ kOm}$ va $R_{\text{КИР0}}=10 \text{ kOm}$ bo‘lsa, kuchaytirish koeffitsientini aniqlashdagi xatolik 9 % ni tashkil etadi, $K_{U0}=10^5$ (qolgan kattaliklar o‘zgarishsiz) bo‘lganda - 0,1 % dan kichik.

Kuchaytirgichning chiqish kuchlanishlari kirishga nisbatan teskari fazada bo‘ladi. Bu sxemaning kuchlanish bo‘yicha kuchaytirish koeffitsienti rezistor qarshiliklarining nisbatlariga bog‘liq ravishda birdan katta ham, kichik ham bo‘lishi mumkin va deyarli barqaror bo‘ladi.



8.15 – rasm.

OKning inverslamaydigan ulanishi. Inverslaydigan ulanishda kirish signali OKning inverslamaydigan kirishiga uzatiladi, inverslaydigan kirishga esa R_1 va R_2 bo‘luvchi rezistorlar orqali kuchaytirgich chiqishidan teskari aloqa signali uzatiladi (8.16 - rasm).



8.16 – rasm.

$$\frac{U_{кп} - U'}{R} = 0, \quad U' = U'' = U_{чпк} \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

$$\text{Bu yerdan } U_{чпк} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{кп}, \quad \text{ya'ni } \kappa = \frac{U_{чпк}}{U_{кп}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Ko‘rinib turibdiki, bu yerda chiqish signali kirish signaliga sinfaz.

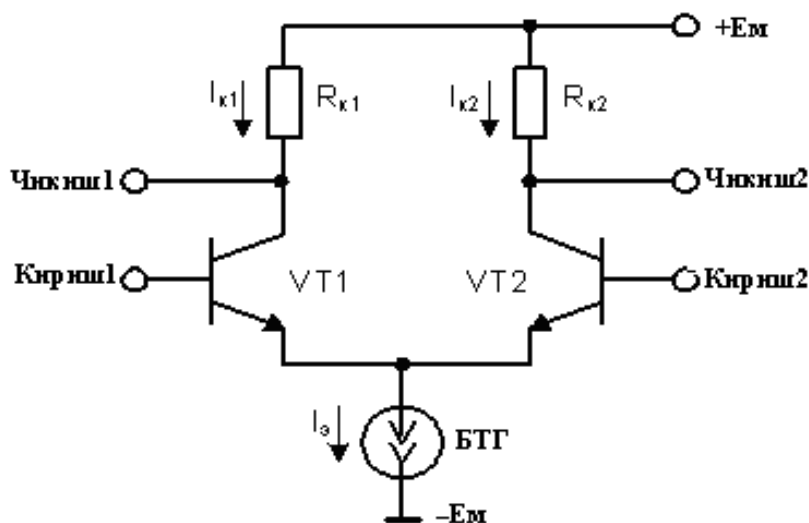
Agar OK invers kirish bilan qisqa tutashgan bo‘lsa, bu koeffitsient birga teng bo‘ladi. Bunday sxemalar inverslamaydigan qaytargichlar deb ataladi va yagona qobiqda bajarilgan bir necha kuchaytirgich ko‘rinishidagi alohida integral mikrosxemalar ko‘rinishida bir varakayiga ishlab chiqariladi.

Qaytargichda qo‘llanilgan OK turi uchun maksimal kirish qarshiligi va minimal chiqish qarshiligi amalga oshiriladi. OK asosidagi qaytargich, ixtiyoriy biror qaytargich kabi (emitter yoki istok), muvofiqlashtiruvchi bosqich sifatida ishlatiladi.

Differentsial kuchaytirgichlar

Differentsial kuchaytirgich (DK) deb ikki kirishga ega bo‘lgan kuchaytirgichga aytiladi. Uning chiqishidagi signal kirish signallari farqiga proporsional bo‘ladi.

8.8 – rasmda sodda simmetrik DK sxemasi keltirilgan. Kuchaytirgich ikkita simmetrik yelkaga ega bo‘lib, birinchi yelka VT1 tranzistor va R_{K1} rezistordan, ikkinchi yelka esa VT2 tranzistor va R_{K2} rezistordan tashkil topgan. Sxemaning dastlabki ish rejimi I_E toki yordamida ta‘minlanadi. Bu tokning barqarorligi esa barqaror tok generatori (BTG) tomonidan ta‘minlanadi.



8.8 – rasm.

Mazkur sxema 8.5 – rasmdagi sxemaga aynan o‘xshashligini kuzatish mumkin. Buning uchun R_2 va R_3 rezistorlarni VT1 va VT2 tranzistorlar bilan almashtirish va $R_1 = R_{K1}$, $R_4 = R_{K2}$ deb hisoblash kerak. Agar R_{K1} va R_{K2} qarshiliklar biP – biriga teng bo‘lsa va VT1 tranzistor parametrlari VT2 niki bilan bir xil bo‘lsa, u holda bu sxema simmetrik bo‘ladi.

Amaliyotda to‘rtta ulanish sxemalardan ixtiyoriy biridan foydalanish mumkin: simmetrik kirish va chiqish, simmetrik kirish va nosimmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va simmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va chiqish. Simmetrik kirishda kirish signali manbai DK kirishlari orasiga (tranzistorlarning bazalari orasiga) ulanadi. Simmetrik chiqishda yuklama qarshiligi DK chiqishlari oralig‘iga (tranzistorlarning kollektorlari orasiga) ulanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, DK kuchlanishlari qiymati (moduli bo'yicha) biP – biriga teng bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Ikki qutbli manbadan ta'minlanish sokinlik rejimida umumiy shinagacha tranzistor baza potentsiallarini kamaytirishga imkon beradi. Bu holat DK kirishlariga signallarni qo'shimcha sath siljitish qurilmalarini kiritmasdan uzatishga imkon yaratadi.

Ikkala yelka ideal simmetrikligida kirish signallari mavjud bo'lmaganda ($U_{KHP1}=0, U_{KHP2}=0$) kollektor toklari va tranzistorlarning kollektor potentsiallari bir xil bo'ladilar, chiqish kuchlanishi esa $U_{CHK1,2}=0$. Sxema simmetrik bo'lganligi sababli, tranzistor xarakteristikasining sabablarga bog'liq bo'lmagan ravishda ixtiyoriy o'zgarishi, ikkala yelka toklarinig bir xil o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli sxema balansi buzilmaydi va **chiqish kuchlanishi dreyfi** deyarli nolga teng bo'ladi.

DK ikkala kirishiga fazasi va amplitudalari bir xil bo'lgan signal (sinfaz signal) berilsa $U_{KHP1}=U_{KHP2}$, yelkalarining simmetrikligi va BTGning mavjudligi tufayli kollektor toklari o'zgarmaydi va ular o'zgarishsiz va bir - biriga tengligicha qoladi.

$$I_{K1} = I_{K2} = 0,5\alpha I_{\mathcal{O}}$$

bu yerda α - emitter tokining uzatish koeffitsienti.

Demak, kollektor potentsiallari tengligicha qoladi, chiqish kuchlanishi esa $U_{CHK} = U_{K1} - U_{K2} = 0$. Bu deganiki, idel DK sinfaz kirish signallariga sezirsiz.

Agar kirish signallari amplitudasi bo'yicha bir xil, lekin fazalari qarama – qarshi bo'lsa, u holda ular **differentsial** deb ataladi. Differentsial signal ta'siri natijasida bir yelkadagi tok ikkinchi yelkadagi tok kamayishi hisobiga ortadi $\Delta I_{\mathcal{O}1} = -\Delta I_{\mathcal{O}2}$, chunki toklar yig'indisi doim $I_{\mathcal{O}} (I_{\mathcal{O}1} + I_{\mathcal{O}2} = I_{\mathcal{O}})$. Bir tranzistor kollektori potentsiali kamayadi, ikkinchisiniki esa xuddi shu qiymatga kamayadi. DK chiqishida potentsillar farqi hosil bo'ladi, demak, chiqish kuchlanishi $U_{CHK1,2} = U_{CHK1} - U_{CHK2}$.

Umumiy emitter ulanish sxemasida ishlaydigan kuchaytirgich tahlili natijalaridan foydalangan holda, differentsial signal (simmetrik kirish va chiqishga ega bo'lgan) ning kuchaytirish koeffitsienti qiymatini olamiz

$$K_U = -S(R_K // r_{K\mathcal{O}})$$

Ideal DKlarda sinfaz signallarni so'ndirish natijasida nol dreyfi mavjud bo'lmaydi. Turli temperatura o'zgarishlari, shovqinlar va **navodkalar** sinfaz signal bo'lishi mumkin. Real DKlarda yelkalarining absolyut simmteriyasiga erishish muki emas, shuning uchun nol dreyfi mavjud bo'lib, u juda kichik qiymatga ega bo'ladi. Differentsial kirishda, ya'ni kirish simmetrik bo'lganda, DK kirish qarshiligi sxemaning chap va o'ng yelkalari kirish qarshiliklari yig'indisiga $R_{KHP1} + R_{KHP2}$ teng bo'ladi, chunki bu qarshiliklar signal manbaiga nisbatan

ketma – ket ulanadi. Shunday qilib, $R_{KHP12} = R_{KHP1} + R_{KHP2} = 2r_{KHP}$, bu yerda r_{KHP} - UE sxemasida ulangan tranzistorning kirish qarshiligi. r_{KHP} kattaligi tranzistorning sokinlik toki I_b ga bog‘liq bo‘ladi. Shuning uchun kirish signalini oshirish uchun kuchaytirgichni kichik toklar rejimida ishlatish kerak.

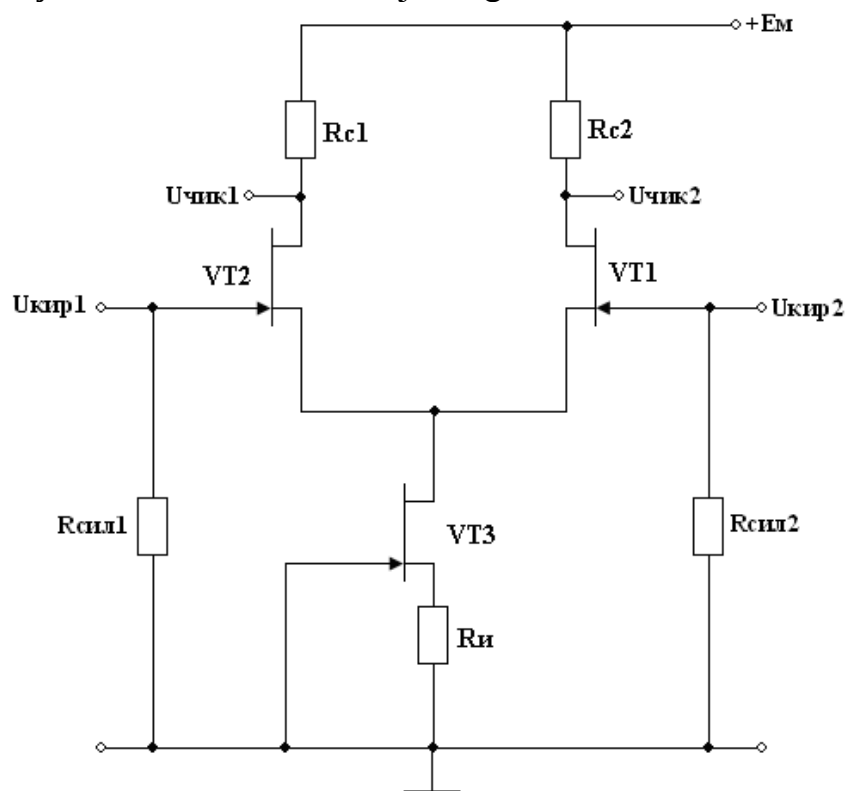
Differentsial kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti kirish signallar generatorining ulanish va chiqish signalining o‘lchanish usuliga bog‘liq.

DK kuchaytirish koeffitsienti simmetrik kirishda ham, nosimmetrik kirishda ham bir xil bo‘ladi.

Nosimmetrik chiqishda yuklama qarshiligi bir uchi bilan bir tranzistor kollektoriga, ikkinchi uchi bilan esa – umumiy shina ga ulanadi. Bu vaqtda K_U simmetrik chiqishdagiga nisbatan 2 martaga kichik bo‘ladi.

Yuklama qarshiligi ikkinchi chiqish va umumiy shina oralig‘iga ulangan bo‘lsin. Agar kirish signali 1 kirishga uzatilsa, u holda chiqish signali fazasi kirish signali fazasiga mos keladi. Bu vaqtda 1 kirishga “inverslamaydigan” kirish nomi beriladi. Agar kirish signali 2 kirishga uzatilsa, u holda chiqish va kirish signallari fazasi biP – biriga qarama –qarshi bo‘ladi va 2 kirish “inverslaydigan” kirish deb ataldi.

Kichik kirish toklariga ega bo‘lgan maydoniy tranzistorlar qo‘llash natijasida differentsial kuchaytirgich kirish qarshiligini sezilarli oshirish mumkin. Bu vaqtda r–n bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlarga katta e’tibor qaratiladi. r–n bilan boshqariladigan, kanali n–turli maydoniy tranzistorlarda bajarilgan DK sxemasi 8.9 – rasmda keltirilgan. Barqaror tok generatori VT3 va R_I da bajarilgan. R_{SIL1} i R_{SIL2} rezistorlari VT1 va VT2 tranzistor zatvorlariga boshlang‘ich siljishni berish uchun mo‘ljallangan.



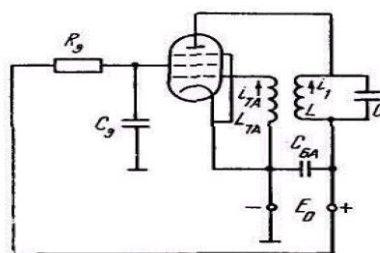
Nazorat savollari

1. Sodda va komplementar emitter qaytargichlarda bajarilgan chiqish bosqichlari nimasi bilan farqlanadilar ?
2. O'zgarmas tok kuchaytirgichi, keng polosali va tanlov kuchaytirgichi ta'riflarini keltiring.
3. Kuchaytirgichlarning chastota xossalari qanday parametrlar bilan baholanadi ?
4. Kuchaytirgich dreyfi nima va u nima hisobiga yuzaga keladi ?
5. Kuchaytirgich bosqichlarida kuchlanish sathini siljitish qurilmalari nimaga uchun hizmat qiladi ?
6. Differentsial kuchaytirgich nima ?
7. Nima uchun differentsial kuchaytirgich sxemasiga barqaror tok generatori kiritiladi ?
8. Qanday kuchlanishlar sinfaz deyiladi ?
9. DKning qaysi kirishiga "inverslamaydigan" va "inverslaydigan" kirish nomlari berilgan ?
10. Nima sababli DKda ikki qutbli manba qo'llaniladi ?
11. OK deb nimaga aytiladi ?
12. OK asosiy funktsional qismlari qanday ?
13. Ideal OKga ta'rif bering.
14. OKning uch xil ulanish sxemasini keltiring.

12-Mavzu. Elektron generatorlar. LC va RC avtogeneratorlari. Operatsion kuchaytirgichlar asosidagi generatorlar.

LC -GENERATORLAR

Generatorlarda ishlatiladigan elektron asboblarning turiga kura lampali yoki tranzistorli generatorlarga bulinadi. Agar tebranish konturi sifatida LS zanjir ishlatilgan bulsa, bunday generator LS-generator deb ataladi. Yukorida aytib utilgandek garmonik tebranishlar genernig - torining asosini musbat teskari boglanishga bulgan kuchaytirgich tashkil kiladi va unda (1) shart fakat bitta chastota uchun bajariladi. Kuchaytirgich rezonansli kuchaytirgich bulib, teskari boglanish tebranish konturlarida kurib utilganidek induktiv, sigim va avtotransformatorli bulishi mumkin.



Rasm. – 1.

Induktiv boglanishli generatorlarda teskari boglanish aloxida L_{bog} galtagi orkali amalga oshiriladi (1-rasm). Kontur galtagi 1 dan utuvchi tok, galtakning

induktivligi, tufayli usuvchi xarakterga ega bulib, generator tok manbaiga ulanganda, galtak atrofida xosil bulgan magnit okimi xam kiska vakt davomida uzgaruvchi buladi. Bu okim L_{bog} galtagini xam kesib utib unda

$$U_{TB} = M \frac{di}{dt} \quad (1)$$

teskari boglanish kuchlanishini xosnl kiladi. Bu kuchlanish tur va katod oraliriga shunday fazada beriladiki, natijada lampa berkiladi. Shu davrda zaryadlanishga ulgurgan konturdagi S kondensator zaryadsizlana boshlaydi. Konturda tebranishlar vujudga kelib, L_{bog} orkali lampa turiga beriladi va unda kuchaytiriladi.

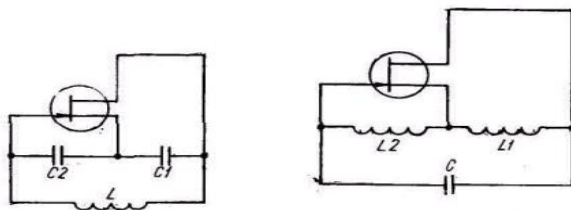
Berilgan sxemada teskari boglanish koeffitsienti:

$$\beta = \frac{M}{L} \quad (2)$$

ga teng. Bunda uzaroinduktsiya koeffitsienti M ni oshirib ($\beta > \frac{1}{K}$) shartni bajarilishiga erishish mumkin. Generatorlar xam kuchaitirgichlar kabi A, V va AV rejimlarida ishlaydi.

Generator A rejimida ishlaganda, ishchi nuqta xarakteristikadagi tugri chizikli uchastkaning urtasida joylashadi. Bu rejimda teskari boglanish koeffitsienti orta borib $\beta = \beta_{yü}$ kiymatida barkaror tebranishlar xosil buladi va aksincha. β ning kiymatini kamaytirib borilsa, $\beta = \beta_{cyh}$ kiymatida tebranishlar sunadi. A rejimda $\beta_{yü} = \beta_{cyh}$ bulib, generatorning «yumshok» ish rejimi deb yuritiladi. Generator V rejimda ishlaganda ishchi nuqta xarakteristika turri chizikli kismining kuyi kisimida joylashadi. Bu rejimda $\beta_{yü} \neq \beta_{cyh}$ bulib, generatorning kattik ish rejimi deb ataladi. Kattik rejimida xosil bulayotgan sunmas tebranishlarning amplitudasi, yumshok rejimga nisbatan katta buladi. Shuningdek, kattik ish rejimida tokning uzgarmas tashkil etuvchisi kam bulishi bilan birga, yumshok rejimga nisbatan FIK xam katta buladi.

Sigim boglanishli generatorlarda (2-rasm) tebranish ; konturi elektron asboblari bilan kondensator orkali boglanadi. Bunda uzaro boglanish uchta nuqta orkali bajarilib, sxema uch nuktaligenerator deb xam ataladi. Bu sxemada uzuzini uygotish sharti



Rasm. 2.

$$pSQ_O x_{6oz} \geq 1 \quad (3)$$

ga teng. Bunda $x_{6oz} = \frac{1}{\omega_p} C$; $p = \frac{U_{23}}{U_{13}}$ konturning ulanish koeffitsienti; Q—kontur aslligi; S—xarakteristika tikligi.

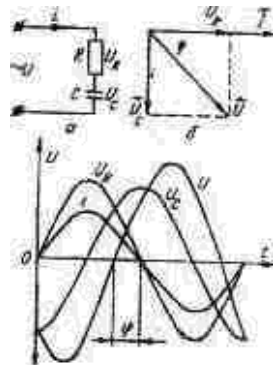
Bu sxemalarda uzgarmas tok manbai parallel ulangan. Tebranishlar chastotasi quyidagi ifoda buyicha xisoblanadi:

$$\omega_2 = \frac{C_1 + C_2}{LC_1 \cdot C_2} \quad (4)$$

RC-GENERATORLAR

Tebranishlar chastotasining kichik bulishi L va S ning katta bulishini takozo kiladi. Natijada past chastotali generatorlarning konturlarida L va S ishlatilsa, ularning ulchamlari juda kattalashib ketadi va generator bekaror ishlaydi. Generator chastotasini uzgartirish xam kiyinlashadi. Shu sababli past chastotalarda LC-konturli generatorlar urniga LC-zanjirli generatorlar ishlatiladi. RC-zanjirning chastota xarakteristikasi kurib utilgan edi. Kondensatorning zaryadlanishi va karshilikka zaryad sizlanishi birgalikda sinusoidal tebranishlar kurinishiga yakin bulgai tebranishlarni xosil kiladi. Bu tebranishlar sunmas bulishi uchun RC-zanjirli musbat teskari boglanishga ega bulgan kuchaytirgich yirgiladi. Uz-uzini uygotuvchi generatorning barkaror ishlashi uchun fazalar sharti bajarilishi kerak, ya'ni fazalar farki 180° ga siljitilib kirishga berilishi kerak. Bitga RC-elementlardan iborat zanjirda (1-rasm) faza siljishiga teng. 1-rasm, b dan kurinib turibdiki, bunday zanjirdagi faza siljishi 90° dan kichik bulib, 180° faza siljishi uchun kamida uchta RC-zanjir zarur buladi.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR} \quad (1)$$

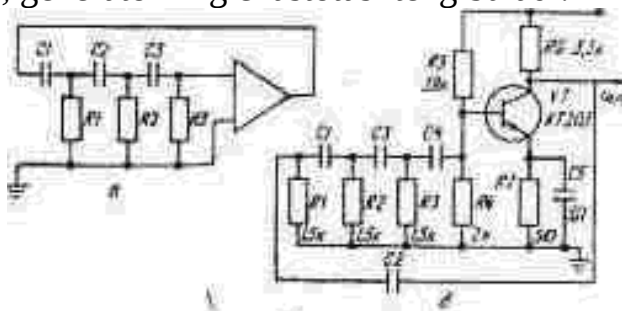


1-rasm

2-rasmda faza siljituvchi uchta RC-zanjirdan iborat generatorlarning sxemasi keltirilgan. Sxemada $S1-S2=SZ$ va $R1=R2=RZ$ kilib

$$\omega = \frac{1}{RC\sqrt{6}} \quad (2)$$

olinsa, generatorning chastotasi teng buladi.



$$f = \frac{0,31}{RC} \quad (3)$$

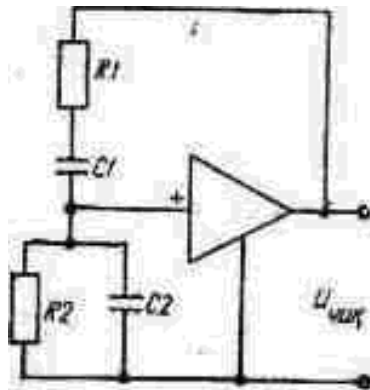
orkali xisoblanadi. Tebranishlar barkaror bulishi uchun teskari boglanish koefitsienti uch burinli zanjir uchun 1/29 ga, turt burinli zanjir uchun 1/18,6 ga teng bulishi kerak. Shunga mos ravishda kuchaytirish boskichining kuchaitirish koefitsienti 29 va 18,6 dan kam bulmasligi kerak. RC-generatorining yana bir, turi Vin kuprigi sxemasi asosida kuriladi (3-rasm). Kuprik sxemasida reaktiv tashkil etuvchilar shunday zanjir xosil kiladiki, unda rezonans chastotada faza siljishi nolga teng buladi. Vin kuprigining utkazish funktsiyasi

$$x(j\omega) = \frac{1}{3} + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}) \quad (4)$$

chastota

$$\omega_r = \frac{1}{RC} \quad (5)$$

ga teng bulganda ($\varphi=0$ buladi. Bu chastotada utkazish funktsiyasining moduli $x(\omega_r)=1/3$ ga teng. Bu degan suz, kuchaytirish koefitsienti $K_v>3$ bulishi generator ishlashi uchun yetarlidir. Xozirgi zamon RC-generatorlarida, kuchaytirish koefitsienti uchdan katta bulgan operatsion kuchaytirgichlar ishlatiladi. Kuchaytirish koefitsientini kamaytirish maksadida manfiy teskari boglanish kiritiladi. Teskari boglanishdan ish jarayonida kuchaytirgich volt-amper xarakteristikasining noxizikli kismiga utib ketmasligi uchun, dinamik kuchaytirish koefitsientini boshkarishda xam foydalaniladi.



3-rasm

Nazorat savollar

1. Induktiv boglanishli generator sxemasini chizib bering?
2. Sxema elmsntlari vazifasi nimadan iborat?
3. Teskari boglanish koefitsienta nimaga teng?
4. Kattik va yumshok rejimda xosil bulgan sunmas tsbranishlarning amplitudasini ta'riflab bering.
5. RS generatorni ishlash printsipni nimadan iborat?
6. Faza siljishi nimaga teng?
7. Vin ko'prigi sxemasi elementlari nimadan iborat?
8. Kuchaytirish koefitsientini oshirish usuli kanday amalga oshiriladi?

13-Mavzu. Impuls jixozlari va mantiqiy elementlar. RS, D, T, JK triggerlar.

Zamonaviy hisoblash texnikasida axborotni raqamli qayta ishlash usuli muhim rol o'ynaydi. Raqamli yarim o'tkazgichli IMSlar hisoblash texnikasi qurilmalari va tizimining negiz elementi hisoblanadi. Hisoblash mashinalari tomoniday qayta ishlanayotgan berilganlar, natija va boshqa axborotlar faqat ikki qiymat oladigan (ikkilik sanoq tizimi) elektr signallari ko'rinishida ifodalanadi.

Analog axborotni raqamli ko'rinishga aylantirish uchun uni **kvantlaydilar**, ya'ni vaqt bo'yicha uzluksiz signal uning ma'lum nuqtalardagi diskret qiymatlari bilan almashtiriladi. So'ngra berilgan signal oxirgi diskret qiymatiga mos ravishda raqam beriladi. Signal diskret darajalarini raqamlar ketma – ketligi bilan almashtirish jarayoni **kodlash** deb ataladi. Olingan raqamlar ketma – ketligi **signal kodi** deb ataladi.

Ikkilik sanoq tizimida biror son ikki raqam: 0 va 1 orqali ifodalanadi. Raqamlarni ifodalash uchun raqamli tizimlarda tok yoki kuchlanish kabi elektr kattalikni ikki holatdagi signalini qabul qilishga moslashgan elektron sxema bo'lishi talab qilinadi. Kattalikning biri – 0 ga, ikkinchisi – 1 ga mos kelishi kerak. Ikki elektr holatga ega bo'lgan elektr sxemalarni yaratishning nisbatan soddaligi shunga olib keldiki, hozirgi zamonaviy raqamli texnika mana shu ikkilik ifodalanish tizimga asoslangan.

Raqamli qurilmalar ishlash algoritmini ifodalash uchun bul algebrasi yoki mantiq algebrasi qo'llaniladi. Mantiq algebrasi doirasida raqamli sxema kirish, chiqish va ichki qismlariga mos ravishda bul o'zgaruvchilari o'rnatiladi va ular faqat ikki qiymat qabul qilishi mumkin:

$$X=0 \text{ agar } X \neq 1; \quad X=1 \text{ agar } X \neq 0.$$

Bul algebrasi asosiy amallari bo'lib mantiqiy qo'shuv, ko'paytiruv va inkor amallari hisoblanadi.

Mantiqiy qo'shuv. Bu amal YoKI amali yoki diz'yunktsiya deb ataladi. Ikki o'zgaruvchini mantiqiy qo'shish postulatlar 9.1 – jadvalda keltirilgan.

Bunday jadvallar **haqiqiylik jadvallari** deb ataladi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu amal ixtiyoriy o'zgaruvchilar soniga mo'ljallangan. Amal bajarilayotgan o'zgaruvchilar soni, uning belgisidan oldin turgan raqam bilan ko'rsatiladi. Demak, 9.1 – jadvalda 2YoKI amali bajarilgan. Mantiqiy qo'shuv YoKI amalini bajaruvchi element (elektron sxema) shartli belgisi 9.1 a – rasmda keltirilgan.

9.1 - jadval

X1	X2	Y=X1+X2
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Mantiqiy qo‘paytiruv. Bu amal HAM amali yoki kon’yunktsiya deb ataladi. Mantikiy ko‘paytiruv postulatlarini 9.2 – jadvalda keltirilgan. Mantikiy HAM amalini bajaruvchi element shartli belgisi 9.1 b – rasmda ifodalangan.

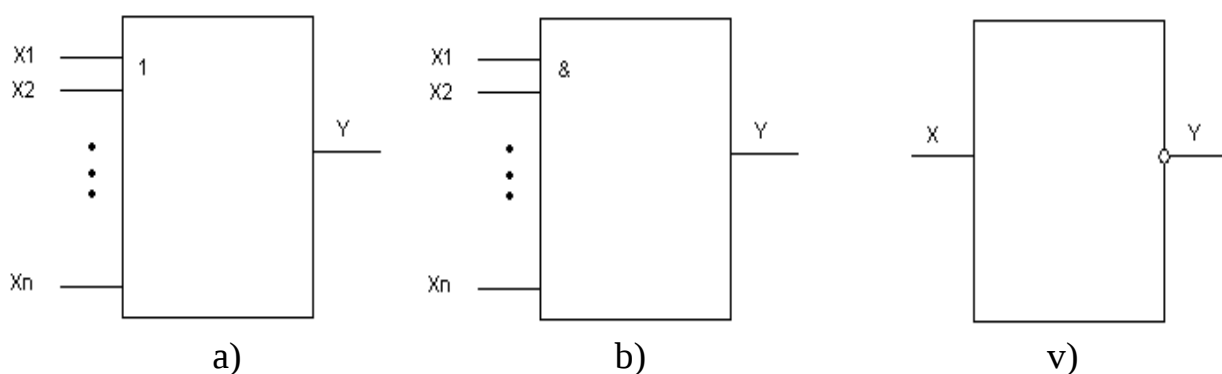
9.2 - jadval

X1	X2	$Y=X1 \cdot X2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Mantiqiy inkor. Inkori amali inversiya yoki to‘ldirish deb ataladi. Inkori postulatlarini 9.3 – jadvalda keltirilgan. Inversiya amalini bajaruvchi mantiqiy element shartli belgisi 9.1 v – rasmda keltirilgan.

– jadval

X	Y
0	1
1	0



9.1 – rasm.

Elementar mantiqiy HAM, YoKI, EMAS amallarini bajaradigan mantiqiy elementlardan foydalanib ancha murakkab amallarni bajaradigan elementlar va ularga mos keluvchi elektron sxemalar yaratish mumkin.

Turli amallarni bajaradigan elementlar IMSlar ko‘rinishida ko‘plab ishlab chiqariladi. Mantiqiy IMSlar seriyalarga birlashadilar. Har bir seriya asosida ma’lum bir mantiqiy amalni bajaruvchi elektr sxemadan tashkil topgan negiz element yotadi, masalan HAM-EMAS mantiqiy amali (Sheffer elementi) yoki YoKI-EMAS mantiqiy amali (Pirs elementi). Raqamli integral mikrosxemalar yaratishda turli murakkab mantiqiy amallarni bajaradigan sxemalarni yasashda faqat bitta HAM-EMAS, yoki YoKI-EMAS mantiqiy elementidan foydalanish talab qilinishi bilan ham ajralib turadi.

Mantiqiy IMS parametrlari

Axborotni kodlash usuliga ko'ra mantiqiy elementlar **potentsial va impuls** usullariga bo'linadilar.

Mantiqiy elementlarning ko'pchiligi potentsial hisoblanadi, ya'ni ularda ikkilik axborot ikkita elektr potentsial daraja ko'rinishida ifodalanadi: mantiqiy **0** – past potentsial U^0 , mantiqiy **1** – yuqori potentsial U^1 . Impuls mantiqiy elementlarda mantiqiy birga - impulsning mavjudligi, mantiqiy nolga – uning mavjud emasligi mos keladi.

IMS potentsial mantiqiy elementlari quyidagi parametrlar bilan xarakterlanadi:

- mantiqiy «**0**» va «**1**» kuchlanishlari - U^0 va U^1 ;
- mikrosxema holati teskari holatga o'zgaradigan kirishdagi ma'lum kuchlanish – bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO\cdot S}$;
- kirish bo'yicha birlashish koeffitsienti **m** (kirishlar soni);
- chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsienti **n** (yuklama qobiliyati yoki mazkur IMS chiqishiga ulash mumkin bo'lgan xuddi shunday mirosxemalar soni);
- $U_{KIR} = U^0$ va $U_{KIR} = U^1$ larga mos keluvchi kirish toklari I_{KIR}^0 va I_{KIR}^1 ;
- xalaqitlarga bardoshligi – yuqori U_{XAL}^1 va past U_{XAL}^0 kirish kuchlanish darajasi bo'yicha mumkin bo'lgan maksimal xalaqit kuchlanish qiymati;
- manbadan iste'mol qilinayotgan quvvat **R**;
- Y_{eM} kuchlanish va I_M tok manbalari;
- «**0**» holatdan «**1**» holatga, yoki aksincha o'tishdagi qayta ulanish kechikish vaqti;
- qayta ulanishlarning (tezkorlik) o'rtacha kechikish vaqti - $0,5 \cdot (t_K^0 + t_K^1)$.

Zamonaviy statik tizimlarning asosiy negiz elementi bo'lib Shottki diodlari qo'llanilgan TTM, I^2M , EBM, MDYa – tranzistorlarda (yoki P – kanalli MDYa, yoki n – kanalli MDYa) yasalgan mantiq, komplementar MDYa – tranzistorlarda (KMDYa) yasalgan mantiq elementlari hisoblanadi.

Raqamli integral mikrosxema negiz elementlariga qo'yiladigan asosiy talab – ularning tezkorligi, kichik sochilish quvvati, katta joylashtirish zichligi (yagona kristall sirtida joylashgan elementlar soni) va tayyorlanishni texnologikligi hisoblanadi.

Yuqorida sanab o'tilgan negiz elementlar, u yoki bu, yoki bir necha parametrlariga ko'ra biP – biridan ustun tursa, boshqa parametrlariga ko'ra yomonroq hisoblanadi.

IMS negiz mantiqiy elementi asosi bo'lib, qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan biror elektron kalit hizmat qilishi mumkin. Qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan yarim o'tkazgichli asboblarga quyidagi umumiy talablar qo'yiladi: birdan katta bo'lgan kuchaytirish koeffitsienti; axborot uzatish tizimining bir tomonlamaligi; kirish va chiqish bo'yicha katta tarmoqlanish koeffitsientlari; qayta ulanishlarning katta tezligi; kichik iste'mol quvvati. Elektron kalitlar sifatida kremniyli bipolyar va maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalitlar kichik sochilish quvvatiga ega

bo'lsalar, bir vaqtning o'zida bipolyar tranzistorlarda bajarilgan elektron kalitlarning qo'llanilishi ularning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar

BT da yasalgan sodda kalit sxemasi 9.2 – rasmda keltirilgan. Yuklama qarshiligi R_K emitteri umumiy shinaga ulangan tranzistorning kollektor zanjiriga ulangan. Kalit ikkita turg'un holatga ega bo'lishi kerak: ochiq va berk.

Ochiq kalit holatiga tranzistorning to'yinish yoki aktiv ish rejimi, berk holatga esa - berkilish rejimi mos keladi.

Agar tranzistor bazasiga manfiy kuchlanish berilsa ($U_{KIB} < 0V$), u holda emitter va kollektor o'tishlar teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi, ya'ni berk holatda bo'ladi. Bu vaqtda tranzistor kollektor tokining berkilish rejimida ishlaydi va kalit uzilgan holatda bo'ladi. Berkilish rejimida tranzistor toklari mos ravishda

$$I_{\mathcal{O}} \cong 0, I_K = I_{K0}, I_B = -I_{K0} \quad (9.1) \quad .$$

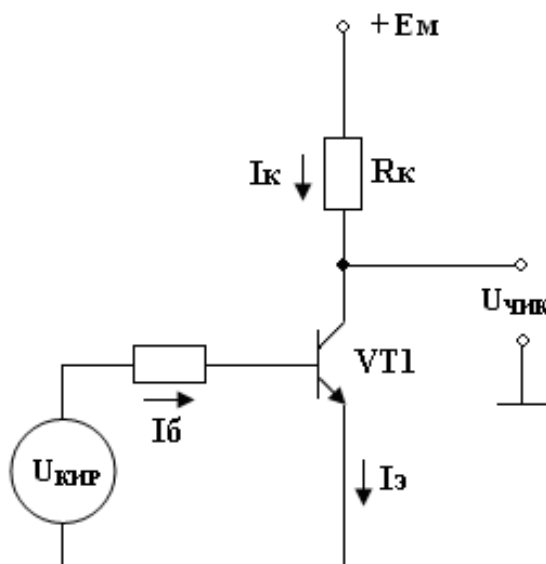
Natijada tranzistor kollektoridagi kuchlanish

$$U_K = U_{CHK} = E_M - I_{K0} \cdot R_K \approx E_M, \text{ (mantiqiy bir } U^1) \quad (9.2),$$

bo'lib, yuklamaning manbadan uzilgan holatiga mos keladi (kalit uzilgan).

Baza zanjirida R_B rezistor mavjud bo'lganda tranzistor baza kuchlanishi

$$U_B = U_{B\mathcal{O}} = -U_{KIB} + I_{K0} \cdot R_B \quad (9.3)$$



9.2 – rasm.

Yuqori temperaturalarda kalit I_{K0} qiymati keskin ortadi va natijada emitter o'tishdagi kuchlanish ham ortadi. Shu sababli berkilish rejimida tranzistor normal ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak

$$-U_{KHP} + I_{K0} \cdot R_B \leq U_{E\check{C}} \quad (9.4) ,$$

bu yerda $U_{BO'S}$ – emitter o'tishdagi musbat kuchlanish U_{BE} bo'lib, ushbu qiymat ortsa tranzistor berk rejimdan aktiv rejimga o'tadi, ya'ni ochiladi.

Integral texnologiyada bajarilgan kremniyli tranzistorlar uchun $U_{BO'S}=0,5\div 0,6$ V.

Agar $U_{KIR}=0$, u holda (9.4) shart quyidagicha qayta yoziladi.

$$I_{K0} \cdot R_B \leq U_{E\check{C}} \quad (9.5) .$$

$U_{BO'S}=0,6$ V va $I_{K0}=1\text{mkA}$ deb faraz qilsak, u holda $R_{B,\text{max}}=0,6$ MOm ga teng bo'ladi.

Kirishga $U_{KIR}\geq 0,7$ V (mantiqiy bir U^1) kuchlanish berilsa tranzistor aktiv yoki to'yinish rejimida ishlaydi (kalit ulangan).

Kalit rejimda tranzistorning aktiv ish rejimi ma'qullanmaydi, chunki yuklamadagi tok faqat yuklama R_K va manba kuchlanishi Y_{EM} kattaligi bilan emas, balki tranzistordagi kuchlanish pasayishi U_{KE} bilan ham aniqlanadi,

$$I_{IO} = I_K = \frac{E_M - U_{K\check{C}}}{R_K} \quad (9.6) ,$$

ya'ni tranzistor xossalariga (parametrlarning o'zgarishi va ularning temperaturaga bog'liqligi) ham bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari, aktiv rejimda tranzistorda qo'shimcha quvvat $P_K = I_K \cdot U_{K\check{C}}$ sochiladi, sxemaning FIK kamayadi.

Integral texnologiyada bajarilgan kremniyli tranzistorlar uchun to'yinish rejimida $U_{CHIQ}=U_{KE}\cong 0,25$ V (mantiqiy nol U^0). Analog sxemalarda alohida kalitlar qo'llaniladi. Raqamli sxemalarda esa **kalitli zanjirlar** qo'llaniladi. Bunday zanjirlarda har bir kalitni o'zidan oldingi kalit boshqaradi va o'z navbatida bu kalitning o'zi keyingi kalit uchun boshqaruvchi hisoblanadi. Demak, agar oldingi kalitda tranzistor to'yinish rejimi bo'lsa, u holda bu kalit keyingi kalitni qayta ulashi mumkin emas.

Shunday qilib, agar kalit kirishiga mantiqiy nol potentsiali berilsa, u holda uning chiqishida mantiqiy birga mos potentsial hosil bo'ladi va aksincha, ya'ni bunday kalit invers sxema hisoblanadi va **invertor** deb ataladi.

Asosiy dinamik parametrlaridan biri bo'lib, sxemaning ulanish va uzilish vaqtidagi qayta ulanish jarayonlari bilan aniqlanadigan **tezkorligi** hisoblanadi. Sxema chiqishidagi kuchlanishning bo'sag'aviy qiymati, kirish signalini U^0 dan U^1 ga o'zgartirganda ma'lum t_K^1 vaqtiga, U^1 dan U^0 ga o'zgartirganda t_K^0 vaqtiga kechikadi. Kechikishlarga tranzistorlar qayta zaryadlanish sig'imi va yuklama sabab bo'ladi. Sxema tezkorligi o'rtacha kechikish vaqti bilan aniqlanadi

$$t_K = 0,5 \cdot (t_K^1 + t_K^0) .$$

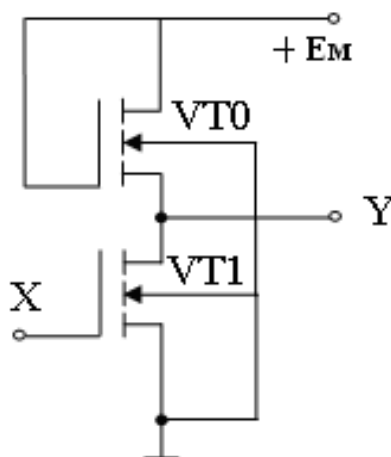
Sxema iste'mol qilayongan tok ortsa, sig'implarning katta qayta zaryadlanish tezligi hisobiga qayta ulanish vaqti ortadi. Lekin bu vaqtda sxemaning iste'mol quvvati ortadi. Shu sababli o'rtacha kechikish vaqti qayta ulanish ishi $A_Q = R t_K$ deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi. Zamonaviy IMSlar uchun $A_Q = 10^{-12} - 10^{-14}$ Dj.

Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar

Kalit elementi sifatida odatda kanali induktsiyalanuvchi MDYa – tranzistorlar qo'llaniladi, chunki ularda U_{ZI} nolga teng bo'lganda uzilgan kalit holati ta'minlanadi (tranzistor berk).

Maydoniy tranzistorlar asosida yasalgan mantiqiy elementlar negizida aktiv element va yuklama MDYa – tranzistorda bajarilgan kalit sxema yotadi. Aktiv va yuklamadagi tranzistorlar bir xil yoki har xil o'tkazuvchanlik turiga ega bo'lgan kanaldan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Aktiv tranzistor zatvoriga yuqori potentsialga (mantiqiy bir darajasi) berilsa uning stokidagi qoldiq kuchlanish 50-100 mV ni (mantiqiy nol darajasi) ni tashkil etadi. Bu bilan inversiya amalga oshiriladi.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. 9.3 – rasmda n – kanali induktsiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi keltirilgan.



9.3 – rasm.

VT0 tranzistor nochiziqli yuklama vazifasini bajaradi. Ketma – ket ulangan tranzistorlar asosi qobiqda qisqa tutashuv bajariladi, zatvor va yuklamadagi tranzistor stoki manba bilan tutashtirilgan. $U_{eM} = 3U_{BO\cdot S}$ tanlanadi, bu yerda $U_{BO\cdot S}$ – tranzistor ochiladigan kuchlanish. Demak, yuqoridagi tranzistor doim ochiq holatda bo'lib to'yinish rejimida bo'ladi va invertor tokini cheklash uchun xizmat qiladi (dinamik yuklama). VT0 stok toki kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$I_{C0} = \frac{1}{2} B_0 (U_{CH0} - U_{B\check{V}C0})^2 \quad (9.7) \quad .$$

Agar kalit kirishi X ga $U_{KIR}^0 < U_{BO'S}$ kuchlanish berilsa (mantiqiy nol), VT1 tranzistor berk bo'ladi, kalit orqali 10^{-9} - 10^{-10} A tok oqib o'tadi, chiqishdagi kuchlanish esa $y = \bar{x}$ bo'lib kuchlanish manbai qiymatiga yaqin bo'ladi: $U_{ChIQ} \cong E_M$ (mantiqiy bir).

Agar kalit kirishi X ga $U_{KIR}^0 \geq U_{BO'S}$ kuchlanish berilsa, u holda VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimiga o'tadi, bu vaqtda stok toki I_{S1} (9.7) ifoda orqali aniqlanadi, faqat $U_{S10} = E_M$ deb olinadi.

$$I_{C1} = \frac{1}{2} B_1 (E_M - U_{B\check{Y}C1})^2 \quad (9.8) .$$

VT1 tranzistorning to'yinish rejimidagi kanal qarshiligi

$$R = \frac{1}{B_1 (U_{3H} - U_{B\check{Y}C1})} = \frac{1}{B_1 (U_{KIP}^1 - U_{B\check{Y}C1})} .$$

I_{S1} tokni kanal qarshiligi R ga ko'paytirib, chiqish kuchlanishini olamiz

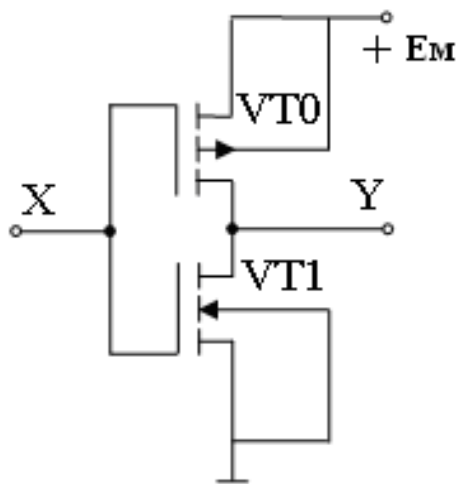
$$U_{CHIK} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{U_{KIP}^1 - U_{B\check{Y}C1}} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{E_M - U_{B\check{Y}C1}} \quad (9.9) .$$

Amaliyotda $U_{KIR}^1 \cong E_M$ (9.9) dan ko'rinib turibdiki, kichik chiqish kuchlanishi qiymatini U_{ChIQ} ta'minlash uchun $V_0 \ll V_1$ nisbat bajarilishi kerak. V kattaligi kanal kengligini uning uzunligiga nisbati bilan aniqlanadi (Z/L).

Bu kalit kichik tezkorlikka ega, chunki chiqish impulsining fronti tranzistor parametrlari bilan emas, balki chiqish sig'imi zaryadini noxiziqli yuklama tranzistoridan chiqishi bilan aniqlanadi, bu qarshilik qiymati esa yuzlab kOmlarga yetadi.

MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalarning kamchiligi bo'lib shu hisoblanadiki, boshqaruvchi tranzistorning ulangan holatida kalit orqali tok oqib o'tadi. Bu tok juda zarur hisoblanmaydi, chunki maydoniy tranzistorning o'rnatilgan toki amalda nolga teng bo'ladi. Komplementar MDYa (kanal o'tkazuvchanligi qarama – qarshi bo'lgan tranzistorlarda) bajarilgan kalit sxemalar bu kamchiliklardan holi (9.4-rasm). Bu kalitda ikkala tranzistor zatvorlari o'zaro bog'lanib yagona kirish hosil qiladilar. Stoklar birlashib yagona chiqish hosil qiladilar, istoklar esa asos bilan birgalikda mos ravishda kuchlanish manbai va umumiy shinaga ulanadilar.

Ikkala tranzistor yagona kirish signali bilan boshqariladi. Lekin, bu tranzistorlarning bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$ qiymatlari biP – biriga teskari ishoraga ega bo'lganligi sababli, kirish darajalarining ixtiyoriy qiymatida bu tranzistorlar turli holatda bo'ladilar. Bir tranzistor ochiq bo'lganda, ikkinchisi berk bo'ladi. Haqiqatdan ham, agar kirishga $X = U_{KIR}^0$ signal berilsa, VT0 zatvori asosga nisbatan manfiy potentsialga ega bo'ladi $U_{KIP}^0 \cdot E_M = -E_M$.



9.4– rasm.

Demak, VT0 ochiq holatda bo‘ladi. Bu vaqtning o‘zida VT1 tranzistor zatvoridagi potentsial asosga nisbatan bo‘lag‘aviy kuchlanishdan kichik qiymatga ega bo‘ladi va bu tranzistor berkiladi. Agar kirishga $x=U_{KIR}^1$ signal berilsa, VT1 ochiladi, VT0 tranzistor esa berkiladi, chunki endi uning zatvoridagi kuchlanish asosga nisbatan quyidagiga teng bo‘ladi

$$U_{A0} = U_3 - U_A = U_{KHP}^1 - E_M \approx 0.$$

Shunday qilib, ixtiyoriy statsionar holatda sxema tranzistorlaridan biri berk holatda bo‘ladi, shu sababli sxema manbadan deyarli quvvat iste‘mol qilmaydi. Ammo sxema qayta ulanish jarayonida, biror juda kichik vaqt mobaynida ikkala tranzistor ochiq holatda bo‘ladi, chunki ikkinchisi berkilib ulgurmagan bo‘ladi. Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalarga nisbatan o‘n marta kam quvvat iste‘mol qiladi. Lekin, sxemalarning tezkorligi bir xil bo‘lib kalit chiqish sig‘imining qayta zaryadlanish vaqti bilan belgilanadi.

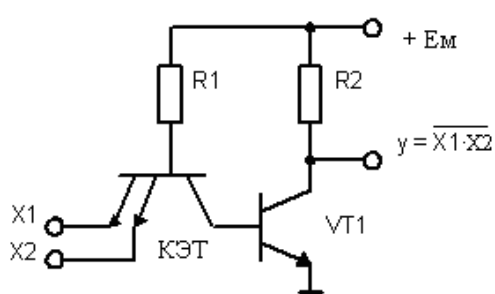
Mantiqiy integral sxemalar negiz elementlari

Mantiqiy IMS negiz elementlari tuzilishiga ko‘ra quyidagi guruhlariga bo‘linadi: diodli – tranzistorli mantiqiy elementlar (DTM); tranzistoP – tranzistorli mantiq elementlari (TTM); tok qayta ulagichlari asosidagi emitterlari bog‘langan mantiq elementlari (EBM); MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar; injeksion manbali elementlar (I^2M). Elektron kalit turi mantiq turi bilan aniqlanadi.

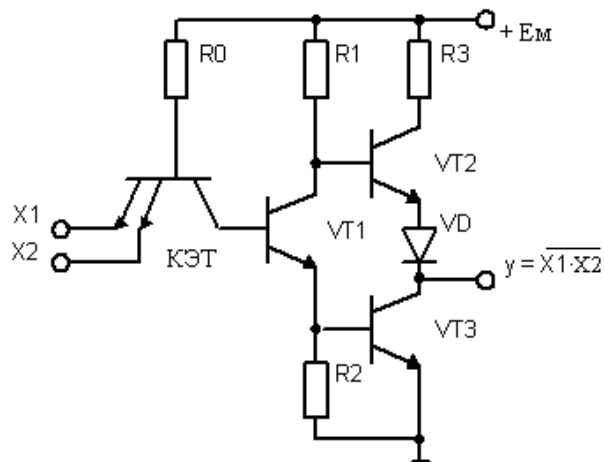
Agar kalit sxemasi tarkibida tranzistordan tashqari boshqa elektr radioelementlar (rezistor, diod) mavjud bo‘lsa, bu holat integratsiya darajasini pasaytiradi va shu sababli bu mantiq turi o‘rta va katta integratsiyali raqamli integral mikrosxemalar negiz elementlari sifatida qo‘llanilmaydi. Quyida zamonaviy raqamli integral qurilmalarda qo‘llaniladigan negiz elementlar ko‘rib chiqiladi.

TranzistoP – tranzistorli mantiq elementlari (TTM). Bu mantiq turida elektron kalitlar bilan boshqariladigan ko‘p emitterli tranzistor (KET)da bajarilgan inverter qo‘llaniladi. Chiqishida oddiy inverter bo‘lgan TTM sxemasi 9.5 a – rasmda keltirilgan.

X1 va X2 kirishlar mantiqiy bir potentsialiga ega (2,4 V) deb faraz qilaylik. Bunda KET emitter o‘tishlari berk bo‘ladi va tok quyidagi zanjir orqali oqib o‘tadi: kuchlanish manbai Y_{EM} – rezistor R1 – KETning ochiq bo‘lgan kollektor o‘tishi VT1 tranzistor bazasiga yo‘nalgan bo‘ladi, shu sababli VT1 to‘yinish rejimiga o‘tadi va uning kollektorida mantiqiy nol past potentsiali o‘rnatiladi (0,4 V).



a)



b)

9.5 – rasm.

Endi esa, ikkala kirishga kichik kuchlanish potentsiali (mantiqiy nol potentsiali) berilgan deb faraz qilaylik. Bu holatda KET emitter o‘tishlari kollektor o‘tish kabi to‘g‘ri yo‘nalishda siljigan bo‘ladi. KET baza toki ortadi, shu tranzistor kollektor toki, demak, VT1 baza toki esa sezilarli kamayadi. KET tok asosan quyidagi yo‘nalishda oqib o‘tadi: kuchlanish manbai Y_{EM} – rezistor R1 – KET baza – emitteri – kirishdagi signal manbai – umumiy shina. VT1 tranzistor baza toki deyarli nolga teng bo‘lganligi sababli, bu tranzistor berkiladi va sxemaning chiqishida yuqori kuchlanish darajasi (2,4 V – mantiqiy bir) yuzaga keladi.

Ko‘rinib turibdiki, faqat bitta kirishga mantiqiy 0 berilsa holat o‘zgarmaydi. Demak, biror kirishda mantiqiy 0 mavjud bo‘lsa chiqishda mantiqiy 1 hosil bo‘ladi. Qachonki barcha kirishlarga mantiqiy 1 berilsagina chiqishda mantiqiy 0 hosil bo‘ladi. Haqiqiylik jadvalini tuzib bu element 2HAM-EMAS amalini bajarishini ko‘ramiz. Ko‘rib o‘tilgan bu element kichik xalaqitlarga bardoshligi, kichik yuklama qobiliyati va yuklama sig‘imi S_{Yu} (katta R2 qarshilik orqali)ga ishlaganda, kichik tezkorlikka ega ekanligi sababli keng ko‘lamda qo‘llanilmaydi.

Murakkab inverterli TTM sxemasi ko‘rib o‘tilgan sxemaga nisbatan yaxshilangan parametrlarga ega (9.5 b-rasm). Bu element uch bosqichdan tashkil topgan:

- kirishda R0 rezistorli ko‘p emitterli tranzistor (HAM mantiqiy amalini bajaradi);
- R1 va R2 rezistorli VT1 tranzistorda bajarilgan faza kengaytirgich;

- VT2 va VT3 tranzistorlar, R3 rezistor va VD diodda bajarilgan ikki taktli chiqish kuchaytirgichi.

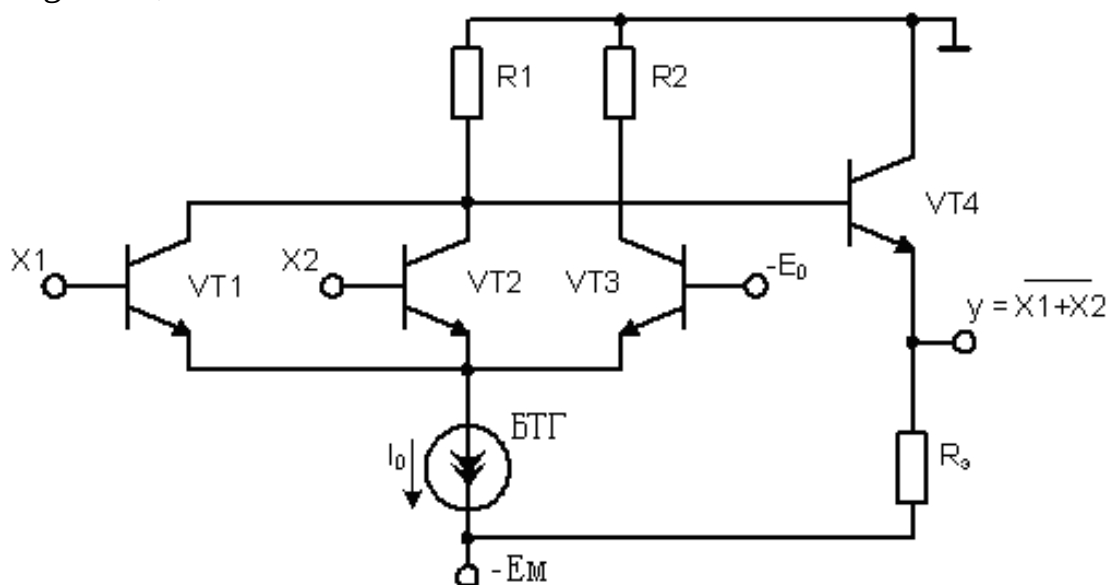
Bu sxema nisbatan kichik chiqish qarshilikka ega bo'lib, yuklama sig'imidagi qayta zaryadlanishni tezlashtiradi.

Sodda sxemadagi kabi, bu sxemada ham chiqishda U^1 daraja olish uchun, KET biror kirishiga mantiqiy nol daraja berilishi kerak. Bu vaqtda VT1 va VT3 tranzistorlar berkiladi, VT1 kollektoridagi kuchlanish katta bo'lganligi sababli VT2 ochiladi. S_{Yu} yuklama sig'imi VT2 va diod VD orqali zaryadlanadi. R3 rezistor katta yuklanishdan saqlagan holda VT2 tranzistor orqali tokni cheklaydi

KET barcha emitterlariga U^1 daraja berilsa VT1 va VT3 tranzistorlar to'yinadi, VT2 tranzistor esa deyarli berkiladi. S_{Yu} yuklama sig'imi to'yingan VT3 tranzistor orqali tez zaryadsizlanadi. TTM sxemalarni tezkorligini yanada oshirish maqsadida ulara diod va Shottki tranzistorlari qo'llaniladi. Bu modifikatsiya TTMSH deb belgilanadi.

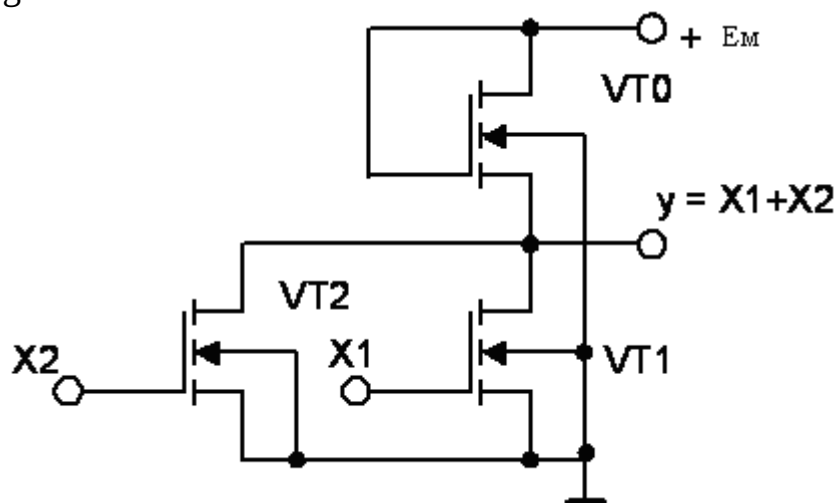
Emitterlari bog'langan mantiq elementi (EBM). EBM elementi (9.6 - rasm) DK kabi tok qayta ulagichi asosida bajariladi. Ikki mantiqiy kirishga ega bo'lgan bir yelka ikki tranzistordan iborat bo'ladi (VT1 va VT2), keyingi yelka esa - VT3 dan tashkil topadi.

Yuklama qobiliyatini oshirish va signal tarqalishi kechikishini kamaytirish maqsadida qayta ulagich VT4 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich bilan to'ldirilgan. VT3 bazasiga Y_{e0} – tayanch kuchlanishi beriladi va bu bilan uning ochiq holati ta'minlanadi. Ixtiyoriy biror kirishga (yoki ikkala kirishga) mantiqiy birga mos keluvchi signal berilsa unga mos keluvchi tranzistor ochiladi, natijada I_0 tok sxemaning o'ng yelkasidan chap yelkasiga o'tadi. VT4 tranzistor baza toki kamayadi va u berkiladi va chiqishda mantiqiy nolga mos potentsial o'rnatiladi. Agar ikkala kirishga mantiqiy nolga mos signal berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi, VT3 esa ochiladi. R1 orqali oqib o'tayotgan tok VT4 tranzistorni ochadi va sxemaning chiqishida mantiqiy birga mos kuchlanish hosil bo'ladi. Bu sxema 2YoKI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $20 \div 50$ mVt, tezkorligi esa $0,7 \div 3$ ns ni tashkil etadi.



9.6 – rasm.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar (n – MDYa).
 9.7 – rasmda n – kanali induktsiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan sxema keltirilgan.



9.7 – rasm.

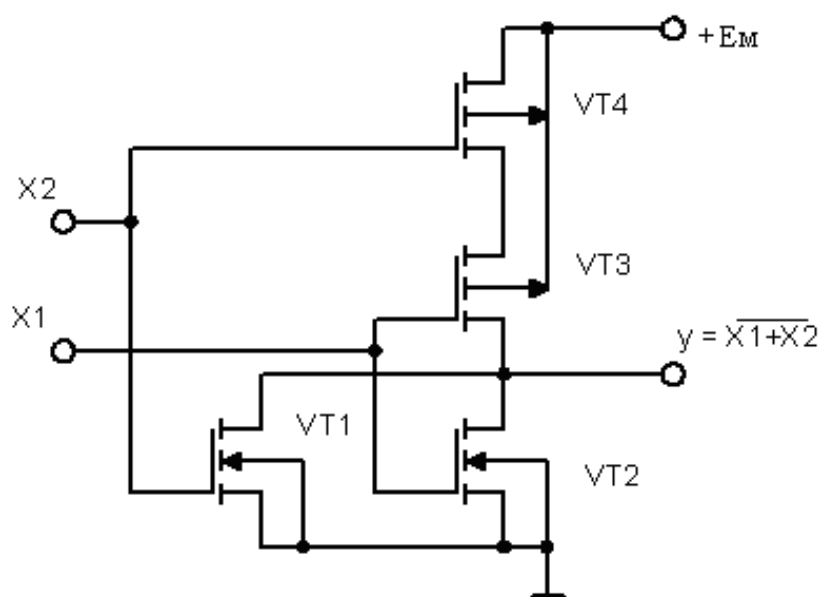
Yuklama tranzistori VT0 doim ochiq. Chiqishda juda kichik kuchlanish darajasi U_{ChIQ}^0 ni ta'minlash maqsadida ochiq VT1 va VT2 tranzistorlarning kanal qarshiliklari VT0 tranzistor kanal qarshiligidan kichik bo'lishi kerak. Shu sababli VT1 va VT2 tranzistorlar kanali qisqa va keng qilib, yuklamadagi tranzistor kanali esa - uzun va tor qilib yasaladi. Biror kirishga yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasiga mos keluvchi musbat potentsial berilsa, ($U_{\text{KIR}}^1 > U_{\text{BO'S}}$), bir yoki ikkala tranzistor ochiladi va chiqishda mantiqiy nol o'rnatiladi ($U_{\text{ChIQ}}^0 < U_{\text{BO'S}}$). Agar ikkala kirishga ham mantiqiy nol berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi. Chiqishdagi potentsial mantiqiy birga mos keladi. Element 2YoKI – EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati 0,1÷1,5 mVt, tezkorligi esa - 10÷100 ns ni tashkil etadi.

O'KIS va KISlarda KMDYa va I²M mantiqiy elementlari qo'llaniladi. Ular tarkibida rezistorlar bo'lmaydi va mikrotoklar rejimida ishlaydilar. Shu sababli kristallda kichik yuzani egallaydilar va kam quvvat iste'mol qiladilar. KISlarda elementlar soni 10^5 ta bo'lganda bir element iste'mol qilayotgan quvvat 0,025 mVT dan oshmasligi kerak.

Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan mantiqiy elementlar (KMDYaM). Ikki kirishli element sxemasi 9.8 – rasmda keltirilgan. Ikkaola kirishga mantiqiy nolga mos signal berilsa n – kanalli VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi, P – kanalli VT3 va VT4 tranzistorlar ochiladi.

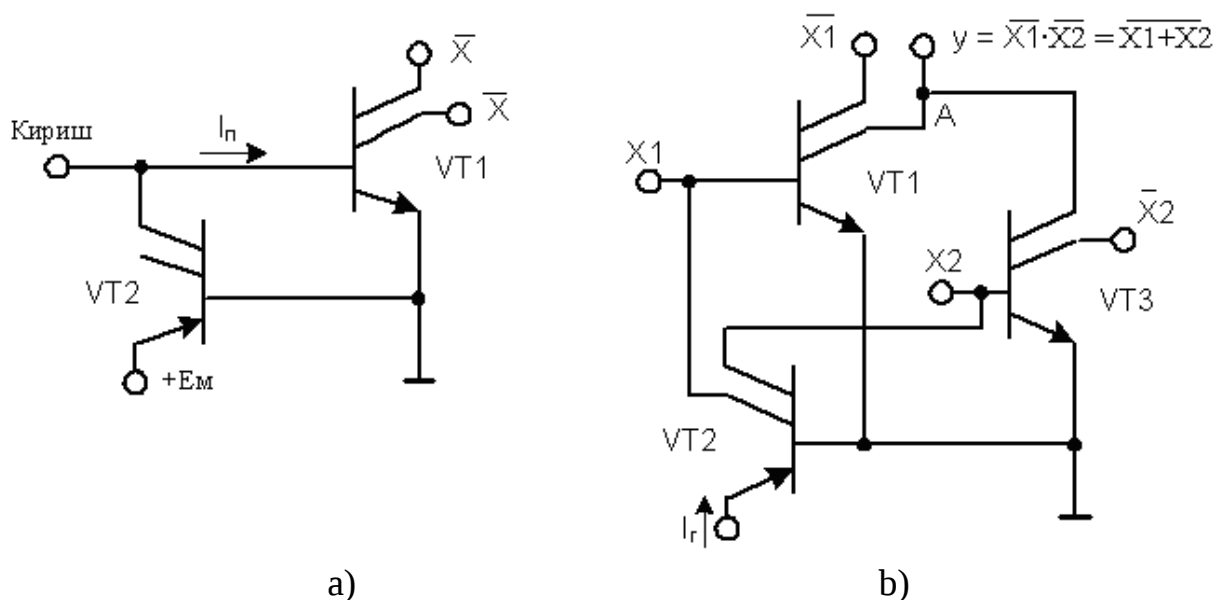
Berk tranzistorlarning kanalidagi tok juda kichik ($< 10^{-10}$ A). Demak, manbadan tok deyarli iste'mol qilinmaydi va sxemaning chiqishida Yem ga yaqin potentsial o'rnatiladi (mantiqiy bir darajasi). Agar biror kirish yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasi berilsa, VT1 va VT2 tranzistorlar ochiladi va element

chiqishida potentsial nolga yaqin bo‘ladi. Element 2YoKI-EMAS amalini bajaradi. Iste’mol quvvati $0,01 \div 0,05$ mVtni, tezkorligi esa $10 \div 20$ ns ni tashkil etadi.



9.8 – rasm.

Integral – injeksion mantiq elementi (I^2M). Kalit komplementar bipolyar tranzistorlar juftligidan tashkil topgan bo‘lib, n-p-n turli VT1 tranzistor ko‘pkollektorli bo‘lib, uning baza zanjiriga p-n-p turli VT2 ko‘pkollektorli tranzistor ulangan. Bu tranzistor injektor nomini olgan bo‘lib, barqaror tok generatori vazifasini bajaradi (9.10 a – rasm.)



9.10 – rasm.

VT1 tranzistor emitteP – kollektor oralig‘i kalit vazifasini bajaradi. Signal manbai va yuklama sifatida xuddi shunday sxemalar ishlatiladi. Agar kirishga mantiqiy birga mos keluvchi yuqori potentsial berilsa, VT1 tranzistor ochiladi va

to'yinish rejimida bo'ladi. Uning chiqishidagi potentsial nol potentsialiga mos keladi. Kirishga mantiqiy nolga mos keluvchi potentsial berilsa, VT1 tranzistorning emitter o'tishi berkiladi. Kovaklar toki I_Q (qayta ulanish toki) VT1 tranzistorning kollektor o'tishini teskari yo'nalishda ulaydi. Buning natijasida VT1 chiqish qarshiligi keskin ortadi va uning chiqishida mantiqiy bir potentsiali hosil bo'ladi. Ya'ni mazkur sxema yuqorida ko'rilgan sxemalar kabi invertor vazifasini bajaradi. Mantiqiy amallarni bajarish invertor chiqishlarini metall simlar bilan birlashtirish natijasida amalga oshiriladi. 9.10 b – rasmda HAM amalini bajarish usuli ko'rsatilgan. Haqiqatdan ham, agar X1 yoki X2 kirishlardan biriga yuqori potentsial berilsa U_{KIR}^1 , natijada birlashgan chiqishlarda (A nuqta) past potentsial hosil bo'ladi U^0 . Natijada $\bar{X}_1$ va $\bar{X}_2$ invers o'zgaruvchilarning kon'yuktsiyasi bajariladi. Ular VT1 va VT3 invertor chiqishlarida hosil bo'ladi: $Y = \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2$. I^2M elementining tezkorligi 10÷100 ns va iste'mol quvvati 0,01÷0,1 mVt. Kristalda bitta I^2M elementi KMDYa –elementga nisbatan 3÷4 marta kichik, TTM – elementiga nisbatan esa 5÷10 marta kichik yuzani egallaydi.

Ko'rib o'tilgan mantiqiy IMS negiz elementlarining
asosiy parametrlari jadvali

Parametr	Negiz element turi		
	TTM	TTMSh	n - MDYa
Kuchlanish manbai, V	5	5	5
Signal mantiqiy o'tishi ($U_{CHI}^1 - U_{CHI}^0$), V	4,5-0,4	4,5-0,4	TTM bilan mos keladi
Ruxsat etilgan shovqinlar darajasi, V	0,8	0,5	0,5
Tezkorligi, $t_{K.O'RT}$, ns	5-20	2-10	10-100
Iste'mol quvvati, mVt	2,5-3,5	2,5-3,5	0,1-1,5
Yuklama qobiliyati	10	10	20

Parametr	Negiz element turi		
	KMDYa	EBM	I^2M
Kuchlanish manbai, V	3-15	-5,2	1
Signal mantiqiy			

o'tishi ($U_{\text{ChIQ}}^1 - U_{\text{ChIQ}}^0$), V	Yep-0	(-1,6)-(-0,7)	0,5
Ruxsat etilgan shovqinlar darajasi, V	0,4Ep	0,15	0,1
Tezkorligi, $t_{\text{K.O'RT}}$, ns	1-100	0,7-3	10-20
Iste'mol quvvati, mVt	0,01-0,1	20-50	0,05
Yuklama qobiliyati	50	20	5-10

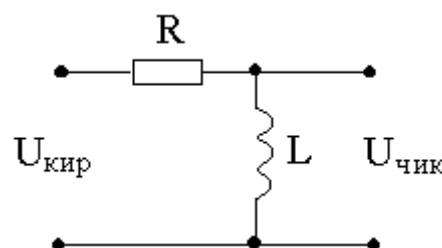
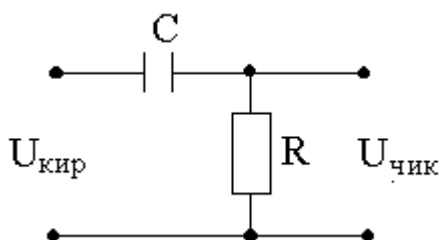
Asosiy raqamli IMS seriyalarining mantiq turlari

Mantiq turi	Raqamli IMS seriya raqami
TTM	155, 133, 134, 158
TTMSh	130, 131, 389, 599, 533, 555, 734, K530, 531, 1531, 1533, KR1802, KR1804
EBM	100, K500, 700, 1500, K1800, K1520
I ² M	KR582, 583, 584
r - MDYaTM	K536, K1814
n - MDYaTM	K580, 581, 586, 1801, 587, 588, 1820, 1813
KMYaTM	164, 764, 564, 765, 176, 561

14-Mavzu. Impuls sanaydigan va taksimlaydigan sxemalar. Registrlar. Xotiralovchi sxemalar. RS zanjirlari.

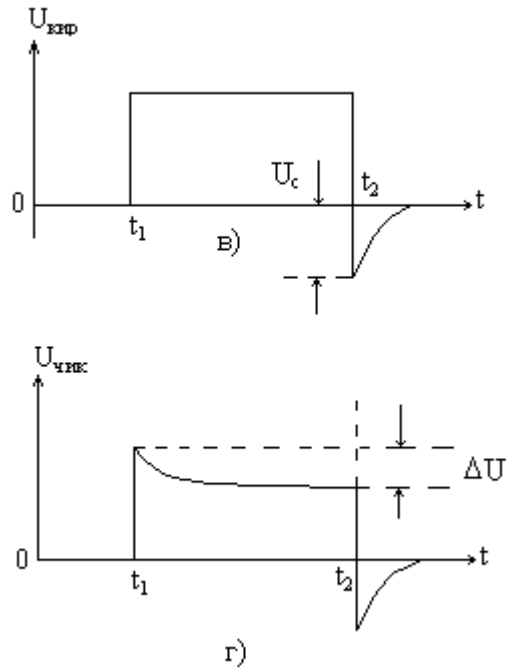
Differensiallovchi zanjir deb amplitudasi kirish kuchlanish yoki tokning tikligiga proporsional bo'lgan chiqish signalini hosil qilish imkoniyatini beruvchi chiziqli to'rt qutblikka aytiladi.

Zanjir kirishiga (rasm-1.a) amplitudasi U_m bo'lgan (rasm-2,a) to'g'riburchakli impul's ta'sir ko'rsatsin. Chiqish kuchlanishini U_{chik} ning



o'zgarish xarakterini ko'rib chiqamiz.

Rasm1



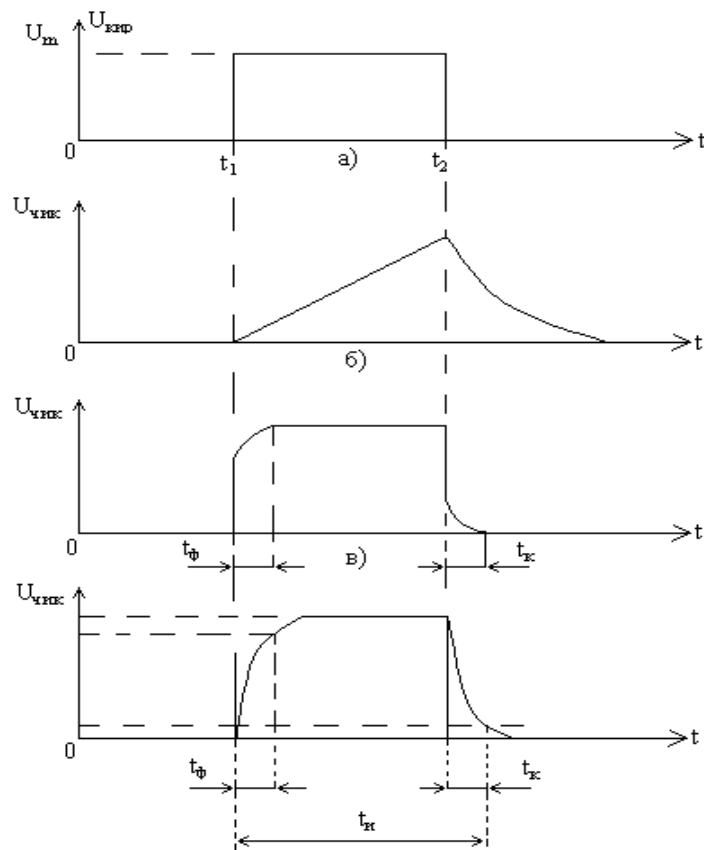
Rasm 2.

U_{kir} berilganda zanjirda R qarshiligida kuchlanish tushuvini hosil qiluvchi tok i hosil bo'ladi.

$U_{chik} = i \cdot R$ (1) i tokning qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$U_{kir} = \frac{1}{C} \int i dt + iR$ (2) Agar RC zanjirning vaqt doimiyligi $\tau = R \cdot C$ impul's doimiyligiga nisbatan kichik bo'lsa ($\tau \ll t_u$), (2) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi. $U_{kir} = \frac{1}{C} \int i dt$ Bundan $i = C \frac{dU_{kir}}{dt}$ va chiqish kuchlanish

$U_{chik} = R \cdot C \frac{dU_{kir}}{dt}$ ga teng bo'ladi. Shuning uchun rasm 1,a da keltirilgan zanjir differensiallovchi zanjir deyiladi. $\tau \ll t_u$ shart bajarilganda, U_{kir} impul's berilgandan keyin kondensator U_m kuchlanishigacha zaryadlanadi. Impul'sning ta'siri tugaganidan keyin, kondensatorning zaryadlanish kuchlanishi R rezistorga qo'yiladi va chiqishda U_{kir} kuchlanish teskari qutb bilan hosil bo'ladi va τ vaqt doimiyligi bilan yo'q bo'ladi. Shunday qilib chiqishda ikkita turli qutbli impul's hosil bo'ladi. Shuning uchun zanjir ba'zida kaltalashtiruvchi deyiladi. Agar vaqt doimiyligi impul's davomiyligiga nisbatan katta bo'lsa ($\tau > t_u$), kirish impul'si tugagan t_2 vaqtiga kelib, kondensator zaryadlanishga ulgurmaydi. Shuning uchun (2) ifodaning $U_c = \frac{1}{C} \int i dt$ qiymatini iR ga nisbatan inobatga olmasak $U_{kir} = iR = U_{chik}$ deb yozish mumkin.

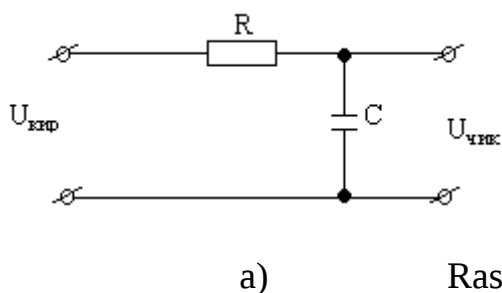


Rasm 3.

Kirish signalining ta'siri tugagan t_2 vaqtiga kelib, chiqish kuchlanishi kondensatorning zaryadlanish kuchlanishi U_C ga teng bo'ladi va chiqishda kichkina manfiy impul's hosil bo'ladi (rasm 3,v). Bu holda zanjir o'tuvchi bo'ladi.

Rasm 3,g da $\tau \approx t_u$ bo'lgan holdagi chiqish kuchlanishining shakli keltirilgan. Bu holda impul's cho'qqisining buzilishi sodir bo'ladi (ΔU ning kamayishi), ammo impul's fronti va kesimi o'zgarmaydi. 1,b rasmda ketma - ket ulangan rezistor R va induktivlik L dan tashkil topgan differensiyalovchi zanjir keltirilgan. Zanjirning ishlashi yuqorida keltilgandek.

Integrallovchi zanjir R va C yeki L elementlardan tashkil topadi (rasm 4.). Differensiollovchi zanjirlardan farqli chiqish kuchlanishi kondensatordan (rasm 4,b) olinadi. Rasm 4,a keltirilgan zanjirni ko'ramiz.



Rasm 4.

Chiqish kuchlanishi

$$U_{chiq} = \frac{1}{C} \int i dt \quad (3)$$

Chiqish toki i (2) ifodadan aniqlanadi. Agar zanjirning vaqti doimiyligi $\tau = RC$ impul's davomiyligidan ancha katta bo'lsa ($\tau \ll t_u$), (2) tenglama

$$U_{kir} \approx iR \text{ ko'rinishga ega bo'ladi.}$$

Bundan $i = \frac{U_{kir}}{R}$ va chiqish kuchlanishi (3) dan aniqlanadi

$$U_{chiq} = \frac{1}{RC} \int U_{kir} dt \quad (4)$$

Shuning uchun bu zanjir integrallovchi nomini olgan.

Integrallovchi zanjir kirishiga to'g'ri burchakli impul's (rasm 1.8,a) berilgan holdagi integrallovchi zanjir chiqishidagi kuchlanish shakli rasm 1.8,b da keltirilgan. Kirishda kuchlanish sakrashi xosil bulgan t_1 vaqtda kondensator kuchlanishi nolga teng. Keyin kondensator zaryadlana boshlaydi va chiqish kuchlanishi eksponensial qonuniyat bilan o'zgaradi. t_2 vaqtda kondensatorning razryadi $\tau = RC$ vaqt doimiyligi bilan boshlanadi va chiqish kuchlanishi nolgacha kamayadi. Bu zanjir ba'zida kengaytiruvchi deyiladi.

Agar $\tau \ll t_u$ bo'lsa, chiqish kuchlanishi shakli kirish signal shaklini qaytaradi va zanjir o'tuvchi bo'ladi.

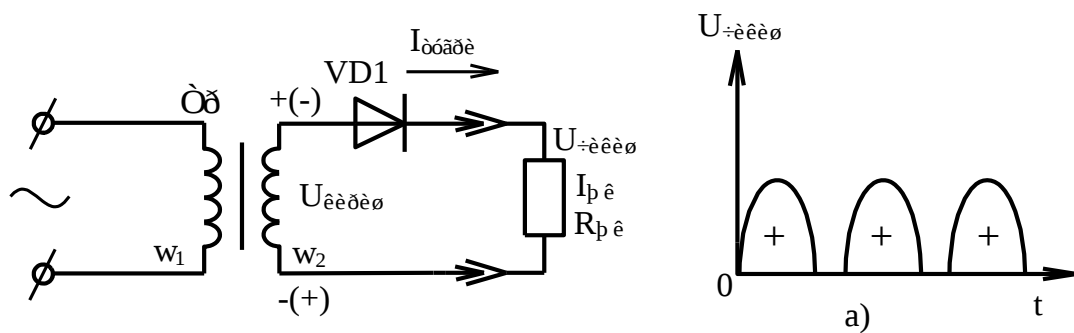
Nazorat savollari:

1. Radioimpul's va videoimpul'sni ta'riflang.
2. Yakka impul'sning asosiy parametrlarini ta'riflang.
3. Impul'slar ketma-ketligining asosiy parametrlarini ta'riflang.
4. Kanday shart bajarilganda differensiallovchi zanjir chiqishida ikkita turli kutbli impul's shakllanadi? Shakllanish jarayonini grafik ravishda kursating.
5. Kanday shart bajarilganda integrallovchi zanjir kengaytiruvchi buladi.

15-Mavzu. Bir fazali tugrilagichlar, yarim davrli, to'liq davrli, nol nuqtali hamda ko'prik chizmalari to'g'rilagichlar.

Yarim o'tkazgichli diodlar volt-amper tavsifi chuqur o'rganib chiqilgandan keyin, ulardan elektron qurilmalarda keng foydalanila boshlandi. Diodlar asosan, o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga aylantirish, elektr signallarini kuchaytirish, generatsiyalash va o'zgartirish maqsadida ishlatiladi. Diodlar past, o'rta, yuqori quvvatli bo'lib, talab etilgan joylarda ularni tanlab olib foydalaniladi. Masalan diodlar majmuasi yordamida, to'g'rilagich qurilmasi yaratilgan. Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar elektr zanjirida ikkilamchi manba sifatida foydalaniladi. Elektron qurilmalarni deyarli hammasi yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar yordamida ishlaydi, ular o'zgaruvchan tok manbalariga ulangan bo'lsa ham, o'zgarmas tokka aylantiriladi. Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlarni bir necha asosiy ulanish chizmalari mavjuddir.

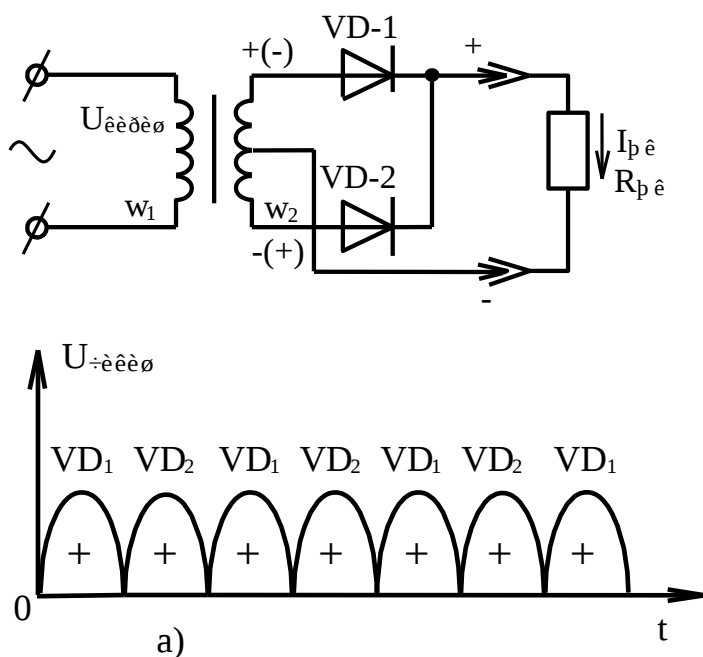
a) 1,5-davrli to'g'rilagich chizmasidan foydalanilsa, ularning vazifasi o'zgaruvchan tokni bir dona yarim o'tkazgichli diod yordamida to'g'rilash mumkin (2.1-rasmga qarang).



2.1-rasmda Oddiy 1,5-davrli to'g'rilagich chizmasi va kuchlanishni to'g'rilangan holati (a).

Transformatorning w_2 -g'altakdagi kuchlanishning qiymati va qutblari tez-tez davriy ravishda o'zgarib turadi. G'altakni yuqori qismida musbat potensial bo'lgan paytda diod ishlaydi va $I_{to'g'ri}$ tokni zanjirdan o'tkazadi, aksincha holat yuz berganda yuqori qismida manfiy qutb bo'lganda diod yopiq bo'ladi, tokni o'tkazmaydi va zanjirni elementlariga $U=0$ teng bo'ladi. To'g'rilagich chiqishida chastotasi 50 gs bo'lgan (ellikta yarim davr o'tish bir sekundda sodir bo'ladi).

b) 2,5-davrli to'g'rilagich chizmasida esa ikkita yarim o'tkazgichli diod ishlatiladi va transformatorni ikkinchi g'altagani o'rta nuqtasida ulanadi (1.2-rasmga qarang).



2.2-rasmda 2,5-davrli to'g'rilagich chizmasi vakuchlanish to'g'rilangan holati (b).

Transformatorning ikkinchi w_2 g'altagining yuqori va pastki qismida yarim o'tkazgichli VD-1 va VD-2 diod o'rnatilgan, agar g'altakning yuqori qismida qutb musbat bo'lsa diod VD-1 ochiladi, tok o'tadi. Bu paytda pastki qismidagi g'altak uchlariga amanfiy qutb bo'lgani uchun VD-2 diodi yopiq bo'ladi. Qutblarda zaryad ishorasi 1 sekundda 50 marta o'zgaradi, har doim musbat bo'lgan paytda diodlar

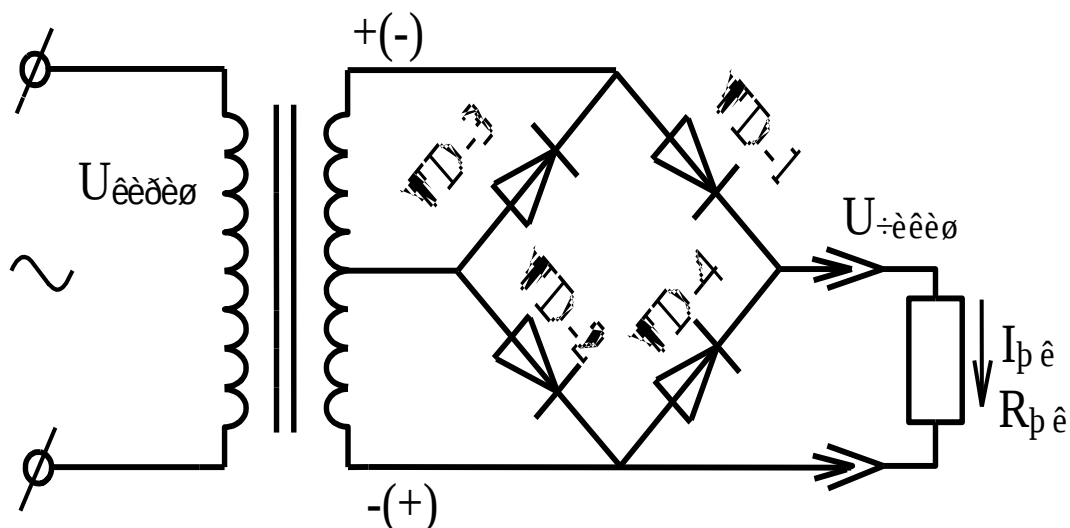
ochiladi, manfiy bo'lganda diodlar yopiladi. Ana shunday tartib 2,5-davrli to'g'rilagichlar ishlaydi. Bu to'g'rilagichlarga chiqish kuchlanish chastotasi $f = 100$ gs gacha o'zgarib turadi. Bu xildagi to'g'rilagichlar o'quv-laboratoriya ishlari bajargan paytlarda qo'llaniladi. Ularning turlari VU-4; VU-8; VU-10 deb ishlab chiqariladi.

1. Bir yarim davrli to'g'rilagich zanjiriga yuklanish induktivlik xarakterga ega bo'lganida ventilning ishlash vaqti λ uzayadi va uning qiymati yuklanishga ulangan igduktivlik va aktiv qarshilik qiymatlariga bog'liq va u to'g'rilanagn kuchlanish U_d qiymatini belgilaydi:

$$U_d = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \cdot \frac{1 - \cos \lambda}{2},$$

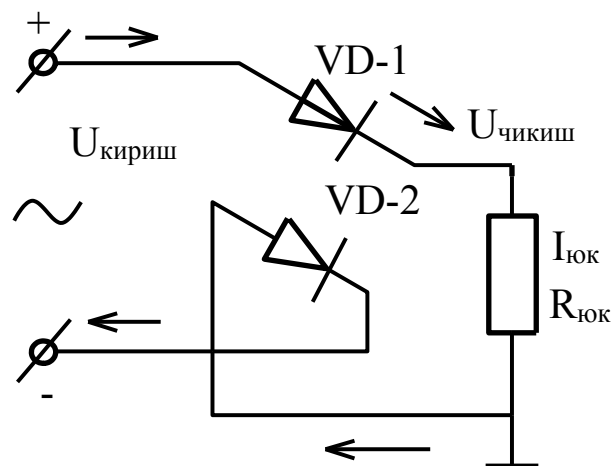
bu yerda U_2 – faza kuchlanishining haqiqiymy qiymati, V.

Bu turdagi to'g'rilagichlar uchun to'rtta yarim o'tkazgichli diodlar ishlatiladi va ular elektr zanjirga ko'prik chizma usulida ulanadi (2.3-rasmga qarang).

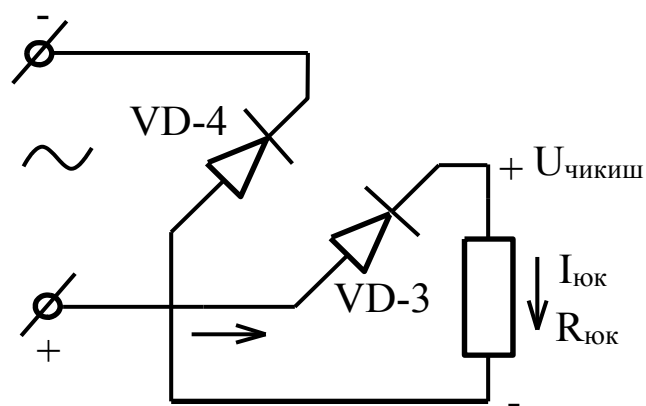


2.3-rasmda ko'prik chizma usulda 2,5-davrli to'g'rilagich chizmasi keltirilgan.

Har bir yarim davrli tokni olish uchun 2ta VD-diod ishlaydi. Ularni chizmasi bilan tanishamiz (2.4-rasmga a) va b) ga qarang).



a)



б)

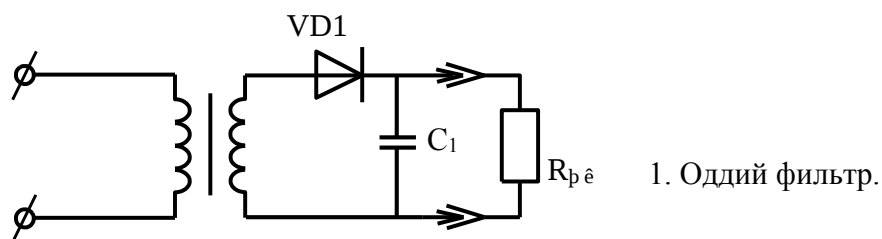
2.4-rasm.

To'g'rilagichning U_{chiqish} joyida chastotasi $f = 100$ gs gacha o'zgarib turadi.

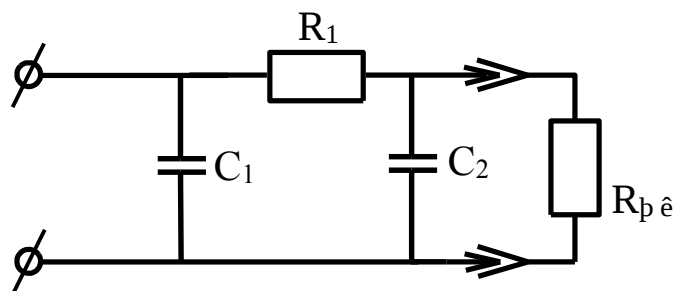
Bir fazali ko'prik chizmali to'g'rilagichlar eng ko'p o'llaniladigan elektron qurilma bo'lib, ikkilamchi o'zgarmas elektr manbai sifatida ishlatiladi. Ularni turlari VU-4; LIP-90; V-24 m bilan tamg'alanadi.

Bir va ikki yarim davrli to'g'rilagichlarni chiqish kuchlanishi o'zgarmas bo'lsa ham lekin chastotasi $f = 50-100$ gs gacha o'zgarib turgani uchun, ulardan elektron qurilmalarda birdaniga ikkilamchi manba sifatida foydalanib bo'lmaydi. Shuni hisobga olib, to'g'rilagich chiqish joyida qo'shimcha oddiy elektr qiymatni sifatli rostlab berish filtri (tozalagich) o'rnatiladi. Filtrlarning asosiy elementlari bu kondensator, o'zakli induktiv g'altak (drossel) va rezistordan iboratdir.

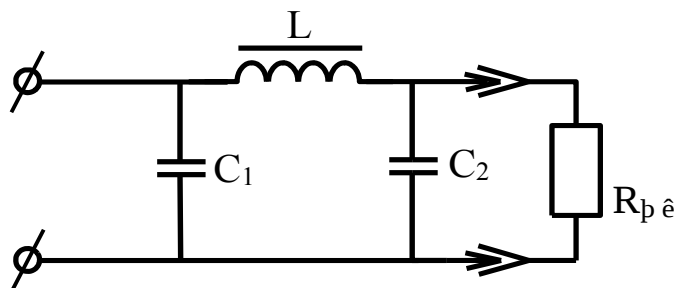
Qo'yidagi chizmalarda elektr filtrlari turlari berilgan (2.5-rasm).



1. Оддий фильтр.



2. "П"-русумли RC-фильтр.



3. "П"-русумли LC-фильтр.

2.5-rasm.

1. Oddiy filtrlar VD diod ochilganda tok o'tadi, ikkiga bo'linadi. To'g'ri yuklama R_{yuk} ga boradi va S_1 kondensatorni zaryadlaydi. Agar VD diod yopiq bo'lsa, kondensator zaryadsizlanadi ya'ni yuklama R_{yuk} tokni beradi.

2. «P» rusumli RC filtri past chastotalarga yaxshi ishlaydi, R_{yuk} yuklama toki va S_1 va S_2 kondensator plastinkalarida kuchlanish sezilarsiz o'zgaradi. R_1 rezistor qiymati va chegarasiga ta'sir qilmaydi.

3. «P» rusumli LC filtri past chastotalarga juda yaxshi ishlaydi. Bu filtrga joylashgan induktiv g'altak qarshiligi yuqori va S_1 va S_2 kondensator bilan birga samarali ishlaydi. Keyingi paytda drossel o'rniga tranzistorlar ham qo'llanib kelinmoqda. LC filtrlar asosan ossillograflar elektr chizmasiga ishlatiladi. Drosseldan, sig'imdan iborat filtr, elektr zanjirlarida past chastota rejimda benuqson ishlaydi va elektr impulslarni o'zgarmas holatda saqlab yetkazib beradi. Filtr o'rnatilmagan elektr to'g'rilagichlardan foydalanib bo'lmaydi.

Elektrostansiyada ishlab chiqariladigan elektr energiya o'zgaruvchan tok bo'lib ulardan elektronika sohasida to'g'ridan-to'g'ri foydalanib bo'lmaydi. O'zgaruvchan tokni dastlab, o'zgarmasga aylantirish kerak, keyin uni parametrlarini rostdash kerak. Talab etilgan, o'zgarmas kuchlanish holatiga keltirib keyin iste'molchiga taqsimlash kerak. Bu ishlarni hammasini yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar bajaradi.

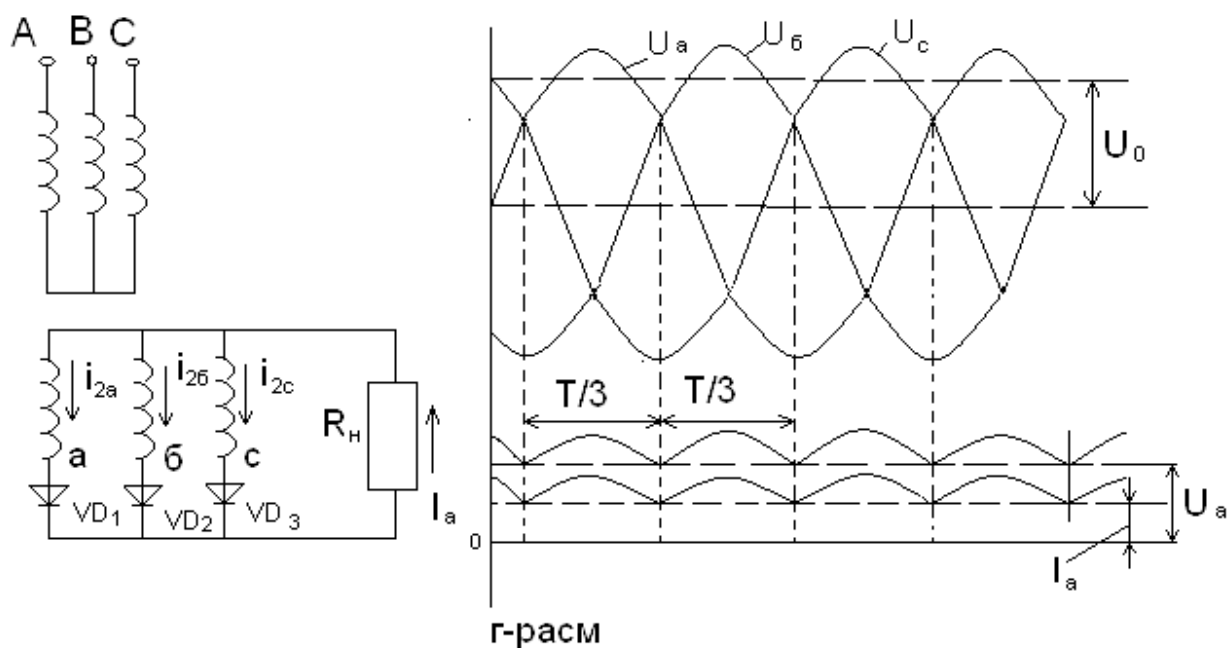
Sig'imli filtrlar to'g'rilagichlar asosan kichik qiymatdagi toklarni (bir ampergacha bo'lgan) to'g'rilashda ishlatiladi. Sig'im yuklanishga parallel ulanadi. Ulanadigan sig'imning qiymati quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$C = \frac{2I_d}{q\omega U_d},$$

bu yerda $q = \frac{U_{11max}}{U_d}$ – tepkili koeffitsient, U_{11max} – birinchi garmonik tashkil etuvchining maksimal qiymati, V, $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ - aylanma chastota, I_d va U_d – mos ravishda to‘g‘rilangan tok va kuchlanish.

16-Mavzu. Uch fazali to‘g‘rilagichlar hamda boshqarilmaydigan va boshqariladigan to‘g‘rilagichlar.

Quyidagi rasmda uch fazali o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash sxemasi va to‘g‘rilangan uch fazali tokning diagrammasi ko‘rsatilgan.



D - rasmda esa uch fazali tokni ikkita yarim davrli to‘g‘rilash sxemasi va to‘g‘rilangan tokning grafigi ko‘rsatilgan. Ayrim fazalardagi tok va kuchlanishlarni to‘g‘rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning ikkilamchi cho‘lg‘amidagi faza kuchlanishlari bip-biriga nisbatan $2\pi/3$ burchakka siljigan:

$$u_a = U_m \sin \omega t;$$

$$u_b = U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$u_c = U_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Bu sinusoidalarining musbat yarim to‘lqinlaridagi maksimumlar davrning uchdan bir qismida almashib turadi. Shu vaqt ichida bir tomonlama harakatlanuvchi i_a , i_b , i_c toklar hosil bo‘ladi. Bu sxemada VD_1 , VD_2 , VD_3 diodlardan o‘tuvchi tok berilayotgan kuchlanishning butun musbat yarim to‘lqini davrida yemas, balki $T/3$ ichida o‘tadi. Masalan, i_a toki a fazada $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$ vaqtda

hosil bo'lib, $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ vaqtda tugaydi, tok i_b yesa $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ vaqtda hosil bo'lib, $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$ vaqtda tugaydi va xokazo.

To'g'rilagich kuchlanishning (tokning) o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

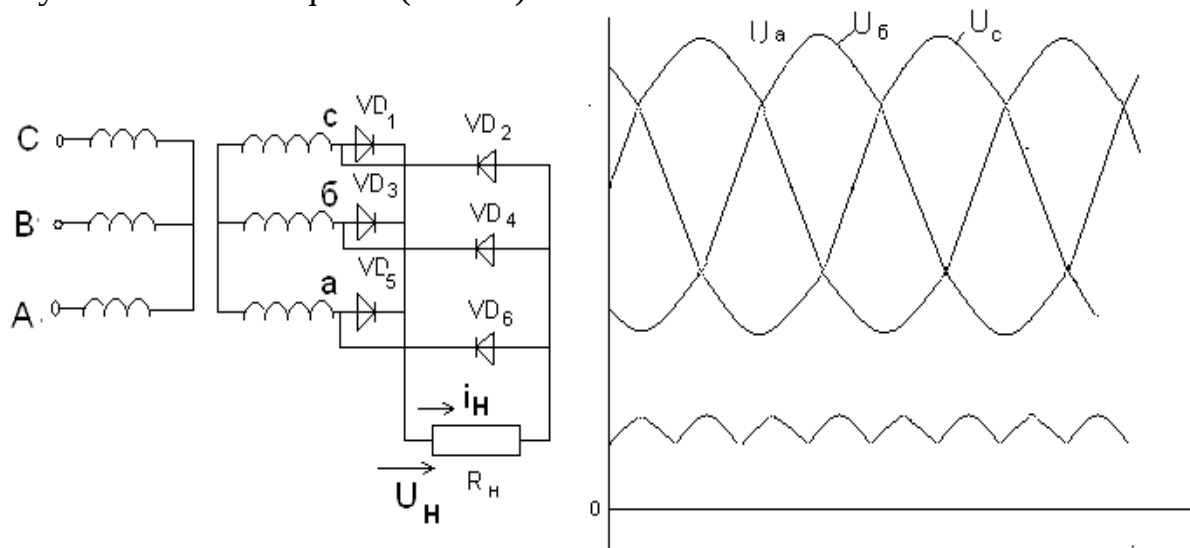
$$U_{yp} = U_{myz} = \frac{T}{T/3} \int_{t_1}^{t_2} u dt = \frac{3}{T} \int_{T/12}^{5\pi/12} u dt =$$

$$\frac{3}{\omega T} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{3U_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/6}^{5\pi/6} =$$

$$\frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = 1,17U$$

Uch fazali sxemada to'g'rilangan tokning pulsasiyalanish chuqurligi bir fazalidagiga nisbatan ancha kamdir. To'g'rilash koeffisienti, ya'ni chiqishdagi to'g'rilangan $U_{tug}=U_{ur}$ kuchlanishning kirishdagi kuchlanish U ning yeffektiv qiymatiga nisbati ($K_{tug}=U_{ur}/U$) to'g'rilagichning fazalar soni ortishi bilan ortib boradi va fazalar soni cheksiz bo'lganida $K_{tug}=1,41$ bo'ladi. Demak, ideal holatda to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati berilgan o'zgaruvchan kuchlanish amplitudasiga tengdir.

Uch fazali kuprik sxemada uch fazali o'zgaruvchan tokni to'g'rilash jarayonini ko'rib chiqamiz (d-rasm).



Д-рaсм

Agar $VD_1...VD_6$ diodlarning tok o'tkazayotgandigi qarshiliklari hisobga olinmasa, R_n ning uchlaridagi kuchlanish uch fazali sistemaning liniya kuchlanishiga teng bo'ladi. Sxema yelementlarining ulanishi U_{AB} , U_{BC} , U_{AC} kuchlanishlarning qiymati musbat bo'lganda ham, manfiy bo'lganda ham tokning o'tishini ta'minlay oladi. 0 dan t_1 gacha bo'lgan vaqt ichida $U_{CB}=-U_{BC}$

kuchlanish yeng katta qiymatga yega bo‘ladi va bu kuchlanish ta’sirida tok manbaining S fazasi uchidan VD₃, R_n va VD₅ orqali V fazaning boshiga o‘tadi. t₁-t₂ vaqt ichida tok A fazadan VD₁ va VD₅ diodlar va R_n orqali V fazaga o‘tadi. t₂-t₃ vaqt ichida VD₁ va VD₆ diodlar ishlaydi, t₃-t₄ vaqt ichida VD₂ va VD₆, t₄-t₅ da VD₂ va VD₄, t₅-t₆ vaqt ichida VD₃ va VD₄ diodlar ishlaydi. Keyin jarayon yana boshidan takrorlanadi.

Har bir diod davrning uchdan bir qismida uzluksiz ishlaydi, boshqa vaqt yesa yopiq holatda bo‘ladi. t₁-t₃ vaqt ichida VD₁ ishlaydi. t₂-t₄ vaqt ichida VD₆ ishlaqdi va hokazo. To‘grilangan tokning o‘rtacha qiymati:

$$I_{myz} = \frac{U_{myz}}{R_n} = \frac{U_m(AB)}{R_n T / 6} \int_{t_1}^{t_2} \sin \omega t dt =$$

$$\frac{6I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \omega t d\omega = \frac{3\sqrt{2}I}{\pi} (-\cos \omega t) =$$

$$1,346I = 1,346 \frac{U_{AB}}{R_n}$$

Zanjirning chiqishidagi to‘grilangan kuchlanishining qiymati:

$$U_{tug}=I_{tug} \quad R_n = 1,346 U_{AV}$$

Demak, olti fazali ko‘prik sxema tok va kuchlanishlarning nisbatan sifatli to‘g‘rilab beradi. Shuningdek, mazkur sxema transformersiz bo‘lib, ancha soddadir.

To‘g‘rilangan tokning shaklini o‘zgaras tok shakliga yaqinlashtirish va yeng avvalo pulsasiyalanishini kamaytirish yoki butunlay yo‘qotish maqsadida to‘g‘rilagichning chiqishiga iste’molchidan oldin tekislovchi filtrlar o‘rnatiladi. Oddiy filtrlarning keng tarqalgan sxemalari G-simon, T-simon va P-simondir.

Ular ketma-ket ulangan induktivlik va parallel ulangan sig‘im yelementlaridan iboratdir. Induktivlik L₀ tokning o‘zgaruvchan tokning o‘zgaruvchan tashkil yetuvchilariga (garmonikalar) qo‘shimcha qarshilik ko‘rsatadi, o‘zgaras tokka yesa qarshilik ko‘rsatmaydi. Sig‘im S₀ yesa, aksincha, o‘zgaruvchan tashkil yetuvchilarga qarshiligi kichik. Shuning uchun garmonikalar iste’molchi R_n dan yemas, sig‘im orqali o‘tadi. Kondensator yesa o‘zgaras tokni o‘tkazmaydi. Tekislovchi filtrlardan foydalanish chiqishdagi tokning (kuchlanishning) pulsasiyasini kamaytirishi bilan birga, to‘g‘rilash koeffisientini ham bir qancha ortiradi.

Takrollash uchun savollar

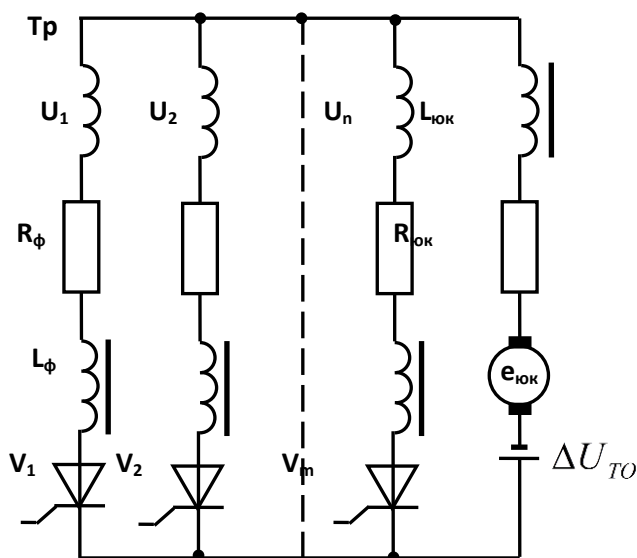
1. Uch fazali tokni ikkita yarim davrli to‘g‘rilash sxemasi va to‘g‘rilangan tokning grafigi ko‘rsating.
2. To‘g‘rilagich kuchlanishning (tokning) o‘rtacha qiymati qanday aniqlanadi?
3. Uch fazali tokni olti fazali ko‘prik sxemasi va to‘g‘rilangan tokning grafigi ko‘rsating.
4. Tekislovchi filtrlarning vazifasi va ishlash prinsipi
5. G-simon, T-simon va P-simon filtrlarni tushuntiring.
6. Filtrlarda kondensatorning funksiyasi nimaga iborat?
7. Filtrlarda induktivlikning funksiyasi nimadan iborat?

17-Mavzu. Kuchlanish inverterlari. Tok inverterlari.

Hozirgi paytda elektromexanik tizimlarning o'zgaras tokli avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarda boshqariluvchi elektr energiya manbai sifatida o'zgaruvchan tokni o'zgaras tokka aylantiruvchi boshqariluvchi yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar keng qo'llanilmoqda. Bunday to'g'rilagichlarda yarim o'tkazgich sifatida asosan boshqariluvchi diodlar, ya'ni tiristorlardan foydalaniladi va shuning uchun ham bu to'g'rilagichlar **tiristorli o'zgaras tok o'zgartkichlari** (yoki **tiristorli to'g'rilagichlar**) deb ataladi.

Har qanday bir yo'nalishli tiristorli o'zgaras tok o'zgartkichi (TO') ish rejimlarini tahlil qilishda odatda umumlashgan **m** fazali hisob sxemalaridan keng foydalaniladi (4.1 – rasm).

4.1 – rasmdagi sxemada keltirilgan shartli belgilar va ularning fizik ma'nolari: L_{yuk}, R_{yuk} – yuklagich, tok o'tkazgich simlar va silliqlovchi reaktorlarning induktivligi va aktiv qarshiligi, $y_{e_{yuk}}$ – motorning EYuK (agar TO' motorning qo'zg'atish chulg'amiga ulangan bo'lsa, u holda $y_{e_{yuk}} = 0$); ΔU_{TO} – tiristordagi kuchlanish pasayishiga mos kuchlanish (bu qabul qilingan kuchlanish pasayishi yuklanishning tok qiymatiga bog'liq bo'lmay har bir tiristor turi uchun o'zining qiymati qabul qilingan); R_f – transformator fazalari va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi aktiv qarshiligi; L_f – transformator va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi tarmoq induktivligi. Tiristorlar V1-Vm ideal, ya'ni to'liq boshqariluvchan deb qaraladi.

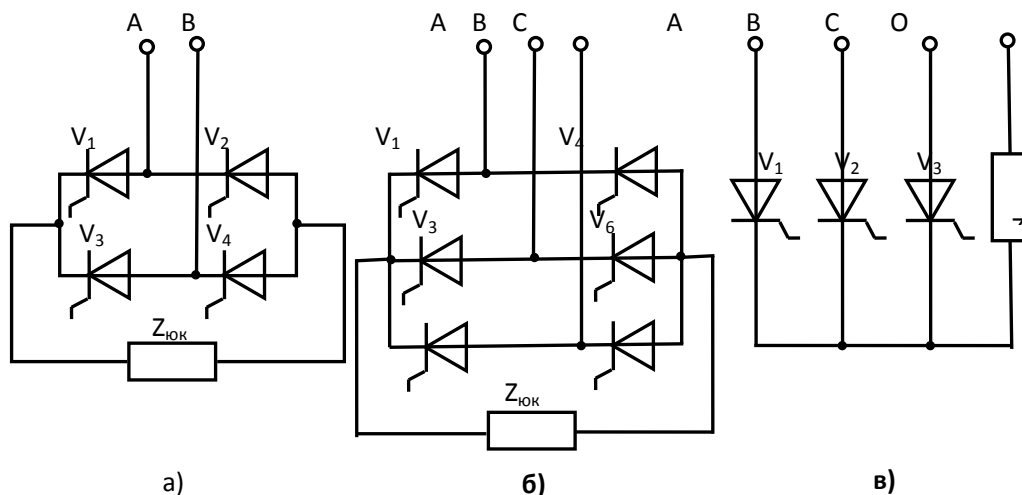


4.1 – rasm. Tiristorli o'zgaras tok o'zgartkichining hisob sxemasi

TO' ning statik rostlash tavsifi $Y_{e_d} = f(\alpha)$ umumiy ko'rinishda quyidagi matematik ifodadan iborat bo'ladi

$$E_d = \frac{m}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} - \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} + \alpha} E_{\phi m} \sin \omega_0 t d\omega_0 t = E_{d \max} \cos \alpha, \quad (4.1)$$

bu yerda $E_{d\max} = \sqrt{2}E_{2\phi} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}$ – TO‘ ning maksimal EYuK; E_{fm} – o‘zgartkich fazasi elektr yurituvchi kuchining amplituda qiymati, E_{2f} – transformator ikkilamchi chulg‘ami faza kuchlanishining haqiqiy qiymati, m – o‘zgartgichning fazalari soni, ω_0 – manba kuchlanishining aylanma chastotasi.



4.2 – rasm. TO‘ ning bir fazali ko‘prik (a), uch fazali ko‘prik (b) va uch fazali nol (v) kuch sxemalari

$E_{d\max}$ ning qiymati o‘zgartkich ishchi sxemasi turlariga (4.2 – rasm) va ta‘minlovchi tarmoq elektr ko‘rsatkichlariga bog‘liqdir (4.1 – jadval). Yuklanishning quvvati $P_d = E_{d\max}I_d$ ga teng bo‘ladi (bu yerda I_d yuklanish toki).

4.1 – jadval

TO‘ ishchi sxemalarining turlari	Bir fazali ko‘prik sxema	Uch fazali nol sxema	Uch fazali ko‘prik sxema
Fazalar soni, m	2	3	6
Rasmning tartib soni	2.3a	2.3b	2.3v
To‘g‘rilangan EYuK ning maksimal qiymati, $E_{d\max}$	$0,9 E_{2l}$	$1,17 E_{2f}$	$1,35 E_{2l}$
Maksimal teskari kuchlanish, $U_{tes.kuchl.}$	$1,57 E_{d\max}$	$2,09 E_{d\max}$	$1,05 E_{d\max}$
Transformatorning ikkilamchi chulg‘amidagi liniya tok, I_2	I_d	$0,58 I_d$	$0,817 I_d$
Qar bir tiristordan o‘tayotgan o‘rtacha tok, I_{tir}	$0,5 I_d$	$0,33 I_d$	$0,33 I_d$
Transformatorning rusumiy quvvati, S_t	$1,11 P_d$	$1.35 P_d$	$1.045 P_d$

TO' ishchi sxemalarini tahlil qiladigan bo'lsak, bir fazali ko'prik sxemalar (4.2a – rasm) asosan kichik quvvatli elektr yuritmalari uchun qo'llanilishi bilan chegaralanadi. Uch fazali sxemalar esa asosan o'rta va katta quvvatli elektr yuritmalarda ishlatiladi. Uch fazali ko'prik sxema (4.2v – rasm) uch fazali nol sxemaga (4.2b – rasm) nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Bu afzalliklar nimalardan iborat ekanligi 4.1 – jadvaldan ham ko'rinib turibdi:

1. transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishlar bir xil bo'lgan holda to'g'rilangan EYuK qiymati ikki marta katta;
2. to'g'rilangan EYuK ning tebranish chastotasi ikki marta ko'p ($f = 300 \text{ Gs}$) bo'lishi bilan birga amplitudasi ikki marta kamdir;
3. ishchi sxema tarmoqqa transformatorsiz ham ulanishi mumkin;
4. transformatorning rusumiy quvvati kam va bir yo'g'i $S_t = 1.05 P_d$ nigina tashkil etadi.

Ushbu afzalliklar uch fazali ko'prik sxemali TO' larning keng qo'llanilishiga asos bo'lib, hozirda ular quvvati bir necha ming kilovatt bo'lgan o'zgaras tok elektr yuritmalari ham ishlatilmoqda.

Umuman olganda, TO' larning iqtisodiy, texnik va foydalanish ko'rsatkichlari yuqori bo'lish bilan elektromexanik o'zgartgichlardan aylanuvchi qismlari yo'qligi bilan bir qatorda quyidagi ko'rsatkichlari bilan ham yaqqol ajralib turadi:

1. tiristorlardagi quvvat isrofining juda kamligi hisobiga (kuchlanish pasayishining 1 Voltdan ham kamligi tufayli) foydali ish koeffitsientining yuqori bo'lishi bilan;
2. tiristorlarning yarim boshqaruvchanligi sababli hamda boshqaruv zanjirlarida sig'imli filtrlarning borligi hisobigagina kichik qiymatdagi inersionlikning mavjudligi;
3. tezkor ta'sirli muhofaza turlarining ishlatilishi hamda tiristorli o'zgartgichning vazifaviy elementlari alohida modullar tarzida bajarilishi o'zgartgichning ishonchli ishlashini ta'minlaydi;
4. katta joyni egallamaydi, shovqinsiz ishlaydi, o'rnatishga alohida joy tayyorlash talab etilmaydi.

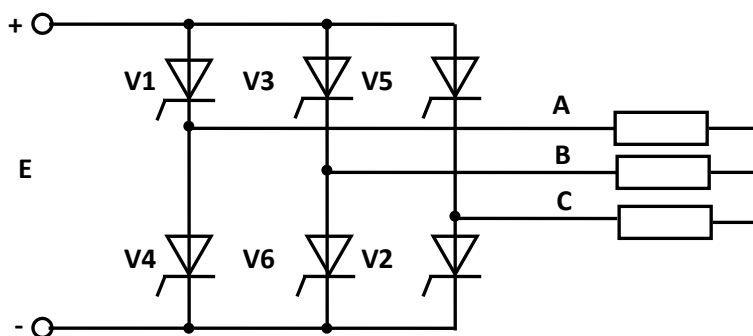
Shu bilan bir qatorda TO' ba'zi kamchiliklardan ham holi emas:

1. kuchlanishni chuqur rostlash jarayonida reaktiv tok ortishi tufayli quvvat koeffitsienti pasayadi;
2. ortiqcha yuklanishga o'ta ta'sirchan;
3. tiristorli o'zgaras tok o'zgartgichining ishlashi ta'minlanayotgan elektr tarmoqdagi kuchlanish formasining o'zgarishiga olib keladi; bu transformatorlarda, simlarda quvvat isrofining oshishiga olib keladi;
4. radio to'siq to'lqinlarining tarqalish darajasini oshirishga olib keladi.

Asinxron motorlarning tezligini stator chulg'amga berilayotgan kuchlanish (yoki tok) chastotasini o'zgartirib tezligi rostlanadigan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalardagi TChO' avtonom inverterlarining ko'prik kuch sxemali turlari keng qo'llaniladi.

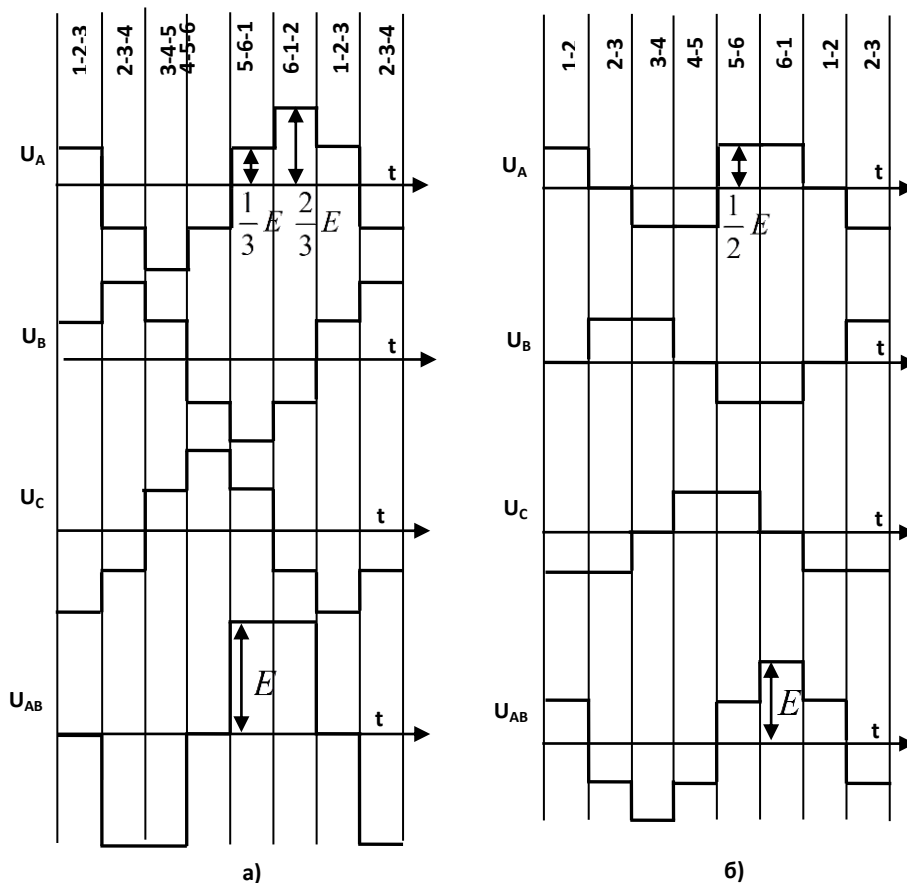
3.8 – rasmda kuch sxemasi shartli ko'prik sxema bo'lgan avtonom inverterning kuch sxemasi keltirilgan bo'lib, undagi V1 – V6 yarim o'tkazgichlarni

ochish va yopish jarayonlarini boshqarish boshqaruv signallari orqali amalga oshiriladi, ya'ni yarim o'tkazgichlar to'liq boshqariluvchan deb qaraladi. Kalit rejimida ishlaydigan tranzistorlar va sun'iy kommutatsiya zanjirli tiristorlar to'liq boshqariluvchan yarim o'tkazgichlarni deyiladi.



3.9 – rasm. Ko‘prik kuch sxemali avtonom invertorning sxemasi

Invertorga aktiv yuklanish ulangan holni ko‘rib chiqamiz. 3.9 – rasmdagi tiristorlarning tartib soni kuchlanishlar diagrammasidagi (3.10 – rasm) tiristorlarning navbatma – navbat ochilishiga mos keladi.



3.10 – rasm. Tiristorlarning o‘tkazuvchanlik burchaklari $\lambda = 180^\circ$ (a) va $\lambda = 120^\circ$ (b) bo‘lgandagi avtonom invertorning kuchlanishlar diagrammasi

Sxemadagi tiristorlarning qayta ulanishi, chiqish kuchlanishi chastotasi davrining har 1/6 qismida sodir bo‘ladi. Bunday ishchi sxemaning ikki ish rejimi

bo'lishi mumkin: tiristor chiqish kuchlanishi chastotasining $1/2$ davri oralig'ida ulangan bo'lishi, ya'ni tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180^\circ$; tiristor chiqishi kuchlanishi chastotasining $1/3$ davri oralig'ida ulangan bo'lishi, ya'ni $\lambda = 120^\circ$. Birinchi holda bir vaqtning o'zida birdaniga uchta tiristor tok o'tkazsa, ikkinchi holda esa ikkita tiristor bir vaqtning o'zida tok o'tkazadi.

3.10a,b – rasmdagi kuchlanishlar diagrammasi invertorning chiqish qismiga aktiv yuklanish ulangan hol uchun to'g'ri bo'lib, agar yuklanishning xarakteri aktiv – induktiv bo'lsa, u holda elektromagnit jarayonlarning kechishi ancha murakkab bo'ladi va ularning tahlilini asoslashda barcha turdagi avtonom inverterlarni kuchlanish avtonom inverterlari – KAI va tok avtonom inverterlari – TAI guruhlariga bo'lib qarash maqsadga muvofiq bo'ladi.

Kuchlanish avtonom inverterlarning asosiy shartlaridan biri ishchi sxemasidagi tiristorlar to'liq boshqariluvchan bo'lishi kerak. Ko'pgina hollarda KAIning chiqishidagi kuchlanishni yuklanishga mos ravishda rostlash talab etiladi. KAIning chiqishidagi kuchlanishni kuch sxemasidagi tiristorlarni ma'lum ketma – ketlikda ulash va ochish natijasida rostlash mumkin. KAI chiqish kuchlanishini ma'lum uch usulda roslash mumkin: 1) ta'minot manbai zanjirida rostlash; 2) chiqish zanjirida rostlash; 3) invertorning ichki vositalari yordamida rostlash.

Birinchi usul – KAI chiqishidagi kuchlanish uning kirish zanjiriga ulangan boshqariluvchi o'garmas tok o'zgartkichi, ya'ni boshqariluvchi to'g'rilagich yordamida amalga oshiriladi.

Ikkinchi usul – KAI bilan yuklanish oralig'iga qarama – qarshi – parallel ulangan tiristorlar juftligi yordamida amalga oshiriladi.

Uchunchi usul – impuls usuli deb ataladi. Boshqaruv impulsining kengligini o'zgartirish natijasida KAI chiqish kuchlanishi mos ravishda rostlanadi. Bu usulning qo'llanilishi uning kirish qismida boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichiga hojat qoldirmaydi va tiristorli chastota o'zgartkichning kuch sxemasi va boshqaruv tizimi ancha soddalashadi hamda ishonchlilik darajasi ancha oshadi.

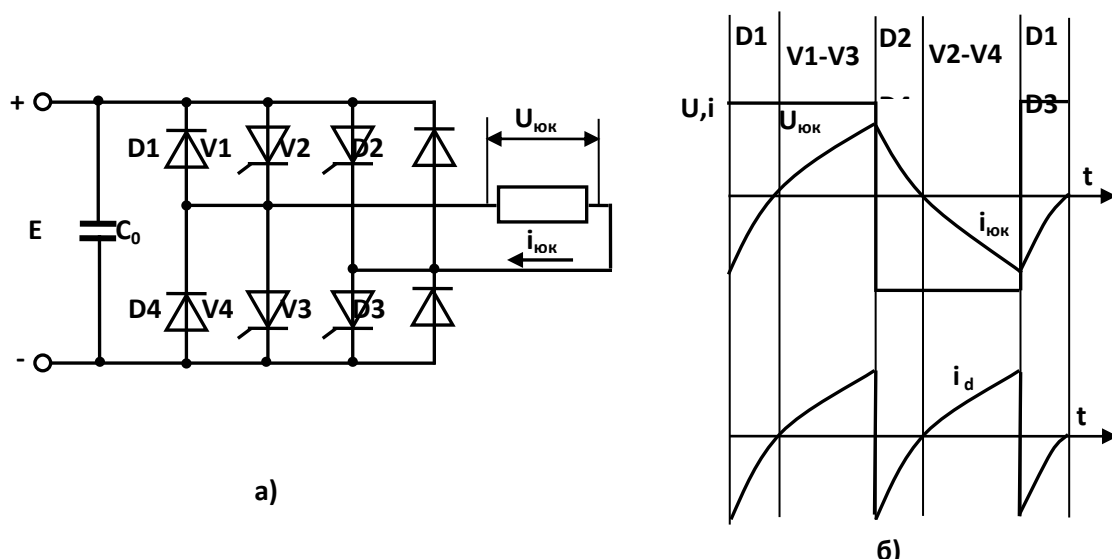
KAIlarning chiqish kuchlanishlarini impuls kengligini o'zgartirib rostlashda uchinchi usuldan foydalaniladi.

KAI chiqishidagi kuchlanishning talab etilgan darajada ko'rinishga ega bo'lishi uchun kuch sxemadagi tiristorlarni ma'lum qonuniyatlar asosida ochish va yopish kerak bo'ladi. Bu qonuniyatlarning majmuasi tiristorlarni ochish va yopish algoritmlari (OYoA) ning asosini tashkil etadi. KAI larning kuch sxemalaridagi tiristorlarning ochilishi va yopilishi ularning boshqarish tizimlarida amalga oshiriladi va shuning uchun ham tiristorlarni ochish algoritmi (OA) va ularni yopish algoritmi (YoA) asosida inverter boshqarish tizimining ishlashi shaklanadi.

3.11a – rasmda bir fazali KAIning shartli sxemasi berilgan bo'lib, chiqishidagi kuchlanishni rostlash birinchi yoki ikkinchi usul bilan amalga oshirilishi mumkin.

V1,V3 va V2,V4 tiristorlarning davriy juft ulanishi va o'chishi yuklanishdagi kuchlanish U_{yuk} ning formasi to'g'ri burchakli, ampitudasi manba kuchlanishiga teng bo'lishini taqozo qiladi va yuklanishdan o'tayotgan tokning formasi eksponenta bo'laklaridan iborat bo'ladi (3.11b – rasimga qarang). Agar V1 va V3

tiristorlar o‘chirilib, V2 va V4 tiristorlar ulanadigan bo‘lsa, u holda aktiv – induktiv yuklanishdan o‘tayotgan tokning yo‘nalishi ulangan tiristorlarning o‘tkazuvchanligiga nisbatan teskari bo‘ladi va bu tokni yo‘naltirish uchun V1 – V4 tiristorlarga qarama – qarshi yo‘nalishda parallel VD1 – VD4 diodlar ulangandir.



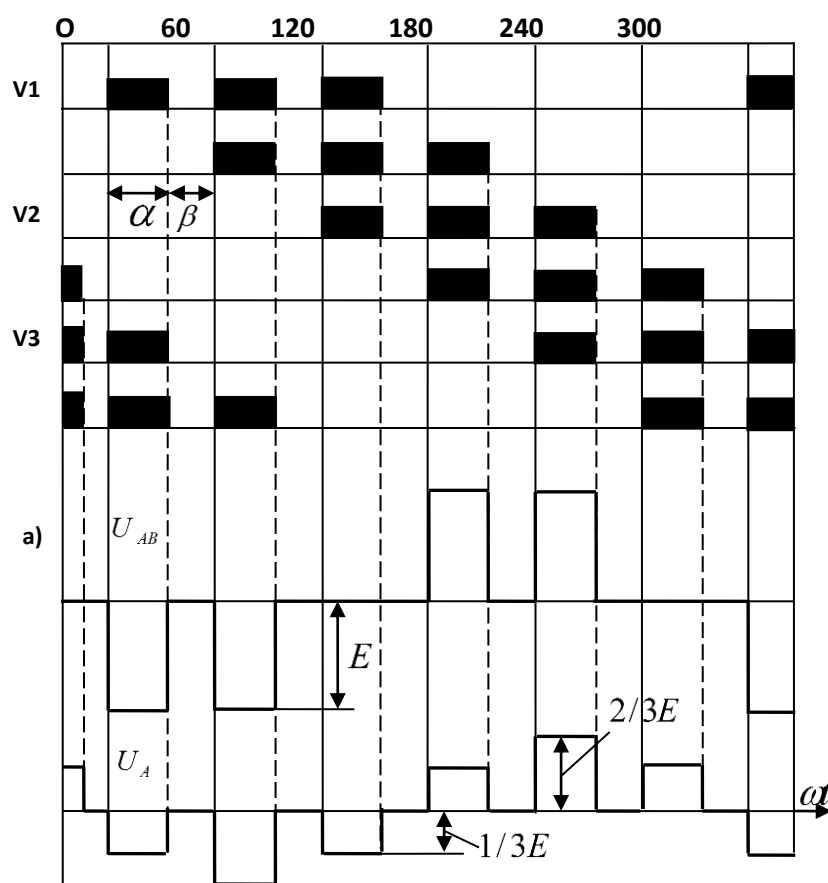
3.11 – rasm. Bir fazali KAI sxemasi (a) va uning kuchlanish va tok diagrammasi (b)

Yuklanishdagi tok va kuchlanishning ishoralari teskari bo‘lgan holda u yoki bu juft diodlar ochiladi. Shunda manbadan kelayotgan tok i_d ishorasini o‘zgartirib Ye kuchlanishga qarama – qarshi yo‘nalishda oqadi. Agar manba bir tomonli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lsa, ya’ni to‘g‘rilagich bo‘lsa, u holda manbaga parallel kondensator ulanishi kerak. Invertordan tok manbaga qarab yo‘nalganida kondensator zaryadlanadi va tok manbadan yo‘nalganida esa zaryadsizlanadi. Bu kondensatorning sig‘imi, manba kuchlanishi pulsatsiyasi sezilarsiz darajada bo‘lishini ta’minlashi uchun, yetarli darajada qiymatga ega bo‘lishi kerak.

KAI chiqish kuchlanishini impulsli boshqarish usulini tiristorlap-ning o‘tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180^\circ$ bo‘lgan hol uchun ko‘rib chiqamiz.

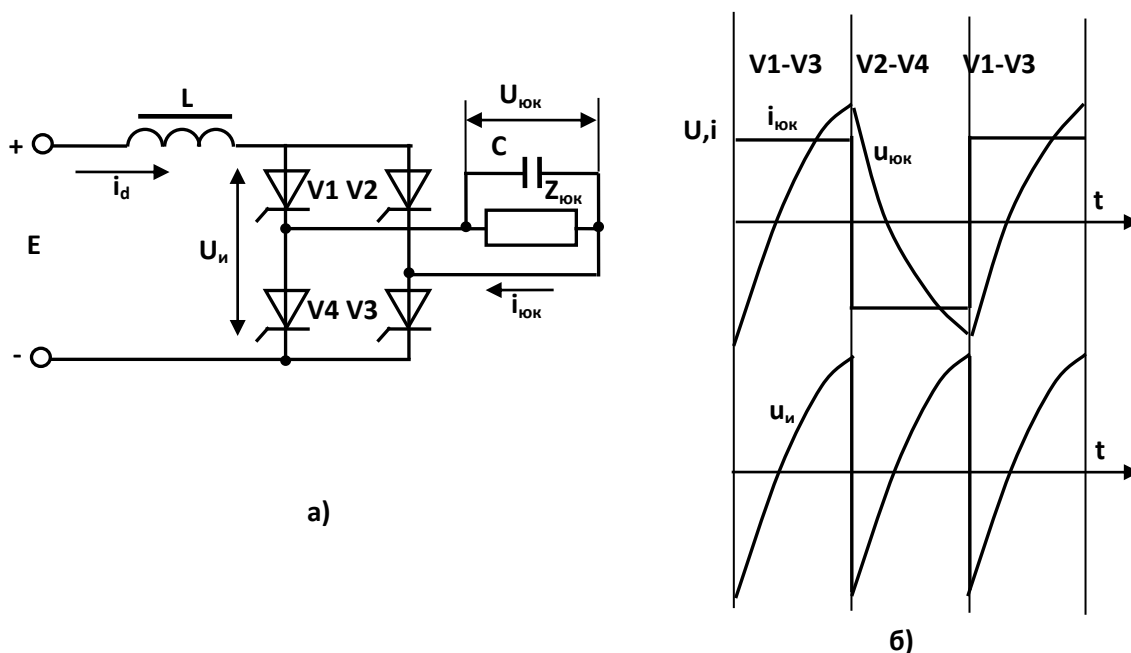
Tiristorlarning o‘tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180^\circ$ bo‘lganida bir vaqtda uchta tiristor ishlaydi va bu holda kuchlanishning formasi yuklanishga deyarli bog‘liq bo‘lmaydi.

3.12a – rasmdan ko‘rinib turibdiki bir paytda uchta tiristorlarning ochilishini va interval o‘tishi bilan yopilishini ta’minlaydigan impuls OYoA vositasida amalga oshiriladi. Har tiristorning ochilib turishi burchagi α ni rostlanishi natijasida chiqishdagi kuchlanish impulsi kengligi o‘zgartiriladi.



3.12 – rasm. Uch fazali KAI chiqish kuchlanishini impuls kengligini oʻzgartirib rostdash jarayonidagi tiristorlarning holatlari, liniya (a) va faza kuchlanishlari (b) oʻzgarishlari diagrammalari

Tok avtonom invertori toʻliq boʻlmagan boshqariluvchi yarim oʻtkazgichlarda bajarilishi mumkin (3.13a – rasm). TAI yuklanishga parallel ulangan kondensator S ning vazifasi, bir juft tiristorlar ulangan holatda boʻlganida ikkinchi juft tiristorlarning oʻchiq holda boʻlishi uchun ularga boshqariluvchanlik xususiyatlarini tiklanish davri oraligʻida manfiy kuchlanish bilan toʻsiq hosil qilishdan iboratdir. Manbadan chiqayotgan tokning pulsatsiyasini kamatirish maqsadida TAIning kirish qismiga yetarli darajada induktivlikka ega boʻlgan reaktor ulanadi. Agar kondensatorni ham yuklanishning bir qismi deb qaraydigan boʻlsak, yuklanish tokining formasi toʻgʻri burchakli formada boʻladi (3.13b – rasm). Yuklanishdagi kuchlanish formasi yuklanishning xarakteriga bogʻliqdir. Invertorning kirish qismidagi kuchlanishning manfiy ishorali qismi vaqt oraligʻida tiristorlarning yopiq holatiga toʻgʻri keladi.

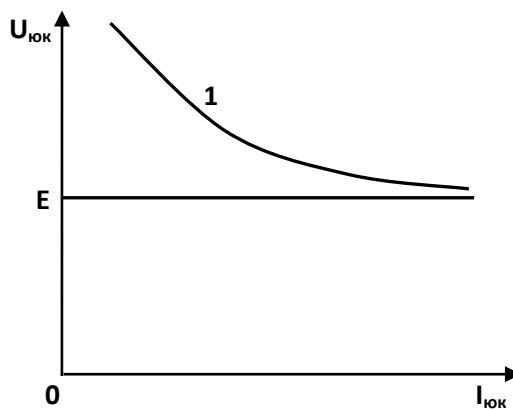


3.13 – rasm. Bir fazali TAI sxemasi (a) va uning kuchlanish va tok diagrammasi (b)

Shunday qilib, KAIlarning asosiy afzalligi kuchlanishning yuklanishga bog‘liq emasligi, balki tiristorlar kommutatsiyasining tartibiga bog‘liqdir. TAIlarda tiristorlar kommutatsiyasining tartibi tok formasini belgilaydi, kuchlanishning formasi yuklanishning xarakteriga bog‘liq bo‘lganligi sababli inverterlarning chiqish tavsiflari 3.14– rasmda tasvirlanganidek bo‘lib, KAI ning tashqi tavsifi absissa o‘qi I_{yuk} ga parallel bqladi, ya’ni $U_{yuk} = Ye (1 - to‘g‘ri chiziq)$. TAI ning tashqi tavsifi-ning matematik ifodasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$U_{YOK} = \frac{EI_d}{I_{YOK} \cos \varphi} \approx \frac{E}{\cos \varphi}, \quad (3.1)$$

bu yerda U_{yuk} va I_{yuk} – yuklanish kuchlanishi va tokining birinchi garmonik tashkil qiluvchilarining haqiqiy qiymatlari; $\cos \varphi$ – yuklanishning quvvat koeffisienti. (3.1) dan ko‘rinib turibdiki, manba kuchlanishining o‘zgarmas qiymatida yuklanishdagi kuchlanish quvvat koeffisientiga teskari proporsional bo‘ladi. Yuklanishda tok qiymatining kamayishi natijasida $U_{YOK} \rightarrow E$ ham kamayada, natijada yuklanishdagi kuchlanish qiymati oshadi (2 – to‘g‘ri chiziq). Yuklanish tokining oshishi esa $\cos \varphi$ oshishi va birga intilishi natijasida $U_{YOK} \rightarrow E$ ga intiladi.



3.14 – rasm. Avtonom invertorlarning tashqi tavsiflari

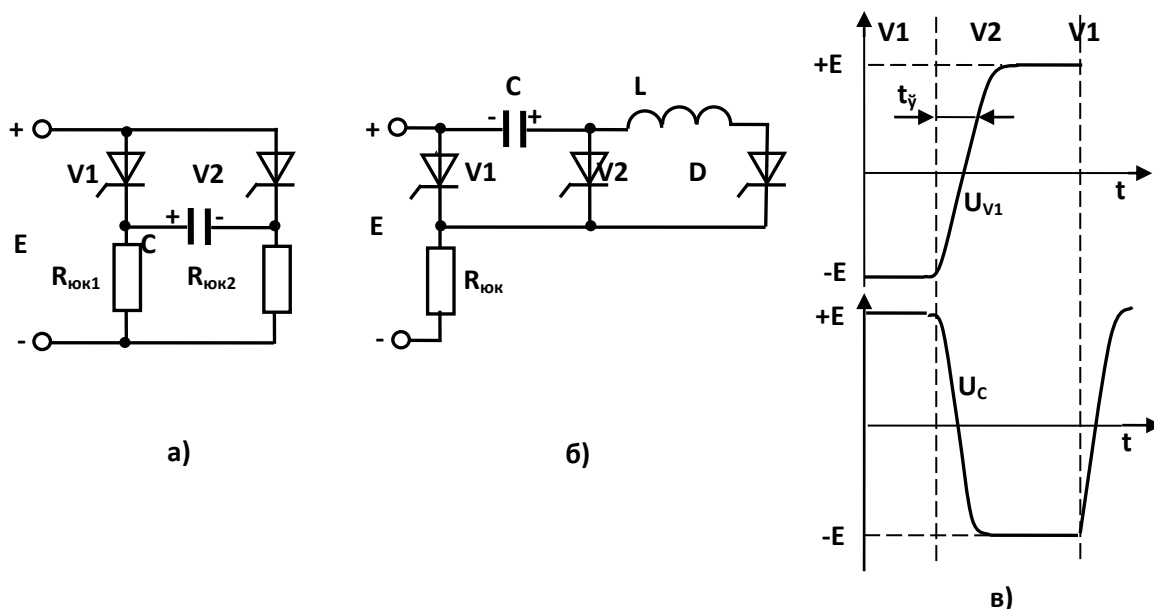
Sun'iy kommutatsiya qurilmalari tiristorli avtonom invertorlarning zarur qismlaridan bo'lishi bilan bir qatorda invertorning rostdash xususiyatlarini, energetik va ishonchlilik darajalarini ko'p jihatdan belgilaydi. Quyida amaliyotda keng qo'llaniladigan sun'iy kommutatsiya sxemalarining ikki xilini ko'rib chiqamiz.

3.15a – rasmda tasvirlangan sun'iy kommutatsiya sxemasi bir ishchi tiristorning ulanishi bilan ikkinchi ishchi tiristorning o'chirilishini ta'minlaydi. Tiristor V1 orqali tok o'tayotganda kondensator S ning sxemada ko'rsatilgan chap qobig'i «-» o'ng qobig'i «+» ishora bilan manbaning kuchlanish qiymati U_e gacha qarshilik R_{yuk2} orqali zaryadlanadi. Tiristor V2 ga ilk boshqarish signali ochilishi uchun elektrodlariga berilganida kondensatordagi kuchlanish tiristor V1ga teskari, ya'ni katodiga «+» anodiga «-» ishorali kuchlanish bilan to'sadi, natijada V1ning o'chishiga olib keladi. So'ngra ulangan tiristor V2 va qarshilik R_{yuk} orqali kondensator S qayta zaryadlanadi. Kondensatordagi kuchlanishning U_e dan 0 gacha tushishi vaqti oralig'ida (3.15v – rasm) tiristor V1ga teskari ishorali kuchlanish bilan to'siladi va u o'chadi. Kondensator S ning sig'imini shunday tanlash lozimki, sxema bo'yicha tiristorning o'chish vaqti t_o tiristorning pasportida ko'rsatilgan t_o' dan kam bo'lmasligi kerak, ya'ni

$$C = \frac{t_o'}{R_{yuk} \ln 2} \quad (3.1)$$

3.15b – rasmdagi ishchi tiristorni o'chirish uchun unga parallel oldindan zaryadlanib qo'yilgan kondensator ulanadigan sun'iy kommutatsiya sxemasi tasvirlangan. Aytaylik, tiristor V1 ishlab turibdi, kondensator qobig'laridagi zaryad ishoralari sxemada ko'rsatilgandek bo'lsin. Tiristor V1ni uchirish uchun yordamchi tiristor V2ga boshqaruv signali yuboriladi. Kondensator S tiristor V2 va qarshilik R_{yuk} orqali qayta zaryadlanadi, keyin tiristor V2 yoqiladi. Tiristor V1 ga ulanish uchun signal berilgandan keyin kondensator S ning tiristor V1, induktivlik L va diod Ddan iborat tebranma kontur bo'yicha qayta zaryadlanish yuzaga keladi va natijada sxema yana yangi ulanish uchun tayyor holatga keladi (3.15b – rasm). Kondensator S ning sig'imi xuddi (3.1) ifoda bilan aniqlanadi. Induktivlik Lning

vazifasi kondensator Sning kerakli darajada tez qayta zaryadlanishida tok amplitudasi qiymatini chegaralashni ta'minlashdir. Bu sxemaning afzal-ligi shundaki, invertordagi har bir tiristorni boshqa tiristorlarning ish rejimidan qat'iy nazar o'chirish imkonini beradi, bu esa tiristorlarga deyarli to'liq boshqariluvchanlik xususiyatini beradi.

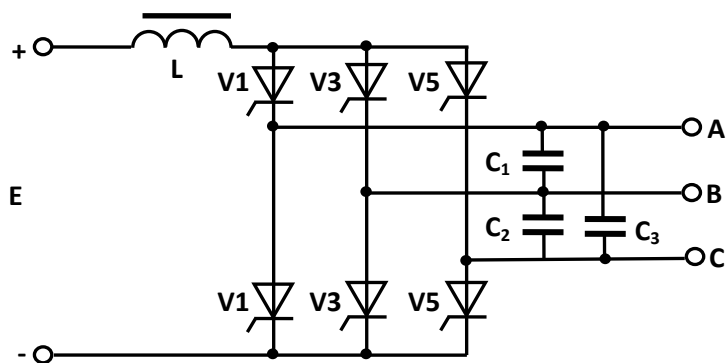


3.15 – rasm. Avtonom invertor kuch sxemalaridagi ishchi tiristorlarning sig‘imli (a) va tebranma konturli (b) sun‘iy kommutatsiya sxemalari hamda ularning kuchlanish diagrammalari (v)

Hozirda kichik va o‘rta quvvatli kuch tiristorlarning to‘liq boshqariluvchi turlari yaratilganligi sababli ularni ochish va yopish amallarini avtongom invertorlarning boshqaruv tizimlarida bajariladi va bu esa ularning kuch sxemalarini yanada soddalashtirishga hamda avtonom invertorlarning ishonchli ishlash darajasini oshiradi..

3.16 – rasmda tasvirlangan avtonom invertorning uch fazali ko‘prik sxemali eng sodd sxemalaridan bo‘lib, parallel tok avtonom invertori, deb yuritiladi. Kondensatorlar S_1 , S_2 , S_3 , lar asinxron motor fazalariga parallel ulanib, kommutatsiya funksiyasini bajarish bilan bir qatorda motoriste‘mol qilayotgan reaktiv quvvat o‘rnini to‘ldirish vazifasini ham bajaradi. Bunday invertorlar yuklanish momenti deyarli o‘zgarmaydigan va chastota roslash diapozoni uncha katta bo‘lmagan asinxron elektr yuritmalarda qo‘llaniladi. Bu invertorning eng katta kamchiligi chastotaning kichik qiymatlarida (10 Gs va undan kichik) kondensatorlarning sig‘imi juda katta qiymatga ega bo‘lishi zarurligidir. Bundan tashqari asinxron motorga kondensatorlarning parallel ulanishi elektr yuritmada yo‘qotishi qiyin bo‘ladigan avtotebranishlarning paydo bo‘lishiga olib keladi. Bu sxemaning takomillashgan varianti (3.17 – rasm) kondensatorlar asinxron motor stator chulg‘amidan D1 – D6 diodlar orqali ajratilgan. Kondensatorlar orqali kommutatsiya vaqtidagina tok o‘tib, boshqa paytda ulardan tok o‘tmaydi. Bu esa

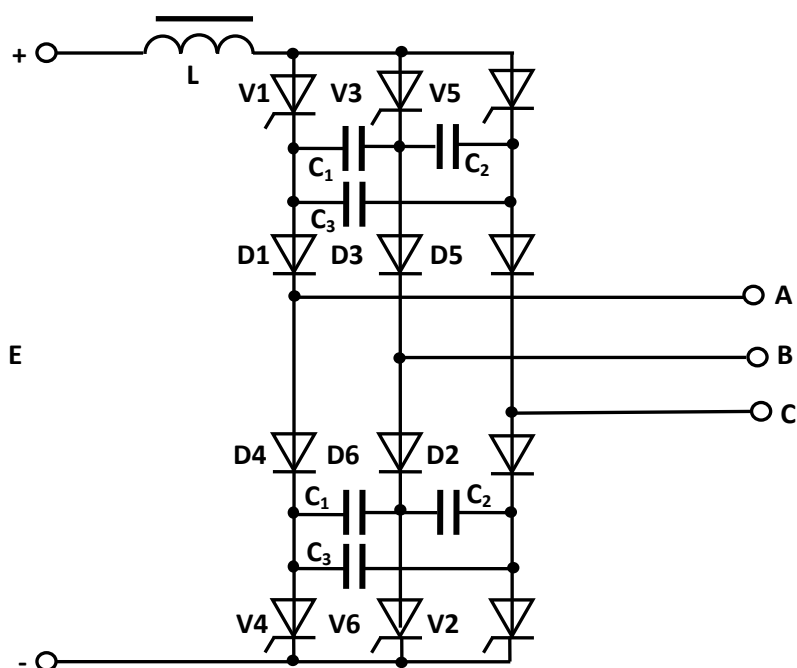
kondensator sig'irlarining chastota o'zgarishidan qat'iy nazar anchagina kamaytirish imkonini beradi. Ammo kommutatsiya jarayonida asinxron motorning stator chulg'amidagi yig'ilgan energiyaning kondensatorlariga uzatilishi, kondensatorlarda kuchlanishning o'sishiga olib keladi. Shuning uchun kondensatorlarning sig'imini shunday tanlashi keraki, bir tomondan bu kuchlanish o'sishini ruxsat etilgan qiymatidan oshmasligi, ikkinchidan esa kondensatorlarning qayta zaryadlash jarayoni uzayib ketmasligi kerak.



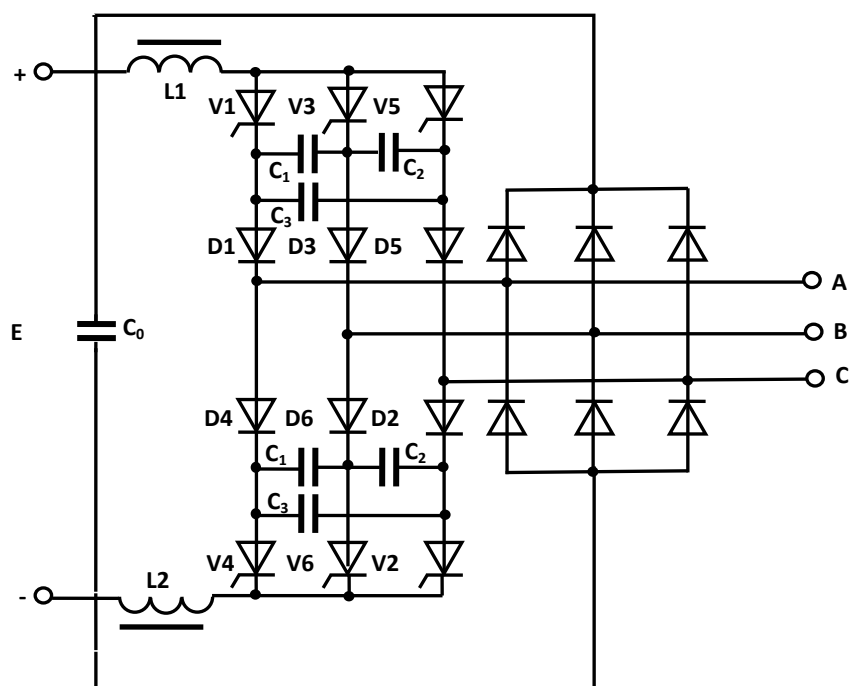
3.16 – rasm. Parallel tok avtonom invertori sxemasi

3.18 – rasmdagi kuchlanish avtonom invertorining 3.17 – rasmdagi tok invertoridan farqi shundaki bu sxemaga teskari ulangan D7 – D12 diodlarning ko'prik sxemasi va kompensatsiyalrovchi kondensator S ulangan. Bu sxemadagi kondensatorlar faqat kommutatsiya jarayonida ishlaydi. Shuning uchun ularning sig'irlari yanada ham kam bo'ladi. L_1 va L_2 reaktorlarning vazifasi kondensatorlarning teskari ulangan diodlari orqali tez qayta zaryadlanishiga yo'l qo'ymaslikdir.

3.17 va 3.18 – rasmlarda keltirilgan invertorlarda bir fazadagi tiristorlarning o'chirilishi ikkinchi fazadagi tiristorlarning esa yoqilishi bilan xarakterlangani uchun bunday invertorlarni fazalararo kommutatsiyali invertorlar deb ataladi.

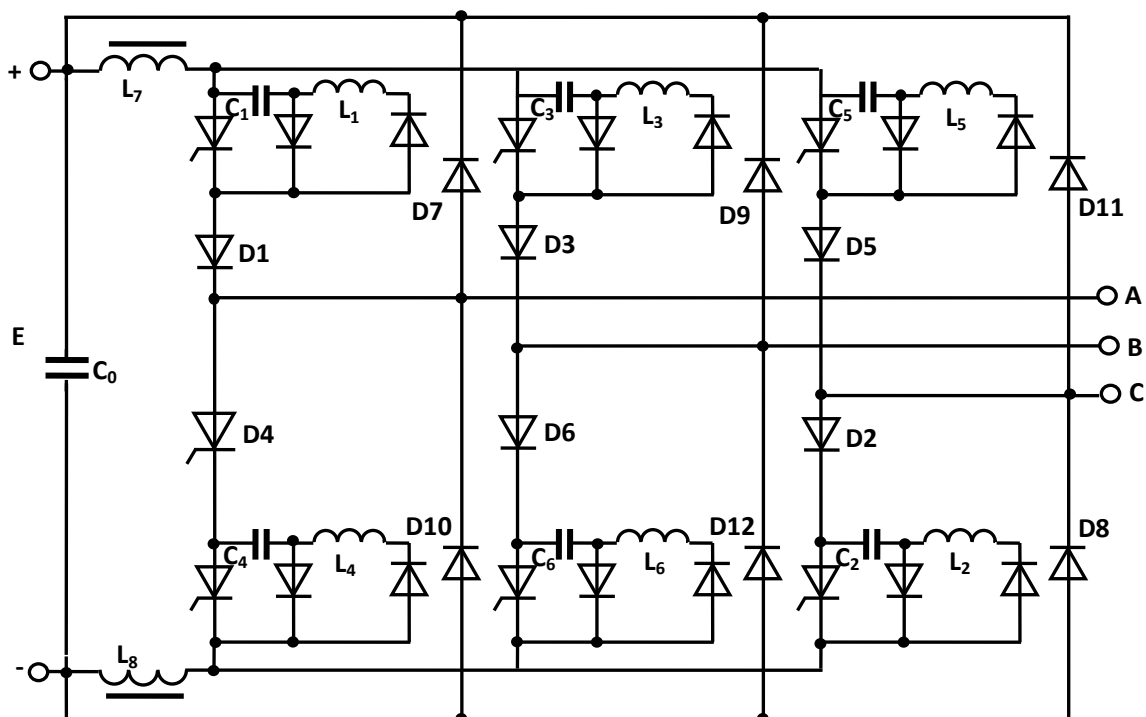


3.17 – rasm. Kondensatorlar diodlar yordamida ajratilgan tok avtonom invertori sxemasi



3.18 – rasm. Fazalararo kommutatsiyali kuchlanish avtonom igvertori sxemasi

3.19 – rasmda tasvirlangan inverter sxemasida har bir tiristor uchun alohida o'zining kommutatsiya zanjiri mavjudligi bilan oldingi qaralgan inverterlarning sxemalaridan farq qiladi. D1 – D6 diodlar 3.18– sxemadagidek asinxron motorning inverter sxemasidan ajratish uchun xizmat qiladi, D7 – D12 diodlar esa teskari ko'priq sxemasi bo'yicha o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulanadi. Bunday sxemali kuchlanish avtonom inverterlarida har bir tiristorlarning ochilishi va yopilishi boshqa tiristorlarning holatlaridan qat'iy nazar individual ravishda bo'ladi va bu esa yuklanishdagi kuchlanish qiymatini rostlash imkonini beradi.



3.19 – rasm. Individual kommutatsiyali kuchlanish avtonom invertori sxemasi

Bundan tashqari avtonom inverterlarda anod va katod zanjirlaridagi tiristorlar uchun umumiy bo'lgan kommutatsiya kondensatorlari qo'llanilgan sxemalar, inverter tiristorlari uchun umumiy yagona bo'lgan kommutatsiya qurilmasiga ega bo'lgan sxemalar va boshqa xilma – xil kommutatsiya qurilmali sxemalar ham amaliyotda keng qo'llaniladi.

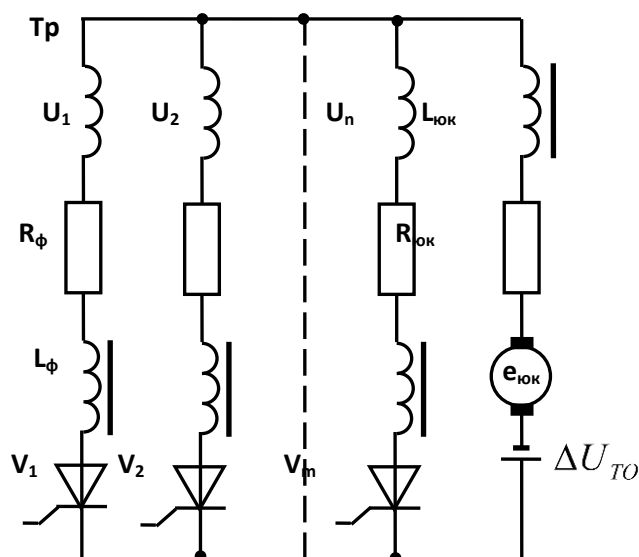
18-Mavzu. Chastota o'zgartirgichlar.

Hozirgi paytda elektromexanik tizimlarning o'zgarmas tokli avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarda boshqariluvchi elektr energiya manbai sifatida o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi boshqariluvchi yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar keng qo'llanilmoqda. Bunday to'g'rilagichlarda yarim o'tkazgich sifatida asosan boshqariluvchi diodlar, ya'ni tiristorlardan foydalaniladi va shuning uchun ham bu to'g'rilagichlar **tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichlari** (yoki **tiristorli to'g'rilagichlar**) deb ataladi.

Har qanday bir yo'nalishli tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichi (TO') ish rejimlarini tahlil qilishda odatda umumlashgan **m** fazali hisob sxemalaridan keng foydalaniladi (4.1 – rasm).

4.1 – rasmdagi sxemada keltirilgan shartli belgilar va ularning fizik ma'nolari: L_{yuk} , R_{yuk} – yuklagich, tok o'tkazgich simlar va silliqlovchi reaktorlarning induktivligi va aktiv qarshiligi, y_{yuk} – motorning EYuK (agar TO' motorning qo'zg'atish chulg'amiga ulangan bo'lsa, u holda $y_{yuk} = 0$); ΔU_{TO} – tiristordagi kuchlanish pasayishiga mos kuchlanish (bu qabul qilingan kuchlanish pasayishi yuklanishning tok qiymatiga bog'liq bo'lmay har bir tiristor turi uchun

o'zining qiymati qabul qilingan); R_f – transformator fazalari va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi aktiv qarshiligi; L_f – transformator va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi tarmoq induktivligi. Tiristorlar V_1 - V_m ideal, ya'ni to'liq boshqariluvchan deb qaraladi.

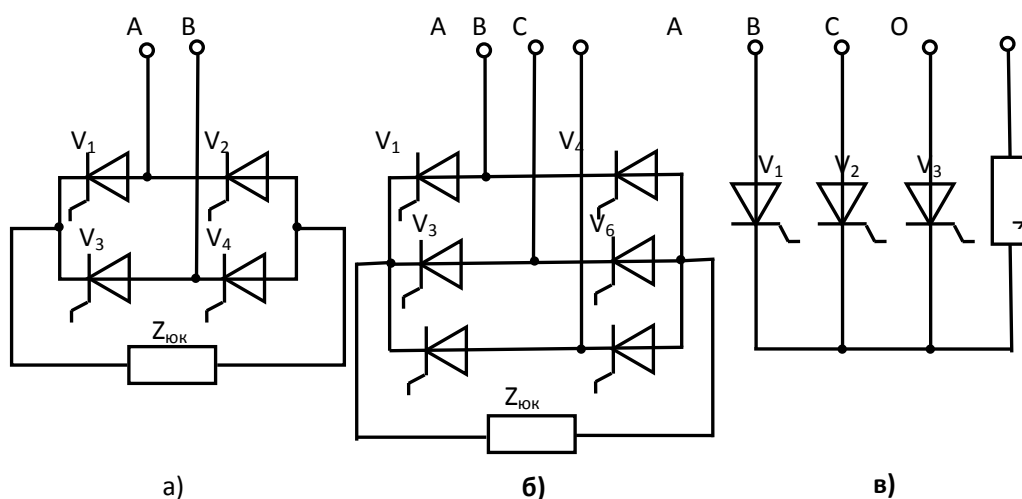


4.1 – rasm. Tiristorli o'zgaras tok o'zgartkichining hisob sxemasi

TO' ning statik rostlash tavsifi $Y_{ed} = f(\alpha)$ umumiy ko'rinishda quyidagi matematik ifodadan iborat bo'ladi

$$E_d = \frac{m}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} - \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} + \alpha} E_{\phi m} \sin \omega_0 t d\omega_0 t = E_{d \max} \cos \alpha, \quad (4.1)$$

bu yerda $E_{d \max} = \sqrt{2} E_{2\phi} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}$ – TO' ning maksimal EYuK; E_{fm} – o'zgartkich fazasi elektr yurituvchi kuchining amplituda qiymati, E_{2f} – transformator ikkilamchi chulg'ami faza kuchlanishining haqiqiy qiymati, m – o'zgartgichning fazalari soni, ω_0 – manba kuchlanishining aylanma chastotasi.



4.2 – rasm. TO‘ ning bir fazali ko‘prik (a), uch fazali ko‘prik (b) va uch fazali nol (v) kuch sxemalari

E_{dmax} ning qiymati o‘zgartkich ishchi sxemasi turlariga (4.2 – rasm) va ta‘minlovchi tarmoq elektr ko‘rsatkichlariga bog‘liqdir (4.1 – jadval). Yuklanishning quvvati $P_d = E_{dmax} \cdot I_d$ ga teng bo‘ladi (bu yerda I_d yuklanish toki).

4.1 – jadval

TO‘ ishchi sxemalarining turlari	Bir fazali ko‘prik sxema	Uch fazali nol sxema	Uch fazali ko‘prik sxema
Fazalar soni, m	2	3	6
Rasmning tartib soni	2.3a	2.3b	2.3v
To‘g‘rilangan EYuK ning maksimal qiymati, E_{dmax}	$0,9 E_{2l}$	$1,17 E_{2f}$	$1,35 E_{2l}$
Maksimal teskari kuchlanish, $U_{tes.kuchl.}$	$1,57 E_{dmax}$	$2,09 E_{dmax}$	$1,05 E_{dmax}$
Transformatorning ikkilamchi chulg‘amidagi liniya tok, I_2	I_d	$0,58 I_d$	$0,817 I_d$
Qar bir tiristordan o‘tayotgan o‘rtacha tok, I_{tir}	$0,5 I_d$	$0,33 I_d$	$0,33 I_d$
Transformatorning rusumiy quvvati, S_t	$1,11 P_d$	$1.35 P_d$	$1.045 P_d$

TO‘ ishchi sxemalarini tahlil qiladigan bo‘lsak, bir fazali ko‘prik sxemalar (4.2a – rasm) asosan kichik quvvatli elektr yuritmalarda uchungina qo‘llanilishi bilan chegaralanadi. Uch fazali sxemalar esa asosan o‘rta va katta quvvatli elektr yuritmalarda ishlatiladi. Uch fazali ko‘prik sxema (4.2v – rasm) uch fazali nol sxemaga (4.2b – rasm) nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Bu afzalliklar

nimalardan iborat ekanligi 4.1 – jadvaldan ham ko‘rinib turibdi:

1. transformatorning ikkilamchi chulg‘amida kuchlanishlar bir xil bo‘lgan holda to‘g‘rilangan EYuK qiymat ikki marta katta;
2. to‘g‘rilangan EYuK ning tebranish chastotasi ikki marta ko‘p ($f = 300 \text{ Gs}$) bo‘lishi bilan birga amplitudasi ikki marta kamdir;
3. ishchi sxema tarmoqqa transformersiz ham ulanishi mumkin;
4. transformatorning rusumiy quvvati kam va bor yo‘g‘i $S_t = 1.05 P_d$ nigina tashkil etadi.

Ushbu afzalliklar uch fazali ko‘prik sxemali TO‘ larning keng qo‘llanilishiga asos bo‘lib, hozirda ular quvvati bir necha ming kilovatt bo‘lgan o‘zgarmas tok elektr yuritmalarida ham ishlatilmoqda.

Umuman olganda, TO‘ larning iqtisodiy, texnik va foydalanish ko‘rsatkichlari yuqori bo‘lish bilan elektromexanik o‘zgartgichlardan aylanuvchi qismlari yo‘qligi bilan bir qatorda quyidagi ko‘rsatkichlari bilan ham yaqqol ajralib turadi:

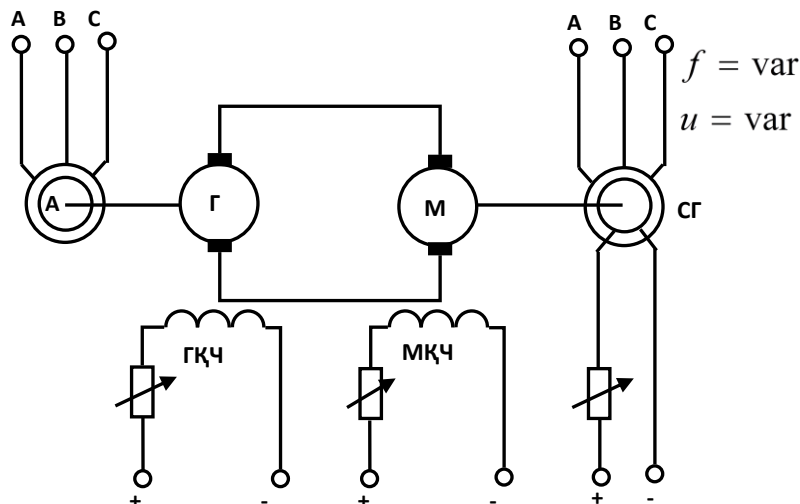
1. tiristorlardagi quvvat isrofining juda kamligi hisobiga (kuchlanish pasayishining 1 Voltdan ham kamligi tufayli) foydali ish koeffisientining yuqori bo‘lishi bilan;
2. tiristorlarning yarim boshqaruvchanligi sababli hamda boshqaruv zanjirlarida sig‘imli filtrlarning borligi hisobigagina kichik qiymatdagi inersionlikning mavjudligi;
3. tezkor ta’sirli muhofaza turlarining ishlatilishi hamda tiristorli o‘zgartgichning vazifaviy elementlari alohida modullar tarzida bajarilishi o‘zgartgichning ishonchli ishlashini ta’minlaydi;
4. katta joyni egallamaydi, shovqinsiz ishlaydi, o‘rnatishga alohida joy tayyorlash talab etilmaydi.

Shu bilan bir qatorda TO‘ ba’zi kamchiliklardan ham holi emas:

1. kuchlanishni chuqur rostdash jarayonida reaktiv tok ortishi tufayli quvvat koeffisienti pasayadi;
2. ortiqcha yuklanishga o‘ta ta’sirchan;
3. tiristorli o‘zgarmas tok o‘zgartgichining ishlashi ta’minlanayotgan elektr tarmoqdagi kuchlanish formasining o‘zgarishiga olib keladi; bu transformatorlarda, simlarda quvvat isrofining oshishiga olib keladi;
4. radio to‘siq to‘lqinlarining tarqalish darajasini oshirishga olib keladi.

Ta’minlovchi kuchlanishning chastotasini o‘zgartirib asinxron motorning tezligini rostdash, tezlikni rostdash usullari ichida iqtisodiy jihatdan eng samarali usuldir. Tezlikni chastotani o‘zgartirib rostdaganimizda butun tezlikni rostdash diapazoni oralig‘ida asinxron motorning sirpanishi uncha katta bo‘lmagan o‘zgarmas qiymatda qolishi natijasida motorning isrof quvvati katta bo‘lmaydi. Tezligi chastotani o‘zgartirib boshqariladigan asinxron elektr yuritmalarning statik va dinamik xususiyatlari o‘zgarmas tok elektr yuritmalari bilan deyarli monand bo‘ladi. Rotor chulg‘amlari qisqa tutashtirilgan asinxron motorlarning o‘zgarmas tok motorlarga nisbatan 1,5 – 2 marta yengil bo‘lishi va deyarli 3 barobar arzonligini hisobga oladigan bo‘lsak, unda chastota bo‘yicha boshqariluvchi asinxron elektr yuritmalarning sanoatda kelajakda qo‘llanilishi imkoniyatlari xali

juda keng ekanligi yaqqol ko‘rinadi.

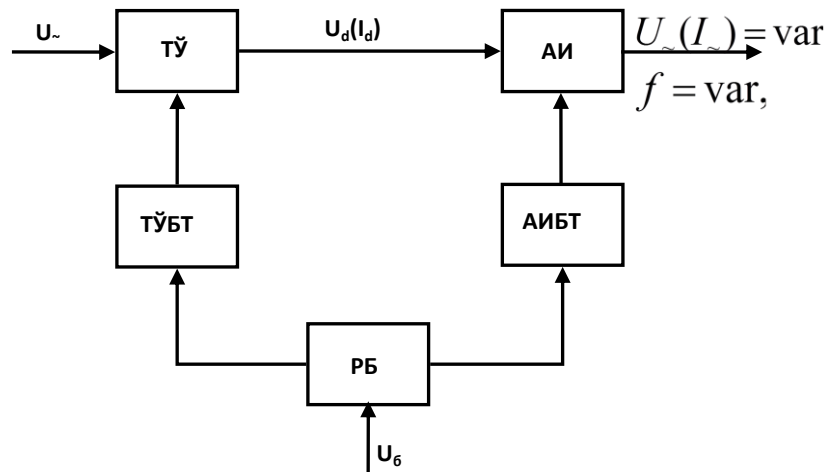


3.6 – rasm. Elektromexanik chastota o‘zgartkichning blok sxemasi

Birinchi chastota o‘zgartkichlar elektromexanik qurilmalar asosida yuzaga keldi (3.6 – rasm). Bunday elektromexanik chastota o‘zgartkichda sinxron generator SG dan olinayotgan kuchlanishning qiymati va chastotasi biP – biriga bog‘liq bo‘lmagan holda boshqariladi. SG ning qo‘zg‘atish chulg‘a-midagi o‘zgaruvchan qarshilik yordamida kuchlanish qiymati boshqariladi, chastota esa o‘zgarmas tok generatori G ning qo‘zg‘atish chulg‘ami GQCh dagi o‘zgaruvchan qarshilik yordamida boshqariladi. Garchi bu o‘zgartkichda chastota o‘zgarishi diapazoni yuqori bo‘lsa ham biroq uning texnik – iqtisodiy ko‘rsatkichlari yuqori emas: o‘zgartkichning o‘rnatilgan quvvati juda katta (to‘rta yordamchi mashinalar to‘liq quvvat bilan ishlaydi); foydali ish ko‘ffisienti va elektr yuritmaning tezkorligi past. Chastotani o‘zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron elektr yuritmalarning taraqqiyoti davri davomida elektromexanik chastota o‘zgartkichlarning har xil turlari yuzaga kelgan bo‘lsa ham elektromexanik tizimlarga xos bo‘lgan yuqoridagi kamchiliklar u bu darajada saqlanib qolabardi.

Keyingi paytda takomil yarim o‘tkazgichlarning ishlab chiqila boshla-nishi va ular asosida o‘zgartgichlar texnikasining rivojlanishi natijasida ishonchlilik darajasi yuqori bo‘lgan chastota o‘zgartkichlar tiristor va kuch tranzistorlari asosida yaratilmoqda. Tiristorli va tranzistorli chastota o‘zgartkichlar (TChO‘) ikki guruhga **bilvosita** va **bevosita chastota o‘zgart-kichlarga** bo‘linadi.

Bilvosita TChO‘larda tarmoqdan kelayotgan o‘zgaruvchan tok kuchlanishi tiristorli o‘zgartkich TO‘da to‘g‘rilanib, avtonom invertor AIga uzatiladi va u yerda o‘zgarmas tok kuchlanish chastotasi rostlanadigan o‘zgaruvchan tok kuchlanishiga o‘zgartiriladi. 3.7 – rasmda shunday TChO‘ning blok sxemasi berilgan bo‘lib, bu yerda TO‘ boshqariluvchi tiristorli o‘zgartkich, TO‘BT uning boshqarish tizimi, ya‘ni IGBT, rostlash bloki RBning vazifasi chas-tota rostlashning qaysi qonuniyatga amal qilinayotganiga qarab TChO‘ning statik va dinamik rejimlarida kuchlanish va chastota o‘zgarishini o‘zaro moslashtirishdan iborat.



3.7 – rasm. Tiristorli bilvosita chastota o'zgartkichning blok sxemasi

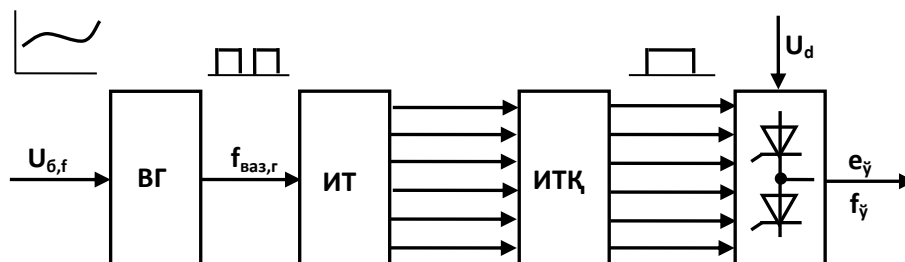
Bilvosita TChO'larda o'zgaras tokli zvenoning bo'lishi, avtonom niveptorning chiqishidagi chastotaning ham yuqoriga va ham pastga qarab keng diapazonda rostdashga imkon beradi, bu bilvosita TChO'ning asosiy afzalligi bo'lib, bu turdagi TChO' larning ishlab chiqarishda keng qo'llani-lishiga olib keladi.

TO'ning tok manbai TM yoki kuchlanish manbai KM rejimida ishlashiga qarab TChO'ning avtanom invertorlari ham tok **avtonom invertori** (TAI) yoki **kuchlanish avtonom invertori** (KAI) rejimlarida ishlash mumkin. TChO' invertorining KAI rejimida TO'ning ichki qarshiligining kichik qiymatli bo'lishi, invertorga kelayotgan kuchlanishning yuklanish tokiga bog'liq bo'lmaslikka olib keladi. Agar TO'ning ichki qarshiligi kichik bo'lmasa va uning ta'siri sezilarli bo'lsa, u holda $U_d = \text{const}$ sharti TO' ning kuchlanish bo'yicha kuchli manfiy teskari bog'lanishi orqali amalga oshiriladi. U_d qutblari o'zgaras bo'lgani uchun yuklanish zanjiridagi o'zgaruvchan tok tarmoqqa energiyani uzatilishi faqat I_d ning yo'nalishi o'zgatirilgandagina mavjud bo'la oladi, bu esa yana qo'shimcha tiristorlar komplekti bo'lishini taqozo qiladi va bu KAILi TChO'larning asosiy kamchiliklaridandir.

TChO'ning TAILi variantida I_d ning doimiyligi yuklanish kuchlanishiga bog'liq bo'lmasligi kerak, ya'ni asinxron motorning tezligiga bog'liq bo'lmasligi kerak. $I_d = \text{const}$ shartining bajarilishida TO'ning ish rejimi tok manbai rejimi bo'lib, bu rejim o'zgaras tok zanjiriga katta induktivlikka ega reaktorni ulashni va teskari bog'lanish konturi bo'lishini taqozo qiladi. Energiyani tarmoqqa uzatish jarayonida I_d yo'nalishning o'zgarasligini hisobga olsak, TO' kuchlanishning qutblari o'zgarishi lozim. Bu shart reversiv bo'lmagan TO' sxemasida tiristorli o'zgartkichning tarmoqqa ergashuvchi invertor rejimiga o'tkazish asosida amalga oshiriladi. TAILi TChO'ning asosiy afzalligi bir tiristor komplektida energiyani tarmoqqa uzatish imkoniyati borligidadir.

Asinxron motorning turg'un ish rejimlaridagi tezligini berilgan ko'rsatkichlar kattaliklarida ushlab turish uchun albatta tezlik yoki kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanishlarning bo'lishi shartligi TAILi TChO' larning asosiy kamchiliklaridandir.

Avtonom inverterlarning ish rejimlari qanday bo'lishidan qat'iy nazar ularning boshqarish tizimlari 3.8 – rasmda tasvirlanganidek funksional sxemadan iborat bo'ladi. AIBT tarkibidagi vazifalovchi gene-rator VG uzluksiz boshqaruv kuchlanishi U_{bf} ni chastotasi $f_{v,f}$ bo'lgan to'g'ri burchakli signalga o'zgartiradi, impuls taqsimlagich IT esa ushbu signal-ni faza va chastotasi bo'yicha uch fazali impulslar tizimiga moslashtirib, inverter tiristorlarining olti boshqarish kanallari bo'yicha taqsimlaydi. Impuls tashkil qiluvchi qurilma ITQ ning vazifasi IT dan chiqayotgan impuls-larni tiristorlarning ochilishiga quvvati, formasi va impuls uzunliklarini mos xolga keltirishdir.



3.8 – rasm. Avtonom inverter boshqaruv tizimining blok sxemasi

Hozirgi paytda AIBT larni yaratishda mikroelektronika va mikroprotsessor tizimlari keng qo'lanilayotganligi sababli ularning og'ip-lik va o'lchamlari ihchamlashib bormoqda, yig'ish va sozlash texnologiyasi ham soddalashib, ishonchlilik darajasi esa oshib bormoqda.

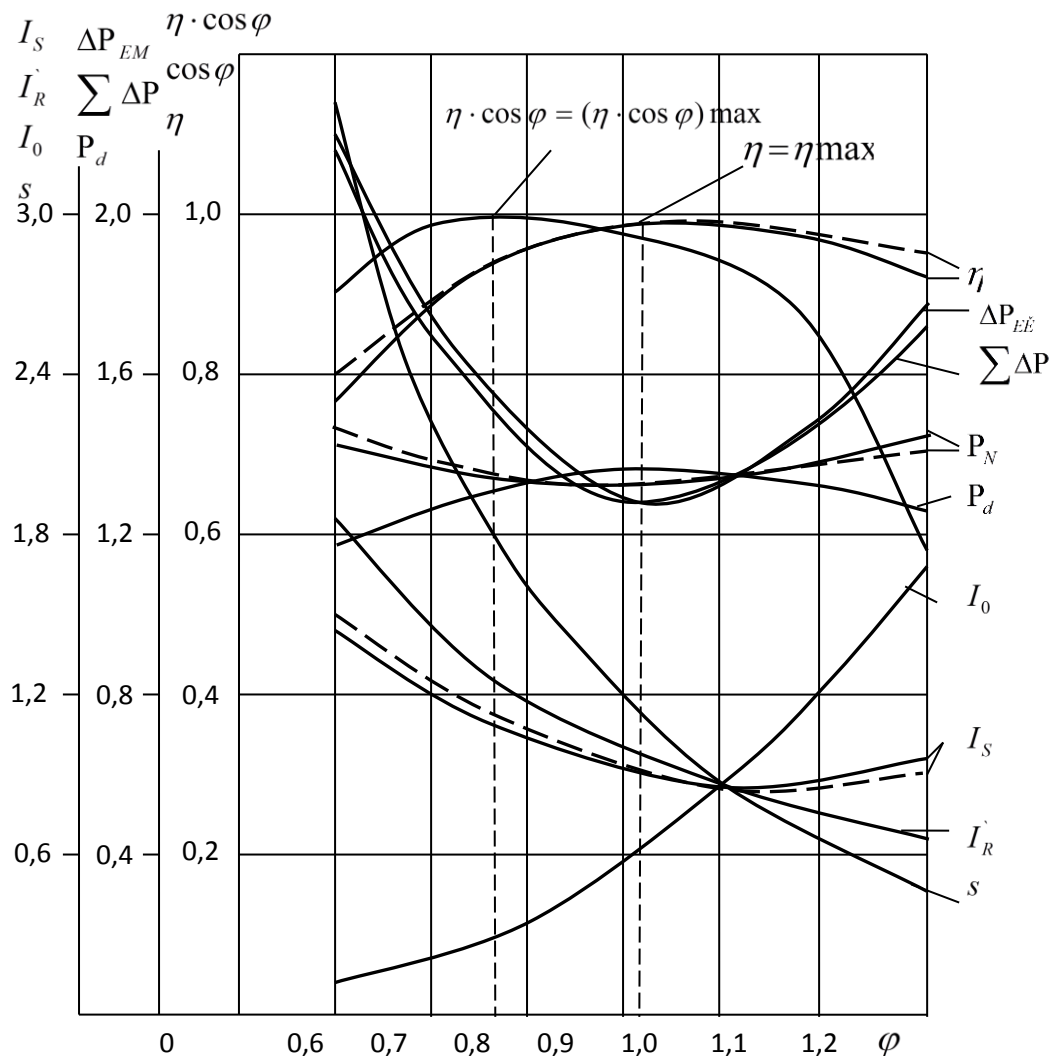
Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorning ishchi va rostlash tavsiflarining tahlili

Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektr yuritma tizimlarida ishlaydigan, normal va optimal (energiya tejamkorligini ta'minlaydigan) oqimlarda o'zgarmas statik moment $M_s = M_N =$ sonst bilan xarakterlanadigan yuklama uchun asinxron motorning tavsiflari tahlilini ko'rib chiqamiz. Yuqorida taklif qilingan usul asosida chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektryuritmalarda ishlaydigan, quvvatlar diapazoni 0,6 – 15 kVt li 4A seriyali asinxron motor uchun, $k = 1$ garmonikasi uchun ishchi va rostlash tavsiflari hisoblanib chiqildi. Turli quvvatlar uchun natijalarning deyarli bir xilligini e'tiborga olib, quyida nisbiy birliklarda qurilgan asinxron motorning bitta markasi (4A80B4U3) uchun tavsiflarni keltiramiz. Bunda bazaviy kattaliklar sifatida stator va rotorning nominal toklari, magnitlovchi tok, sirpanish, elektromagnit va yig'indi isroflar, quvvat koeffitsiyenti va FIK lari va ularning $\varphi = 1$ va $m = 1$ ga to'g'ri keladigan ko'paytmasi qabul qilindi.

3.1 – rasmda chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektryuritma tizimida chastota nominal $F = 1$ bo'lganda asinxron motorning oqim funksiyasida ishchi tavsiflari keltirilgan. Stator toki I_s , magnitlovchi tok I_0 va rotorning keltirilgan

toki I_R ning geometrik yig'indisiga teng; rotorning keltirilgan toki oqimga teskari mutanosib va demak φ ning kattalashuvi bilan kamayib boradi.

Shuning uchun I_S ning oqimga bog'lanishi nochiqli va egarsimon ko'rinishga ega bo'ladi. Quvvat isroflari: elektromagnit ΔP_{EM} va yig'indi $\sum \Delta P$; shuningdek, tarmoqdan talab qilinadigan quvvat P_T ham φ funksiyasida shunga o'xshash shaklga ega bo'ladi. Qo'zg'atish quvvat isrofiga va o'zgaruvchan [10] quvvat isroflarning magnit oqimi bo'yicha orttirmasi o'zaro teng bo'lganda quvvat isroflar ekstremal qiymatiga ega bo'ladi. Boshqarish chastotasi o'zgarganda stator toki o'zgarib bo'lishini qayd qilish lozim, bir vaqtda quvvat isroflarning ekstremal qiymati nominal chastotaga to'g'ri keladigan qiymatiga nisbatan o'zgaradi (chastota kamayganda yoki kattalashganda o'ng yoki chap tomonga suriladi).

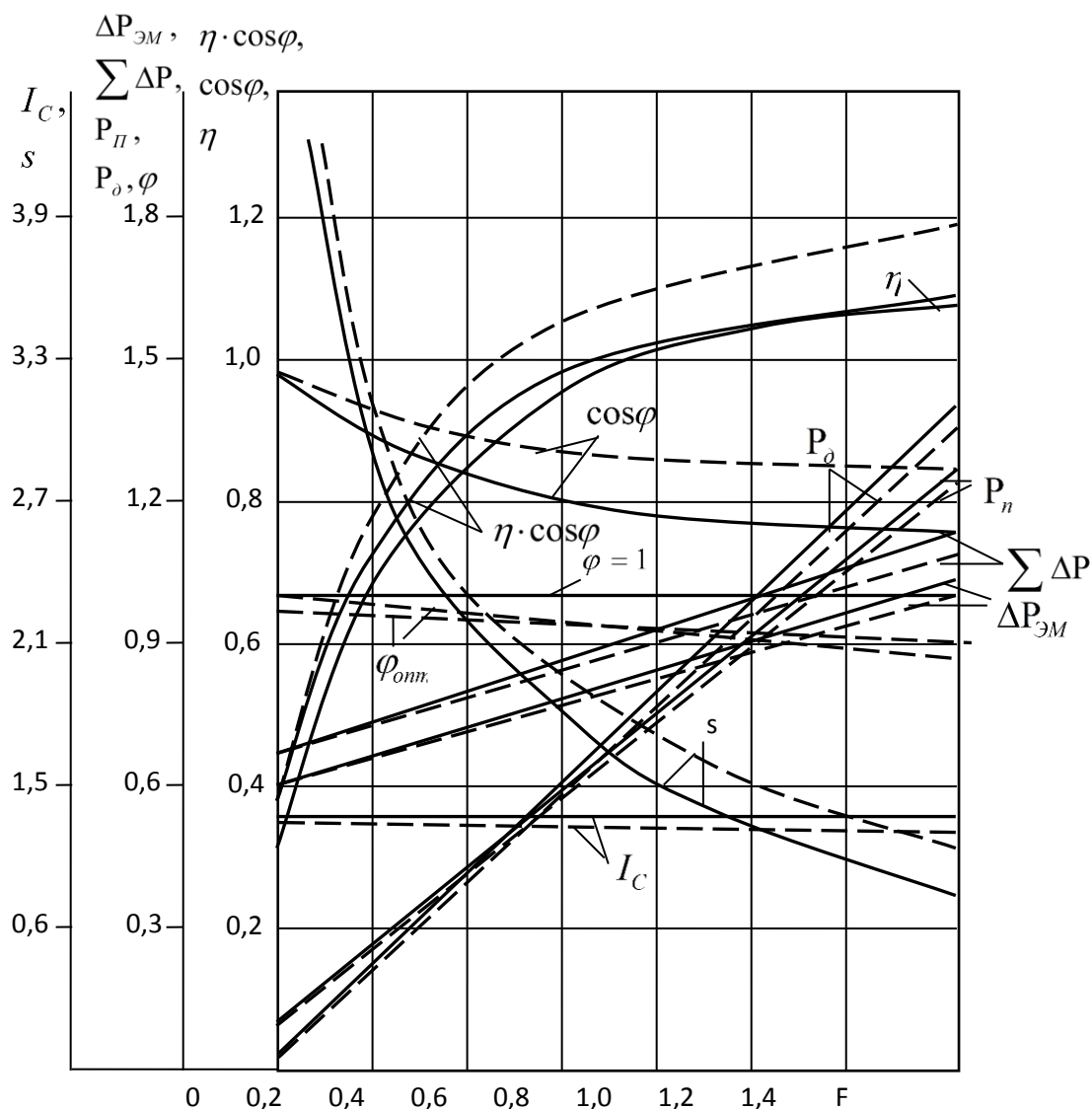


3.1 – rasm. Tezligi chastotani o'zgartirib rostlanadigan elektryuritmadagi 4A rusumidagi asinxron motorning chastota qiymati $F = 1$ bo'lgandagi elektrik va energyetik ko'rsatkichlarining magnit oqimi o'zgarishiga bog'liq tavsiflari

Magnit oqimi kattalashganda asinxron motorning tezligi bir oz ortadi, natijada sirpanish s kamayadi, foydali quvvat esa kattalashadi. Shuning uchun tarmoqdan talab qilinadigan quvvatning eng kichik qiymati elektr magnit quvvat isrofining eng kichik qiymatiga nisbatan magnit oqimning kichkina qiymatiga to'g'ri keladi. Elektr magnit ko'rsatgichlarning tavsiflari: FIK η , quvvat ko'effisiyenti $\cos \varphi$ va ularning ko'paytmasi $\eta \cos \varphi$ oqimning ma'lum qiymatida maksimumga erishadi. O'zgaruvchan quvvat isroflari va qo'zg'atish quvvat isrofi qiymatlari o'zaro teng bo'lganda FIK o'zining eng katta qiymatiga erishadi. Quvvat ko'effisiyenti kattalashib boradi va oqimning kichik qiymatlarida o'zining eng katta qiymatiga erishadi va oqim kattalashganda stator tokining aktiv tashkil etuvchisining kamayishi va magnitlovchi tokning kattalashuvi natijasida anchagina kamayadi.

Energetik ko'rsatgichi ($\eta \cdot \cos \varphi$) ning eng katta qiymati, FIK ning maksimum qiymatiga η ($\cos \varphi = 0,93$) qaraganda magnit oqimning nisbatan kamroq qiymatiga to'g'ri keladi: chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektryuritma tizimida asinxron motorning magnit oqimi nominal $\varphi = 1$ bo'lganda (uzluksiz chiziqlar 1) va optimal $\varphi = \varphi_{onm}$ bo'lganda (punktir chiziqlar 2) rostdash tavsiflari 3.2 – rasmda keltirilgan. Bunda magnit oqimning optimal qiymatiga ushbu motorda quvvat isroflarning minimal bo'lishi mos keladi.

3.2 – rasmda stator toki I_s ning oshishi bilan, asosan asinxron motorning po'latida quvvat isrofining oshishi hisobiga, F ning kattalashuvi bilan asinxron motorning tezligi oshadi, unda shu yo'nalishda P_d va P_n quvvatlari o'zgaradi, sirpanish esa giperbolik qonun bo'yicha kamayadi. $\varphi = 1$ va $\varphi = \varphi_{opt}$ bo'lganda P_d va P_n quvvatlari uncha o'zgarmaydi. Chastota o'zgarishining ko'rilayotgan barcha diapazonida ($F = 0,2 - 1,4$) 4A rusumidagi asinxron motor uchun bu kattaliklar



3.2 – rasm. Chastotani oʻzgartirib tezligi rostlanadigan elektr yuritmalardagi 4A rusumdagi asinxron motor koʻrsatkichlarining magnit oqimining nominal va optimal qiymatlaridagi chastotaga bogʻliq oʻzgarish tavsiflari

$\varphi = 1$ rejimga qaraganda optimal rejimda kichkina. (3.2 – rasm). Bu birinchidan, φ kattalashuvi bilan quvvatlar oʻsib boradi, ikkinchidan bu motorlar uchun oʻzgarish diapazoni asosan $\varphi_{opt} < 1$. Chastota qiymati oshishi bilan quvvat koeffitsiyenti kamayadi (3.2 – rasm), chunki amalda kuchlanish chastotaga mutanosib oʻzgaradi, talab qilinadigan quvvat uncha oʻzgarmaydi. Optimal rejimda chastota qiymati pasayganda quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi$ oldiniga optimal oqim qiymatini kattalashuvi hamda P_p ni kamayishi hisobiga, kamayadi; soʻngra kuchlanishning kattaroq pasayishi natijasida, kattalashadi. Chastota ortishi bilan FIK oshadi (3.2 – rasm), chunki asinxron motorning foydali quvvati P_n dan farqli oʻlaroq $M_s = M_N = \text{sonst}$ boʻlganda, amalda F ning oʻzgarishga mutanosib boʻladi.

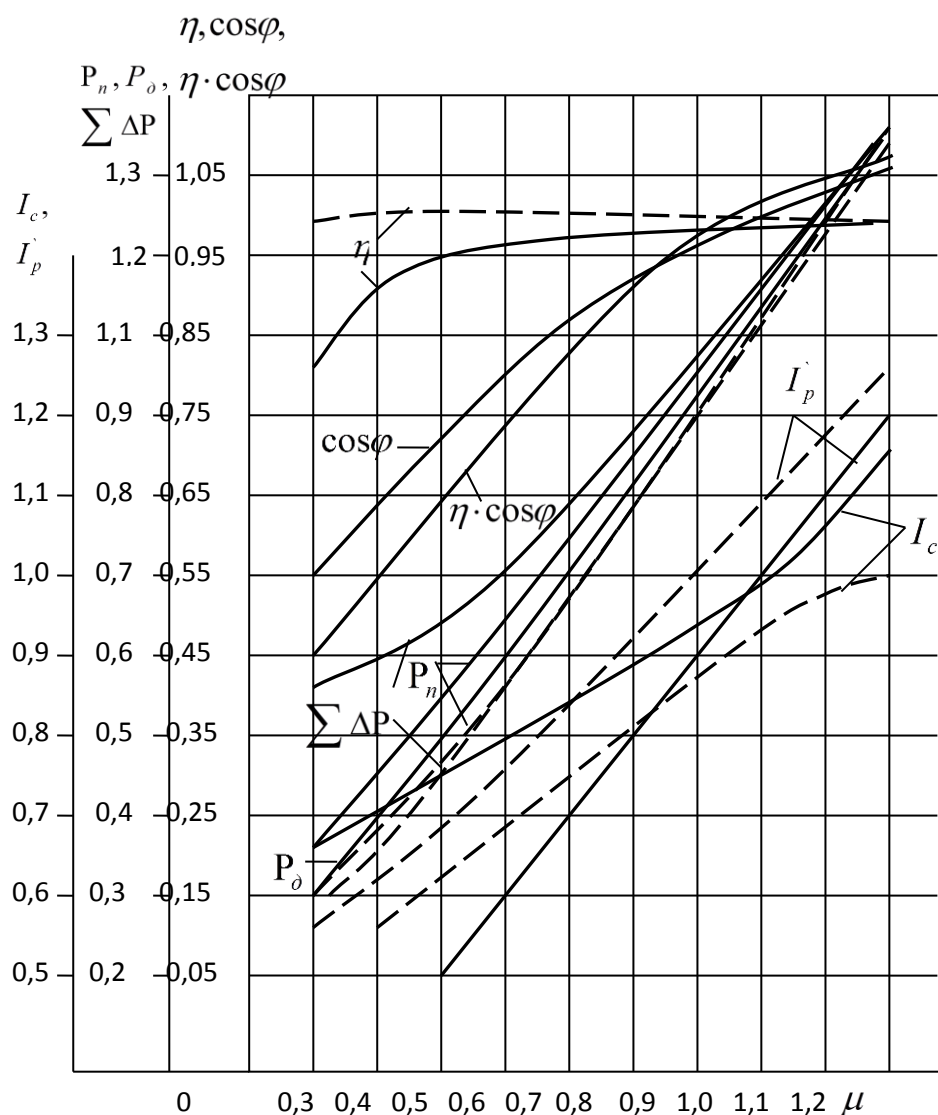
Chastotani oʻzgariyirib tezligi rostlanadigan elektr yuritma tizimlarida ishlaydigan asinxron motorning quvvat isrofi eng kam boʻlgan optimal $\varphi = \varphi_{opt}$

rejimida motorning FIK $\varphi = 1$ bo'lgan holdagi FIK dan katta. 4A rusumidagi asinxron motorlarda chastotani rostlash diapazoni $F = 1,0 - 1,4$ bo'lganda optimal rejimda FIK $\varphi = 1$ bulgandagi FIK dan $0,25 - 0,56\%$ ga katta (3.2 – rasm). Chastotaning kamayishi bilan 4A rusumidagi asinxron motorlar uchun $\varphi = \varphi_{opt}$ ning qiymati birga yaqinlashadi. Shuning uchun chastota kichkina (past) bo'lgan chegarada $\varphi = \varphi_{opt}$ bo'lganda, FIK $\varphi = 1$ bo'lgandagiga qaraganda bir oz kichkina. Masalan, chastota qiymati $F = 0,6 - 0,2$ bo'lgan oraliqda $\eta = 0,04 - 0,15\%$ kichkina.

4A rusumidagi motorlar uchun $\varphi = \varphi_{onm}$ bo'lganda chastotani rostlash diapazoni $F = 0,2 - 1,4$ bo'lganda motorning quyidagi ko'rsatkichlari $\varphi = 1$ dagiga qaraganda katta (3.2 – rasm): quvvat ko'effisiyenti $0,7 - 7,9\%$; energetik ko'rsatgichi $\eta \cdot \cos \varphi = 0,1 - 6,6\%$; demak, chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektryuritma tizimlaridagi 4A rusumli asinxron motorlar uchun energetik ko'rsatgichi F kattalashuvi bilan kattalashar ekan. Boshqarish chastotasiga qarab magnit oqimining $\varphi = 1$ va $\varphi = \varphi_{opt}$ qiymatlari ham 3.2 – rasmda keltirilgan. Bunda chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan elektryuritma tizimlarida asinxron motorning optimal oqimi F ning qiymatiga qarab kamayish tomonga o'zgaradi.

3.3 – rasmda 4A rusumli asinxron motorning magnit oqimiga qarab qurilgan ishchi tavsiflari (mos holda uzluksiz va punktir chiziqlar) qurilgan.

Yuklamaning ortishi bilan rotorning keltirilgan toki amalda to'g'ri chiziqli o'sib boradi. Bunda o'zining tashkil etuvchisining o'sish natijasida stator toki kattalashadi. Rotor va stator toklarining kattalashgani sababli talab qilinadigan quvvat P_n ning va yig'indi quvvat isrofi $\sum \Delta P$ ning kattalashuvi kuzatiladi, yuklama kattalashuvi bilan motor tokining aktiv tashkil etuvchisi va aktiv quvvatining kattalashuvi sababli quvvat ko'effisiyenti ham kattalashadi. Yuklama kichkina bo'lganda foydali quvvat P_d amalda to'g'ri chizikli o'zgaradi, talab qilinadigan quvvat esa sekin o'sib boradi. Shuning uchun ma'lum yuklamada FIK o'zining eng katta qiymatiga erishadi, yuklamaning undan keyingi kattalashuvida uning kattalashuvi pasayadi.



3.3 – rasmda optimal rejimda $\varphi = \varphi_{opt}$ $\varphi = 1$ rejimga qaraganda tadqiq qilinayotgan kattaliklarning o'zgarishi keltirilgan. Masalan, 4A rusumi uchun yuklama μ 0,3 dan 1,2 gacha o'zgarganda stator toki 2,1 – 2,9% kamayadi; yig'indi quvvat isrofi – 26,5 – 2,9%; talab qilinadigan quvvat 7,7 – 2,0% gacha kamayadi; Yuklama o'zgarishining shu diapazonida quyidagilar kattalashadi: I_R – 24,6 – 6,1% ga; η – 17,3 – 0,4%; $\cos \varphi$ – 57,3 – 6,6%; $\eta \cdot \cos \varphi$ – 66,7 – 7,7%.

Oqimning optimal qiymatini va uning darajasiga mos keladigan boshqaruvchi ta'sirlarni (tokning chastotasi, kuchlanishni, mutloq sirpanish ko'rsatkichlari va b.) avtomatik ravishda ushlab turish motorda quvvat isroflarini minimum bo'lgan rejimni ta'minlashga imkon beradi, bunda chastota bilan rostlanadigan elektryuritmaning energetik va ishlatishdagi ko'rsatkichlari yaxshilanadi.

Tahlil chastota o'zgarishining keng diapazonida asinxron motorda quvvat isroflari eng kam bo'lgan sharoitda boshqarilganda uning haroratini ortishi ham eng kichkina bo'ladi, unng mutloq qiymati yo'l qo'yiladigan haroratdan past bo'ladi.

Demak, motorda yig'indi quvvat isrofi quvvat minimum bo'ladigan magnit oqimning optimal qiymatini avtomatik ushlab turish o'z navbatida motorning qizishini minimum bo'lishini ta'minlaydi, bu esa faqatgina foydali quvvat koeffitsiyentini emas balki, motorning qizishi bo'yicha foydali quvvat bo'yicha zahirasini ham oshishiga sharoit yaratadi (3.3 – rasm).

Hisoblash tavsiflarining tajribaviy tadqiqotlardan olingan ma'lumotlarning bip-biriga yaqinligi (3.1 va 3.2 – rasmlar, uzluksiz va punktir chiziqlar) nazariy tahlil asosida olingan natijalarni hamda hisoblash usuli to'g'riligini to'la isbotladi. Avtonom tok invertorli TChO' – asinxron motor tizimida olingan tajribaviy ma'lumotlar hisoblash ma'lumotlaridan bir oz farq qiladi, bu ta'minlovchi kuchlanish tokidagi yuqori garmonikalarning motor tavsiflariga ta'siri bilan izohlanadi.

Yuqorida keltirilgan nazariy hollar va asosiy kattaliklarni o'zgarishining qonuniyatlari va shu jumladan, optimal oqimni chastota va yuklamaga qarab o'zgarishi avtomatik boshkarish va elektryuritmani rostdash tizimlariga energiya tejaydigan rejimni ta'minlaydigan konkret talablarni shakllantiradi.

Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan enyergiya tejamkor elektr yuritma

Quyida taklif qilinayotgan [1] qisqa tutashtirilgan asinxron motor asosida qurilgan minimum quvvat isrofi bo'yicha ekstremal boshqariladigan chastota bilan tezligi rostlanadigan elektryuritmadan umumsanoat tizimlarida foydalanish mumkin.

4.1 – rasmda chastota bilan tezligi rostlanadigan elektryuritmaning funksional sxemasi keltirilgan; 4.2 – rasmda birinchi (a) va ikkinchi (b) funksional o'zgartirgichlarda amalga oshiriladigan bog'lanishlar ko'rinishi keltirilgan.

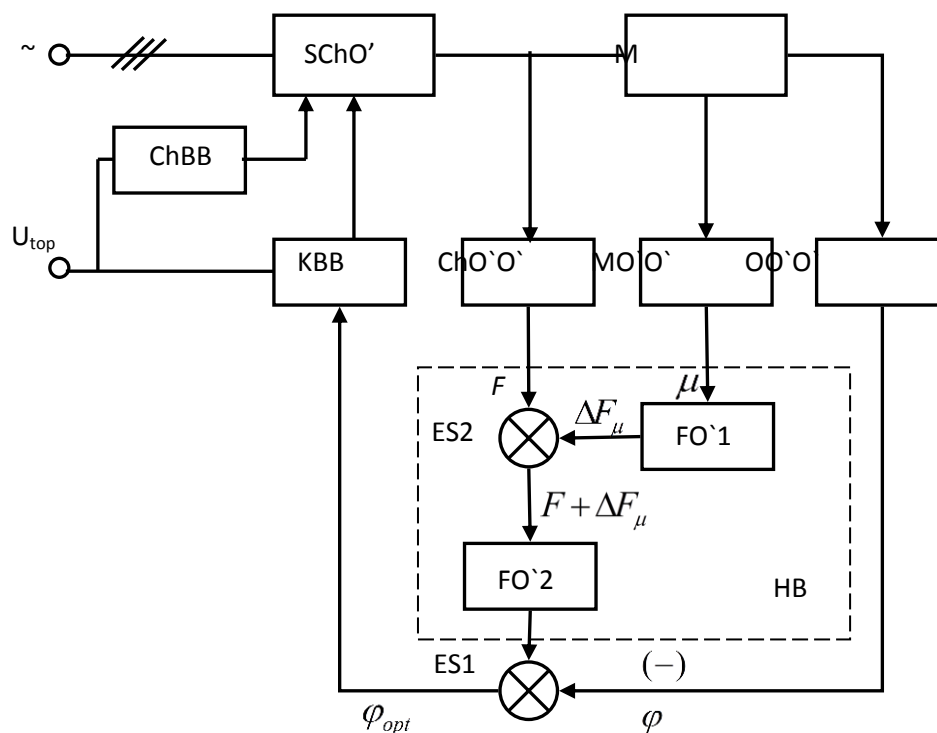
Chastota bilan tezligi rostlanadigan elektryuritma chastota statik o'zgartirgichining chiqishiga ulangan asinxron motor M (4.1 – rasm) chastotani boshqaradigan blok (ChBB) va SChO' ning mos boshqaruvchi kirishiga ulangan kuchlanishni boshqaradigan blok (KBB), motor bilan bog'langan chastota o'lchov o'zgatichi (ChO'O'), oqim o'lchov o'zgatichi (OO'O') va moment o'lchov o'zgatichi (MO'O'), optimal oqim φ_{opt} ni hisoblovchi blok (HB) va kirishi optimal oqimning chiqishiga bog'langan, chiqish qismi esa KBB ga ulangan solishtirish elementi ES-1 dan tuzilgan.

Chastota bilan rostlanadigan elektryuritmada optimal oqimni hisoblash bloki HB funksional o'zgartirgichlar birinchi FO'1 va ikkinchi FO'2 hamda summator ES2 lar bilan ta'minlangan. Summatorning birinchi kirish qismiga ChOO' dan olinayotgan signal beriladi, ikkinchi kirish qismiga esa FO'1 orqali MOO' dan olinayotgan signal beriladi va natijaviy signal ES2 ning chiqishidan FO'2 orqali boshqarish uchun KBB ga uzatiladi.

FO'1 va FO'2 larda amalga oshiriladigan bog'lanishlar (4.2 – rasm) monoton xarakterga ega bo'lib, bu oddiy rezistop-diod sxemasi yordamida ularni bo'lak-bo'lak liniyaviy (to'g'ri chiziqli) apraksimasiyasini ta'minlaydi. Chastota bilan tezligi rostlanadigan asinxron elektryuritma quyidagicha ishlaydi:

Topshiriq U_{top} signali mos holda ChBB va KBB ning kirishlariga keladi. Chastotani rostlaydigan zanjir ochiq, kuchlanishni rostlaydigan zanjir yopiq va optimal oqimni HB ning teskari aloqasida turadi. HB ning kirishlariga ChO`O` va MO`O` larning chiqishlaridan o`lchangan chastota  $F$  va moment haqida ma`lumot keladi optimal oqimning HB chiqishida φ_{opt} signali shakllanadi, bu signal OOO` ning chiqishidan keladigan haqiqiy oqim φ signali bilan solishtiriladi. Signallarni F ni solishtirish natijalari ES1 ning chiqishidan KBB ga keladi.

Motorda minimal quvvat isrofiga mos keladigan oqimning optimal qiymati φ_{opt} chastota F kattalashuvi va yuklama (moment) M kamayishi bilan kamayadi. Bu M ing turli qiymatlari uchun φ_{opt} ning bog`lanishini bitta tekis bog`lanishga φ_{opt} ni $(F + \Delta F_{\mu})$ bog`lanishiga birlashtirishga imkon beradi, buni bitta funksional o`zgartkich FO`2 bilan  $\Delta F_{\mu}$  ni  $\mu$  ga bog`lanishi esa FO`1 amalga oshiriladi.

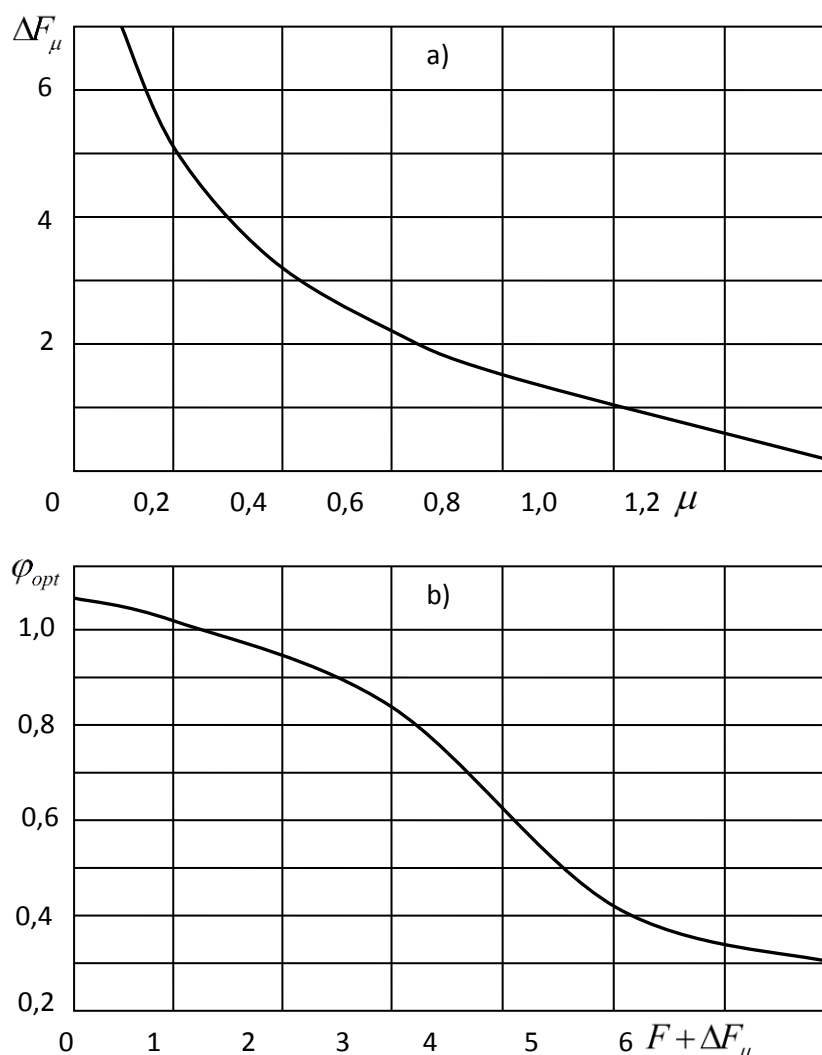


4.1 – rasm. Chastota bilan tezligi rostlanadigan energiya tejamlor avtomatlashtirilgan asinxron elektr yuritma

Motorlarning turli tiplari uchun olingan yuqoridagi bog`lanishlarning xarakteri bir xil.

4.2 – rasmda 4A rusumidagi asinxron motor uchun po`latning to`yinsh va motor ko`rsatkichlarini harorat ta`sirida o`zgarishini e`tiborga olib, aniq hisoblashlar natijasida olingan va bir qator tajribalar natijasida tuzatilgan bog`lanishlar tavsiflari misoli berilgan.

Shunday qilib, chastota bilan tezligi rostlanadigan elektryuritmada oqimni optimal darajada ushlab turish va minimum quvvat isrofi bo'yicha boshqarish hech qanday murakkab algoritmsiz oddiy funksional o'zgartirgichlar yordamida amalga oshirish mumkin. Natijada oldingilarga qaraganda elektryuritmaning kontsruksiyasi soddalashadi va ishlashdagi pishiqligi ortadi.



4.2 – rasm. Chastota bilan tezligi rostlanadigan asinxron elektryuritma tizimida minimum quvvat isrofi bo'yicha optimal boshqariladigan 4A rusumli asinxron motor uchun ΔF_μ ning μ ga (a), φ_{opt} ning $F + \Delta F_\mu$ ga bog'liqli (b) tavsiflari

Asosiy adabiyotlar

1. Nigmatov X. Radioelektronika asoslari. T.: «Uzbekiston», 1994.
2. Karimov A.S. va boshkalar. Elektrotexnika va elektronika asoslari. T.: «Ukituvchi», 1995.
- German-Galkin S.G. Silovaya elektronika. Laboratornye raboty na PK. SPb: Korona print. 2002 g.
3. Xonboboev A.I., Xalilov N.A. Umumiy elektrotexnika va elektronika asoslari. T.: «Uzbekiston» 2000 y.
4. Turdiev M.T. Elektrotexnika va elektronika asoslari. T.: «Ukituvchi» 2002 y.
5. «Elektronika asoslari» fanidan ma'ruzalar manti. Buxoro 2002 yil.
6. «Elektronika asoslari» fanidan tashriba mashgulotlarni bajarish uchun uslubiy kursatma. Buxoro 2005 yil.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. Mirziyoev Sh.M. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining lavozimiga kirishish taitanali marosimiga bag'ishlangan Oliy Majlis palatalarining qo'shma majlisidagi nutqi. T.: "O'zbekiston" NMIU, 2016. 56 6.
2. Mirziyoev Sh.M. Konun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash yurt tarakkiyoti va xalk farovonligining garovi. Uzbekiston Respublikasi Konstitutsiyasi kabul kilinganining 24 yilligiga bagishlangan tantanali marosimdagi ma'ruza 2016 yil 7 dekabr. T.: "Uzbekiston" NMIU, 2016. 48 6.
3. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va oliyjanob xalkimiz bilan birga kuramiz. - T.: "Uzbekiston" NMIU, 2017. - 488 b.
4. Uzbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish buyicha Harakatlar strategiyasi tugrisida. - T.:2017 yil 7 fevral, PF-4947-sonli Farmoni.

Elektron resurslar

1. www.gov.uz - O'zbekiston Respublikasi hukumat portali.
2. www.lex.uz -O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi.
3. www.ziynet.uz;
4. www.bilim.uz.