

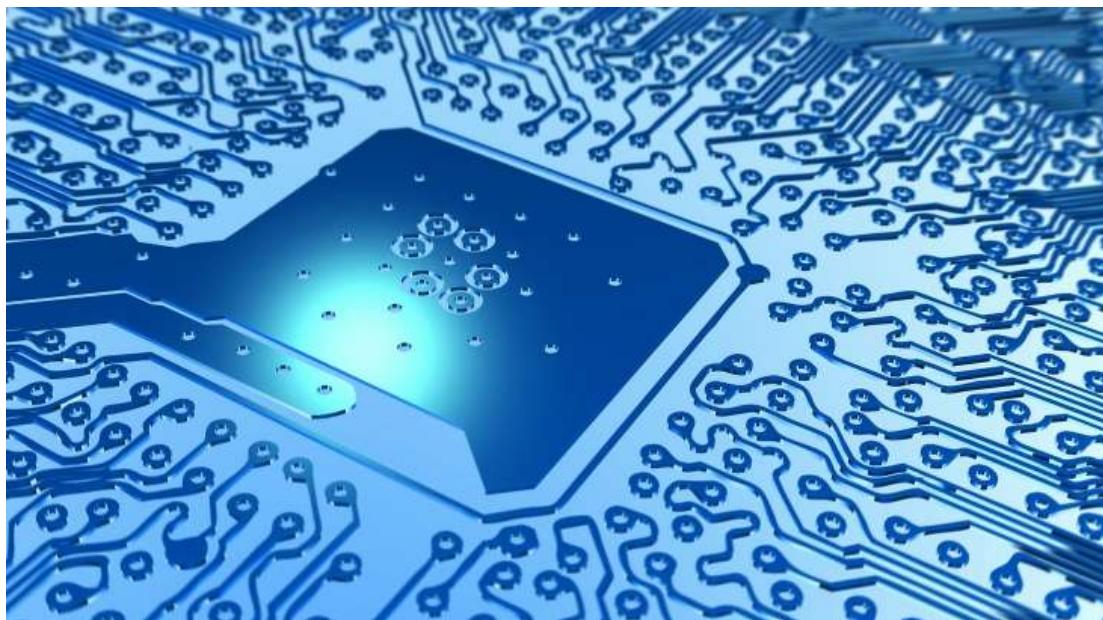
**O'ZBEKISTON OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI**

BUXORO MUXANDISLIK-TEXNOLOGIYa INSTITUTI

I. I. XAFIZOV, M. I. MAXMUDOV, N. N. MIRZOYEV

ELEKTRONIKA ASOSLARI

O'QUV QO'LLANMA



Tuzuvchilar: BuxMTI “Elektrotexnika” kafedrasi katta o‘qituvchisi fizika-matematika fanlari nomzodi Xafizov I. I

BuxMTI “Elektrotexnika” kafedrasi mudiri texnika fanlari nomzodi Maxmudov M. I.

BuxMTI “Elektrotexnika” kafedrasi katta o‘qituvchisi N. N. Mirzoyev

Taqrizchilar: BuxMTI ilmiy ishlar bo‘yicha prorektori texnika fanlari doktori, dots. Sadullaev N. N.

Neft-gaz qurulish ta’mir OAJ bosh muxandisi Raxmatov D. A.

Nº ____ sonli « ____ » _____ 20____ yil

institut o‘quv – uslubiy kengashida tasdiqlangan.

Nº ____ sonli « ____ » _____ 20____ yil

«Elektrotexnika» kafedrasi yig‘ilishida tasdiqlangan.

ANNOTATSIYA

Ushbu o‘quv qo‘llanma texnik yo‘nalishlar bo‘yicha ta’lim olayotgan barcha oliy o‘quv yurtlari talabalari, hamda o‘rta maxsus kasb-hunar kollejlari o‘quvchilari uchun mo‘ljallangan.

Ushbu qo‘llanmada elektron asboblar va qurulmalarni xarakteristikalari va ularni qo‘llanish sohalari bayon etilgan.

SUMMARY

The manual is intended for students of higher educational institutions and vocational-technical colleges with a technical direction.

The manual describes the characteristics of electronic devices and devices and their scope.

ANNOTATSIYA

Uchebnoe posobie prednaznacheno dlya studentov vissших uchebnix zavedeniy i sredno-spesialnix professionalnix kolledjey s texnicheskim napravleniem.

V uchebnom posobii privedeni xarakteristiki elektronnix priborov i ustroystv i ix oblasti primeneniya.

KIRISH

Ilmiy-texnikaning zamonaviy yuklanishi elektronikaning rivojlanishi bilan chanbarchas bog‘liqdir. Elektronika gaz, qattiq jism vakuum va boshqa muhitdagi elementar zaryadlangan zarrachalarga elektromagnit maydon ta’siri natijasida hosil bo‘lgan elektr o‘tkazuvchanlikni o‘rganish va undan foydalanish masalalari bilan shug‘ullanadigan fan sohasidir. Zamonaviy radioelektronikani o‘rganish uchun avvalam bor radioelektronika asboblarining tuzilishi, ishlash prinsipi va fizikaviy asoslarini bilib olish kerak. Hozirgi vaqtda elektronika asboblarning turli xildagi turlarining soni shunchalik ko‘PKI, ularning har birini qarab chiqishning imkoniy yo‘q. Shuning uchun biz ulardan eng ko‘p ishlab chiqariladigan va sanoatda eng ko‘p qo‘llaniladigan elektron asboblarnigina ko‘rib chiqamiz.

Elektronika asoslari fanini o‘rganish insonning ilmiy dunyoqarashi o‘zgaradi, uning intellektual rivojlanishini rag‘batlantiradi, eng qiziqrli mashg‘ulotiga aylanadi.

Elektronika asoslari fani ma’lum bir ob’ekt yoki hodisa to‘g‘risida yaxlit tasavvur beruvchi bilimlar tizimi bo‘lish bilan insonlarda oldindan ko‘ra bilish, bashorat qilish, rejalashtirish ko‘nikmalarini hosil qiladi, ko‘p xatolardan asraydi, hisob-kitob qilishga undaydi. Elektronika asoslari fanini baholashda aniq modellar borligini yodda to‘tish kerak (model soddalashtirilgan matematik shaklga solingan g‘oya va tasavvurdir). Uning amaliyat bilan bog‘liqligi esa aniq energetik fanlar orqali amalga oshirib kelinadi.

Ishlab chiqarishdagi mashina va mexanizmlarning mehnat unumdorligini oshirish va sifatli mahsulot ishlab chiqarish ushbu sanoat qurilmalarining avtomatlashganlik darajasiga bevosita bog‘liqdir. Sanoat qurilmalarining avtomatlashganlik darajasi bu qurilmalarining zamonaviy va energetik ko‘rsatkichlari yuqori bo‘lgan texnika vositalari bilan jixozlanishi bilan belgilanadi. Sanoat qurilmalari ishchi organlarini harakatlantiruvchi va ularni boshqaruvchi avtomatlashtirilgan boshqaruva tizimlarining asosini elektromexanik tizimlar (EMT) tashkil etadi va uning asosini boshqariluvchi o‘zgartkichlar, ya’ni ta’midot manbalari tashkil etadi.

Ma’lumki zamonaviy o‘zgarmas va o‘zgaruvchan boshqariluvchi o‘zgartkichlar, ya’ni ta’midot manbalari kuch sxemalari yarim o‘tkazgichli asboblarda bajarilib, ularni boshqarish tizimlari mikrosxemalarda bajariladi. Fanning oldiga qo‘ylgan asosiy vazifalardan biri talabalarga yarim o‘tkazgichlar to‘g‘risida nazariy ma’lumotlar berish bilan bir qatorda EMT larda qo‘llaniladigan yarim o‘tkazgichli ta’midot manbalarining kuch sxemasi ishslash asoslari, ularning turlari, qo‘llanish sohalari va shuningdek boshqaruva tizimlari

tuzilishi asoslari, ishslash prinsiplari va asosiy tavsiflari to‘g‘risida yetarli nazariy va amaliy ma’lumotlar berishdan iborat.

XX asrning ikkinchi yarmiga kelib yarim o‘tkazgichli asboblar keng ishlab chiqarila boshlangandan so‘ng sanoat elektronikasi sohasida katta burilish bo‘ldi. Yarim o‘tkazgichli diodlar va boshqariluvchi diodlar, ya’ni tiristorlar asosida o‘zgaruvchan tokni o‘zgarmas tokka to‘g‘rilash sxemalari avvalgi elektron lampalardagi ancha ihchamlashib bu kuch o‘zgartkichlarning foydali ish koeffisientlari oshdi va qo‘llanish sohalari uzlusiz oshib bordi. Birinchi yarim o‘tkazgichli triod, ya’ni tranzistorni amerikali D. Berdin va V. Brattenlar yaratdilar va bu elektronika sohasidagi eng katta yutuqlardan biri edi. Dastlabki integral imkrosxemalar esa XX asrning 60 – yillarning oxirida paydo bo‘ldi.

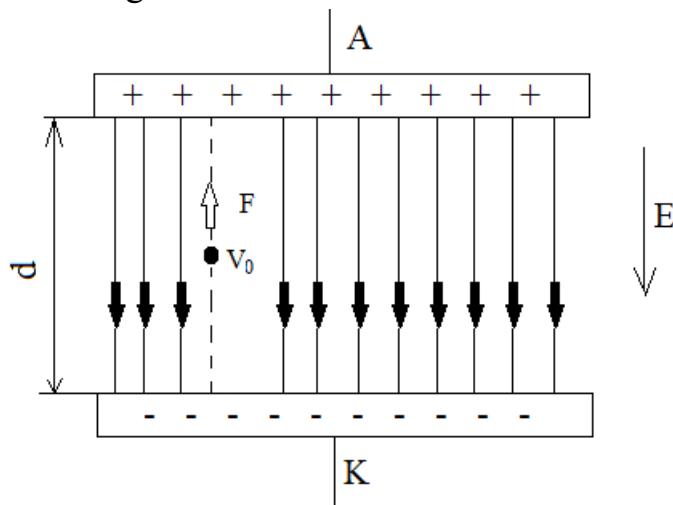
Mirosxemalarning yaratilishi sanoat elektronikasi sohasida katta o‘zgarishga olib keldi. Shundan so‘ng sanoat elektronikasi aniq ikki qismga, ya’ni katta quvvatli tiristorlar va tranzistorlar asosida yig‘iladigan boshqariluvchi kuch o‘zgartkichlarning sxemalariga va ularni boshqarishda qo‘llaniladigan mikroelektronika asosida yaratiladigan boshqaruv tizimlariga bo‘lindi. Mikroelektronikaning rivojlanishi o‘z navbatida mikroprotsessorrarning rivojlanishiga va ularni boshqariluvchi kuch o‘zgartkichlarini boshqarishda katta ahamiyat kasb etmoqda.

I-BOB. YaRIM O'TKAZGICHLARDAGI FIZIK JARAYONLAR BIR JINSLI ELEKTR MAYDONDA ELEKTRONLARNING HARAKATI

Harakatlanayotgan elektronning elektr maydon bilan o'zaro ta'siri barcha elektron qurilmalarning asosiy jarayoni hisoblanadi. Faraz qilaylik, elektron vakuumda, ya'ni boshqa zarrachalar bilan hech qanday to'qnashuvlarsiz harakat qilsin. Bunday harakat faqat elektron lampalada sodir bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarda va gaz razryadli qurilmalarda harakatdagi elektronning ionlar va gazning yoki qattiq jismning boshqa zarralari bilan to'qnashishi natijasida elektronning harakati murakkabroq tus oladi. Birinchi navbatda elektronning bir jinsli va vaqt birligi ichida o'zgarmas elektr maydondagi harakatini ko'rib chiqish maqsadga muvoffiqdir.

Elektr maydon aksariyat holatlarda bir jinsli bo'lmaydi hamda o'zining tuzilishi jixatdan ancha murakkab. Optik elektronnikaga sohasiga tegishgi bo'lgan bir jinsli bo'lmasan elektr maydonda elektronning harakatini o'rganish juda murakabdir.

Ikki elektrod orasidagi bir jinsli elektr maydondagi kuchlanganlik chiziqlari 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Tezlatuvchan elektr maydonda elektronning harakati

Agar elektrodlar orasidagi potensiallar farqi U , ular orasidagi masofa d bo'lsa, u holda maydon kuchlanganligi

$$E = U/d \quad (1)$$

Bir jins maydon uchun E kattalikning qiymati o'zgarmas hisoblanadi. Faraz qilaylik, potensiali kichikroq elektroddan potensiali kattaroq bo'lgan elektrod tomon maydon kuch chiziqlari yo'nalishi bo'yicha boshlang'ich tezligi V_0 , kinetik eneriyasi W_0 bo'lgan elektron harakatlanayotgan bo'lsin. Maydon elektron harakatini tezlashtiradi. Boshqacha qilib aytganda, elektron potensiali kattaroq bo'lgan elektrodga tortiladi. Ushbu holda maydon *tezlatuvchan* deb ataladi.

Maydon kuchlanganligi musbat zaryad birligiga ta'sir quluvchi kuchga qiymat jixatdan tengdir.

$$F = -eE \quad (2)$$

Ushbu ifodadagi «munus» ishorasi F kuchning yo'nalishi E vektorga nisbatan qarama-qarshi bo'lganligi uchun qo'yilgan. Ba'zida bu ishora quyilmaydi.

O'zgarmas F ta'sirida elektron a tezlanish oladi.

$$a = F/m \quad (3)$$

To'g'ri chiziqli harakati davomida elektronning tezligi v va kinetik energiyasi W oshib boradi va elektrod yaqinida ushbu kattaliklar maksimal qiymatga yetadi. Shunday qilib, tezlatuvchan maydonda elektronning kinetik energiyasi, elektronning ko'chishi bo'yicha maydonning bajargan ishi tufayli, oshib boradi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan elektron kinetik energiyasining oshishi $W - W_0$ maydon ishiga tengdir;

$$W - W_0 = mv^2/2 - mv_0^2/2 = eU \quad (4)$$

Agar elektronning boshlang'ich tezligi nolga teng bo'lsa,

$$W - W_0 = mv^2/2 = eU \quad (5)$$

ya'ni, elektronning kinetik energiyasi maydon ishiga teng.

Agar elektron zaryadini shartli ravishda elektr miqdor birligida hisoblasak, u holda $U=1\text{ V}$ bo'lganda energiya birligi ichida elektronni olgan energiyasini *elektron-volt(eV)* deb ataymiz. Aksariyat holatlarda elektronning energiyasini joullarda emas balki, elektron-voltlarda ifodalash qulaydi.

Elektronning maksimal tezligini (5) ifodadan topamiz;

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U} \quad (6)$$

Bu ifodaga e va m ni qiymatlarini qo'yib, elektron tezligini topish mumkin;

$$v = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U} \text{ m/c} \quad \text{yoki} \quad v = 600 \sqrt{U} \text{ km/s} \quad (7)$$

Elektronning tezligi hatto kichik qiymatli potensiallar farqi uchun ham juda kattadir. Masalan $U=1\text{ V}$ bo'lganda elektron tezligi 600 km/s , agar $U=100\text{ V}$ bo'lganda elektronning tezligi 6000 km/s bo'ladi.

Elektronning elektrodlar orasidagi masofani bosim o'tgan vaqtini uning o'rtacha tezligi orqali topamiz;

$$t = d/v_{yp} \quad (8)$$

To'g'ri tezlanuvchan harakatdagи elektronning o'rtacha tezligi boshlang'ich va oxirgi tezliklarini yig'indisining yarmiga teng;

$$v_{yp} = (v_0 + v)/2 \quad (9)$$

Agar $v_0 \ll v$, bo'lsa, u holda;

$$v_{yp} \approx v/2 \quad \text{va} \quad t \approx 2d/v \quad (10)$$

Bu ifodaga tezlik qiymatini qo'yib, elektronning berilgan masofani bosib o'tish uchun sarflagan vaqtini aniqlaymiz;

$$t = \frac{2d}{6 \cdot 10^5 \sqrt{U}} = 0,33 \cdot 10^{-5} \cdot d / \sqrt{U} \quad (11)$$

Bu yerda masofa d metrlarda ifodalangan, agar uni millimetrlarda ifodalasak unda;

$$t = 0,33 \cdot 10^{-8} \cdot d / \sqrt{U} \quad (12)$$

Masalan elektrodlar orasidagi masofa $d=3mm$ potensiallar farqi $U=100V$ bo'lsa, u holda;

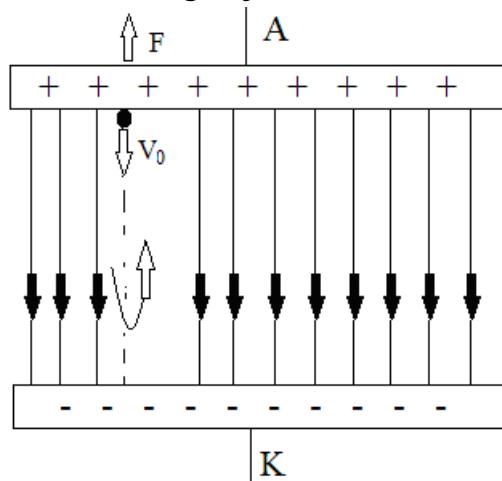
$$t = 0,33 \cdot 10^{-8} \cdot 3 / \sqrt{100} = 10^{-9} c = 10^{-3} \text{ m} \text{c} = 1 \text{ ns}$$

Shu tariqa elektron qurilmalardagi bir jinsli bo'limgan maydonda elektronning bosib o'tgan vaqtini hisoblash juda murakkab. Odatda bu vaqt $10^{-8}-10^{-10} s$ ni tashkil etadi. Elektron bosib o'tishi uchun sarflanayotgan bunday qisqa vaqtini aksariyat holatlarda hisobga olmasa ham bo'ladi. Lekin, shunisi borki elektron ma'lum massaga ega, demak u bir laxzada tezligini o'zgartirolmaydi va bir laxzada elektrodlar orasidagi masofani bosib o'tolmaydi. Ultra va o'tayuqori chastotalarda (100 va $1000MGs$) elektronning bosib o'tgan vaqt tebranish davri doirasida o'lchanadi. Masalan, $f=1000MGs$ bo'lganda tebranish davri $T=10^9 s$ bo'ladi. Bunday chastotalarda tebranish davri T elektronning bosib o'tgan vaqtidan juda katta bo'lganligi uchun elektrodlardagi o'zgaruvchan kuchlanish ushbu vaqtda sezilargi o'zgarmaydi, ya'ni, elektronning harakati davomida elektrodlardagi kuchlanish o'zgarmas deb aytish mumkin.

Elektrodlardagi kuchlanish o'zgarmas bo'lgandagi ish rejimi, *statik ish rejimi* deb ataladi. Qachonki elektrodlardan birining kuchlanishi juda tez o'zgarsa, u holda statik ish rejimidagi qonunlarni qo'llab bo'lmaydi. Ushbu ish rejimi *dinamik ish rejimi* deb ataladi. Agar elektrodlar orasidagi kuchlanish uncha katta bo'limgan chastotada o'zgarsa, u holda jarayon statik rejimida qonunlarga aniqlashtirib tahlil qilinadi va bu rejim *kvazistatik ish rejimi* deb ataladi. Energiya, tezlik va vaqt ifodalari elektron bosib o'tgan masofaning barcha qismlari uchun o'z kuchida qoladi. Bu holatda W , v , t , d , U kattaliklar elektron bosim o'tgan yo'lning har bir qismi uchun mos qiymatga ega bo'ladi. Agar yo'lning har qaysi qismida maydon kuchlanganligi har xil bo'lsa, elektron bu qismlarda har xil tezlanish bilan harakat qiladi. Elektronning natijaviy tezligi esa elektrodlardagi oxirgi potensiallar farqi va elektronning boshlang'ich tezligi orqali aniqlanadi. Energiyaning saqlanish qonunidan shu narsa kelib chiqadiki, elektrodlardagi oxirgi potensiallar farqi yo'lning har bir qismdagi potensiallar farqining yig'indisidan iboratdir.

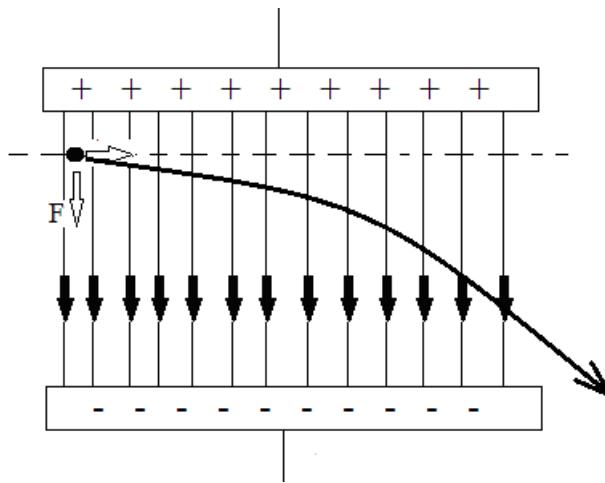
Endi elektronni tormozlovchi elektr maydondagi harakatini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, elektr maydon tomonidan hosil qilingan F kuch yo'nali shiga qarama-qarshi yo'nali shida elektron v_0 boshlang'ich tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lgin (2-rasm), ya'ni elektron qandaydir boshlang'ich tezlik bilan potensiali kattaroq bo'lgan elektroddan uchib chiqadi. F kuch v_0 tezlikga qarama-qarshi yo'nal ganligi sababli elektron tekis sekinlashuvchan harakat qiladi. Ushbu holatda maydon *tormozlovchi* deb ataladi. Tormozlovchi maydonda elektronning energiyasi kamayib boradi va o'z energiyasini maydonga beradi.

Agar boshlang'ich energiyasi eU_0 bo'lgan elektron potensiallar farqi U bo'lgan tormozlovchi maydonda harakatlanayotgan bo'lsa, u holda uning energiyasi eU miqdorga kamayadi. Agar $eU_0 > eU$ shart bajarilsa, elektron elektrodlar orasidagi butun masofani bosib o'tadi va potensiali kichikroq bo'lgan elektrodga borib uriladi. Agar $eU_0 < eU$ bo'lganda, elektron potensiallar farqi U_0 bo'lgan maydonda harakatlanib energisini to'laligicha yo'qotadi, uning energiyasi nolga teng bo'ladi va u orqaga tezlanish olib harakatlanadi. Shunday qilib, elektron yuqoriga vertikal otilgan jimsdek harakat qiladi.



2-rasm. Tormozlovchi elektr maydonda elektronning harakati

Endi elektronni bir jinsli ko'ndalan elektr maydondagi harakatini ko'rib chiqamiz. Agar elektron v_0 boshlang'ich tezlik bilan elektr maydon kuch chiziqlariga nisbatan to'g'ri burchak yo'nali shi bo'yicha harakatlansa, elektr maydon elektronga potensiali kichikroq elektrod tomon yo'nal gan F kuch bilan ta'sir qiladi (3-rasm).



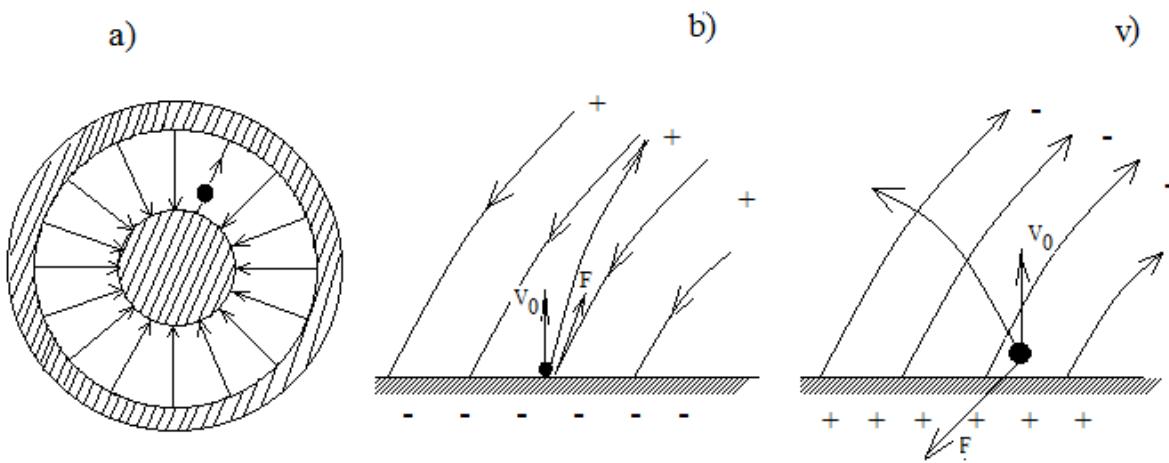
3-rasm. Bir jinsli ko‘ndalan elektr maydonda elektronning harakati

Agar maydon tomonidan ko‘rsatilayotgan F kuch ta’siri bo‘lmaganda edi, elektron v_0 tezlikli inersiyasi orqali o‘zining to‘g‘ri chiziqli harakatini davom ettirgan bo‘lar edi. F kuch ta’sirida esa elektron v_0 tezlikka perpendikulyar yo‘nalishda tekis tezanuvchan harakat qilishi kerak edi. Natijaviy harakat traektoriyasi esa parabola shaklini oladi va elektron manfiy elektrod tomon og‘adi. Agar elektron rasmga ko‘rsatilganidek elektr maydon ta’sir doirasidan chiqsa, u holda to‘g‘ri chiziqli tekis harakatini davom ettiradi.

Elektr maydon hamma vaqt elektron tezligi va energiyasini u yoki bu tomonga o‘zgartirib turadi. Shunday qilib, elektr maydon bilan elektron orasida hamma vaqt o‘zaro energetik bog‘lanish ya’ni, energiya almashinuvu mavjud.

BIR JINSLI BO‘LMAGAN ELEKTR MAYDONDA ELEKTRONLARNING HARAKATI

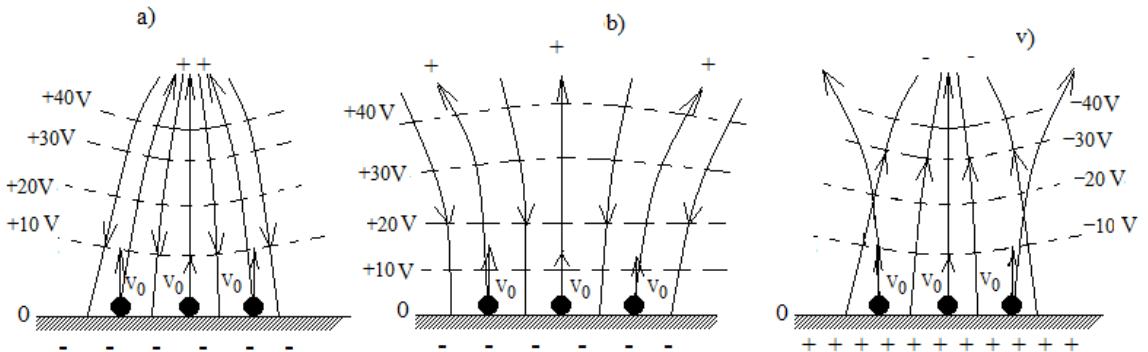
Bir jinsli bo‘lmagan elektr maydonlar har xil xarakterli va aksariyat hollarda murakkab strukturali bo‘lib, bu maydonlarning turli nuqtalarida kuchlanganlik turli xil qonunlar asosida hisoblanadi. Slindrik shakldagi elektodlar oralig‘ida radial elektr maydon bir jinsli bo‘lmagan maydonlarning oddiyrog‘i hisoblanadi (4-rasm, a). Ichki elektroddan uchib chiquvchi elektronning boshlang‘ich tezlik yo‘nalishi maydon kuch chiziqlari yo‘nalishi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘lsa, unda elektron slindr radiusi bo‘ylab to‘g‘ri chiziqli tezlanuvchan harakat qiladi.



4-rasm. Bir jinsli bo‘lмаган radial elektr maydonda elektronning harakati
 Bir jinsli bo‘lмаган elektr maydonning umumiyoq ko‘rinishi kuch chiziqlarning egri chiziq bo‘ylab yo‘nalgan shaklidir. Agar bu maydon tezlatuvchan bo‘lsa, u holda v_0 boshlang‘ich tezlikga ega bo‘lgan elektron kuch chiziqlari kabi egri chiziqli traektoriya bilan harakat qiladi (4-rasm, b). Elektronga maydon tomonidan elektronning tezlik vektoriga burchak ostida yo‘nalgan F kuch ta’sir etadi. Bu kuch elektron harakatlanayotgan traektoriyani og‘diradi hamda elektron tezligini kuchaytiradi. Agar elektron massaga ega bo‘lmasa, demakki inersiyaga ham, u holda elektron kuch chiziqlari bo‘ylay harakatini davom ettirardi. Lekin elektron massaga ega va u o‘z inersiyasi bo‘yicha to‘g‘ri chiziqli harakatini davom ettirishga intiladi. Elektronga ta’sir quluvchi kuch, elektronning tezlik vektoriga ma’lum bir burchak ostida va maydon kuch chiziqlariga urunma bo‘ylab yo‘naladi. Shuning uchun elektronning traektoriyasi to‘g‘ri chiziqka nisbatan og‘adi, lekin elektron inersiyasi tufayli uning traektoriyasi maydon kuch chiziqlari bilan bir xil bo‘lmaydi.

Tormozlovchi bir jinsli bo‘lмаган, kuch chiziqlari egrilangan maydon tomonidan elektronga ta’sir quluvchi kuch ham elektron traektoriyasiyani og‘dirib uning tezligini kamaytiradi (4-rasm, b). Lekin elektronning traektoriyasi kuch chiziqlar yo‘nalishiga nisbatan qarama-qarshi tomonga og‘adi, yani maydon kuch chiziqlardan uzoqlashadi.

Endi bir-biri bilan ta’sirlashmaydigan shart asosidagi elektronlar oqimining bir jinsli bo‘lмаган maydondagi harakatini ko‘rib chiqamiz. 5a-rasmida bir jinsli bo‘lмаган tezlatuvchi maydonda elektronlar oqimini harakati ko‘rsatilgan. Agar elektronlar oqimining yo‘nalishi bo‘yicha maydon kuch chiziqlari uchrashsa, u holda bunday maydonni *yig‘iluvchi maydon* deb atasa bo‘ladi. Farz qilaylik elektronlar oqimi bunday maydonda harakatlanatgan bo‘lsin. Soddalashtirish uchun rasmda faqat o‘rtadagi va ikki chetki elektronlar tasvirlangan.



5-rasm. Bir jinsli bo‘limgan elektr maydonda elektronlar oqimining fokusirovkasi va sochilishi

Ravshanki elektronlar oqimi kuch chiziqlari og‘gan tomonga qarab og‘adi. Natijada elektronlar bir-biriga yaqinlashadi, ya’ni elektronlar oqimining fokusirovkasi kuzatiladi.

Agar elektronlar oqimining yo‘nalishi bo‘yicha maydon kuch chiziqlari sochilsa (5b-rasm), u holda bunday maydonni shartli ravishda *sochuvchi maydon* deb ataladi. Bunday maydonda elektronlar traektoriyasi bir-biridan uzoqlashib elektronlar oqimi sochiladi.

Agar maydon tormozlovchi va yig‘uvchi bo‘lsa, u holda elektronlar tezligi pasayib oqimi sochilib ketadi. Xuddi shuningdek tormozlovchi sochuvchi maydonda elektronlar oqimi fokuslanadi.

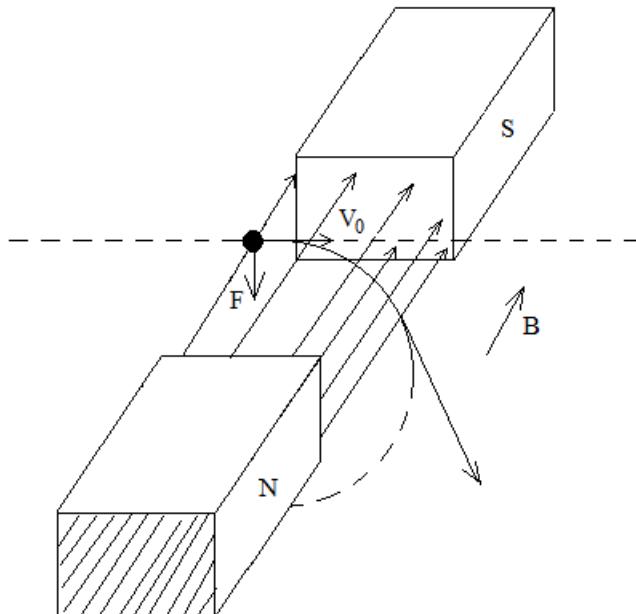
Optikaviy elektronikada bir jinsli bo‘limgan magnit maydonda elektronlar harakatining turli holatlari o‘rganiladi. Bunda odatda maydonni ekvipotensial sirtlar yordamida, aniqrog‘i bu sirtlarni chizma tekisligi bilan kesishish chiziqlari yordamida ifodalanadi (5v-rasm). Qaerda kuch chiziqlari qalinqoq bo‘lsa, ekvipotensial sirtlar bir-biriga yaqin joylashadi. Elektronlar traektoriyasining egriligini ekvipotensial sirtdan o‘tishdagi sinish kabi tasvirlanadi.

BIR JINSLI MAGNIT MAYDONDА ELEKTRONLARNING HARAKATI

Bir jinsli magnit maydonida elektronning harakatini ko‘rib chiqamiz. Faraz qilaylik bir jinsli magnit maydonda boshlang‘ich tezligi v_0 bo‘lgan elektron magnit kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda harakatlanayotgan bo‘lsin (6-rasm). Bunday holatda harakatlanayotgan elektronga magnit induksiya vektori B ga va v_0 elektronning tezlik vektoriga perpendikulyar bo‘lgan Lorens kuchi F ta’sir qiladi;

$$F = ev_0B \quad (13)$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibtiki, $v_0=0$ bo‘lganda, F nolga teng bo‘ladi, ya’ni harakatsiz elektroniga magnit maydoni ta’sir qilmaydi.



6-rasm. Bir jinsli iagnit maydonda elektronning harakatlanishi.

Lorens kuchi F elektronning traektoriyasini aylana yoyi bo‘yicha qiyshaytiradi. Lorens kuchi F elektronning tezlik vektori v_0 ga perpendikulyar ravishda ta’sir qilishi sababidan bu kuch ish bajarmaydi. Elektronning energiyasi va tezligi o‘zgarmaydi, faqatgina tezlik vektori o‘zgaradi. Ma’lumki, jimsning o‘zgarmas tezlik bilan aylana bo‘ylab harakati markazga yo‘naltirilgan kuch ta’siri (markazga intilma harakat) sababidan sodir bo‘ladi.

Magnit maydonida elektronning harakat yo‘nalishini quyidagi qoida bilan aniqlashtirish qulayrokdir. *Agar magnit kuch chiziqlari yo‘nalishi tomon qarasak, elektron soat millari yo‘nalishi bo‘yicha harakatlanadi.*

Elektron harakatlanayotgan aylana radiusini aniqlaymiz. Bu uchun bizga mexanika kursidan ma’lum markazga intilma harakat ifodasidan foydalanamiz.

$$F = mv_0^2/r \quad (14)$$

Bu ifodani (13)ga qo‘yamiz;

$$mv_0^2/r = ev_0B$$

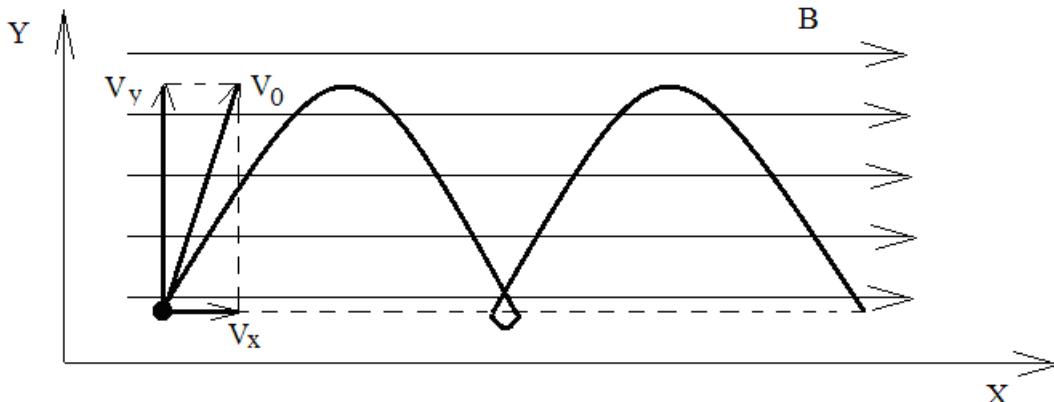
Endi bu tenglamadan radiusni topish mumkin;

$$r = mv_0/(eB) \quad (15)$$

Elektron tezligi v_0 qanchalik katta bo‘lsa, shunchalik kuchli u inersiyasi orqali to‘g‘ri chiziqli harakatiga intiladi va aylanish traektoriyasi shunchalik katta bo‘ladi. Magnit induksiya vektori B ning oshishi bilan F kuch ham oshadi va elektronning aynanish radiusi kamayadi.

Radiusni aniqlash ifodagi ixtiyoriy zaryadli va massali zarracha uchun o‘rinlidir. Zarra massasi qanchalik katta bo‘lsa, u shunchalik kuchli ravishda o‘z

inersiyasi bo'yicha to'g'ri chiziqli harakatini saklashga intiladi, ya'ni radius shunchalik katta bo'ladi. Agarda zaryad qanchalik katta bo'lsa, F kuch va traektoriya egriligi shunchalik kuchli bo'ladi, ya'ni radius shunchalik kichik bo'ladi. Magnit maydoni ta'sir doirasidan chiqqan elektron o'z inersiyasi bo'yicha harakatini davom ettiradi. Agar traektoriya radiusi yetarlicha kichik bo'lsa, unda elektron magnit maydonida yopik aylana hosil qilib aylanadi.



7-rasm. Bir jinsli magnit maydonda elektronning vintli harakati.

Magnit maydoniga elektron burchak ixtiyoriy burchak ostida uchib kiruvchi umumiyoq holni ko'rib chiqamiz (7-rasm). Koordinata tekisligini shunday tanlaymizki bunda elektron boshlang'ich tezligining vektori v_0 shu tekislikda yotsin va x o'qi magnit induksiya vektorining yo'naliishi B bilan mos tushsin. Boshlang'ich tezlik v_0 ni v_x va v_y tashkil etuvchilarga ajratamiz. Elektronning v_x tezlikli harakati kuch chiziqlari bo'ylab yo'nalgan tokka ekvivalent. Lekin bunday tokka magnit maydon ta'sir qilmaydi, ya'ni v_x tezlik hech qanday o'zgarish sezmaydi. Agar elektron faqat shu v_x tezlikka ega bo'lsa, unda u to'g'ri chiziqli tekis harakat qilar edi. Magnit maydonning v_y tezlikning tashkil etuvchisiga ta'siri esa, yuqorida ko'rib o'tilgan (6-rasm) holatday bo'ladi. Elektron faqatgina v_y tezlikga ega bo'lsa, unda u magnit kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan sirtda aylana bo'ylab harakatlanar edi.

ELEKTRONLARNING QATTIQ JISMDAGI HOLATI

Zamonaviy fizikadan ma'lumki, qattiq jims ichida elektronlar ixtiyoriy energiyaga ega bulla olmaydi. har bir elektronning energiyasi aniq bir qiymatda bo'lib, uni *enegiya sathlari* yoki *energetik sathlar* deb ataladi.

Atom yadroси yaqinida joylashgan elektronning energiyasi eng kam energiyaga ega bo'ladi, ya'ni eng pastki energetik sathda joylashadi. Elektronni yadrodan uzoqlashtirish uchun ularni o'zaro tortishish kuchidan katta bo'lgan energiya sarflash kerak. Shuning uchun yadrodan uzoqlashgan elektronlarning energiyasi kattaroq bo'ladi, ya'ni ular eng yuroki energetik sathda joylashadi.

Agar elektron yuqoriroq bo'lgan energetik sathdan quyirok bo'lgan energetik sathga o'tsa, energiya miqdorining bir qismi *kvant* yoki *foton*

ko‘rinishda tashqariga ajralib chiqadi. Agar atom bir kvant energiya yutsa, u holda undagi elektron quyirok bo‘lgan energetik sathdan yuqoroq bo‘lgan energetik sathga o‘tadi. Shunday qilib, elektronning energiyasi faqat kvant shaklida, ya’ni aniq qiymatlar o‘zgarishi mumkin.

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 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 Simens)ni tashkil etadi. Metallarda $\sigma=10^6\text{-}10^8$ Sm/m, dielektriklarda esa $\sigma=10^{-8}\text{-}10^{-13}$ 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.

Yarim o‘tkazgichlar - bu tashqi energetik ta’sirlar natijasida taqiqlangan zona kengligini yengib o‘tish xususiyatiga ega bo‘lgan, nisbatan tor ta’qiqlangan zona kengligiga ega bo‘lgan moddalar.

Zona nazariyasi nuqtai nazaridan materialarni dielektrik va yarim o‘tkazgichlarga ajratish faqat shartli ravishda. Chunki bu nazariya hech qanday fizik xususiyatlar bilan asoslanmaydi, ulardagi farq ta’qiqlangan zona kengligida bo‘lib, yarim o‘tkazgich deb hisoblanadigan qattiq jismlarda 3 eV dan oshmaydi.

O‘tkazgichlar(metallar) - bu elektronlar bilan to‘lgan zonası erkin energetik sath zonasiga yopishgan yoki kirgan materiallardir. Buning natijasida ulardagi erkin bo‘lib o‘tkazgichga berilgan kuchsiz kuchlanish ta’sirida ham to‘lgan zona sathidan erkin zonaning to‘lmagan sathlariga o‘tish mumkin.

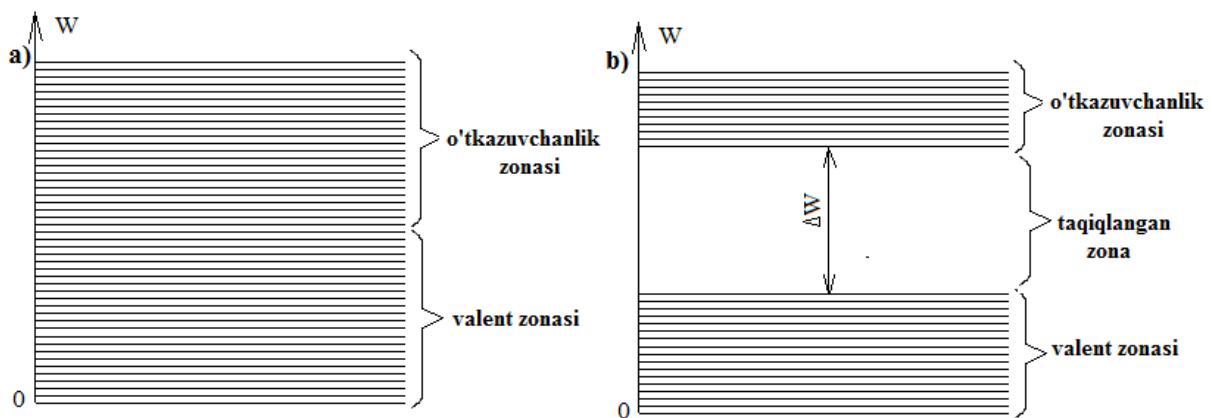
Dielektriklar shunday jismlarki, ularda ta’qiqlangan zona kengligi shunchalik kattaki elektron elektr o‘tishi kuzatilmaydi. Yarim o‘tkazgich va dielektriklarda energiya qo‘zg‘atilgan bo‘lib, ta’qiqlangan zonani yengib o‘tish uchun tashqaridan energiya sarflash talab qilinadi.

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.

Yuqoridagi ruxsat etilgan zona o'tkazuvchanlik zonasasi 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.

Energiya sathlari bo'yicha elektronlarning taqsimoti sxematik ko'rinishda 8-rasmida tasvirlangan. Gorizontal chiziqlar bo'yicha elektronning energiyasi W tasvirlangan.



8-rasm. Metallar (a) va dielektriklar (b) uchun elektronlar energetik sathlarining sxemasi

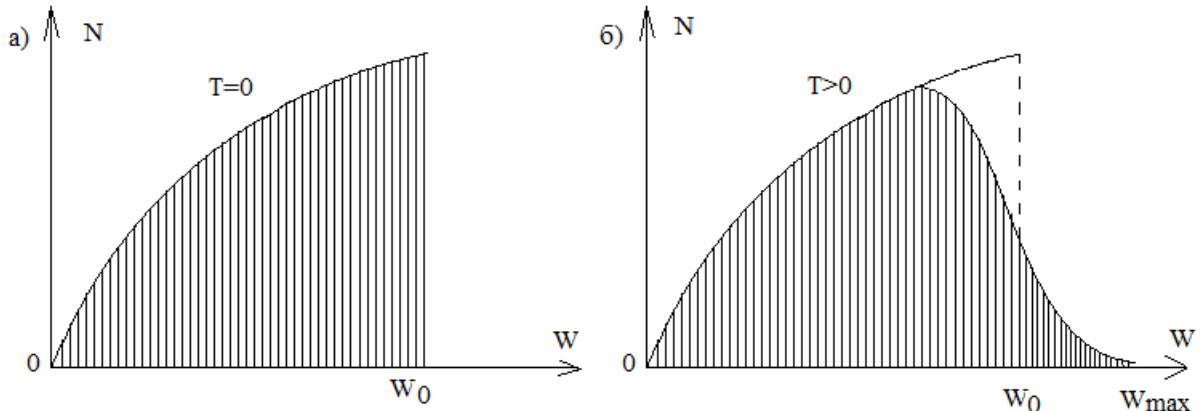
Qattiq jims zonalar nazariyasiga binoan energetik sathlar zonada birlashadi. Atomning tashqi kobig'idagi elektronlar *valent zonasasi* deb ataluvchi bir necha energetik sathni band qiladi. Valent elektronlar elektrik va kimyoviy jarayotlarda ishtirok etadi.

Metallarda va yarim o'tkazgichlarda juda katta miqdordagi elektronlar yuqori energetik sathlarda joylashadi. Bu sathlar o'tkazuvchanlik zonasini hosil qiladi. Bu zonadagi elektronlar o'tkazuvchanlik elektronlari deyilib, ular qattiq jism ichida tartibsiz harakat qilib bir atomdan ikkinchi atomga utib ketaveradi. Aynan shu o'tkazuvchanlik elektronlari metallarning yuqori o'tkazuvchanligini ta'minlaydi.

O'tkazuvchanlik zonasigi elektron bergan modda atomlarni musbat ionlar shaklida deb karash mumkin. Ular ma'lum tartib asosida joylashib *hajmiy panjarani*, Boshqacha aytganda *ionli* yoki *kristall panjarani* hosil qiladi. Moddaning bunday holati atomlararo o'zaro ta'sir kuchlarni muvozanatini va jims barcha zarrachalarning umumiyligi energiyasini munimumda ushlab turadi.

Kristall panjara ichida o'tkazuvchanlik elektronlari doimiy ravishda tartibsiz harakatda bo'ladi.

Metallar uchun zonalar energetik diagrammasining sxemasi 8-rasmda tasvirlangan. Aytish kerakki, real sharoitda bu sxema juda murakkab, unda sathlar soni juda ko'p va ular bir tekis joylashmagan. Energiya sathi bo'yicha elektronlar taqsimoti ning diagrammasini ko'rish mumkin (9-rasm).



9-rasm. Metallarda energiya sathi bo'yicha elektronlarning taqsimoti
Bu yerda W_0 – absolyut nol temperaturadagi elektronlarning olishi mumkin bo'lgan eng katta energiya.

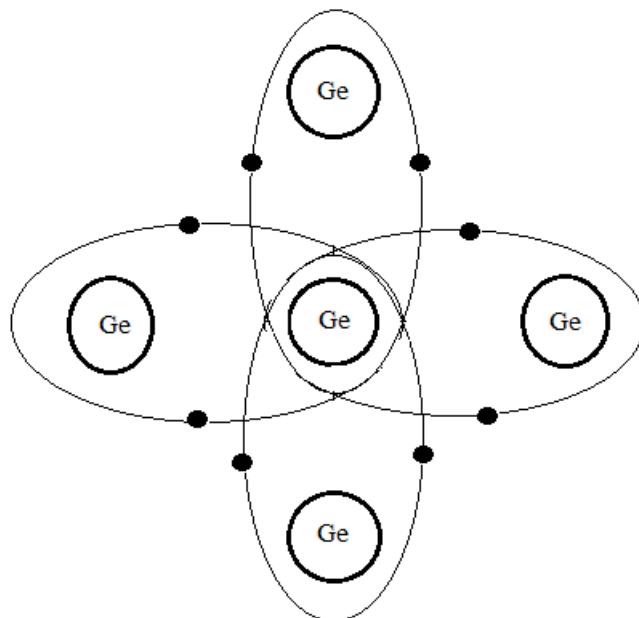
Gorizontal o'q bo'yicha energiya W , vertikal o'q bo'yicha esa mazkur energiyaga ega bo'lgan elektronlar soni N tasvirlangan. 9a-rasmdagi diagramma mos ravishda absolyut nol harorat uchundir. Bu diagrammadan energiyaga ega bo'limgan elektronlar soni nolga teng ekanligini quramiz. Energiya qiymati qancha ko'p bo'lsa, shuncha ko'p soni elektronlar ushbu energiyaga ega bo'ladi. Elektronlar sonining maksimal qiymati W_0 energiyaga ega bo'ladi. Yuqori haroratdagi energiya sathi bo'yicha elektronlar taqsimoti ni 9b-rasmdagi diagrammada tasvirlangan. Bu holatda bir necha miqdordigi elektronlarning energiyasi W_0 energiyadan kattaroq bo'ladi va mos ravishda W_0 energiyadan kichik energiyali elektronlar soni kamayadi. W_0 energiyadan kattaroq elektronlar soni energiya oshishi bilan kamayib boradi. Harorat qanchalik katta bo'lsa energiyaning maksimal qiymati W_{max} shuncha katta bo'ladi.

Metallarda o'tkazuvchanlik zonasini valent zona bilan birlashib ketganligi 8a-rasmdan ko'rishimiz mumkin. Shuning uchun metallarda normal haroratda ko'p sonli elektronlar valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish uchun yetarlicha energiyaga ega bo'ladi. Odatda metall atomlarining har biri hech bo'limganda birta elektronni o'tkazuvchanlik zonasiga beradi.

Dielektriklarda esa valent zonasini va o'tkazuvchanlik zonasini oralig'ida *Taqiqlangan zona* mavjud bo'lib, bu zonadagi mos energiyaga elektron ega bo'la olmaydi (8b-rasm). Taqiqlangan zonaning kengligi, ya'ni o'tkazuvchanlik zonasining quyi sathi bilan valent zonasining yuqori sathi energiyalarining farqi

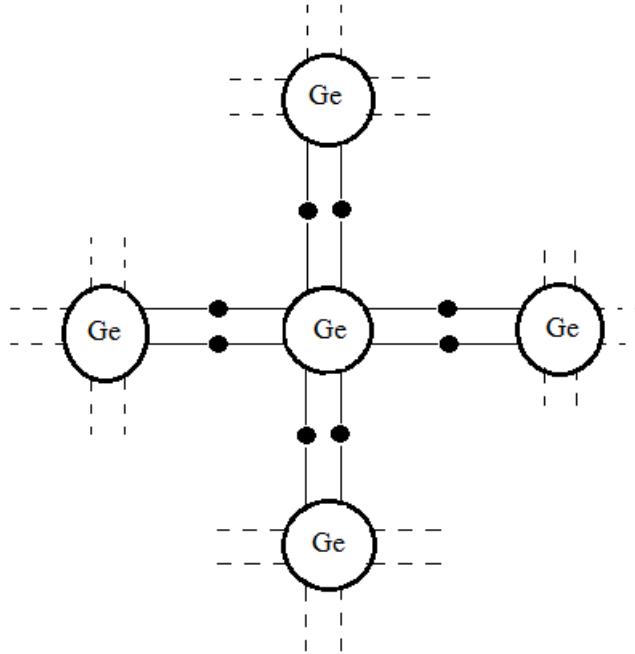
bir necha elektron-voltni tashkil qiladi. Normal haroratda dielektriklarning o‘tkazuvchanlik zonasiga juda kam miqdordagi elektronlar bo‘ladi va shuning uchun dielektriklarning elektr o‘tkazuvchanligi sezilarli bo‘lmaydi. Harorat oshgan sari valent zonadagi bir necha miqdor elektronlar qo‘sishma energiya olib o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tadi va shunda dielektriklarda o‘tkazuvchanlik sezilarli bo‘ladi.

Yarim o‘tkazgichlarda zonalar diagrammasi 8b-rasmdagidek bo‘lib, faqat dielektriklarga nisbatan Taqiqlangan zonaning kengligi kichikroq va u aksariyat holatlarda bir elektron-volt atrofida bo‘ladi. Shuning uchun past haroratlarda yarim o‘tkazgich dielektrik hisoblanadi, normal haroratda esa ma’lum sondagi elektronlar valent zonadan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tadi.



10-rasm. Germaniyning atomlararo kovalent bog‘lanishi

Hozirgi vaqtda yarim o‘tkazgich asboblarni tayyorlashda valentlik soni 4 ga teng bo‘lgan germaniy (Ge) va kremniy (Si) keng qo‘llanadi. Germaniy va kremniy atomlarining oxirgi elektron qobig‘ida to‘rtadan valent elektronni bo‘ladi. Fazoviy kristall panjara atomlarning ushbu valent elektronlari orqali o‘zaro bog‘langanligidan tashkil topadi. Bunday bog‘lanish *kovalent bog‘lanish* deb ataladi (10-rasm). Ramsdan ko‘rinadiki har bir juft atomlar atrofidan orbita bo‘yicha ikkita valent elektron aylanadi. Bunday kristall panjaraning tekislikdagi tasviri shartli ravishda 11-rasmda tasvirlangan.



11-rasm. Germaniy kristall panjarasining tekislikdagi sxemasi

ELEKTRONLI VA KOVAKLI XUSUSIY O'TKAZUVChANLIK

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 etadi. Yarim o‘tkazgichlar guruhiga esa, 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 jihatdan farq qiladi. Ular quyidagilar:

- Oz miqdordagi aralashmaning o‘tkazuvchanlikka kuchli ta’sir etishi;
- O‘tkazuvchanlik harakteri va darajasining temperaturaga bog‘likligi;
- O‘tkazuvchanlikning tashqi kuchlanishga kuchli bog‘likligi;

Demak, yarim o‘tkazgichlar elektr o‘tkazuvchanligi qiymat jihatdan metallar bilan dielektrik elektr o‘tkazuvchanligining oralig‘iga to‘g‘ri keladigan moddalar ekan.

Yarim o‘tkazgich materiallarga kimeviy elementlarga germaniy, kremniy, kimyoviy birikmalar –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 kobig‘ida 4 ta valent elektron bor. Bu elektronlar qo‘shni atomlarning har biri bir-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 katnashadi, bu elektronlar atomdan ajralib chiqib, kristallda mushtarak bo‘lib qoladi va o‘z harakatida ko‘prok vaqt qo‘shni atomlar orasidagi fazoda yuradi. Ularning manfiy zaryadi germaniyning musbat ionlarini bir-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 energiyaga ega bo‘lgan zarralar bilan bombardimon qilinayotgan bo‘lsin. Bu holda bog‘lanish energiyasidan katta energiya olgan elektronlar bog‘lanishni uzib, erkin elektronga aylanadi va o‘z o‘rnidan uzoqlashadi. Bunda atomning elektr jixatdan neytralligi buziladi va zaryadi elektronning zaryadiga teng bo‘lgan musbat zaryad ortiq bo‘lib qoladi. Bog‘lanishdan chiqqan elektron bir vaqtida ikki atomga tegishli bo‘ladi. Shuning uchun bir vaqtida 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 erkin elektron bilan to‘ldirilishi mumkin. Agar u erkin elektron hisobiga to‘ldirilsa, atomning elektr neytralligi tiklanadi. Bu jarayon *rekombinatsiya* deb ataladi. Agar kovak bog‘lanishdagi elektronning siljishi hisobiga to‘lsa, ko‘chish o‘rnida yangi kovak vujudga keladi.

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

Agar yarim o‘tkazgich kristalli elektr maydoniga joylashtirilsa, bog‘lanishni uzib chikkan elektronlar manbaning musbat qutbi tomon ko‘cha boshlaydi va elektron tokini hosil qiladi. Bu holda bog‘lanish defektlarining ko‘chishi ham yo‘nalganlik harakteriga ega bo‘ladi, ya’ni kavaklar manbaning manfiy qutbi tomon harakatlanadi va kovak toki vujudga keladi.

Shuni yodda to‘tish kerakki kovak toki elektronlar hisobiga, ya’ni bog‘langan elektronlarning bir o‘rnidan ikkinchi o‘rniga o‘tishi hisobiga vujudga keladi. Shuning uchun kovaklarning ko‘chishi uzlukli bo‘ladi. Lekin qulaylik uchun kavaklar elektronlar kabi erkin tok tashuvchi deb olinib, harakati uzlusiz deb qaraladi.

Kovak toki ion tokidan ko‘pdan farq qiladi. Chunki ion toki hosil bo‘lishida elektrolitda joylashgan atom yoki malekula bir joydan ikkinchi joyga ko‘chadi va malum miqdordagi modani olib o‘tadi. Kovak toki hosil bo‘lishida esa, atomlar ko‘chmay, o‘z o‘rnida qoladi. Ularda navbat bilan ionlashish vujudga keladi.

Shunday qilib, kimyoviy sof yarim o'tkazgich kristallida elektron kovak juftining hosil bo'lishi asosida ikki xil o'tkazuvchanlik – elektron va kovak o'tkazuvchanligi mavjud bo'lib, ularning miqdori – bir biriga tengdir.

Yarim o'tkazgichning elektron o'tkazuvchanligi *n-tur o'tkazuvchanlik* (negative – manfiy suzdan olingan), *p-tur o'tkazuvchanli* (positive-musbat so'zidan olingan) deb ataladi. Ular birgalikda yarim o'tkazgichning *xususiy o'tkazuvchanligi* deyiladi.

Yarim o'tkazgichlarda solishtirma o'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasiga, ya'ni birlik hajmdagi elektronlar soniga bog'liq bo'ladi. Metallarda yoki yarim o'tkazgichlarda 1 sm^3 hajmda taxminan 10^{22} atrofida atom bo'ladi. Toza germaniy uchun uy haroratida (20°S) zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasi taxminan $n_i = p_i = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ga, kremniy uchun esa $n_i = p_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ga teng. Demak, xususiy yarimo'tkazgichda erkin zaryad tashuvchilarining atomlar umimiyligi soniga nisbati germatiy uchun $10^{-7}\%$, kremniy uchun $10^{-10}\%$ atrofida bo'ladi. Metallarda esa erkin elektronlar soni atomlar sonidan ko'p bo'lsa ko'p bo'ladiki kam bo'lmaydi. Shuning uchun yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi metallarga nisbatan million va milliard marta kichik bo'ladi. Masalan, uy haroratida misning solishtirma qarshiligi $0,017 \cdot 10^{-4} \text{ Om} \cdot \text{sm}$, germaniyniki taxminan $50 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ hamda kremniy uchun $100000 \text{ Om} \cdot \text{sm}$.

Agar yarim o'tkazgichga kuchlanish qo'yilmasa, o'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklari tartibsiz issiqlik harakatida bo'lib, yarim o'tkazgichdan hech qanday tok o'tmaydi. Potensiallar farqi ta'sirida esa yarimo'tkazgichda elektr maydon paydo bo'ladi va bu maydon elektronlar va kovaklar harakatini tezlatib *o'tkazuvchanlik tokini* hosil qiladi. Zaryad tashuvchilarining elektr maydon ta'siridagi harakatini *dreyf toki* deb ataladi. To'la o'tkazuvchanlik esa elektronli va kovakli o'tkazuvchanliklarining yig'indisidan iborat bo'ladi;

$$i_{op} = i_n + i_p \quad (16)$$

Elektronlar va kovaklar bir biriga qarama-qarshi harakat qilsada, kovaklarning harakati elektronlarning siljishi hisobida sodir bo'lishi sababidan bu toklar qo'shiladi.

Dreyf tokinin qiymati qandan kattaliklarga bog'liqligini aniqlash uchun tok zichligini tahlil kilish qulayrok.

$$J_{op} = J_n + J_p \quad (17)$$

Ma'lumki, tok zichligi o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan 1 s ichida o'tgan zaryad miqdoriga tok zichligi deyiladi. Shuning uchun elektron tok zichligi uchun quyidagini yozish mumkin;

$$J_n = n_i e v_n \quad (18)$$

Bu yerda n_i -elektronlar konsentrasiyasi, e -elektronning zaryadi, v_n -maydon ta'siridagi elektronlar harakatining o'rtacha tezligi.

Elektronlar harakatining o'rtacha tezligi, kristall panjaradagi atomlar va elektronlarning tartibsiz issiqlik harakatini mobaynida sodir bo'ladigan juda soni to'qnashuvlarni hisobga oladi. Bir to'qnashuvdan ikkinchi to'qnashuvgacha elektron maydon tomonidan tezlanish oladi va shuning uchun v_n -tezlik maydon kuchlanganligi E ga proporsional bo'ladi:

$$v_n = \mu_n E \quad (19)$$

Bu yerda μ_n - elektronlar harakatlanuvchanligi, deb ataluvchi proporsionallik koefisienti.

$$\mu_n = v_n/E \quad (20)$$

Agar tezlik birligini santimetr sekundlarda, maydon kuchlanganlikni birligini Volt santimetrda ifodalasak, harakatlanuvchanlik birligi;

$$\frac{cm/c}{B/cm} = cm^2/(B \cdot c)$$

Masalan, uy haroratida toza germaniy uchun elektronlar harakatlanuvchanligi $3600 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ teng bo'ladi, ya'ni maydon kuchlanganligi 1 V/sm li maydon kuchlanganligi ta'siri ostida toza germaniydagи elektron 3600 sm/s o'rtacha tezlik oladi. Elektronlar harakatlanuvchanligi turli yarim o'tkazgichlarda turlicha va u harorat ko'tarilganda, elektronlarning kristall panjaradagi atomlar bilan to'qnashishi sababidan, pasayadi.

(18) ifoani (19) ifodaga kuysak:

$$J_n = n_i e \mu_n E \quad (21)$$

Ushbu ifodadagi $n_i e \mu_n$ ko'paytma, solishtirma elektron o'tkazuvchanlik σ_n ni ifodalaydi.

$$J_n = \sigma_n E \quad (22)$$

Xuddi shu tariqa kovaklar uchun ham tok zichligini yozishimiz mumkin:

$$J_p = p_i e \mu_p E \quad (23)$$

Xususiy yarim o'tkazgichda dreyf tok zichligining to'la qiymati:

$$J_{op} = n_i e \mu_n E + p_i e \mu_p E = (\sigma_n + \sigma_p) E \quad (24)$$

Solishtirma o'tkazuvchanlikni to'la qiymati esa:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = n_i e (\mu_n + \mu_p) \quad (25)$$

Shunday qilib, solishtirma o'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga va ularning harakatlanuvchanligiga bog'liq bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarda harorat oshganda zaryad tashuvchilarning generatsiyasi hisobiga harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi oshadi, shuning uchun

harorat ko‘tarilganda o‘tkazuvchanlik oshadi. Eslatib o‘tamiz hamma vaqt $\mu_n > \mu_p$ vam mos ravishda hamma vaqt $\sigma_p < \sigma_n$.

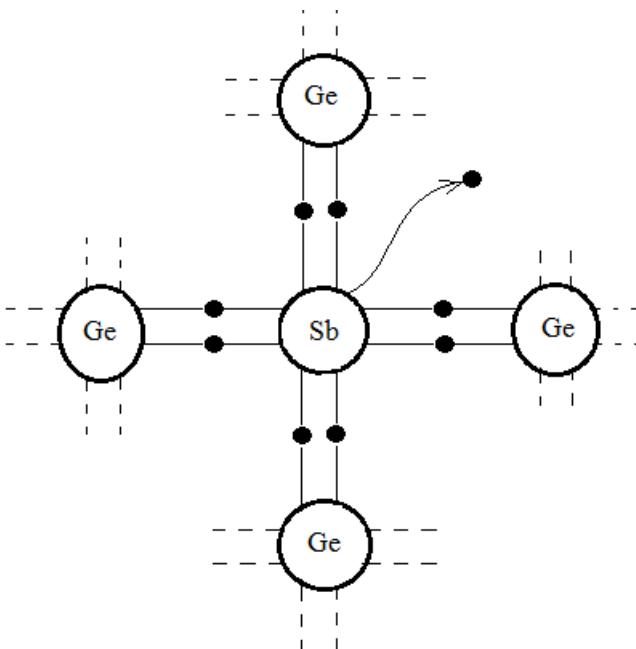
ARALASHMALI ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIK

Yuqorida ko‘rib chiqilgan o‘tkazuvchanlikni hosil kilish usuli rasional emas. Chunki amalda o‘tkazuvchanlik turlaridan biri –yo elektron, yo kovak o‘tkazuvchanligi asosiy qilib olinadi. Uni sof germaniy (yoki kremniy) kristalliga begona modda qo‘sib qotishma tayyorlash yo‘li bilan amalgalashiriladi. Kiritilgan begona moddaning (aralashmaning) miqdori asosiy kristall miqdoriga nisbatan juda oz bo‘ladi.

Yarim o‘tkazgichning muhim xususiyati shundan iboratki, ularda aralashmalar bo‘lsa, *aralashmali o‘tkazuvchanlik* deb ataladigan qo‘sishimcha o‘tkazuvchanlik paydo bo‘ladi. Aralashmaning konsentratsiyasini o‘zgartirib, musbat yoki manfiy ishorali zaryad tashuvchi zarralar sonini ancha o‘zgartirish mumkin. Yarim o‘tkazgichlarning bu xususiyati amalda ko‘llanishga keng imkoniyatlar ochib beradi.

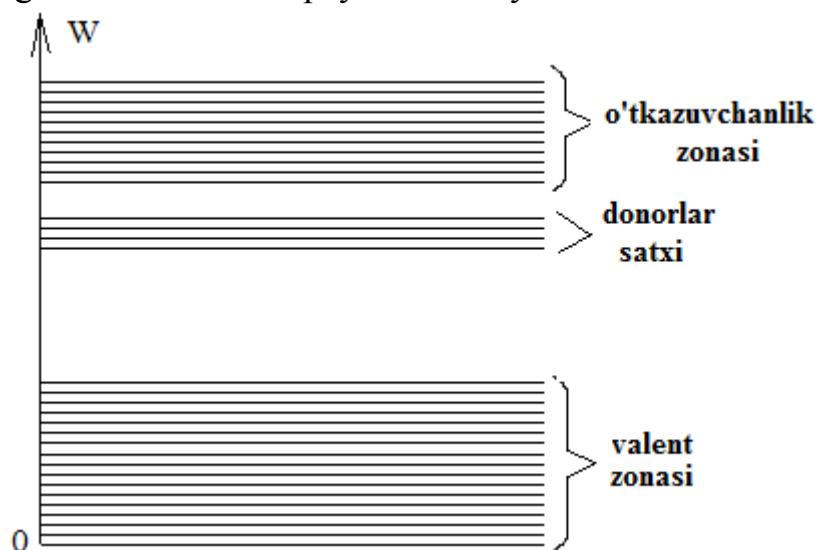
Yarim o‘tkazgichda juda oz konsetratsiyada aralashma bo‘lsa, masalan, to‘rt valentli bo‘lgan germaniyga valentlik soni beshga teng bo‘lgan surma (Sb) yoki mishyak (As) yoki fosfor (P) atomlari qo‘silsa, erkin elektronlar soni ko‘p marta ortadi. Buning sababi quyidagicha. Kirishma atomlarining valentlik elektronlari beshta bo‘ladi. Ulardan to‘rta elektroni ushbu atom bilan germaniy atomi orasida kovalent bog‘lanish hosil qilishida ishtirok etadi. Beshinchi valentlik elektroni esa o‘z atomi bilan zaif bog‘langan. Bu elektron kirishma atomidan osongina chiqib ketib, erkin bo‘lib qoladi.

Elektronlarni oson beradigan va binobarin, erkin elektronlari sonini oson ortiradigan aralashmalar *donor aralashmalar* deb ataladi. Elektronini yo‘qotgan donor atomlarining o‘zi esa musbat ionga aylanib qoladi (12-rasmda).



12-rasm. Aralashmali elektron o'tkazuvchanlikni hosil bo'lishi

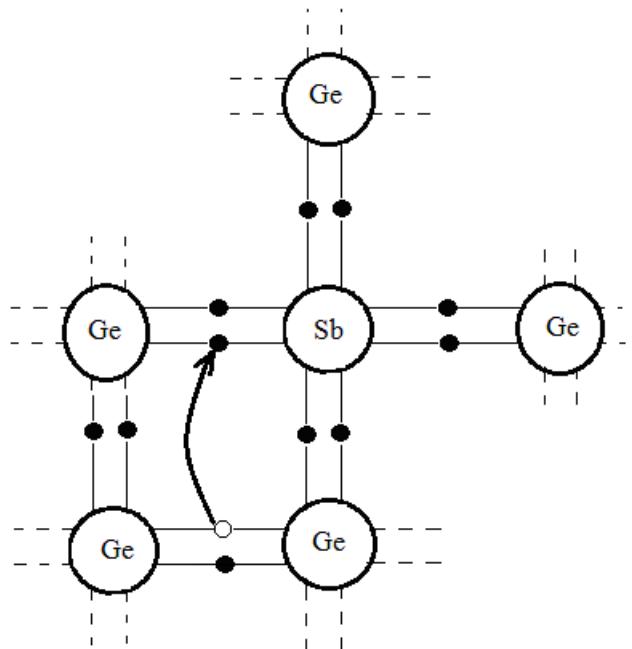
Donor aralashma qo'shilgan yarim o'tkazgichlarda elektronlar soni teshiklar sonidan ko'p bo'lgani uchun bunday yarim o'tkazgichlar *n-tip* yarim o'tkazgich deb ataladi. Bunday yarim o'tkazgichning zonalar diagrammasi 13-rasmida ko'rsatilgan. Donor atomlarining energetik sathi asosiy yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanlik zonasidan bir oz pastda joylashadi. Shuning uchun har bir donor atomidan bittadan elektron osongina o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi va shu tariqa o'tkazuvchanlik zonasida donor atomlariga teng bo'lgan qo'shimcha elektronlar paydo bo'ladi. Bu holatda donor atomlarining o'zida esa shuning o'zida esa kovak paydo bo'lmaydi.



13-rasm. *n-tipli* yarim o'tkazgichni zonalar diagrammasi

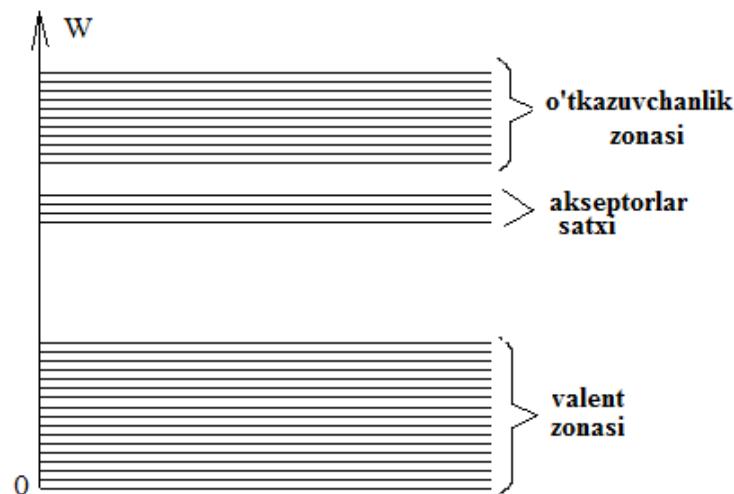
Aralashma sifatida uch valentli indiy (In), yoki bor (B), yoki alyumniy (Al) olinsa yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligining xarakteri o'zgaradi. Bu holda kirishma atomi qo'shni atomlar bilan juft elektronli normal bog'lanish hosil qilishi uchun unga bitta elektron yetishmaydi. Natijada kovak hosil bo'ladi. Bu

holda kristalldagi kovaklar soni aralashmaning atomlari soniga teng bo‘lib qoladi. Bunday aralashma *akseptor aralashmalar* deb ataladi. Akseptor atomi o‘zi esa manfiy zaryadlanib qoladi. 14-rasmda germaniy atomlari orasida joylashgan akseptorli aralashma atomining qanday qilib qo‘shni germaniy atomining elektronini tutib olishi va natijada germaniy atomida kovak hosil bo‘lishi sxematik tarzda tasvirlangan.



14-rasm. Aralashmali kovak o‘tkazuvchanlikni hosil bo‘lishi

Akseptor aralashma qo‘shilgan yarim o‘tkazgichlarda kovaklar soni elektronlar sonidan ko‘p bo‘lgani uchun bunday yarim o‘tkazgichlar *p-tip* yarim o‘tkazgich deb ataladi (15-rasm). Akseptor atomlarining energetik sathi asosiy yarim o‘tkazgichning valentlik zonasidan bir oz yuqoriyoqda joylashadi. Bu sathga valentlik zonasidan elektron osongina o‘tadi va u yerda kovak hosil bo‘ladi.



15-rasm. *p-tipli* yarim o‘tkazgichni zonalar diagrammasi

Aralashmali o'tkazuvchanlik xususiy o'tkazuvchanlikdan ustun bo'lishi uchun, donorli aralashma atomlarining konsentratsiyasi N_d , yoki akseptor atomlarining konsentratsiyasi N_a xususiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasidan ko'p bo'lishi kerak. Odatda, aralashmali yarim o'tkazgichlarni ishlab chiqarishda N_a yoki N_d miqdorini n_i yoki p_i miqdoriga nisbatan ancha ko'p bo'ladi. Masalan, germaniy uchun uy haroratida $n_i = p_i = 10^{13} \text{ sm}^{-3}$ bo'lsa, N_a va N_d ning konsentratsiyasi $10^{15}-10^{18} \text{ sm}^{-3}$ bo'ladi ya'ni, xususiy bo'lgan zaryad tashuvchilarga konsentratsiyasiga nisbatan 10^2-10^5 marta katta bo'ladi.

Yarim o'tkazgichda konsentratsiyasi ko'p bo'lgan zaryad tashuvchilar *asosiy zaryad tashuvchilar* deb ataladi. Masalan n -turli yarim o'tkazgichda elektronlar, p -turli yarim o'tkazgichda esa kovaklar asosiy zaryad tashuvchilar hisoblanadi. Yarim o'tkazgichda konsentratsiyasi kam bo'lgan zaryad tashuvchilar esa mos ravishda *asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar* 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 rekombinatsiya markazlari deb atalgan joylarda sodir bo'ladi. Bunday markazlar vazifasini donor yoki akseptor elementlarning tugunlari-atomlari bajaradi. Shuning uchun begona elementlarning miqdori ortishi bilan rekombinatsiya markazlari ham ko'payadi va asosiy tok tashuvchilarning yashash vaqt qisqaradi. Bu xol begona elementning miqdori va turini tanlashda albatta hisobga olinishi kerak.

YaRIM O'TKAZGICHLARDA ZARYAD TASHUVCHILARNING DIFFUZIYASI

Yarim o'tkazgichlarda o'tkazuvchanlik toki (dreyf toki)dan tashqari yana *diffuziya toki* ham mavjud bo'lib, u tok potensiallar farqi hisobidan emas balki zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining farqi sababidan sodir bo'ladi. Agar zaryad tashuvchilar yarim o'tkazgich bo'ylab tekis taqsimlangan bo'lsa, u holda ularning konsentratsiyasi *muvozonatda* deb ataladi. Biror bir tashqi ta'sir ostida yarim o'tkazgichning turli sohalarida konsentratsiya turlicha- *nomuvozonatda* bo'lishi mumkin. Masalan, yarim o'tkazgichni bir qismini nurlanishga uchratsak, bu qismda zaryad tashuvchilar juftligining generatsiyasi kuchayadi va qo'shimcha zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi paydo bo'ladi. Zaryad tashuvchilar o'zining kinetik energiyasi tufayli hamma vaqt konsentratsiyasi kattaroq bo'lgan joydan konsentratsiyasi kichikroq bo'lgan joyga siljib muvozonatni tiklashga harakat qiladi. Diffuziya hodisasi nafaqat harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarga, balki barcha jims zarralari uchun ham ta'alluklidir.

Diffuziya hodisasi tufayli zaryad tashuvchilar (elektronlar va kovaklar) ning harakatini *diffuziyasi toki* (i_{diff}) deb ataladi. Bu tok xuddi o‘tkazuvchanlik toki kabi elektronli yoki kovakli bo‘lishi mumkin va uning zichligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

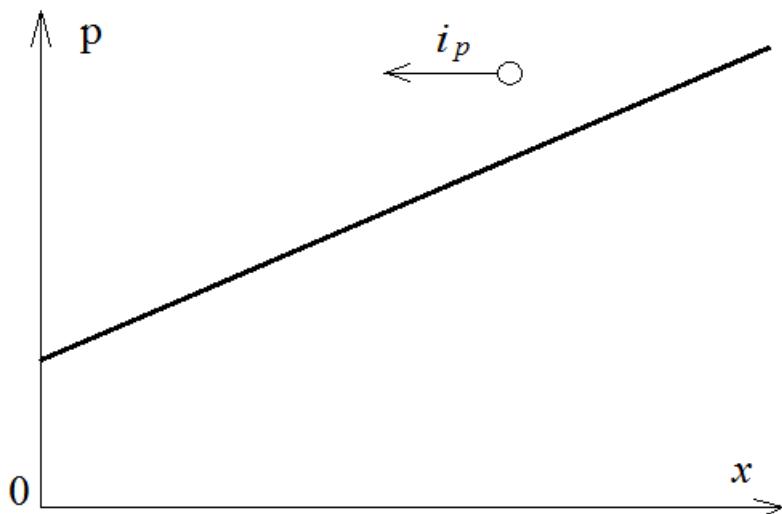
$$J_{n\partial\partial u} = eD_n \Delta n / \Delta x \quad \text{va} \quad J_{p\partial\partial u} = -eD_p \Delta p / \Delta x \quad (26)$$

bu yerda $\Delta n / \Delta x$ va $\Delta p / \Delta x$ - konsetratsiya gradienti, D_n va D_p - diffuziya koeffisienti deb ataladi.

Konsentratsiyasi gradienti x o‘qi bo‘yicha konsentratsiyaning qanchalik keskin o‘zgarishini xarakterlaydi, ya’ni birlik uzunlikda n yoki p konsentratsiyaning o‘zgarish qiymatini ko‘rsatadi. Agar konsentratsiyalar farqi bo‘lmasa, unda $\Delta n = 0$ yoki $\Delta p = 0$ bo‘ladi va diffuziya toki sodir bo‘lmaydi. Berilgan masofa Δx da konsentratsiyaning o‘zgarishi Δn yoki Δp lar qanchalik katta bo‘lsa, diffuziya toki ham shuncha katta bo‘ladi.

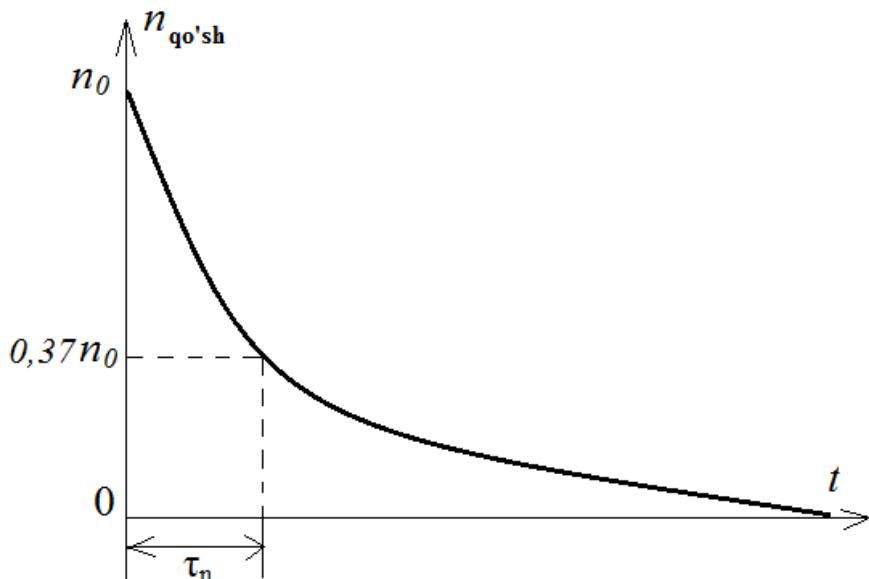
Diffuziya koeffisienti diffuziya jarayonining intensifligini ko‘rsatuvchi kattalik bo‘lib, zaryad tashuvchilar xarakatlanuvchanligiga proporsionaldir va turli jimslar uchun turlicha, hamda haroratga bog‘liqdir. Uning o‘lchov birligi - sm^2/c . Elektron uchun diffuziya koeffisienti hamma vaqt kovaklarnikiga qaraganda kattaroqdir. Masalan, uy haroratida germaniy uchun $D_n = 98$ va $D_p = 47 \text{ sm}^2/\text{c}$, kremniy uchun esa $D_n = 34$ va $D_p = 12 \text{ sm}^2/\text{c}$.

Kovakli diffuziya tokining zichligi formulasidagi «minus» ishoraning qo‘yilishiga sabab, kovak toki kovaklar konsentratsiyasining kamayishi yo‘nalishi tomon yo‘nalgan bo‘ladi. Buni 16-rasm yordamida tushuntirish mumkin. Grafikdan ko‘rinadiki, agar x koordinataning oshishi bilan kovaklar konsentratsiyasi ko‘paysa, u holda kovaklar x o‘qi musbat yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘nalishda harakat qiladi. Mos ravishda, bu holda kovak tokini manfiy deb olish kerak.



16-rasm. Zaryad tashuvchilarning har xil konsentratsiyasidagi kavoklarning harakati

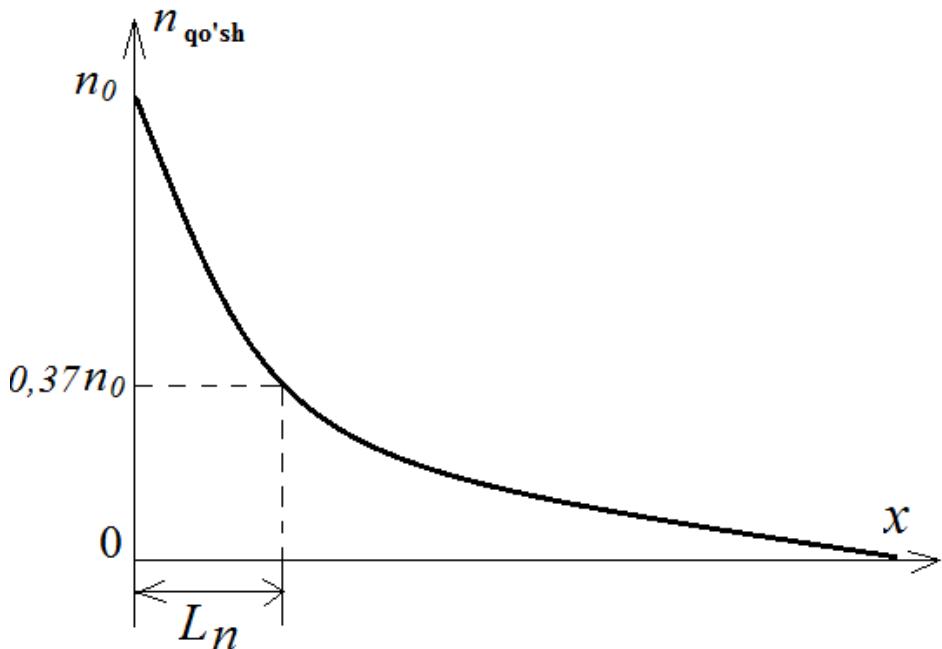
Agar biror bir tashqi ta'sir ostida yarimo'tkazgichning bir qismida qo'shimcha zaryad tashuvchilar hosil qilinib tashqi ta'sir olib tashlansa, unda qo'shimcha hosil bo'lgan zaryad tashuvchilar rekombinatsiyaga uchraydi va diffuziya natijasida yarim o'tkazgichning boshqa qismlariga ham tarqaladi. Elektronlar uchun hosil qilingan qo'shimcha konsentratsiya eksponensial qonun asosida kamayib boradi (17-rasm). Qo'shimcha konsentratsiya 2,7 marta kamayishi uchun ketgan vaqt, ya'ni n_0 boshlang'ich qiymatining 0,37% qismiga teng bo'lishi uchun ketgan vaqt nomuvozanatli zaryad tashuvchilarning *yashash vaqt* τ_n deb ataladi. Bu kattalik qo'shimcha konsentratsiyaning vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalaydi.



17-rasm. Qo'shimcha konsentratsiyaning vaqt davomida o'zgarishi

Nomuvozanatli zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi yarim o'tkazgichning ichida va sirtida sodir bo'ladi, hamda aralashmalarga, sirt holatiga kuchli bog'liq bo'ladi. Turli holatlarda germaniy va kremniy uchun τ_n ning qiymati mikrosekundning ulushlaridan bir necha yuz mikrosekundgacha bo'lishi mumkin.

Nomuvozanatli zaryad tashuvchilarning, masalan elektronlarning yarim o'tkazgich bo'ylab diffuziyali tarqalishi natijasida rekombinatsiya tufayli masofa oshishi bilan ularning konsentratsiyasi eksponensial qonun asosida kamayib boradi (18-rasm). Nomuvozananli zaryad tashuvchilarning qo'shimcha konsentratsiyasi 2,7 marta kamayganda, ya'ni zaryad tashuvchilar n_0 boshlang'ich qiymatining 0,37% qismiga teng bo'lishi uchun sarflangan masofa L_n ni *diffuzion uzunlik* deb ataladi. U qo'shimcha konsentratsiyaning fazodagi kamayish darajasini ifodalaydi.



18-rasm. Qo'shimcha konsentratsiyaning fazodagi o'zgarishi

Shunday qilib, qo'shimcha qarshilikni kamayishi fazo va vaqt bo'yicha sodir bo'ladi va shuning uchun τ_n va L_n qiymatlar bir-biri bilan quyidagicha bog'langan:

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad (27)$$

O'tkazuvchanlik toki va diffuziya toki, juft zaryad tashuvchilarning geneatsiyasi va rebombinatsiyasi, zaryad tashuvchilarning qo'shimcha konsentrasiyasining fazo va vaqt bo'yicha o'zgarishi yarimo'tkazgichda sodir bo'ladigan turli tuman murakkab jarayonlarga ta'siri muhim ahamiyatga ega bo'lib, ularni o'rganish yarimo'tkazgichli qurilmalarni ishlashini to'g'ri tushunishga imkon beradi.

TAShQI KUCHLANISH ULANMAGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH

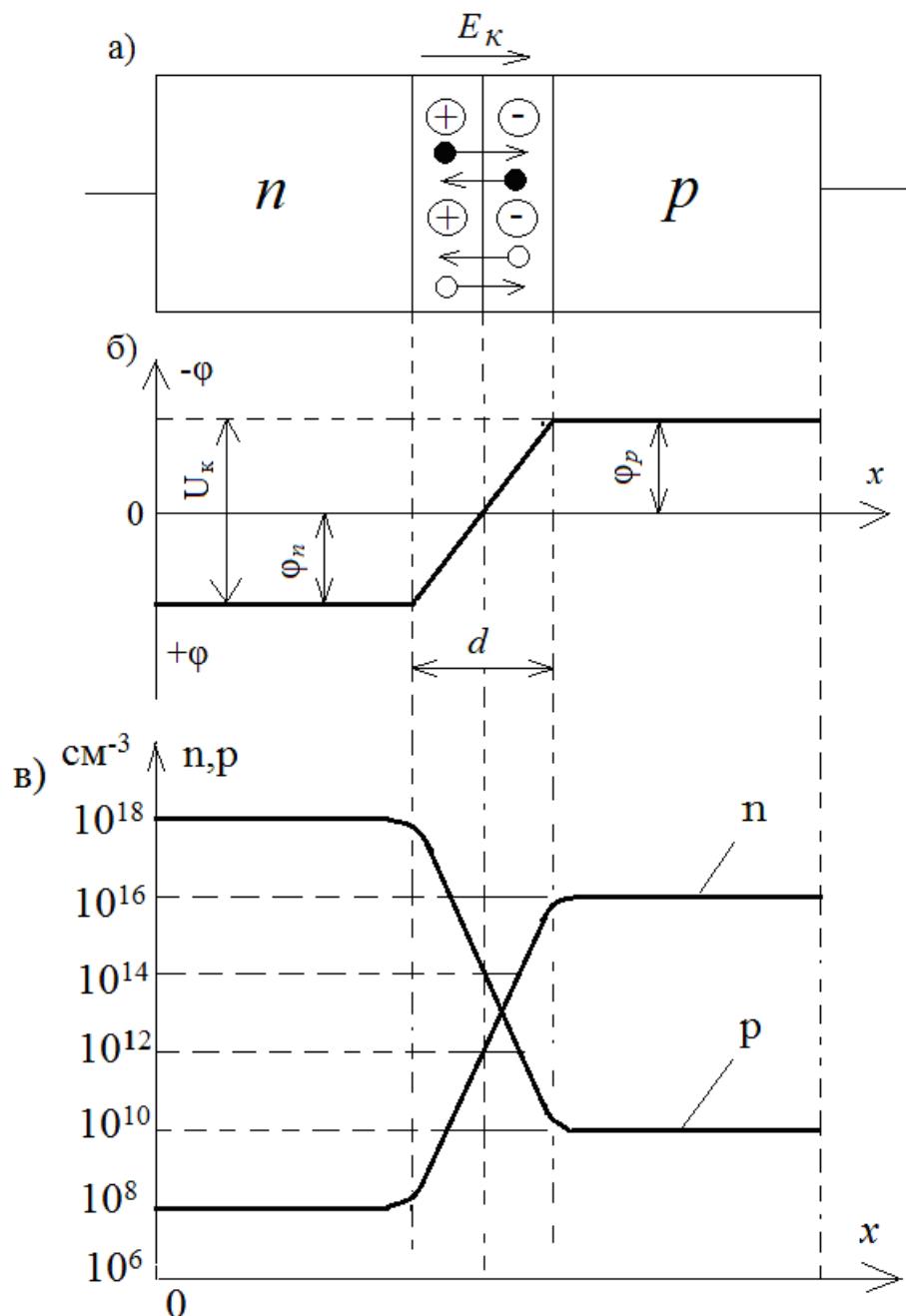
P-n o'tish hodisasi o'tkazuvchanliklari turlicha bo'lgan yarim o'tkazgichlarni kontaktga keltirish natijasida hosil bo'ladi. Lekin bunda yarim o'tkazgichlarning mexanik kontakti *p-n* o'tishni hosil qilolmaydi, chunki ular orasida ideal kontakt hosil kilish mumkin emas. Shuning uchun yagano yarim o'tkazgich kristalli olinib, shartli ikki bo'lak deb qaraladi va ularda turli ishorali o'tkazuvchanlik hosil qilinadi. Shartli bo'laklar orasidagi yupqa qatlam kontakt sohasi deb qaraladi. Elektron-kovak o'tishi nosimetrik o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni nochiziqli qarshilikka ega.

Faraz qilaylik, Germaniy (yoki kremluy) monokristallida turli ishorali o'tkazuvchanlik hosil qilingan bo'lsin. Oson bo'lishi uchun donor va akseptor moddalarning miqdorini bir xil deb hisoblaymiz. Unda turli ishorali tok tashuvchilarning miqdori ham teng bo'ladi.

Kontaktga keltirishning boshlang‘ich vaqtida p - sohadagi kovaklar miqdori n -sohadagidan, n -sohadagi elektronlar miqdori p -sohanikidan katta bo‘ladi. Shuning uchun kontakt sohasiga tok tashuvchilarning diffuziyasi vujudga keladi. Bunda n -sohadagi elektronlar p -soha tomon, p -sohadagi kovaklar esa n -soha tomon ko‘chadiki, unga bir xil ishorali zaryadlarning itarilishi yoki turli ishorali zaryadlarning tortilishi sabab bo‘lmaydi. Diffuziya hosil bo‘lishining asosiy sababi kontakt sohadagi tok tashuvchilar konsentratsiyasining turlicha bo‘lishidir. 19a –rasmda elektron va kovaklarning diffuzion harakatlari ko‘rsatilgan. Plyus va minus ishorali doirachalar donorli va akseptorli aralashmalarining mos ravishda musbat va manfiy zaryadlangan atomlarini ifodalaydi.

Zaryad tashuvchilarning diffuziyasi natijasida turli xil o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan yarimo‘tkazgichlarning kontakt chegarasining ikki tomonida turli xil ishorali hajmiy zaryadlar hosil bo‘ladi. n -sohada musbat hajmiy zaryad hosil bo‘ladi. U asosan musbat zaryadlangan donorli aralashma atomlari va bu sohasida uncha ko‘p bo‘lмаган darajada kirib kelgan kovaklar hisobidan hosil bo‘ladi. Xuddi shu tariqa p sohaga, manfiy zaryadlangan akseptorli aralashma atomlari va qisman bu sohaga kirib kelgan elektronlar hisobidan hosil bo‘lgan manfiy hajmiy zaryad hosil bo‘ladi.

Xosil bo‘lgan hajmiy zaryadlar orasida *kontak potensiallar farqi* $u_{\kappa} = \varphi_n - \varphi_p$ va elektr maydon (kuchlanganlik vektori E_k) hosil bo‘ladi. Uning yo‘nalishi shundayki, asosiy tok tashuvchilarning ko‘chishiga imkon beradi. Zaryadlarning ko‘chishi elektr maydon kuch chiziqlari bo‘yicha bo‘lgani uchun uni *dreyf toki* deyiladi. 19,b-rasmida kurilayotgan xol uchun, ya’ni p - n o‘tishga tashqi kuchlanish berilmagan holdagi potensial diagramma tasvirlangan. Ushbu diagrammada nolinchi potensial sifatida chegaraviy qatlam potensiali olingan bo‘lib, unda ikki x o‘qi bo‘ylab potensialning taqsimoti tasvirlangan. Albatta nolinchi potensial sifatida n yoki p sohaning potensiali olinsa ham bo‘lar edi. 19-rasmida va bundan keyingi rasmlarda jarayonni tushunish maqsadida masshtab to‘g‘ri tanlanmagan. Aslida, p - n o‘tishning qalinligi n yoki p sohaning o‘lchamlariga nisbatan judayam kichikdir.



19-rasm. tashqi kuchlanish bo‘limgan holatda elektron-kovak o‘tish

Ta’kidlash kerakki, har xil ishorali hajmiy zaryadlar *n* va *p* sohalarning kontak chegarasi yaqinida hosil bo‘ladi, musbat potensial ϕ_n yoki manfiy potensial ϕ_p esa *n* yoki *p* sohaning hamma yerida bir xilda hosil bo‘ladi. Agar *n* yoki *p* sohaning turli qismlarida potensial turlicha bo‘lganda, ya’ni potensiallar farqi vujudga kelganda, elektr toki hosil bo‘lib, natijada baribir ham ushbu qismda potensiallar tenglashgan bo‘lar edi. Shuni yodda tutish kerakki, zaryad va potensial turlicha fizik ma’noga ega. Qaerda elektr potensial bo‘lsa u yerda zaryad bo‘lishi shart emas.

Bundan ko‘rinadiki, *p-n* o‘tishda zaryad tashuvchilarning diffuziyali harakatiga to‘sinqilik qiluvchi potensial to‘siq vujudga keladi. 19b-rasmda

chapdan unga (n sohadan p soha tomon) diffuziya hodisasi tufayli harakatlanayotgan elektronlar uchun potensial to'siq tasvirlangan.

Kontakt sohadagi zaryadlarga kambag‘al bo‘lgan soha yarim o‘tkazgichning kovak va elektron o‘tkazuvchanligiga ega qatlamlarini bir-biridan ajratib turadi. Bu qatlam *to’siq qatlam* deb, hosil bo‘lgan potensiallar ayirmasi esa, *potensial to’siq* deb ataladi. Ko‘rib o‘tilgan jarayon $p-n$ o‘tish hodisasi yoki $p-n$ o‘tish deb ataladi.

Potensial to‘siqning balandligi kontakt potensiallar farqiga teng bo‘lib, odatda voltning ulushlarini tashkil qiladi. Aralashmalar konsentratsiyasi qanchalik katta bo‘lsa, asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi shuncha katta bo‘ladi va chegara qatlamdan diffuziyalanayotganlar soni ham shuncha ko‘p bo‘ladi. Hajmiy zaryadlarning zichligi ko‘payadi va kontakt potensiallar farqi u_{κ} , ya’ni potensial to‘siqning balandligi ortadi. Bu holda kontakt chegarasi yaqinida hosil bo‘lgan hajmiy zaryadlarning qalinligi va mos ravishda $p-n$ o‘tishning qalinligi d kichrayadi. Masalan, germaniy uchun, aralashmalarning o‘rtacha konsentratsiyasida $u_{\kappa} = 0,3 - 0,4B$ va $d = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm}$, ayrim qurilmalar uchun hosil qilinadigan katta konsentratsiyalari uchun esa $u_{\kappa} \approx 0,7B$ va $d = 10^{-6} \text{ cm}$.

Kontakt sohasidan asosiy zaryad tashuvchilarning diffuziyali ko‘chishi bilan bir vaqtida kontakt potensiallar farqi hosil qilgan elektr maydon ta’sirida zaryad tashuvchilarning teskari ko‘chishi ham kuzatiladi. Bu elektr maydon n sohadagi kovaklarni teskarisiga p soha tomon va p sohadagi elektronlarni esa n soha tomon ko‘chiradi. Asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning bunday ko‘chishi (dreyf) 19a-rasmida ham tasvirlangan. O‘zgarmas haroratda $p-n$ o‘tish dinamik muvozanat holatida bo‘ladi. Kontakt sohasidan har bir sekunda qarama-qarshi yo‘nalishda ma’lum bir sondagi elektronlar va kovaklar diffuziyalanadi va elektr maydon ta’sirida esa shuncha sondagi elektronlar va kovaklar orqaga harakatlanishga majbur bo‘ladi.

Bizga ma’lumki, duffuziya hodisasi tufayli zaryad tashuvchilarning ko‘chishi – bu diffuziya toki (i_{dif}), maydon ta’siridagi ko‘chishi esa – dreyf toki (i_{dr})dir. Diffuziya toki bilan dreyf toki tenglashganda muvozanat hosil bo‘ladi. U *dinamik muvozanat* deyiladi. Unda vaqt birligi ichida qarama-qarshi yo‘nalishda o‘tuvchi tok tashuvchilarning soni o‘zaro teng bo‘ladi. Shuning uchun kontakt sohasidan o‘tuvchi to‘la tokning qiymati nolga teng bo‘ladi. Toklarning har birida, diffuziyali tokda i_{dif} ham dreyf tokida i_{dr} ham elektronli va kovakli tashkil etuvchilari mavjud. Lekin bu tashkil etuvchilarning qiymati turlichadir, chunki ular zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga va harakatlanuvchanligiga bog‘liq bo‘ladi. Potensial to‘siqning balandligi hamma vaqt dinamik muvozanat holatining vujudga kelishi, ya’ni diffuziya toki bilan dreyf toki tenglashishi bilan bog‘liqdir. Haqiqatdan ham, faraz qilaylik biror bir tashqi ta’sir ostida, masalan

haroratning oshishi tufayli diffuziya kuchaydi. Diffuziya toki ortadi va kontakt sohasidan diffuziyalanayotgan zaryad tashuvchilar soni ham ko‘payadi. Bu esa hosil bo‘lgan hajmiy zaryadlarning va mos ravishda kontakt sohasining ikki qismidagi potensialning ortishiga olib keladi. Natijada u_k ning qiymati ortadi, ya’ni o‘tishdagi elektr maydon kuchayadi va potensial to‘siqning balandligi ortadi. Lekin elektr maydonning kuchayishi mos ravishda dreyf tokining oshishiga sabab bo‘ladi, ya’ni zaryad tashuvchilarning teskari yo‘nalishda ko‘chishiga. $i_{df} > i_{dr}$ shart bajarilar ekan potensial to‘siqning balandligi ortishda davom etadi va oxiri oqibat i_{dr} tokining kuchayishi natijasida $i_{df}=i_{dr}$ muvozanat vujudga keladi va u_k ning keyingi ortishi kuzatilmaydi.

Potensial to‘siqning kattaligi ko‘chib o‘tgan tok tashuvchilarning konsentratsiyasi va temperaturaga bog‘lik bo‘ladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha_k = U_k \ln \frac{N_p}{n_e} = U_k \ln \frac{N_e}{n_p} = U_T \ln \frac{N_e N_p}{n_i^2} \quad (28)$$

bunda

N_p – p -sohadagi asosiy tok tashuvchilar (kovaklar)

N_e – n - sohadagi asosiy tok tashuvchilar (elektronlar)

n_p – p -sohadagi asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar

n_e – n - sizzadagi asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar

n_i – yarim o‘tkazgich kristallining xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi.

U_T kattalik *temperaturaviy potensiallar ayirmasi* yoki *temperatura potensiali* deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$U_T = \frac{kT}{q} \approx -\frac{T}{11600} \quad (29)$$

q -elektron zaryadi

k - 1,37 10 j/grad – Bolsman doimiysi.

T – absolyut temperatura

Temperatura potensialining fizik mohiyati shundan iboratki, u elektr birliklarda ifodalangan statistik temperatura yoki elektron gazdagi erkin elektronlarning o‘rtacha kinetik energiyasidir. Uy temperaturasida u 25 millivoltga teng bo‘ladi. Temperatura potensialining maksimal qiymati yarim o‘tkazgich materiali to‘siq zonasining kengligini ifodalovchi potensiallar ayirmasiga teng bo‘ladi.

19v-rasmda $p-n$ o‘tishda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining taqsimoti ko‘rsatirgan. Olingan konsentratsiya qiymatlari germaniy elementi uchun xarakterlidir. Asosiy va asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi bir-biridan millionlab marta farq qilishi sababidan chizmada vertikal o‘q bo‘yicha ular logarifli mashstabda qo‘yilgan. r va n sohadagi aralashmalar konsentratsiyasi turlicha bo‘ladi va xuddi shu holat chizmadan

tasvirlangan. n -tipli yarim o'tkazgichda asosiy va asosiy bo'lмаган зaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi mos ravishda $n_n=10^{18}$ va $p_n=10^8 \text{ sm}^{-3}$, p -tiplida esa aralashmalar konsentratsiyasi kamroq va shuning uchun $p_p=10^{16}$ va $n_p=10^{10} \text{ sm}^{-3}$ atrofida bo'ladi.

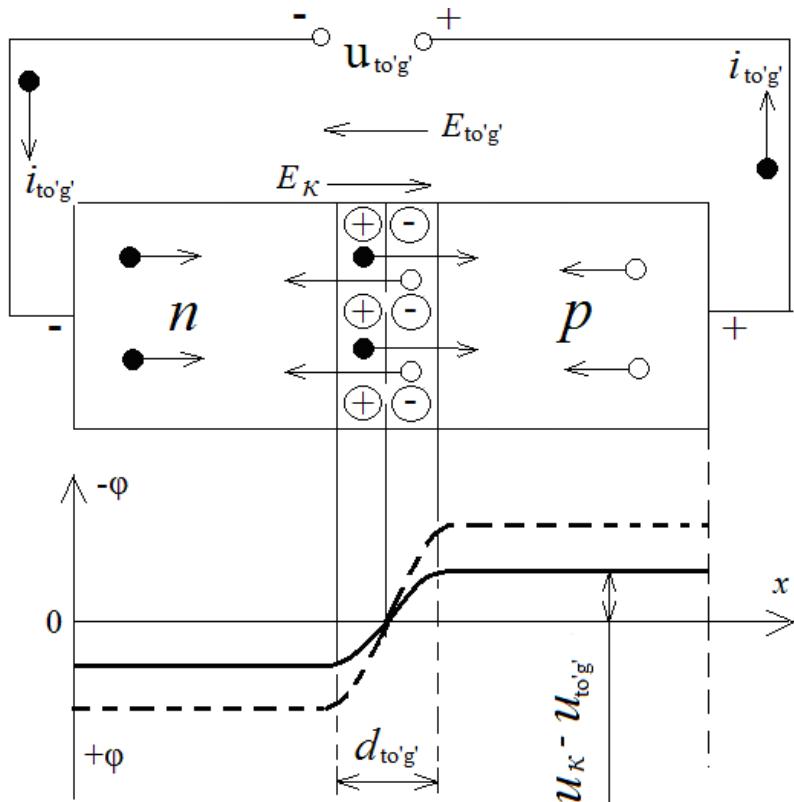
Ko'rinib turibdiki, p - n o'tishda elektronlar konsentratsiyasi 10^{18} dan 10^{10} sm^{-3} gacha, kovaklar konsentratsiyasi esa 10^{16} dan 10^{18} sm^{-3} gacha silliq o'zgaradi. Buning natijasida p - n o'tishning o'rta qismida ham sonli konsentratsiyali zaryad tashuvchilarning qatlami hosil bo'ladi. Masalan, kontakt chegarasida elektronlar konsentratsiyasi 10^{14} sm^{-3} ni tashkil qiladi, ya'ni u n sohaga nisbatan 10000 marta kichik, kovaklar konsentratsiyasi esa 10^{12} sm^{-3} bo'lib va u ham p sohaga nisbatan 10000 marta kichik. Mos ravishda p - n o'tishning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi p va n sohaning boshqa qismlaridagi solishtirma elektr o'tkazuvchanligidan juda ko'p marta kichikdir. Kontakt sohasida bunday kambag'allashirilgan sohaning vujudga kelishi kondensator qoplamlariga turlicha zaryadga ega bo'lgan ikki qatlamni hosil qiladi. Natijada u potensiallar ayirmasi φ_k va maydon kuchlanganligi Y_{e_k} bo'lgan elektr maydonini hosil qiladi.

Shunday qilib, p - n o'tishda *yopiluvchi* deb nomlangan qatlam vujudga keladi va uning qarshiligi n yoki p yarim o'tkazgichning boshqa qismlaridagi qarshiliklaridan ancha katta bo'ladi.

TO'G'RI KUCHLANISH ULANGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH

Faraz qilaylik tashqi kuchlanishning musbat qutbi p -tipli yarimo'tkazgichga, manfiy qutbi esa n -tipli yarim o'tkazgichga ulangan bo'lsin (20a-rasm). Bundan kuchlanish, ya'ni kuchlanishning qutblari asosiy zaryad tashuvchilarning qutblari bilan mos tushishi *to'g'ri kuchlanish* deb ataladi. *To'g'ri kuchlanish* u_{tug} ta'sirida p - n o'tish orqali *to'g'ri* tokning oqishini 20b-rasmdagi potensial diagramma orqali tushuntirish mumkin.

To'g'ri kuchlanish p - n o'tishda hosil qilgan elektr maydon kontakt potensiallar farqi hosil qilgan maydonga qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir qiladi. Bu rasmda E_k va E_{tug} vektorlar orqali tasvirlangan. Natijaviy maydon esa kuchsizrok bo'ladi va p - n o'tishdagi potensiallar farqi kamayadi, ya'ni, potensial to'siqning balandligi kamayib diffuziyali tok ortadi, chunki kichik potensial to'siqni katta miqdordagi zaryad tashuvchilar yengib o'tadi. Dreyf toki esa bu holatda deyarli o'zgarmaydi.



20-rasm. To‘g‘ri kuchlanish ulangan elektron-kovak o‘tish

Bizga ma’lumki, dreyf toki asosan, o‘zlarining issiqlik harakatlari bilan p va n sohalardan $p-n$ o‘tishga yetib kelgan asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning soniga bog‘liq bo‘ladi. Agar p va n sohalarning qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvini hisobga olmasak, unda $p-n$ o‘tishdagi kuchlanishni $U_K - U_{mye}$ ga teng deb olishimiz mumkin. Solishtirish uchun 20b-rasmdagi puktr chiziqlar tashqi kuchlanish bo‘lmagan holatdagi potensial diagrammani ifodalaydi.

Bizga ma’lumki, bu holatda i_{dif} va i_{dr} toklari o‘zaro teng bo‘lib bir-birini kompensasiyalaydi. To‘g‘ri kuchlanish ulanganda $i_{\partial u\phi} > i_{\partial p}$ bo‘ladi va shuning uchun $p-n$ o‘tishdagi to‘la tok, ya’ni to‘g‘ri tok nolga teng bo‘lmaydi:

$$i_{mye} = i_{\partial u\phi} - i_{\partial p} > 0 \quad (30)$$

Agar potensial to‘sinq yetarlicha kichik bo‘lsa $i_{\partial u\phi} \gg i_{\partial p}$, unda $p-n$ o‘tishdagi to‘g‘ri tokni diffuziyali tok $i_{mye} \approx i_{\partial u\phi}$ deb aytish mumkin.

Zaryad tashuvchilarni ular asosiy bo‘lmagan sohaga to‘g‘ri kuchlanish ta’siri ostida pasaygan potensial to‘sinq orqali kiritish *zaryad tashuvchilarning injeksiyasi* deb ataladi. «Injeksiya» suzi «kiritish», «sachratish» ma’nolarini anglatadi. Ushbu jarayonni, gazda yoki vakuumda erkin elektronlar paydo bo‘lishi bilan bog‘liq elektron emissiyadan farqlash maqsadida «injeksiya» terminini ishlatiladi Zaryad tashuvchilar injeksiyalanayotgan yarim o‘tkazgich sohasi *emitterli soha* yoki *emitter* deb ataladi. Asosiy bo‘lmagan zaryad

tashuvchilar injeksiyalanayotgan soha esa *baza sohasi* yoki *baza* deb ataladi. Shunday qilib, agar elektronlar injeksiyasi qaralayotganda *n* soha emitter, *p* soha esa baza hisoblanadi. Kovaklar injeksiyasi uchun teskari, ya’ni, *p* soha emitter, *n* soha esa baza hisoblanadi.

Odatda aralashmalar konsentratsiyasi va mos ravishda *n* va *p* sohadagi asosiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi turlicha bo‘ladi. Shuning uchun asosiy zaryad tashuvchilarning yuqori konsentratsiyali sohasidan elektronlarning injeksiyasi ko‘proq namoyon bo‘ladi. Shunga mos ravishda «emitter» va «baza» sohalari deb ataladi. Masalan, agar $n >> p$, bo‘lsa unda, *n* sohadan *p* sohaga injeksiyalanayotgan elektronlar miqdori teskari yo‘nalishda injeksiyalanayotgan kovaklarga miqdoridan ancha katta bo‘ladi. Ushbu holda emitter deb *n* sohani, baza deb esa *p* sohani olish mumkin, chunki kovaklar injeksiyasini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

To‘g‘ri kuchlanish ulangan nafaqat potensial to‘siq, balki taqiqlovchi qatlamning qalinligi ham kamayadi ($d_{tug} < d$) va to‘g‘ri yo‘nalishda uning qarshiligi kichik bo‘ladi (*1-10 Om*).

Tashki kuchlanish ulanmagan holatdagi potensial to‘siqning balandligi u_k voltning ulushlarini tashkil qilganligi sababli, potensial to‘siqning yetarlicha pasayishi uchun va mos ravishda taqiqlovchi qatlam qarshiliginini kamaytirish uchun *p-n* o‘tishga shuncha (voltning ulushlari miqdorida) to‘g‘ri kuchlanish berish kifoya. Shuning uchun katta miqdordagi to‘g‘ri tokni uncha katta bo‘lmagan to‘g‘ri kuchlanishda olish mumkin.

Ravshanki, to‘g‘ri kuchlanishning biror bir qiymatida *p-n* o‘tishdagi potensial to‘siqni umuman yo‘qotish mumkin. Unda *p-n* o‘tishning, ya’ni taqiqlovchi qatlam qarshiligi nolga yaqin bo‘ladi va uni bu holda hisobga olmasa ham bo‘ladi. Ushbu holda to‘g‘ri tok o‘sib boradi va faqat *p* yoki *n* soha qarshiliklariga bog‘liq bo‘lib qoladi. Endi bu qarshilikni hisobga olmaslikni iloji yo‘q, chunki aynan ular elektr zanjirni hosil qiladi va tok kuchining qiymatini belgilaydi. Buni misollar yordamida tushuntiramiz.

Faraz qilaylik, qaysidir dioda nolga yaqin bo‘lgan to‘g‘ri kuchlanishda taqiqlangan qatlamning qarshiligi *200 Om*, *p* va *n* sohaning qarshiliklari *Om* dan 5 bo‘lsin. Aniqki, bu holatda diodning to‘la qarshiligi $200+2\cdot5=210 \text{ Om}$, ya’ni *p-n* o‘tish qarshiligiga (*200 Om*) deyarli teng. Agarda to‘g‘ri kuchlanishning biror qiymatini ta’sirida potensial to‘siq yo‘qolib, *p-n* o‘tishning qarshiligi *0,5 Om* ni tashkil etsa, unda to‘la qarshilik $0,5+2\cdot5=10,5 \text{ Om}$ bo‘lib, *p-n* o‘tishning qarshiliginini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Endi esa 20a-rasmdagi elektr zanjirning turli qismlaridagi to‘g‘ri tokning o‘ziga xos xususiyatlarini ko‘rib chiqamiz. *n* sohadagi elektronlar *p-n* o‘tish orqali *p* sohaga va ularga qarshi *p* sohadan *n* soha tomon kovaklar ko‘chish

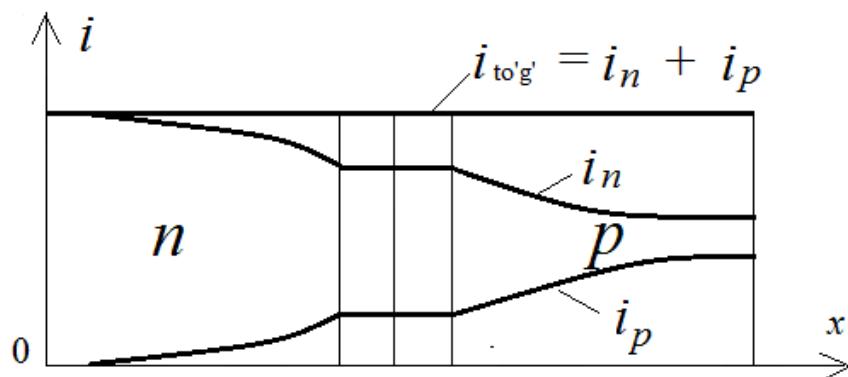
o‘tadi, ya’ni p - n o‘tish orqaligi ikki tok okadi: elektronli va kovakli. tashqi o‘tkazgichda albatta elektronlar harakatlanadi. Ular (elektronlar) manbaning manfiy yo‘nalishidan n soha tomon harakatlanadi va p sohadan diffuziyalangan kovaklar hisobidan rekombinatsiyaga uchragan elektronlarni kompensasiya qiladi. p sohadan esa elektronlar manbaning musbat qutbi yo‘nalishi tomon harakatlanadi va bu sohada yangi kovaklar hosil bo‘ladi. Bunday jarayon uzluksiz davom etadi va mos ravishda to‘g‘ri tok oqadi.

n sohaning chap qismida elektronli tok eng katta qiymatga ega bo‘ladi. p - n o‘tish chegarasiga yaqinlashgan sari bu tok kamayib boradi, chunki elektronlarga qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlanayotgan kovaklar bilan elektronlarning rekombinatsiya jarayoni jadallahib boradi. Lekin kovak i_p toki o‘sib boradi. Ixtiyoriy kesimda to‘g‘ri tokning qiymati i_{tug} bir xil bo‘ladi:

$$i_{\text{myz}} = i_n + i_p = \text{const} \quad (31)$$

Bu ketma-ket ulangan elektr zanjir qonunlaridan kelib chiqadi: bunday zanjirni har bir qismida tokning qiymati bir xil.

p - n o‘tishning qalinligi juda kichik va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ham kam bo‘lganligi sababidan unda zaryad tashuvchilar nisbatan kamroq rekombinatsiyaga uchraydi va bu yerda tok o‘zgarmaydi. Keyinchalik p sohaga injeksiyalangan elektronlar kovak bilan rekombinatsiyaga uchraydi. Shuning uchun p - n o‘tishdan p sohaning o‘ng tomoniga qarab uzoqlashgan sari i_n tok kamayishda davom etadi, kovak toki i_p esa ortib boradi. p sohaning ung chetida elektron toki i_n eng kichik qiymatni, kovak toki i_p esa eng katta qiymatini tashkil qiladi. 21-rasmida bunday toklarning o‘zgarishi x o‘qi bo‘ylab ko‘rsatilgan.



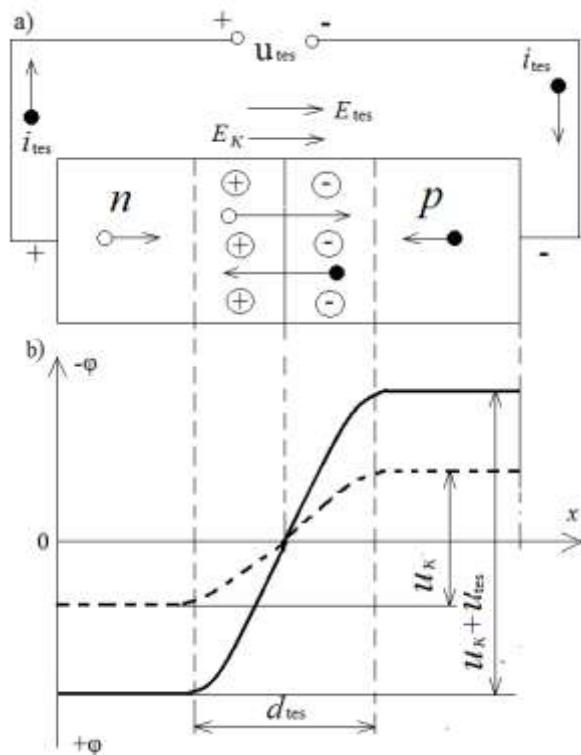
21-rasm. p - n o‘tishda elektronli va kovakli toklarning taqsimoti

Bu holatda $n_n > p_p$ bo‘lganligi sababli elektron toki i_n kovak tokidan ustun va elektronlar kovaklarga nisbatan ko‘proq harakatlanuvchandir. Albatta, to‘g‘ri kuchlanish ulanganda diffuziyali tokdan tashqari yana asosiy bo‘lmagan zaryad

tashuvchilar hosil qilgan dreyf toki ham mavjud. Lekin agar ularning qiymati juda kichik bo'lsa, u holda uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

TESKARI KUCHLANISH ULANGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH

Faraz qilaylik tashqi kuchlanishning musbat qutbi n -tipli yarimo'tkazgichga, manfiy qutbi esa p -tipli yarim o'tkazgichga ulangan bo'lsin (22a-rasm). Bunday *teskari kuchlanish* u_{tes} ta'sirida $p-n$ o'tish orqali judayam kichik *teskari tok* i_{tes} okib o'tadi. Buning sababi quyidagicha. Teskari kuchlanish hosil qilgan maydon, kontakt potensiallar farqi hosil qilgan maydon bilan qo'shiladi. 22a-rasmda ko'rish mumkinki, E_k va E_{tes} vektorlar bir xil yo'nalishida. Natijaviy maydon esa kuchayadi va bu holda potensial to'siqning balandligi $u_k + u_{mec}$ ga teng bo'ladi (22b-rasm). Potensial to'siq oshishi asosiy zaryad tashuvchilarining $p-n$ o'tish orqali diffuziyali ko'chishini to'xtatadi, ya'ni $i_{dif}=0$ bo'ladi, chunki zaryad tashuvchilarining xususiy tezligi potensial to'siqni yengib o'tishiga yetarli bo'lmaydi. O'tkazuvchanlik toki esa deyarli o'zgarmaydi, chunki u n va p sohalardan $p-n$ o'tishga yetib kelgan asosiy bo'lмаган zaryad tashuvchilar hisobidan hosil bo'ladi. Teskari kuchlanish hosil qilgan tezlatuvchan elektr maydon yordamida asosiy bo'lмаган zaryad tashuvchilarini $p-n$ o'tish orqali o'tkazish zaryad tashuvchilarining ekstraksiyasi deb ataladi.



22-rasm. Teskari kuchlanish ulangan elektron-kovak o'tish

Shunday qilib, teskari tok asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning ko‘chishi bilan bog‘liq bo‘lgan o‘tkazuvchanlik tokidir. Teskari tok juda kichik bo‘ladi, chunki asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar soni kam va bundan tashqari teskari kuchlanishda taqiqlovchi qatlamning qarshiligi juda katta. Xaqiqatdan ham, teskari kuchlanishning oshishi bilan p - n o‘tishdagi maydon kuchayadi va bu maydon ta’siri ostida kontakt yaqinidagi asosiy zaryad tashuvchilar n va p sohaning ichiga qarab ko‘chishga majbur bo‘ladi. Shuning uchun tesari kuchlanishning oshishi bilan nafaqat potensial to‘sinqning balandligi, balki taqiqlovchi qatlam qalinligi ham oshadi ($d_{tes} > d$). Bu qatlam yana ham zaryad tashuvchilarga kambag‘allahadi va uning qarshiligi keskin oshib ketadi $R_{mec} \gg R_{mye}$.

Tekari kuchlanishning nisbatan katta bo‘lmagan qiymatlarida teskari tok deyarli o‘zgarmas bo‘ladi. Bu asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar sonining chegaralanganligi bilan bog‘liqdir. Harorat oshishi bilan ularning konsentratsiyasi ortib, teskari tokning qiymati oshadi.

Teskari kuchlanish ulanganda teskari tokning qanday qilib yuzaga kelishini batafsilroq ko‘rib chiqamiz. Birinchi bo‘lib asosiy zaryad tashuvchilarning harakati bilan bog‘liq bo‘lgan o‘tkinchi jarayon yuzaga keladi. n sohadagi elektronlar manbaning musbat qutbi tomon yo‘nalishda harakatlanadi, ya’ni p - n o‘tishdan uzoqlashadi. p sohadan esa kovaklar p - n o‘tishdan uzoqlashib harakat qiladi. Ular manbaning manfiy qutbiga elektrod ulangan o‘tkazgichda harakatlanayotgan elektronlar bilan rekombinatsiyalashadi

n sohadan elektronlar chiqib ketishi sababidan bu sohada donorli aralashma atomlari musbat zaryadlanib qoladi. Xuddi shunga o‘xshab, p soha manfiy zaryadlanib qoladi, chunki u sohadagi mavjud kovaklar kirib kelayotgan elektronlar bilan to‘lada va u yerda manfiy zaryadlangan akseptorli aralashma atomlari qoladi.

Ko‘rib o‘tilgan asosiy zaryad tashuvchilarning bunday harakati juda kichik vaqtida sodir bo‘ladi. Bunday qisqa muddatli tok kondensatordagi zaryad tokiga o‘xshaydi. p - n o‘tishning ikki tomonida turli ishorali hajmiy zaryadlar vujudga keladi va butun tizim zaryadlangan kondensatorga o‘xshaydi. Lekin kondensatordagi tok Om qonuniga asosan kuchlanishga proporsional bo‘lsa, p - n o‘tishdagi teskari tok esa kuchlanishga nisbatan kamroq bog‘liq bo‘ladi.

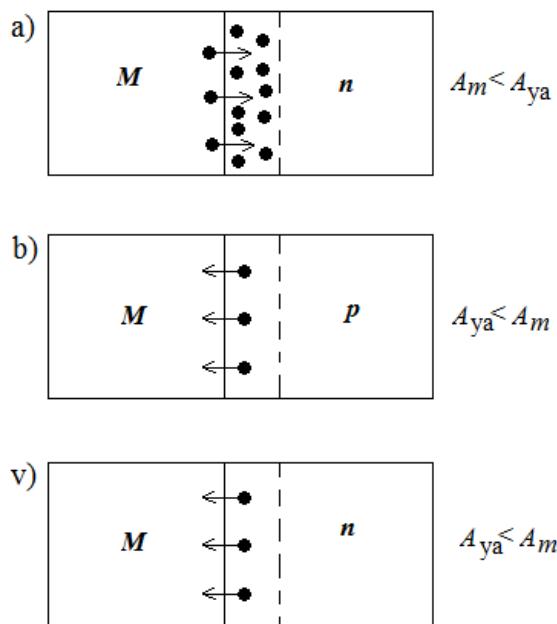
METALL-YaRIM O‘TKAZGICh O‘TISH

Zamonaviy yarimo‘tkazgich qurilmalarda elektron-kovak o‘tish kontaktlari bilan bir qatorda metall va yarimo‘tkazgich kontaktlari ham qo‘llanaliladi. Bunday o‘tishlardagi jarayon elektronlarning *chiqish ishiga* bog‘liq bo‘ladi, ya’ni elektronning metall yoki yarim o‘tkazgichdan chiqib ketishi uchun sarflanishi

zarur bo‘lgan energiyaga bog‘liq bo‘ladi. Chiqish ishi qancha kichik bo‘lsa, shuncha ko‘p elektronlar mazkur jimsdan chiqib ketishi mumkin. Turli xildagi metall-yarimo‘tkazgich o‘tishlari jarayonlarini ko‘rib chiqamiz (23-rasm).

Agar metall bilan n -tipli yarim o‘tkazgich kontaktida A_m metalldan elektronning chiqish ishi yarim o‘tkazgich chiqish ishidan A_{ya} kichik bo‘lsa, unda elektronlar metalldan yarim o‘tkazgich tomon harakatlanadi (23a-rasm). Shuning uchun yarim o‘tkazgichning kontakt yaqinidagi qatlamda asosiy zaryad (elektronlar) tashuvchilar to‘planadi va bu qatlam boyitilgan hisoblanib unda elektronlar konsentratsiyasi ko‘payadi.

Bu qatlamning qarshiligi, kuchlanish qutblaridan kat’iy nazar, kichik bo‘ladi va mos ravishda bunday o‘tish to‘g‘rilovchi xususiyatga ega bo‘lmaydi. Uni *omik kontakt* ham deb ataladi. Xuddi shunday omik kontakt p -tipli yarimo‘tkazgich va metall kontaktida ham sodir bo‘ladi (23b-rasm), agarda yarim o‘tkazgichdan elektronlarning chiqish ishi metallardan elektronlarning chiqish ishidan kichik bo‘lsa ($A_{ya} < A_m$). Bu holatda yarim o‘tkazgichdan metallga tomon o‘tayotgan elektronlar soni teskari yo‘nalishda harakatlanayotganlariga nisbatan ancha katta bo‘ladi va yarim o‘tkazgichning kontakt chegarasi yaqinida asosiy zaryad tashuvchilar (kovaklar) bilan boyitilgan, hamda kichik qarshilikki ega soha vujudga keladi. Omik kontaktlarning bu ikki turi ham yarim o‘tkazgich qurilmalarda (n va p sohalardan elektr zanjirga ulash uchun uchlik chiqarishda) keng qo‘llaniladi. Buning uchun mos keladigan metallni tanlash talab etiladi.



23-rasm. Metall va yarimo‘tkazgich kontakti

23v-rasmida ko‘rsatilgan o‘tish esa boshqacha xususiyatga ega. Agar metall bilan n -tipli yarim o‘tkazgich kontaktida $A_{ya} < A_m$ bo‘lsa, unda elektronlar

yarim o'tkazgichdan metallga o'tadi va yarim o'tkazgich kontakt chegarasida asosiy zaryad tashuvchilarga kabag'allashgan soha vujudga keladi va shuning uning qarshiligi katta bo'ladi. Bu yerda nisbatan yuqori potensial to'siq vujudga kelib, uning balandligi qo'yilgan kuchlanish qutblariga bog'liq ravishda o'zgaradi. Bunday o'tish to'g'rilovchi xususiyatga ega bo'ladi. Shunga o'xhash o'tishlar ustida o'z vaqtida nemis olimi V.Shotki tadqiqot ishlarini olib borgan va shuning uchun ushbu holatda hosil bo'lgan potensial to'siqni *Shotki tusig'i*, shunday potensial to'siqli diodni *Shodki diodi* deb yuritiladi. Shodki diodlarida elektron-kovak o'tishiga xarakterli bo'lgan asosiy bo'lмаган zaryad tashuvchilarning to'planib qolishi va surilish jarayoni mavjud emas. Zaryadlarning to'planishi va surilishi inersion jarayondir, ya'ni jarayoni kechishi uchun vaqt talab qilinadi. Shuning uchun Shodki diodlari oddiy diodlarga qaraganda yuqori tezkorlikka ega.

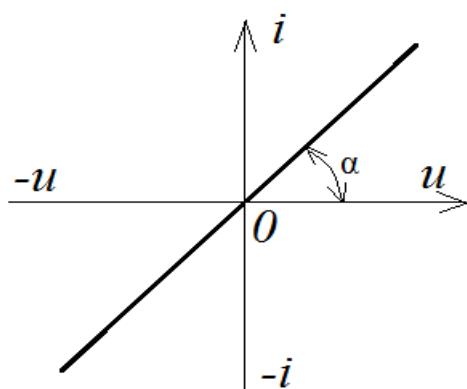
II-BOB. YaRIM O'TKAZGICHLI ASBOBLAR **YaRIM O'TKAZGICHL DIODNING VOLT-AMPER** **XARAKTERISTIKASI**

Ixtiyoriy elektr qurilma uchun unga qo'yilgan kuchlanish bilan qurilma orqali o'tuvchi tokning bog'liqligi muhim ahamiyatga ega. Bu bog'liqlikni olish orqali berilgan kuchlanishdagi tokni aniqlash imkoniyati bo'ladi yoki aksincha berilgan tok orqali kuchlanishni aniqlash mumkin.

Agar qurilmaning qarshiligi tok yoki kuchlanishga bog'liq bo'lmay o'zgarmas bo'lsa, unda tok va kuchlanish orasidagi bog'liqlikni Om konini ifodalaydi:

$$i = u/R \text{ yoki } i = G \cdot u \quad (32)$$

Tok kuchlanishga to'g'ri proporsional. Proporsionallik koeffisienti esa $G = 1/R$. Tok va kuchlanish orasidagi bog'liqlik grafigi berilgan qurilmaning *volt-amper xarakteristikasi* yoki shunkaki *xarakteristikasi* deb ataladi. Om qonuniga buysinadigan qurilmalar uchun xarakteristika koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi (24-rasm).



24-rasm. Chiziqli qurilmaning volt-amper xarakteristikasi

Qarshilik R qanchalik katta bo'lsa, o'tkazuvchanlik G kichik va berilgan kuchlanishdagi tok ham kichik bo'ladi. Shuning uchun katta qarshiliklar uchun xarakteristika absisa o'qiga zichrok joylashadi. Qarshilik R bog'liqlik xarakteristikasining og'ish burchagi α bilan bog'liqdir.

$$R = u/i = k \cdot ctg \alpha \quad (33)$$

bu yerda k – koordinata o'klaridagi kattaliklar qiymatlarining masshtabini hisobga oluvchi proporsionallik koeffisienti.

$$G = 1/R = i/u = k' \cdot tg \alpha \quad (34)$$

bu yerda $k' = 1/k$.

Takidlash kerakki, $R = ctg \alpha$ yoki $G = tg \alpha$ deb yozib bo'lmaydi, chunki R va G – miqdoriy baholash uchun ma'lum o'lcham va birlikka ega bo'lgan fizik kattaliklar hisoblanadi. $tg \alpha$ va $ctg \alpha$ – faqat son bilan ifodalanuvchi trigonometrik funksiyalar hisoblanadi. Bundan tashqari, berilgan R da masshtabga bog'liq ravishda bog'lanishdagi α qiymati turlicha bo'lishi mumkin.

Ishlash prinsipi Om qonuniga bo'ysinadigan, volt-amper xarakteristikasi esa koordinata boshidan o'tuvchi chiziqdan iborat bo'lgan qurilmalar *chiziqli* qurilmalar deb ataladi.

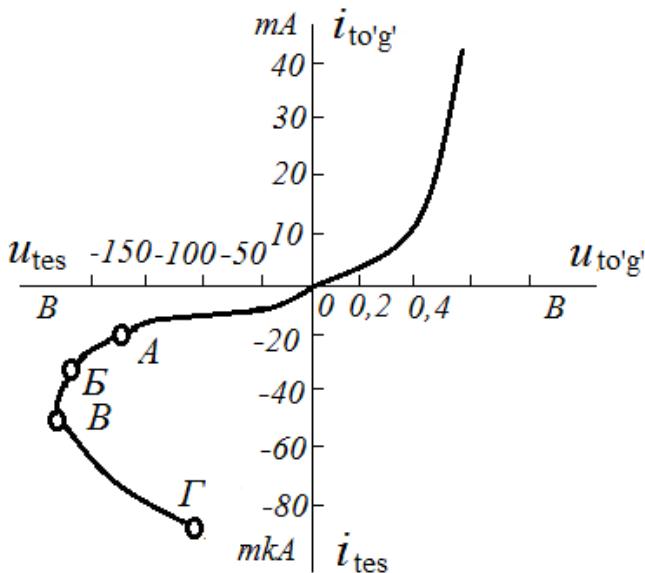
Shunday qurilmalar mavjudki, ularning qarshiliklari o'zgarmas bo'lmay tok yoki kuchlanishga bog'liq bo'ladi. Bunday qurilmalar uchun tok va kuchlanish orasidagi bog'liqlik Om qonuni asosida ifodalanmaydi, hamda ulardagi volt-amper xarakteristikalar koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lmaydi. Bunday qurilmalar *nochiziqli* qurilmalar deb ataladi.

Elektron-kovak o'tish o'z holicha yarimo'tkazgichli diodni ifodalaydi. Diodning nochiziqli xususiyatini uning volt-amper xarakteristikasidan ko'rib bilib olish mumkin. Misol uchun 25-rasmida o'rtacha quvvatli diodning xarakteristikasi tasvirlangan. Ko'rish mumkinki, to'g'ri tokning bir necha o'n milliamperli qiymatiga, to'g'ri kuchlanishning qiymati bir voltning ulushlari miqdorigacha bo'lgan qiymatidi erishish mumkin.

Shuning uchun qarshilik odatda bir necha un om dan yuqori bo'lmaydi. Quvvati kattaroq bo'lgan diodlar uchun esa xuddi shu kichik kuchlanishda to'g'ri tok bir necha yuz milliamper va undan katta bo'lishi mumkin, qarshilik R_{tug} esa mos ravishda bir omgacha va undan ham kamayib ketadi.

Teskari tok uchun xarakteristika to'g'ri toka nisbatan odatda boshqa masshtabda quriladi. O'rtacha quvvatli diodlarda teskari kuchlanishning yuz voltgacha bo'lgan qiymatida teskari tokning qiymati bir yoki bir necha o'n mikroamperni tashkil qiladi. Bu esa qarshilikni bir necha yuz kiloomni va undan katta bo'lishiga mos keladi. To'g'ri va teskari kuchlanishlar orasidagi farq

ancha katta $u_{mec} \gg u_{mye}$ bo‘lganligi uchun ular ham turli masshtabda qo‘yilgan. Buning natijasida koortinada boshida siniq egri chiziq hosil bo‘lgan. Aslida esa, agar masshtab bir xil bo‘lganda xarakteristika silliq egri chiziqdan iborat bo‘lar edi.



25-rasm. Yarim o‘tkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasi

To‘g‘ri tok uchun xarakteristika avval boshida yetarlicha nochiziqlikka ega bo‘ladi, chunki u_{tug} ning oshishi taqiqlovchi qatlam qarshiliginini kamayishiga olib keladi. Lekin, kuchlanishning ma’lum bir qiymatlarida taqiqlovchi qatlam deyarli yuqoladi va faqat n va p sohalarning qarshiliklari qoladi. Bu sohalarning qarshiliklarini o‘zgarmas deb karash mumkin. Shuning uchun xarakteristika keyinchalik deyarli chiziqli bo‘ladi. Ko‘rinib turgan ozrok nochiziqlikka sabab shuki, tokning oshishi n va p sohalarni qizishiga olib keladi va bu orqali ularning qarshiliklari kamayadi.

Teskari kuchlanish oshishi bilan teskari tok oldiniga tezda o‘sadi. Buning sababi teskari kuchlanish ta’sirida potensial to‘siqning oshishi $n-p$ o‘tishdagi diffuziyali tokni keskin kamaytiradi. Diffuziyali tok esa o‘tkazuvchanlik tokiga teskari yo‘nalgan bo‘ladi. Mos ravishda to‘la tok $i_{mec} = i_{\partial p} - i_{\partial u\phi}$ keskin oshadi. Lekin teskari kuchlanishning keyingi oshishida teskari tok ahamiyatsiz darajada oshadi. Bu ham esa $n-p$ o‘tishning qizishi va zaryad tashuvchilarning ko‘chkisimon ko‘payishi, ya’ni zarbali ionlashuv natijasida zaryad tashuvchilar sonining oshishi tufaylidir. Zarbali ionlashuv hodisaning ma’nosi shundan iboratki, yuqori teskari kuchlanishlarda elektronlar yuqori tezlikka erishadi va kristall panjara atomlari bilan to‘qnashib ulardan yangi elektronlarni urib chiqaradi. hosil bo‘lgan yangi erkin elektronlar o‘z navbatida maydon ta’sirida tezlashib yangi va yana yangi erkin elektronlarni vujudga kelishiga sabab bo‘ladi. Kuchlanish oshishi bilan bu jarayon kuchayadi.

Teskari kuchlanishning ma'lum bir qiymatida $n-p$ o'tishda teshilish hodisasi sodir bo'ladi. Bu holatda teskari tok keskin oshadi va taqiqlovchi qatlam qarshiligi keskin kamayadi. $n-p$ o'tishdagi elektrik va issiqlik teshilish farqini tushunish kerak. 25-rasmdagi xarakteristikaniнg ABV qismi elektrik teshilish bo'lib, bu jarayon qaytariluvchan xususiyatga ega, ya'ni bunday teshilishda $n-p$ o'tishda tiklanmaydigan o'zgarishlar ruy bermaydi (jimsning tizimli buzilishi). Shuning uchun diod elektrik teshilish rejimida ham ishlashi mumkin. Kuchlanishni me'yorlash uchun qo'llaniladigan maxsus diodlar – yarim o'tkazgichli stabilitronlar xarakteristikaniнg AB qismida ishlaydi. Elektrik teshilishning ikki turi mavjud bo'lib, ular hosil bo'lish jarayoni ko'ra kamdan kam bir biriga mos keladi: *ko'chkisimon va tunnelli*.

Ko'chkisimon teshilish, zarbali ionlashuv va kuchli elektr maydon orqali atomlardan elektronlarni tortish olish tufayli zaryad tashuvchilar sonining ko'chkisimon ko'payishi oqibatida vujudga keladi. Bunday teshilish, konsentratsiyasi kamroq bo'lgan aralashmali yarim o'tkazgichlarda vujudga keladigan nisbatan katta qalinlikdagi $n-p$ o'tishlar uchun xosdir. Ko'chkisimon teshilish sodir bo'lishi uchun teskari kuchlanish o'nlab yoki yuzlab volti tashkil qiladi.

Tunnelli teshilish tunnell effekti hodisasi asosida tushuntiriladi. Bu effektning ma'nosi shundan iboratki, kichik qalinlikdagi $n-p$ o'tishga ta'sir qiluvchi maydon kuchlanganlikning qiymati 10^5 V/sm va undan yuqori bo'lganda ba'zi elektronlar $n-p$ o'tishni o'z energiyalarini yo'qotmasdan yengil o'tadi. Bunday o'tish aralashmalarning yuqori konsentratsiyalarida ruy beradi. Tunnelli teshilish sodir bo'lishi uchun kerak bo'ladigan teskari kuchlanishning qiymati bir voltdan oshmaydi.

25-rasmdagi xarakteristikaniнg VG qismi issiqlikdan teshilishga xos bo'lib, bu jarayon qaytariluvchan xususiyatga ega bo'lmaydi, ya'ni bunday teshilishda yarim o'tkazgichning $n-p$ o'tish qismida tizimiyl buzilishlar ruy beradi va ular qaytib tiklanmaydi. Issiqlikdan teshilishning sababi, $n-p$ o'tish issiqlik rejimi barkarorligining buzilishidir. Bu shuni anglatadiki, teskari tok ta'sirida qizish vujudga keladi va natijada $n-p$ o'tishdan ajralib chikayotgan issiqlik miqdori $n-p$ o'tishdan sarflanayotgan issiqlik miqdoridan oshib ketadi. Natijada $n-p$ o'tishning harorati ko'tariladi, uning qarshiligi esa kamayadi va tokning qiymati oshadi. Bu esa issiqlik buzilishiga va $n-p$ o'tishni kuyishiga olib keladi.

Yarimo'tkazgich diod deb bir (yoki bir necha) elektr o'tishlarga ega ikki elektrodli elektron asbobga aytildi. Diodlar radioelektron qurilmalarda ishlatilishi va bajaradigan vazifasiga muvofiq tasniflanadilar.

Barcha yarimo'tkazgich diodlarni ikki guruhga ajratish mumkin: to'g'rilovchi va maxsus vazifalarni bajaruvchi. *To'grilovchi diodlar*

o‘zgaruvchan tokni o‘zgarmas tokka o‘zgartirish uchun qo‘llanadi. To‘g‘rilanuvchi tok shakli va chastotasiga bog‘liq holda ular past chastotali, yuqori chastotali va impuls diodlarga ajratiladi. *Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlarda r-n* o‘tishlarning turli elektrofizik xususiyatlaridan, masalan, teshilish hodisalaridan, fotoelektrik hodisalardan, manfiy qarshilikka ega sohalari mavjudligidan va boshqalardan foydalaniladi. Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlar, xususan, o‘zgarmas kuchlanishni barqarorlash, optik nurlanishni qayd etish, elektr sxemalarda signallarni shakllantirish va boshqa vazifalarni amalgalash uchun qo‘llaniladi.

Yarimo‘tkazgich diodning to‘g‘ri va teskari yo‘nalishlaridagi qarshiliklari bir - biridan keskin farq qiladi: to‘g‘ri yo‘nalishda siljitelgan diodning qarshiligi qiymati kichik, teskari siljitelgan diodniki esa - katta bo‘ladi. Shu sababdan diod bir tomoniga elektr tokini yaxshi o‘tkazadi, ikkinchi tomoniga esa - yomon o‘tkazadi.

YaRIM O‘TKAZGICHLI SIG‘IM

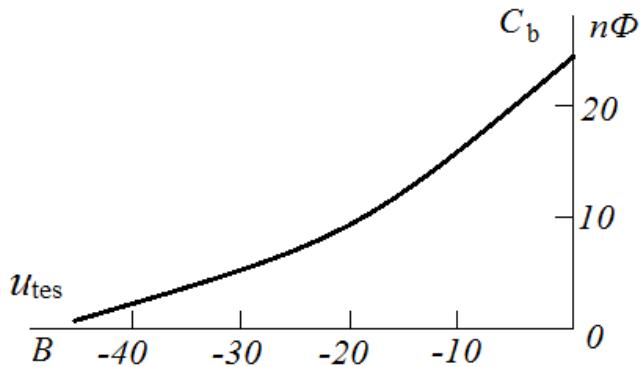
Teskari kuchlanish u_{tes} ulangan $n-p$ o‘tish kondenstor qoplamlariga o‘xhash ekanligini aytib o‘tgan edik. Taqiqlovchi qatlam yuqori qarshilikka ega bo‘ladi va dielektrik vazifasini o‘taydi. Uning ikki tomonida esa donorli va akseptorli aralashma atomlari hosil qilgan turli ishorali hajmiy zaryadlar $+Q$ va $-Q$ joylashgan bo‘ladi. Shuning uchun $n-p$ o‘tish ikki qoplamli kondensatorga o‘xshab sig‘imga ega bo‘ladi. Bu sig‘im to‘siqli sig‘im deb ataladi. O‘zgarmas kuchlanishda u quyidagi ifoda bo‘yicha aniqlanadi:

$$C_m = Q_{mec} / u_{mec} \quad (35)$$

O‘zgaruvchan kuchlanish uchun esa:

$$C_m = \Delta Q_{mec} / \Delta u_{mec} \quad (36)$$

To‘siqli sig‘im odatdagagi kondensatorlaga o‘xshab, $n-p$ o‘tish maydonining kegayishi va yarim o‘tkazgichning dielektrik singdiruvchanligining oshishi hamda taqiqlovchi qatlam qalinligining kamayishi bilan, oshadi. O‘rtacha diodlarning $n-p$ o‘tish maydoning kichikligiga qaramay taqiqlovchi qatlam kichikligi va dielektrik singdiruvchanligi nisbatan katta bo‘lishi (masalan germaniy uchun $\epsilon=16$) sababidan S_t sig‘im yetarlicha sezilarli bo‘ladi. $n-p$ o‘tish maydonining qiymatiga bog‘liq ravishda S_t qiymati bir pikofaradadan yuz pikofaradagacha bo‘lishi mumkin. To‘siq barerning o‘ziga xos xususiyati shundan iboratki, u noziklidir, ya’ni $n-p$ o‘tish kuchlanishining o‘zgarishi bilan o‘zgaradi. Agar teskari kuchlanishni oshirsak taqiqlovchi qatlam qalinligi kattalashib S_t sig‘im kamayadi. Bunday bog‘lanishning xarakteri 26-rasmdagi grafikda ko‘rsatigan.



26-rasm. To'siqli sig'imning teskari kuchlanishga bog'liqligi

To'siqli sig'im o'zgaruvchan tokni to'g'rilash jarayoniga zararli ta'sir etadi, chunki u diodni shutdlab qo'yadi va undan yuqori chastotalardagi o'zgaruvchan tok o'tadi. Lekin to'siqli sig'imning foydali tomoni ham bor. Tebranish konturlarini sozlashda, hamda ish rejimi nochiziqli sig'im xususiyatiga asoslangan ba'zi bir sxemalarda maxsus diodlardan (*varikaplar va varaktorlar*) foydalilaniladi. Sig'imi mexanik tarzda o'zgaradigan o'zgaruvchan sig'im oddiy kondensatorlarni farqli ravishda, varikaplarda bu o'zgarish teskari kuchlanish qiymatini o'zgarishi bilan amalga oshadi. Tebranish konturlarini bunday usulda sozlash *elektron sozlash* deb ataladi.

To'g'rik kuchlanishda diod to'siqli sig'imdan tashqari *diffuziyali sig'im* S_{dif} deb ataluvchi sig'imga ham ega bo'ladi. Bu sig'im ham nochiziqli bo'lib, teskari kuchlanish qiymatining u_{tes} oshishi bilan ko'payadi. Diffuziyali sig'im to'g'ri kuchlanish ta'sirida harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarni n va p saxolarda to'planishini xarakterlaydi. Bunday sig'im faqat to'g'ri kuchlanish ulanganda mavjud bo'ladi, ya'ni zaryad tashuvchilar juda katta miqdorda pasaygan potensial to'siq orqali injeksiyalanib rekombinatsiyalanishga ulgurmay n va p saxolarda to'planib kolishadi. Masalan, biror bir diodda p soha emitter, n soha esa baza hisoblansa, unda to'g'ri kuchlanish ulanganda p sohadagi juda katta miqdordagi kovaklar $n-p$ o'tish orqali n soha tomon harakatlanadi va mos ravishda n sohada musbat zaryad hosil bo'lib qoladi. Bir vaqtning o'zida to'g'ri kuchlanish ta'sirida tashqi zanjir o'tkazgichidan n sohaga elektronlar kirib va bu sohada manfiy zaryad hosil bo'ladi. n sohadagi kovaklar va elektrolar bir laxzada rekombinatsiya kilishga ulgurmaydi. Shuning uchun to'g'ri kuchlanishning har bir qiymatiga, $n-p$ o'tish orqali diffuziyalanayotgan zaryad tashuvchilar hisobidan n sohada to'planib qolgan, ma'lum bir qiymatli $+Q_{dif}$ va $-Q_{dif}$ zaryadlar mos keladi. Sig'im S_{dif} zaryadning potensiallar farqiga nisbatli bilan aniqlanadi: o'zgarmas kuchlanishda

$$C_{\partial u \phi} = Q_{\partial u \phi} / u_{mye} \quad (37)$$

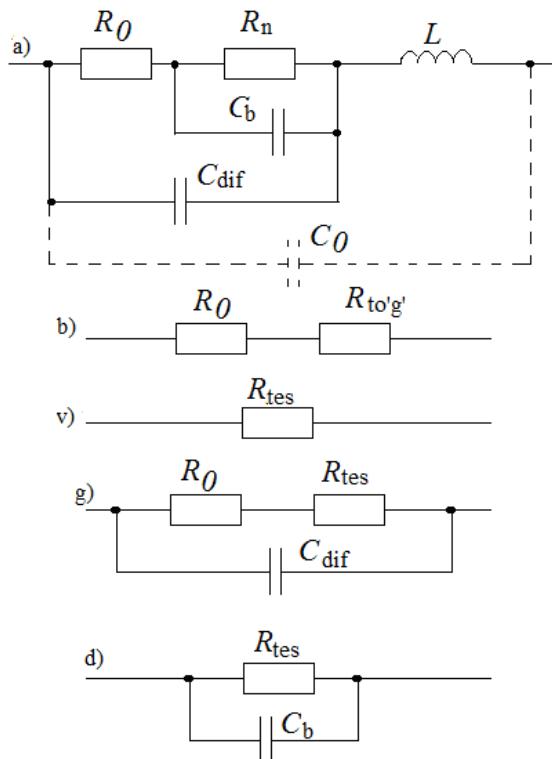
o'zgaruvchan kuchlanishda esa,

$$C_{\partial u \phi} = \Delta Q_{\partial u \phi} / \Delta u_{myz} \quad (38)$$

To‘g‘ri kuchlanish u_{tes} ning oshishi bilan to‘g‘ri tok kuchlanishga qaragan tezroq oshadi, chunki, to‘g‘ri tok uchun volt-amper xarakteristika nochiziqlidir. Shuning uchun Q_{dif} kuchlanish u_{tug} ga nisbatan tezroq oshadi va mos ravishda S_{dif} oshadi.

Diffuziyali sig‘im to‘siqli sig‘imga qaraganda ancha katta bo‘lishi bilan undan foydalanishni imkon yo‘q, chunki u kichik to‘g‘ri qarshilik bilan diodning o‘zini shundlagan.

Diodni sig‘imga ega bo‘lishini inobatga olib uning o‘zgaruvchan tok uchun ekvivalent sxemasini tuzish mumkin. (27a-rasm). Bu sxemadagi R_0 qarshilik, n va p saxolarning nisbatan kichik qarshiliklari va bu sohalarnig kontakt o‘tkazgichlari qarshiliklarining yig‘indisidan iborat. To‘g‘ri kuchlanishdagi nochiziqli qarshilik $R_n=R_{tug}$ ga teng, ya’ni uncha katta emas. Teskari kuchlanishda esa qarshilik $R_n=R_{tes}$ ga teng va u juda katta.



27-rasm. Yarim o‘tkazgichli diodning tulik va soddalashtirilgan ekvivalent sxemalari

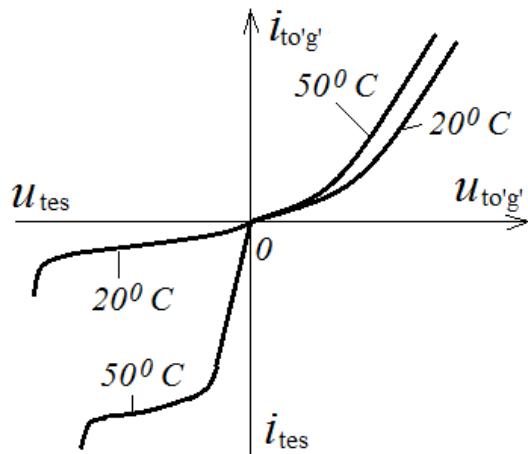
Keltirilgan ekvivalent sxemani turli xil xususiy hollarda soddalashtirish mumkin. Kichik chastotalarda sig‘imiyl qarshilik juda katta va bu holda sig‘imiyl hisobga olmasa ham bo‘ladi. Unda to‘g‘ri kuchlanishdagi ekvivalent sxemada R_0 va R_{tug} qarshiliklar qoladi (27b-rasm), teskari kuchlanishda esa faqat R_{tes} qoladi, chunki $R_0 \ll R_{tes}$ (27v-rasm). Yuqori chastotalarda sig‘imlar nisbatan kattaroq qarshilikka ega bo‘ladi. Shuning uchun to‘g‘ri kuchlanish ulanganda ekvivalent sxemaning 27g-rasmdagi shakli namoyon bo‘ladi (agar chastota yetarlicha

yuqori bo‘lmasa S_{dif} deyarli ta’sir qilmaydi), teskari kuchlanishda esa R_{tes} va S_b lar qoladi (27d-rasm).

Shuni nazarda to‘tish kerakki, yana diod chiqishlari orasida ham sig‘im S_0 mavjud bo‘lib, u o‘ta yuqori chastotalarda diodni sezilarli darajada shundlashi mumkin. Bu sig‘im ramsda puktr chiziqlar yordamida ko‘rsatilgan. O‘ta yuqori chastotalarda diod chiqishlarida induktivlik ham paydo bo‘lishi mumkin.

YaRIM O‘TKAZGICHLI DIODNING HARORATGA BOG‘LIQ XUSUSIYATI

Yarim o‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligiga haroratning ham yetarlicha ta’siri bor. Harorat oshishi bilan zaryad tashuvchilar juftining generatsiyasi kuchayadi, ya’ni zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi ko‘payib o‘tkazuvchanlik oshadi. Shuning uchun yarim o‘tkazgichni diodning xususiyatlari haroratga kuchli bog‘liq bo‘ladi. Buni uning har bir haroratda qurilgan volt-amper xarakteristikadan ko‘rish mumkin. 28-rasmda bunday xarakteristika germaniy misolida ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki, harorat ko‘tarilishi bilan to‘g‘ri va teskari toklar oshadi.



28-rasm. Diodning volt-amper xarakteristikasiga haroratning bog‘liqligi
Teskari tokning juda keskin ravishda oshishi zaryad tashuvchilar juftining generatsiyasi kuchayganligi tufaylidir. Germaniylik diodlarda haroratning har $10^{\circ}S$ ga ko‘tarilishida teskari tok taxminan 2 marta ortadi. Buni quyidagi formula yordamida ifodalash mumkin:

$$i_{mec(t)} = i_{mec(20^{\circ}C)} \cdot 2^{(t-20)/10} \quad (39)$$

Mos ravishda, agar harorat $20^{\circ}S$ dan $70^{\circ}S$ gacha ko‘tarilsa, unda teskari tok $2^5=32$ marta ko‘payadi. Bundan tashqari, harorat ko‘tarilishi bilan germaniyli diodlarda elektrik teshilish kuchlanishning qiymati pasayadi.

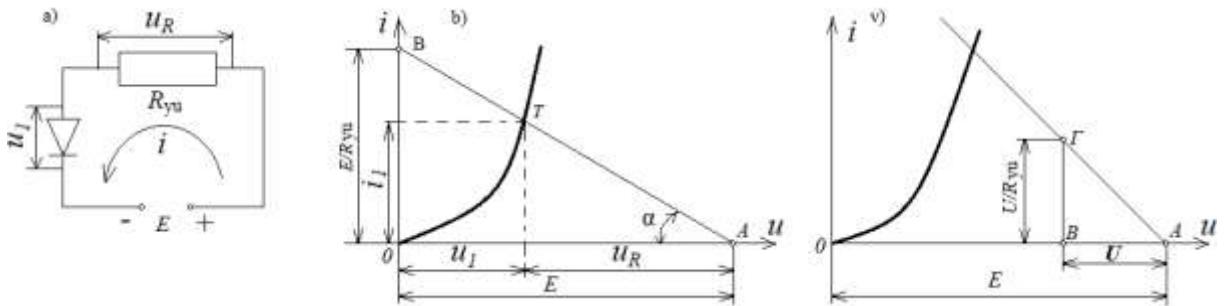
Kremniyli diodlarni har $10^{\circ}S$ ga kizdirganimizda teskari tok taxminan 2,5 martaga ko‘payadi, elektrik teshilishi kuchlanishining qiymati esa harorat ko‘tarilishi bilan oldiniga bir oz oshib keyin esa pasayadi.

Diodning qizishi natijasida to‘g‘ri tok teskari toka o‘xshab juda kuchli oshmaydi, chunki to‘g‘ri tok asosan aralashmali o‘tkazuvchanlik hisobidan hosil bo‘ladi. Aralashmalar konsentrasichsi esa haroratga bog‘liq emas.

Harorat ko‘tarilishi bilan diodning to‘sqli sig‘imi oz miqdorda oshadi. Haroratning bir gradus o‘zgarishida sig‘im o‘zgarishini ko‘rsatuvchi sig‘im koeffisienti 10^{-4} - $10^{-3} K^{-1}$ ga teng.

YaRIM O‘TKAZGICHLI DIODNING ISH REJIMI

Diodning zanjirining amaliy sxemalarida biror bir yuklama, masalan rezistor ulanadi (29a-rasm). Yarim o‘tkazgichli diodning shartli grafik belgilanishidagi uchburchak anod, chiziqcha katod hisoblanadi. Anodga katodga nisbatan musbat potensial berilgandagina dioddan to‘g‘ri tok o‘tadi. Mos ravishda diodning belgilanishidagi uchburchakning uchi to‘g‘ri tokning shartli yo‘nalishini ko‘rsatadi. To‘g‘ri tokda xuddi shu yo‘nalish bo‘yicha kovaklar harakatlansa, elektronlar esa qarama-qarshi yo‘nalishda harakat qiladi.



29-rasm. Diodning yuklama bilan sxemada ulanishi va yuklama chizigini ko‘rish

Diodning yuklamali rejimi *ishchi rejim* deb ataladi. Agar diod chiziqli qarshilikka ega bo‘lganda, unda bunday sxemadagi tokni hisoblash qiyin kechmagan bo‘lar edi, chunki zanjirning umumiyligi qarshiligi diodning o‘zgarmas toka bo‘lgan qarshiligi R_0 va yuklama rezistori qarshiliklarining R_{yu} yig‘indisiga teng bo‘lar edi. Lekin, nochiziqli qarshilikka ega va unda R_0 qiymati tok o‘zgarishi bilan o‘zgaradi. Shuning uchun, tokni hisoblash grafik tarzda amalga oshiriladi. Masalani qo‘yilishi quyidagicha: Diodning xarakteristikasi va E , R_{yu} qiymatlari ma’lum bo‘lsa, diodagi kuchlanishni va zanjirdagi tokni aniqlang.

Diodning xarakteristikasini i va u qiymatlarni bog‘lovchi qandaydir tenglamaning grafigi sifatida karash mumkin. R_{yu} qarshilik uchun esa bunday tenglama Om qonuni hisoblanadi:

$$i = u_R / R_{yu} = (E - u) / R_{yu} \quad (40)$$

Demak, ikki o‘zgaruv i va u dan iborat ikki tenglamaga egamiz. Ulardan biri grafik ko‘rinishda berilgan. Bunday tenglamalar tizimini yechishda ikkinchi

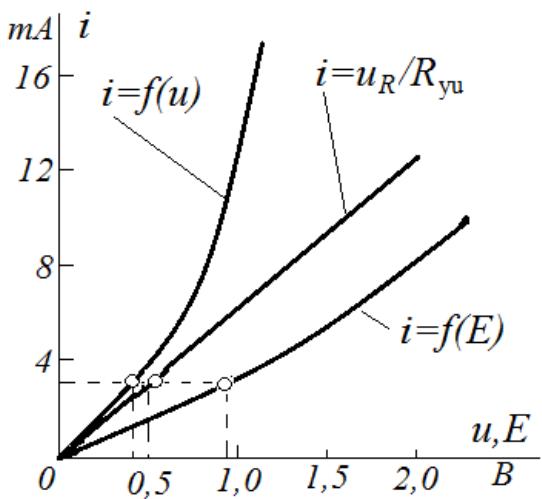
tenglamaning grafigini ko'rib, grafiklar kesishish nuqtasining koordinatasini topish kerak.

R_{yu} qarshilik uchun tenglama – bu i va u ga nisbatan birinchi darajali tenglamadir. Uning grafigi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, *yuklama chizig'i* deb ataladi. U oddiygina qilib koordinata o'qlaridagi ikki nuqta orqali quriladi. (40) tenglamadan $i=0$ bo'lganda $E-u=0$ yoki $u=E$ ekanligini topamiz. Bu 29b-rasmagi A nuqtaga mos keladi. Agarda $u=0$ bo'lsa $i=E/R_{yu}$ bo'ladi. Bu tokni ortonada o'kida B nuqta orqali belgilaymiz. A va B nuqtalarni tutashtiradigan va yuklama chizig'i hisoblanuvchi to'g'ri chiziq o'tkazamiz. T nuqtaning koordinatasi qo'yilgan masalaning shartida beriladi. Takidlash kerakki, AB to'g'ri chiziqning boshqa barcha nuqtalari diodning biror bir ish rejimiga mos kelmaydi. Yuklama chizig'ini og'ish burchagi α asosida ham ko'rish mumkin $R_{yu}=k\cdot ctg\alpha$. Lekin bu qulay emas, chunki masshtabni hisobga oluvchi k qiymatini va α burchakning kotangensini aniqlash kerak bo'ladi.

R_{yu} ning nisbatan kichik qiymatlarida uchun yuklama chizig'ini ko'rishda B nuqta o'rni chizma chegarasidan tashqariga bo'lib qoladi. Bu holatda A nuqtani o'ngroqga surish kerak (29v-rasm) va hosil bo'lgan V nuqtadan U/R_{yu} (VG kesma). A va G nuqtalardan o'tgan to'g'ri chiziq yuklama chizig'i hisoblanadi.

Ba'zi masalalarda yuklama qarshiligi R_{yu} va u va i qiymatlari (T nuqta) berilgan bo'lib, E ni talab qilinadi, yoki berilgan E da yuklama qarshilagini R_{yu} topish talab qilinadi. Bunday holatlar uchun grafik ko'rishni o'quvchining o'ziga qo'yib beramiz.

Ketma-ket ulangan diod va chiziqli yuklama rezistori R_{yu} ulangan zanjir nochiziqli zanjir hisoblanadi., *Diodning ishchi xarakteristikasi* deb ataluvchi, ya'ni $i=f(E)$ grafik bog'lanishli bunday zanjirning xarakteristikani yuklama rezistori R_{yu} va diod xarakteristikalaridagi kuchlanishlarni qo'shish orqali olish mumkin (30-rasm). Rezistor R_{yu} xarakteristikasi Om qonuni $i=u_R/R_n$ ifodalaydi va u koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Bu to'g'ri chiziqni ko'rish uchun kuchlanish u_R va tokning u_R/R_n , ixtiyoriy qiymalarga mos keluvchi nuqta tanlanadi va bu nuqtadan koordinata boshiga to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Oldingi yuklama chizigini ko'rganimizda u koordinata boshidan o'tmagan edi, chunki u tokni u_R kuchlanish bilan bog'liqligini emas, balki dioddagi kuchlanish u bilan bog'liqligini ifodalar edi.



30-rasm. Diod va yuklama rezistoridan iborat ketma-ket ulangan zanjir uchun ishchi xarakteristikasini ko‘rish

Zanjirning ishchi xarakteristikasi $i = f(E)$ ni tok i bir necha qiymatlari uchun u va u_R kuchlanish qiymatlarini qo‘shish orqali quramiz, chunki $E = u + u_R$. Masalan, tok $i=3 \text{ mA}$ bo‘lganda $u=0,4 \text{ V}$ va $u_R=0,5 \text{ V}$ bo‘lsin. Bu kuchlanishlarni qo‘shib $E=0,9 \text{ B}$ ga va mos ravishda natijaviy xarakteristika nuqtasiga ega bulamiz. Xuddi shunga o‘xshab boshqa nuqtalarni ham topamiz va ular orqali silliq egri chiziq o‘tkazamiz.

Ketma-ket ulangan zanjirning xususiyati asosan zanjirning katta qarshilikga ega bo‘lgan qismiga bog‘liq. Shuning uchun R_{yu} qarshiligi qanchalik katta bo‘lsa, natijaviy xarakteristikaning nochiziqlik xususiyati shuncha kichik bo‘ladi. Takidlash kerakki, agar $R_{yu} \gg R_0$ bo‘lsa diodning ish rejimini grafik asosida hisoblash shart emas. Bunday holda diodning qarshiligini hisobga olmasa ham bo‘ladi va tokni taxminiy qiymati $i \approx E / R_{yu}$ formula yordamida aniqlanadi.

YaRIM O‘TKAZGICHLI DIODNING O‘ZGARUVChAN TOKNI TO‘G‘RILASHDA QO‘LLANILISHI

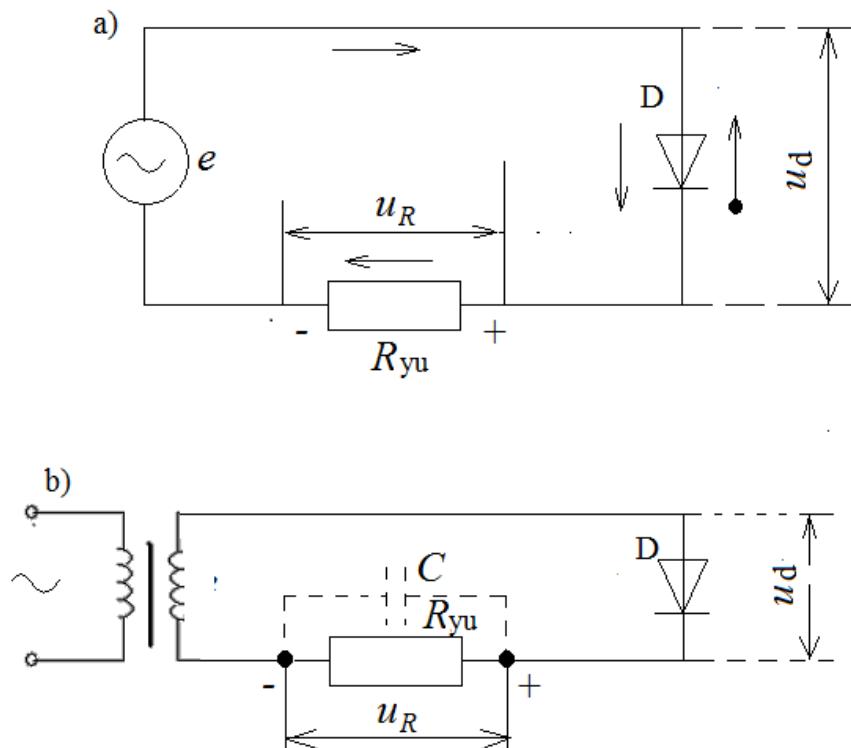
O‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash- radioelektronikaning asosiy jarayonlaridan biridir. To‘g‘rilovchi qurilmalarda o‘zgaruvchan tok energiyasi o‘zgarmas tok energiyasiga aylantirib beriladi. Ixtiyoriy to‘g‘rilagich o‘zgaruvchan tok energiyasini istemolchisi va o‘zgarmas tok generatori hisoblanadi.

Ko‘pchilik yarim o‘tkazgichli diodlarning to‘g‘ri yo‘nalishda tokni juda yaxshi utkazishi va teskari yo‘nalishda deyarli o‘tkazmasligi ularni o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilashda jarayonlarida keng qo‘llanilishiga sabab buldi.

O‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash uchun eng sodda sxema 31a-rasmda tasvirlangan. Unda o‘zgaruvchan EYuK (e), diod D va yuklama rezistori R_n ketma-ket ulangan bo‘lib, buday sxema bir yarim davrli sxema deb ataladi. Ushbu sxemani bir fazali bir taktli sxema deyish to‘g‘riroq bo‘lar edi, chunki

o‘zgaruvchan EYuK generatori bir fazali hisoblanadi va u orqali tok davr ichida bir marta bir yo‘nalishda okib o‘tadi. To‘g‘rilovchi sxemalar boshqa murakkabrok sxemalari (ikkifazali, uchfazali, ikkitaktli va b.) birfazali birtaktli sxemaning bir nechasini o‘zaro turli xilda ulangan kombinatsiyasidan tashkil topgan.

Radioelektron qurilmalardagi to‘g‘rilagichlarda o‘zgaruvchan EYuK generatori sifatida odatda elektr zanjirga ulangan kuch transformatori xizmat qiladi (31b-rasm). Ba’zida transformator urnida avtotransformator ishlatalidi. Ayrim hollarda to‘g‘rilagich manbadan transformatorsiz ta’midot oladi. Yuklama rezistori R_{yu} ning vazifasini, ya’ni o‘zgarmas tok istemolchisini amaliy sxemalarda to‘g‘rilagichdan ta’midot olayotgan elektr zanjir yoki qurilma bajaradi. Yuqori chastotali toklarni to‘g‘rilashda, masalan radioqurilmalarning detektorli kaskadlarida o‘zgaruvchan EYuK genetarasi sifatida yuqori chastotali transformator yoki rezonansli tebranish konturi xizmat qiladi, yuklama sifatida esa katta qarshilikga ega bo‘lgan rezistor qo‘yiladi.



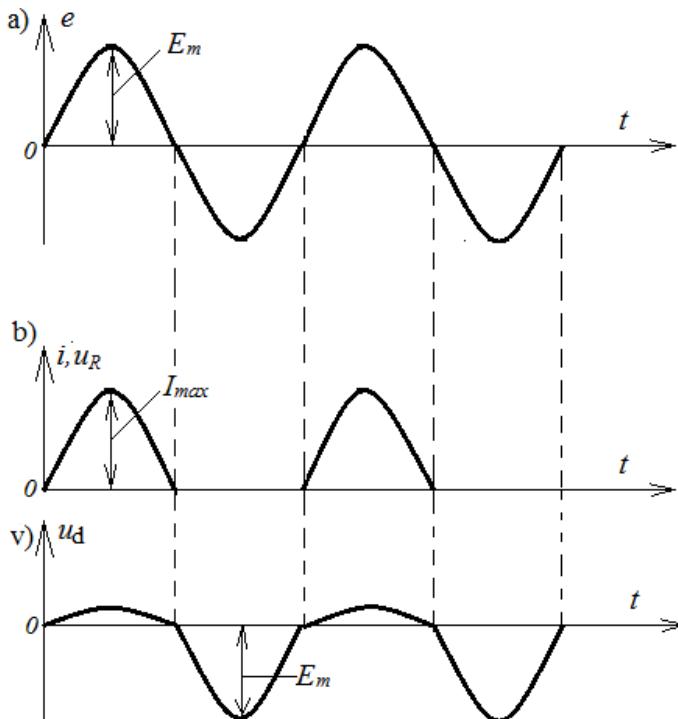
31-rasm. Yarim o‘tkazgichli diod yordamida to‘g‘rilash sxemalari

Oddiy to‘g‘rilagichning ishi quyidagi tarzda amalga oshadi. Faraz kilamiz generator sinusoidal EYuK beradi $e = E_m \sin \omega t$ va uning ichki qarshiligi nolga teng. Bir yarim davr oralagida diodda to‘g‘ri kuchlanish bo‘ladi va undan R_{yu} rezistorda u_R kuchlanish tushuvini hosil qiluvchi tok okib o‘tadi. Keyingi yarim davr oralig‘ida esa diodda teskari kuchlanish bo‘lib undan deyarli tok o‘tmaydi va $u_R=0$ bo‘ladi. Shunday qilib, diod, yuklama reristori va generator orqali impuls ko‘rinishdagi pulsatsiyalanuvchi tok okib o‘tadi. Bunday tok

to‘g‘rilangan tok hisoblanib, u rezistor R_{yu} da to‘g‘rilangan kuchlanishni hosil qiladi. Tok yo‘nalishini kuzatib turib bunday kuchlanishni qutblarini aniqlash mumkin: diodning katod tomoni plyus, anod tomoni esa munus bo‘ladi.

To‘g‘rilash jarayonining tushinish uchun 32-ramdag'i tasvirlangan grafikga murojaat kilimiz. Generatorning o‘zgaruvchan EYuK amplitudasi E_m bo‘lgan sinusoida orqali tasvirlangan (32a-rasm). Ma’lumki, yuklama qarshiligi diodning qarshiligidan juda ko‘p marta katta bo‘ladi va shu sababli diodning qarshiligini hisobga olmasa ham bo‘ladi (ishchi xarakteristika chiziqliga xarakteristikga yaqin). Bunday holda to‘g‘rilangan tok, maksimal qiymati I_{max} ga teng bo‘lgan yarim sinusoida ko‘rinishdagi impuls shakliga ega bo‘ladi (32b-rasm). Xuddi shu tok grafigi boshqa masshtabda u_R to‘g‘rilangan kuchlanishni ifodalaydi. Faqatgina tokning qiymatini R_{yu} ga ko‘paytirish kifoya, chunki $u_R = iR_{yu}$. 32v-rasmdagi grafik esa dioddagi kuchlanishni ifodalaydi. Ba’zida uni sinusoidal deb yoki o‘zgaruvchan EYuK manbaidagi kuchlanish shakli bilan bir xil adashtirishadi. Vaxolanki bu kuchlanish nosinusoidal shaklga ega. Undagi musbat va manfiy yarim davrning amplitudalari bir-biridan keskin farq qiladi. Musbat yarim davrning amplitudasining juda kichikdir, chunki to‘g‘ri tok okib utayotganda kuchlanishning katta qismi R_{yu} rezistor yuklamasiga tushadi va yuklama qarshiligi diod qarshiligidan ancha katta bo‘ladi. Bu holatda:

$$U_{myzmax} = E_m - U_{Rmax} = E_m - I_{max} R_{yu} \ll E_m \quad (41)$$



32-rasm. Oddiy to‘g‘rilagichning ishlash prinsipi

Oddiy yarim o‘tkazgich diodlarda to‘g‘ri kuchlanishning qiymati $1-2 V$ dan katta bo‘lmaydi. Masalan, manba kuchlanishining ta’sir etuvchi qiymati $E=200 V$ va amplituda qiymati esa $E_m=200 V$ bo‘lsin. Agar $U_{tug\ max}=2 V$ bo‘lsa,

unda $U_{Rmax}=278$ B bo'ladi. Agar manbaning kuchlanishi (masalan, 200 V) to'laligicha diodga qo'yilsa, u holda rezistor R_{yu} ga hech qanday kuchlanish tushuvi sodir bo'lmay. Bu faqat $R_{yu}=0$ bo'lgandagina mumkin bularedi. Bunday holatda tok juda katta qiymatga erishib, diodni ishdan chikarar edi.

Qo'yilgan kuchlanishning manfiy yarim davrida tok deyarli bo'lmaydi va R_{yu} rezistordagi kuchlanish tushuvi nolga teng Manba kuchlanishi qiymatining hammasi to'laligicha diodga qo'yilgan bo'lib, bu kuchlanish diod uchun teskari kuchlanish hisoblanadi. Shunday qilib, teskari kuchlanishning maksimal qiymati manba EYuKning amplitudasiga teng.

To'g'rilangan kuchlanishni batafsilrok tahlil qilib chiqamiz (ko'rileyotgan jarayotlarning barchasi to'g'rilangan tok uchun ham o'rinnlidir). 32b-rasmdan ko'rini turibdiki, kuchlanishning pulsatsiyalanish chukurligi kattadir. Bunday kuchlanishning foydali qismi uning *o'zgarmas tashkil etuvchisi* yoki *o'rtacha qiymati* U_{ur} dir. Kuchlanishning maksimal qiymati U_{max} bo'lgan yarim sunusoidal impulsning yarim davrdagi o'rtacha qiymati:

$$U_{yp} = 2U_{max} / \pi = 0,636U_{max} \quad (42)$$

Ikkinci yarim davrda kuchlanish umuman bo'limganligi sababidan to'liq bir davrda kuchlanishning o'rtacha qiymati ikki marta kam bo'ladi:

$$U_{yp} = U_{max} / \pi = 0,318U_{max} \quad (43)$$

Demak, kuchlanishning o'rtacha qiymati uning maksimal qiymatining taxminan 30% tashkil qiladi. Bu taxminimiz xakikatga yaqin, chunki impulsarning xakikiy shakli hamma vaqt yarimsinusoidadan farq qiladi. Dioddagi kuchlanish tushuvi kichik kichikligi sababidan:

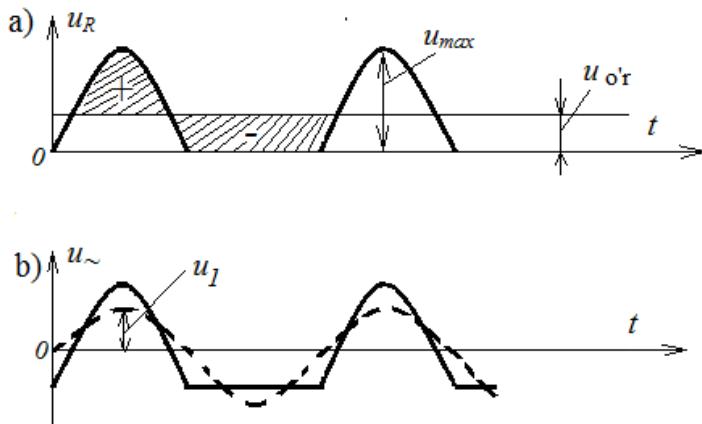
$$U_{max} \approx E_m \quad \text{va} \quad U_{yp} \approx 0,3E_m \quad (44)$$

To'g'rilangan pulsatsiyaluvchi kuchlanish qiymatidan uning o'rtacha qiymatini ayirib nosinusoidal shaklga ega bo'lgan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi U_{\sim} ni hosil kilamiz. Bu kuchlanish uchun nolinchi uk, kuchlanishni o'zgarmas tashkil etuvchisini ifodalovchi to'g'ri chiziq hisoblanadi (33a-rasm). Kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining yarim tulkinlari shtrixlangan. Musbat yarim tulkin yarimsinusidaning yuqorisidan uchdan ikki qismini tashkil qiladi. Manfiy yarim tulkinning shakli esa trapesiya shakliga yaqin. Bu yarim tulkinlarning davomiyligi bir xil emas, lekin endi kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchi yo'qligi tufayli ular egallagan yuza teng.

To'g'rilanlangan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi «zararli» qism hisoblanadi. Yuklama rezistorida uni kamaytirish maqsadida, ya'ni to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasini silliq lash maqsadida maksus silliq lovchi filtrlar qo'llaniladi. 33b-rasmda o'zgaruvchan tashkil etuvchi tasvirlangan.

Uning bir necha garmonikalari mavjud. Eng qiyini birinchi garmonikani yo‘qotish hisoblanadi (bu rasmda shtrixlangan sinusoida shaklida tasvirlangan).

Silliq lovchi filtrlarda katta sig‘imli kondensatorlar ishlataladi. Yana ko‘pincha bunday filtrlarda drossel qo‘yiladi, ya’ni o‘zgaruvchan tashkil etuvchini yuklamaga o‘tishga to‘sinqinlik qiluvchi katta induktivlikdagi chulgam qo‘yiladi. Pulsatsiya chastotasi qanchalik katta bo‘lsa, kondensatorlar qarshiligi shunchalik kichik qilib, drossel qarshiligi esa shunchalik katta qilib tanlansa silliq lovchi filtr samaralirok ishlaydi.



33-rasm. To‘g‘rilangan kuchlanishning o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tashkil etuvchilar

Agar silliq lovchi filtr pulsatsiyaning birinchi garmonikasini yaxshi susaytirsa yuqori garmonikalarni yana ham yaxshirok kamaytiradi, chunki yuqori garmonikalar birinchi garmonikaga nistaban amplitudasi bo‘yicha ham kichik. Shuning uchun asosan birinchi garmonikani yo‘qotish muhim xisolanadi.

To‘g‘rilagichning oddiy sxemalarida pulsatsiya birinchi garmonikasining amplitudasi U_{m1} juda ulkan – foydali tashkil etuvchidan katta:

$$U_{m1} = 0,5U_{\max} = 1,57U_{yp} \quad (45)$$

Bunday katta pulsatsiyali to‘g‘rilangan kuchlanish amaliy maqsadlar uchun yaramaydi. Bir muncha kamaygan pulsatsiyali to‘g‘rilangan kuchlanishni murakkabroq to‘g‘rilovchi sxemalar orqali olish mumkin. Pulsatsiyani silliq lashning oddiy usuli – yuklama rezistori R_{yu} ga shuntlangan va yetarlicha katta sig‘imga ega bo‘lgan kondensator ko‘rinishdagi filtrlardan foydalanishdir (31b-rasm). Kondensatorni ulanishi diodning ishlash shartini o‘zgarishiga olib keladi.

Kondensatorning pulsatsiyani yaxshi silliq lash uchun uni sig‘imining qiymati quyidagi shartini kanoatlantirishi kerak:

$$1/(\omega C) \ll R_{yo} \quad (46)$$

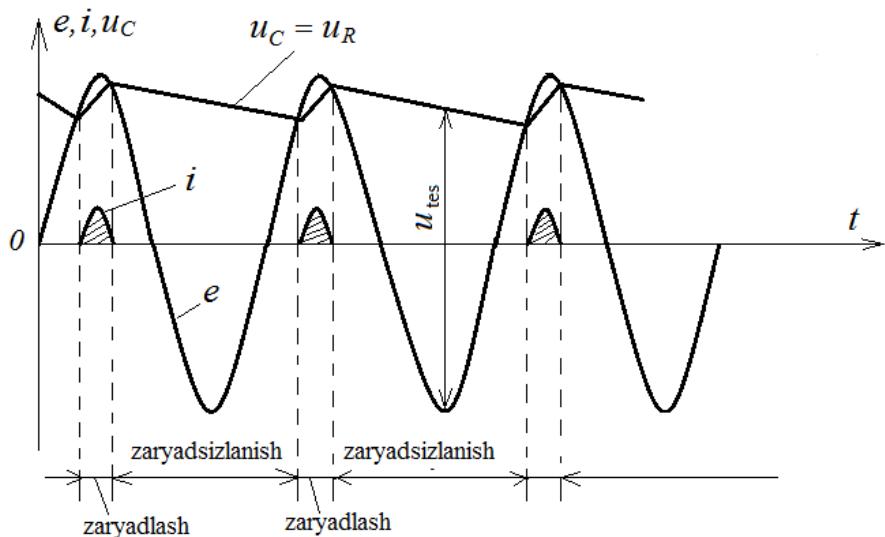
Diodadan to‘g‘ri kuchlanishning musbat yarimdavr mobaynida qiymati E_m ga yaqin bo‘lgan kuchlanishgacha kondensatorni zaryadlovchi tok okib o‘tadi. Diod orqali tok o‘tmaydigan vaqt mobaynida esa kondensator R_{yu} yuklama orqali zaryadsizlanadi va yuklamaga sekin-asta kamayuvchi

kuchlanishni hosil qiladi. har bir keyingi musbat yarim davrda kondensator zaryadlana boshlaydi va uning kuchlanishi yana ko‘tariladi.

Qarshiligi nisbatan kichik bo‘lgan diod orqali kondensatorni zaryadlanishi juda tez amalga oshadi. Katta qarshilikli yuklamada kondensatorning zaryadsizlanishi esa ancha sekin amalga oshadi. Buning natijasida kondensatorda va unda paralel ulangan yuklamada kuchlanishning pulsatsiyasi kamroq bo‘ladi. Bundan tashqari, kondensator to‘g‘rilangan kuchlanishning o‘zgarmas tashkil etuvchisini keskin oshiradi. Kondensator ulangmagan holda $U_{yp} \approx 0,3E_m$ bo‘lsa, yetarlicha katta sig‘imli kondensator ulaganimizda U_{ur} ning qiymati E_m ga yaqinlashadi va ($0,80-0,95$) E_m ga teng va undan katta bo‘lishi mumkin. Shunday qilib, bирfazali birtaktli to‘g‘rilagichlarda kondensator to‘g‘rilangan kuchlanishni taxminan 3 martaga oshiradi. Sig‘im S va yuklama qarshiligi R_{yu} qancha katta bo‘lsa, kondensator shuncha sekin zaryadsizlanadi va pulsatsiya ham shunga mos ravishda kamayib U_{ur} ning qiymati E_m ga yaqinlashib boradi. Agar yuklamani zanjirdan olib tashlasak (salt ishslash rejimi, $R_{yu}=\infty$), kondensatorda hech qanday pulsatsiyasiz qiymati E_m ga teng bo‘lgan o‘zgarmas kuchlanish hosil bo‘ladi.

34-rasmda yuklama R_{yu} dagi kuchlanishga tushuvi u_R ga teng bo‘lgan kondensatordagi kuchlanish u_C va diod orqali o‘tuvchi tok, hamda manba EYuK grafigi keltirilgan silliq lovchi kondensatorli to‘g‘rilagichning ishi tasvirlangan.

Kondensatorli to‘g‘rilagichdagi jarayonini quyidagi o‘xshashlik orqali tushuntiramiz. Faraz qilaylik, qaysidir is’temolchiga kuvur orqali bir xil me’yordagi gaz oqimini yetkazib berish talab qilingan bo‘lsin. Lekin urtatilegan nasos porshini to‘g‘ri yo‘nalishda gazni tortib oladi va teskari yo‘nalishda esa gazni is’temolchiga yetkazib beradi, ya’ni porshen harakatining bir yo‘nalishida is’temolchiga gaz yetib boradi, teskari yo‘naliшда esa yetib bormaydi. Demakki, is’temolchiga gazning yetib borishi pulsatsiyalanuvchidir. Tizimning bunday ishlashi kondensatorsiz to‘g‘rilagichning ishlashiga o‘xshashdir. Nasos dvigateli o‘zgaruvchan EYuK ni, nasos klapanlari esa diod vazifasini bajaradi. Endi nasos va is’temolchi orasida biror bir katta idish qo‘yib unga gazni xaydaymiz. Idishdagi gaz deyargi o‘zgarmas bosim ostida is’temolchiga yetib boradi. Nasos orqali gaz xaydalayotgan idishda o‘rtacha bosim saklanib qoladi va is’temolchiga yetib borayotgan gazning pulsatsiyalanishi kamayadi. Bunday idishni kondensatorga uxshatish mumkin. Idish hajmi qancha katta bo‘lsa va is’temolchiga yetib borayotgan gazning oqimi qancha kam bo‘lsa, gaz bosimining pulsatsiyalanishi shuncha kam bo‘ladi.



34-rasm. Kondensator yordamida pulsatsiyani silliq lash

Kondensatordagi kuchlanish diodning katodiga plyus qutbi bilan, anodiga esa munis qutbi bilan ulangan bo‘ladi. Shuning uchun dioddagi kuchlanish manba EYuK va kondensator kuchlanishlarining farqiga teng:

$$u_d = e - u_c \quad (47)$$

Kondensatordagi kuchlanish u_c ning qiymati E_m qiymatiga yaqin bo‘lgani uchun dioddagi kuchlanish u_d faqatgina musbat yarim davr mobaynidagina, ya’ni Qachonki e ning qiymati u_c qiymatidan katta bo‘lgandagina to‘g‘rilangan bo‘ladi. Bu kichik vaqt oralig‘ida diod orqali impuls ko‘rinishdagi tok okib o‘tadi va bir vaqtning o‘zida kondensatorni zaryadlaydi. Musbat yarim davrning qolgan vaqt oralig‘ida va manfiy yarim davr mobaynida esa dioddagi kuchlanish u_d teskari bo‘lib, tok okib o‘tmaydi va kondensator R_{yu} yuklama orqali zaryadsizlanadi..

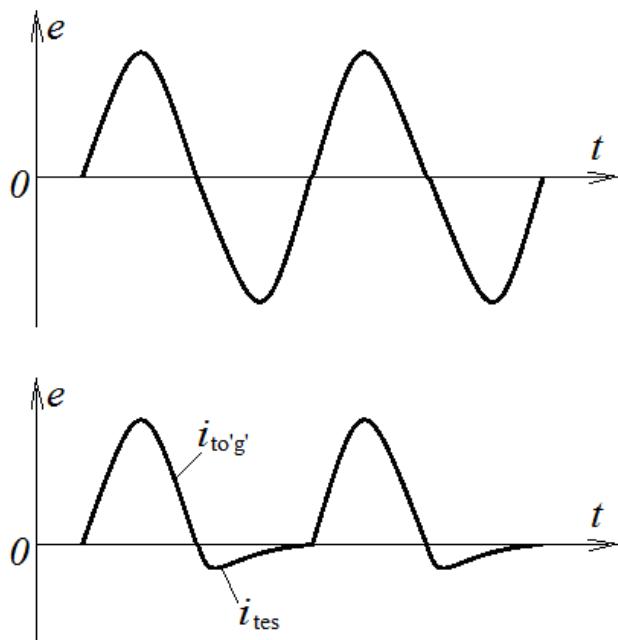
EYuK kuchlanishining qiymati manfiy amplitudaga yetkanida ($e=-E$) dioddagi teskari kuchlanish maksimal qiymatga erishadi. Shuningdek kondensatordagi kuchlanish u_c ning qiymati E_m qiymatiga yaqin bo‘lganligi sababidan, teskari kuchlanishning eng katta qiymati $2E_m$ qiymatga yaqin bo‘ladi. Agar zanjirdanyuklamani ajratib qo‘yilsa (salt ishslash rejimi), unda teskari kuchlanishning maksimal qiymati aniq $2E_m$ ga teng bo‘lar edi. Shunday qilib, zanjirda kondensatorning mavjudligi teskari kuchlanish qiymatini ikki martaga oshiradi va shuning uchun diodni shunday tanlash kerakgi u ushbu teskari kuchlanishning qiymatiga bardosh bera olsin.

Agar R_{yu} qarshiligi kichik bo‘lgan zanjirlar pulsatsiyasini kamaytirish talab qilinsa, unda kondensatorning sig‘imi juda katta bo‘lishi kerak, ya’ni birta kondensator orqali pulsatsiyani silliq lash amalda mumkin emas. Buning uchun katta induktiv qarshilikli drosseldan tashkil topgan qo‘shimcha silliq lovchi filtr va yana bir kondensator yoki yana bir murakkab filtr kerak bo‘ladi.

Takidlash kerakki, silliq lovchi filtr kondensatori teshilishidan hosil bo‘ladigan yuklama qisqa tutashuvu juda xaflidir, chunki bu holda manba kuchlanishining hammasi diodga tushadi va tok keskin ortib ketadi. Buning natijasida diodda issiqlik buzilishi ruy berib uni ishdan chikaradi.

Diodlar barcha to‘g‘rilovchi sxemalarda ishlatiladi. Agar silliq lovchi filtr katta sig‘imli kondensatorlar bilan boshlansa, unda o‘zgaruvchan kuchlanish ulanganda kondensatordan diodning ruxsat etilgan to‘g‘ri tok qiymatidan katta bo‘lgan impuls toki okib o‘tadi. Bu tokni kamaytirish maqsadida diodga ba’zida ketma-ket qilib qarshiligi $I-100 \text{ Om}$ gacha bo‘lgan chegaralovchi rezistor ulanadi.

To‘g‘rilovchi rejimda ishlovchi diodlarda kuchlanish qutblarini o‘zgartirganimizda teskari tokning kichik miqdordagi qiymatini impulsli shaklini kuzatishimiz mumkin (35-rasm). Ularni paydo bo‘lishida ikkita sabab bo‘lishi mumkin. Birinchidan, teskari kuchlanish ta’siri ostida $n-p$ o‘tishdagi to‘siqli sig‘imni zaryadlovchi tok impulsi hosil bo‘ladi. Sig‘im qancha katta bo‘lsa tok impulsi ham shuncha katta bo‘ladi. Ikkinchidan, teskari kuchlanish ta’siri ostida diffuziyali sig‘imning zaryadsizlanish jarayoni yuzaga keladi, ya’ni n va p sohalarda to‘planib qolgan asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarining surilishi vujudga keladi. Ushbu asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar to‘g‘ri tokning okib o‘tish mobaynida $n-p$ o‘tish orqali injeksiyalanadi va rekombanatsiyalashga yoki kochib ketishga ulgurmay n va p sohalarda to‘planib kolishadi. Amalda asosiy rolni baza sohasida to‘planib qolgan zaryab uynaydi.



35-rasm. Dioddagagi teskari tok impulsulari

Masalan, n sohadagi elektronlar konsentratsiyasi p sohadagi kovaklar konsentratsiyasidan ko‘p bo‘lganda, n soha emitter, p soha esa baza hisoblanadi. n sohadan p sohaga elektronlarning injeksiyasi teskari yo‘nalishdagi kovaklar

injeksiyasiidan ustun turadi. Shuning uchun elektronlar asosan p sohaga to‘planib kolishadi. Teskari kuchlanish ta’siri ostida bu zaryad suriladi, ya’ni elektronlar teskari yo‘nalishda - p sohadan n sohaga tomon harakatlana boshlaydi. Bunda teskari tokning impulsi sodir bo‘ladi. To‘g‘ri tok qancha katta bo‘lsa, injeksiyalanayotgan zaryad tashuvchilarning oqimi shuncha kuchli bo‘ladi va shu orqali ular hosil qilgan zaryad ham va mos ravishda teskari tokning impulsi ham katta bo‘ladi. Qachonki bu to‘planib qolgan zaryad tashuvchilar surilsa va to‘siqli sig‘imning sig‘imi amalda tugasa, unda juda kichik miqdorli teskari tok qoladi va bu tokni hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Chastota ko‘tarilishi bilan teskari tok impulsi kattalashadi. Buni shu orqali tushuntirish mumkinki, yuqori chastotalarda teskari kuchlanish va mos ravishda teskari tok tezrok oshadi, ya’ni to‘siqli sig‘imning zaryadlanishi tezrok amalgamasi oshadi. Boshqacha aytganda, sig‘imiy qarshilik chastota oshishi bilan kamayadi va mos ravishda teskari tok oshadi. Injeksiyalangan zaryad tashuvchilar hosil qilgan zaryadlarning surilish jarayoni ham tezrok amalgamasi oshadi va bu impuls ta’siri ostida ham teskari tokning oshishi kuzatiladi.

Past chastotalarda teskari tokning impulsi juda kichik va uning davomiyligi yarim davrdan juda ko‘p marta kichik. Lekin bazi bir yuqori chastotalarda teskari tok impulsi to‘g‘ri tok impulsining amplituda qiymatigacha yetishi mumkin va uning davomiyligi yarim davr oralig‘ida bo‘ladi. Agar to‘g‘ri va teskari tok impulslarining yuzasi bir xil bo‘lsa, unda tokning o‘zgarmas tashkil etuvchisi (o‘rtacha qiymati) nolga teng bo‘ladi, ya’ni to‘g‘rilash jarayoni tuxtdiladi. Amalda o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilashda diodlarni ma’lum bir yuqori chegaraviy chastotagacha qo‘llanilishi tavsif etiladi. Bu yuqori chegaraviy chastotada to‘g‘rilangan tokning o‘zgarmas tashkil etuvchisi uning past chastotadagi qiymatiga qaraganda 30% gacha kamayadi.

Harorat ko‘tarilishi bilan diodlarning R_{tug} va R_{tes} qarshiliklari kamayadi, lekin bu to‘g‘rilash jarayoniga kam ta’sir qiladi. Gap shundaki, to‘g‘ri tok R_{tug} qarshilik qiymatidan ancha katta bo‘lgan yuklama qarshili R_{yu} orqali aniqlanadi. R_{tes} qarshiliklari qiymati esa hatto qizdirilgan dioda yuklama qarshili R_{yu} , ga nisbatan ancha katta bo‘ladi va shuning uchun teskari tokning qiymati to‘g‘ri tok qiymatiga qaraganda ancha kichik bo‘lib qoladi.

Past chastotali to‘g‘rilovchi qurilmalarda diodlarning ish rejimi bir necha parametrlar bo‘yicha xarakterlanadi. Bu parametrlarga quyidagilar kiradi: to‘g‘ri tokning bir davrdagi o‘rtacha qiymati $I_{tug.ur}$ va unga mos keluvchi dioddagi kuchlanish $U_{tug.ur}$; teskari kuchlanish $U_{tes.ur}$ va unga mos keluvchi teskari tok $I_{tes.ur}$. To‘g‘ri tokning o‘rtacha qiymati $I_{tug.ur}$ ko‘pincha to‘g‘rilangan tok deb ataladi. Bundan tashqari yana teskari kuchlanish va tokning ruxsat etilgan

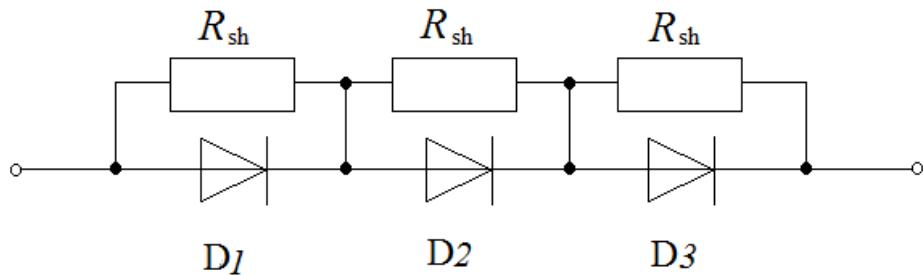
maksimal qiymati $U_{tes,max}$ va $I_{tug,max}$, korpusning harorati $t_{kor,max}$ va ishchi chastotaning maksimal qiymati f_{max} muhim parametrlardan hisoblanadi.

DIODNI PARALEL VA KETMA-KET ULASH

Yuqori kuchlanishlarni to‘g‘rilash jarayonida dioddagi teskari kuchlanishning qiymati chegaraviy qiymatdan oshmasligi uchun bir nechta diodlarni ketma-ket ulashga to‘g‘ri keladi. Lekin, bir xil tipdagi diodlarning teskari qarshiliklari turlicha bo‘lishi oqibatida ayrim diodlardagi teskari kuchlanish chegaraviy qiymatdan katta bo‘lishi mumkin va bu diodlarni teshilishiga olib keladi. Buni misollar yordamida tushuntiramiz.

Faraz qilaylik, qandaydir to‘g‘rilagichda teskari kuchlanish amplitudasi 1000 V ni tashkil qilsin va bu to‘g‘rilagichda teskari kuchlanishning ruxsat etilgan qiymati $U_{tes,max}=400\text{V}$ bo‘lgan diod ishlatilgan bo‘lsin. Ravshanki, bu holatda kamida uchta diodni ketma-ket ulash kerak bo‘ladi. Aytaylik, diodlar teskari qarshiliklarining qiymati mos ravishda $R_{tes1}=R_{tes2}=1\text{ Mom}$ va $R_{tes3}=3\text{ Mom}$ bo‘lsin. Teskari kuchlanish teskari qarshiliklarga qiymatiga proporsional ravishda taqsimlanadi, ya’ni $U_{tes1}=U_{tes2}=200\text{ B}$ va $U_{tes3}=600\text{ V}$. Uchinchi diodda (takidlash kerakki, bu diod eng yaxshisi hisoblanadi, chunki u katta R_{tes} ga ega) teskari kuchlanish ruxsat etilgan qiymatdan katta va u teshilishi mumkin. Agar bu teshilish sodir bo‘lsa, unda 1000 V li kuchlanish qolgan ikkita diodda taqsimlanadi va ularning har biridi 500 V dan kuchlanish tushuvi sodir bo‘ladi. aniqki, ulardan biri bu kuchlanish ostida teshilishi mumkin va teskari kuchlanishning hammasi (1000 V) qolgan bitta diodga tushadi. U ham esa bunday kuchlanishga dosh bera olmay teshiladi. Diodlarning bunday ketma-ketlikda teshilishi sekundning ulushlarida sodir bo‘ladi.

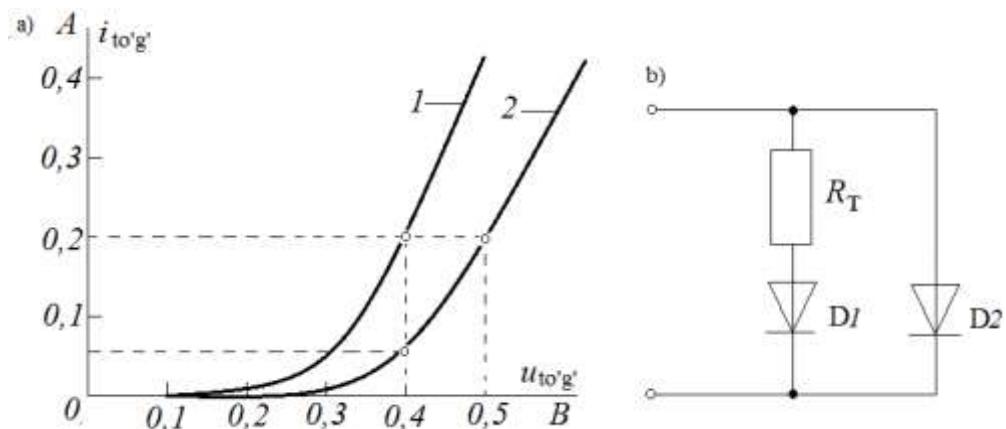
Teskari kuchlanish diodlarda, ularning teskari qarshiliklarining qiymatidan qat’iy nazar, bir tesik taqsimlanishi uchun, diodlarni rezistorlar orqali shuntlash qo‘llaniladi (36-rasm). Rezistorlar qarshiligi R_{sh} bir xil bo‘lishi va qiymati eng kichik teskari qarshilikli diod teskari qarshiligidan kichik bo‘lishi kerak. Lekin shu bilan birga teskari kuchlanish ostida tok keskin oshib ketmasligi uchun, ya’ni to‘g‘rilash jarayoni yomonlashmasligi uchun R_{sh} qiymati judayam kichik bo‘lmasligi kerak. Ko‘rilayotgan hol uchun 100 kOm qarshilikli rezistorni olish mumkin. U holda shundlovchi rezistor va dioddan tashkil topgan zanjirning har bir qismidagi qarshilikning qiymati 100 kOm dan kichik bo‘ladi va umumiylashtirish uchun zanjirning ushbu qismlari orasida taxminan teng uchga bo‘linib taqsimlanadi. Zanjirning har bir qismidagi bu kuchlanishning qiymati 400 V dan kichik bo‘ladi va diodlar ishonchli ishlaydi. Odatda shuntlovchi rezistor bir necha o‘n kiloomdan bir necha yuz kiloomgacha qarshilikga ega bo‘ladi.



36-rasm. Diodlarni ketma-ket ulashi

Diodning chegeraviy ruxsat etilgan eng katta to‘g‘ri tok qiymatidan kattaroq bo‘lgan to‘g‘ri tok olish maqsadida diodlarning paralel ulanishi qo‘llaniladi. Lekin agar bir tipga mansub diodlarni paralel ulasak, unda ularning bir xil bo‘lmagan volt-amper xarakteristikalari tufayli diodlar turlicha yuklangan bo‘ladi va ba’zi birlaridagi tok chegaraviy qiymatdan katta bo‘ladi. Bir tipli diodlardagi to‘g‘ri tokning farqi unlab protsentni tashkil qilishi mumkin.

Misol uchun 37a-rasmda $I_{tug,max}=0,2\text{ A}$ bo‘lgan ikkita bir tipli diodning to‘g‘ri tok xarakteristikasi ko‘rsatilgan. Faraz qilaylik, bu diodlardan $0,4\text{ A}$ to‘g‘ri tok hosil talab qilingan bo‘lsin. Agar ularni paralel ulasak, unda $0,2\text{ A}$ tokda birinchi dioddagi kuchlanish $0,4\text{ V}$ ga teng bo‘ladi (1-egri chiziq). Ikkinci diodda esa xuddi shu kuchlanishda tokning qiymati faqatgina $0,05\text{ A}$ ga teng bo‘ladi (2-egri chiziq). Shunday qilib, umumiy tok $0,4\text{ A}$ ga emas balki $0,25\text{ A}$ ga teng bo‘ladi. Dioddagi kuchlanishni ko‘paytirish mumkin emas, chunki birinchi dioddagi tokning qiymati ruxsat etilgan chegaraviy qiymatdan oshib ketadi.



37-rasm. Diodlarni paralel ulashi

Xarakteritikadan ko‘rinib turibdiki, ikkinchi diodda $0,2\text{ A}$ tokni hosil uchun undagi kuchlanish $0,5\text{ V}$ bo‘lishi kerak, ya’ni birinchi diodga qaragan $0,1\text{ V}$ ga kup. Shuning uchun, diodlar ish rejimini to‘g‘ri o‘rnatish maqsadida birinchi diodagi ortikcha $0,1\text{ V}$ kuchlanishni so‘ndirish uchun unga ketma-ket qilib tenglashtiruvchi rezistorni ulaymiz va diodlarga $0,5\text{ V}$ li kuchlanish beramiz (37b-rasm). aniqliki, bu rezistorning qarshiligi $R_t=0,1:0,2=0,5\text{ Om}$.

Zanjirda bu rezistorning mavjudligi ikkala diodni ham bir xil $0,2\text{ A}$ tok bilan yuklanishiga olib keladi.

Amaliy sxemalarda uchtadan ortik diodlarni paralel ulash kamdan kam uchraydi. Tenglovtiruvchi rezistorlarni odatda eksperiment yo‘li orqali tanlab olinadi. Ba’zida zanjirdagi har bir dioddagi tok asosan R_u ning qiymati bilan aniqlanishi uchun, diodning to‘g‘ri qarshiligidan bir necha marta katta bo‘lgan qarshilikli tenglashtiruvchi rezistor ulanadi. Lekin bu holatda R_u da, diodlarning to‘g‘ri kuchlanishidan bir necha marta katta bo‘lgan qo‘sishimcha kuchlanish tushuvi sodir bo‘ladi va albatda FIK kamayadi. Agar tenglashtiruvchi rezistorni ilojsiz sxemaga ulash kerak bo‘lsa, unda taxminan bir xil xarakteristikali diodlarni tanlash darkor bo‘ladi. .

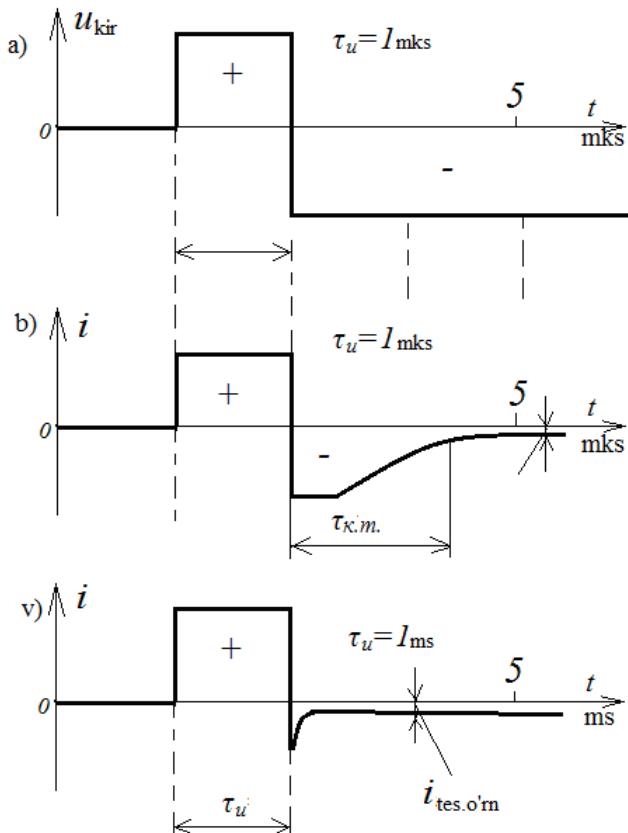
DIODLARNING IMPULS REJIMI

Zamonaviy radioelektron qurilmalarning aksariyatida yarim o‘tkazgichli diodlar ko‘pincha davomiyligi mikrosekundning ulushlariga teng bo‘lgan impuls rejimida ishlaydi. Bu rejimning o‘ziga xos xususiyatlarini diod bilan uning to‘g‘ri qarshiligidan bir necha marta katta qarshilikga ega bo‘lgan yuklama o‘zaro ketma-ket ulangan zanjir misolida ($R_{yu} >> R_{tug}$) ko‘rib chiqamiz. Faraz qilaylik bunday zanjir impulsli kuchlanish ta’siri ostida bo‘lsin. Bu kuchlanish diodni ochuvchi to‘g‘ri kuchlanishning qisqa impulsidan (musbat impulsdan) va diodni keyingi musbat impuls kelguncha yopuvchi bir munkha uzunrok bo‘lgan teskari kuchlanish impulsidan (manfiy impulsdan) tashkil topgan hamda kuchlanish impulslari to‘g‘ri turtburchak shakliga ega bo‘lsin (38a-rasm).

Bunday holat uchun tokning va unga proporsional bo‘lgan R_{yu} yuklamadagi kuchlanishning grafigi 38b-rasmda tasvirlangan. To‘g‘ri kuchlanish bo‘lganda zanjirdagi tok R_{yu} yuklama qarshiliqi orqali aniqlanadi. Diodning to‘g‘ri qarshiliqi chiziqli bo‘lmasada, lekin u R_{yu} yuklama qarshiligidan bir necha marta kichik bo‘lganligi uchun okayotgan tokga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Shuning uchun to‘g‘ri tok impulsleri deyarli kiyshaymagan. Bir munkha nisbatan kichik kiyshashiylar faqatgina juda qisqa impulslarda (davomiylagi mikrosekundning ulushlarigacha bo‘lgan impulslarda) kuzatilishi mumkin.

Kuchlanish qutblari o‘zgarganda, ya’ni teskari kuchlanish holatida teskari tok impulsi bir necha vaqt oralig‘ida teskari tok impulsi yetib kelashi natijasida diod darxol yopilmaydi (38b-rasm). balki ma’lum bir vaqt. Teskari toke impulsi hosil bo‘lishining sababi xuddi yuqori chastotalardagi diodning ish rejimiga o‘xshaydi. Asosiy sabab – bu diffiziyalı sig‘imning zaryadsizlanishidir, ya’ni n va p sohalardagi harakatlanuvchi zaryad tashuvchilar hosil qilgan zaryadlarning surilishidir. Odatda bu sohalardagi aralashmalar konsentratsiyasi turlicha

bo‘lganligi bois amalda teskari tok impulsi, bazada, ya’ni o‘tkazuvchanligi nisbatan kichik bo‘lgan sohada to‘planib qolgan zaryadning surilishi natijasida hosil bo‘ladi. Masalan, agar n soha emitter bo‘lib p soha baza bo‘lsa, unda to‘g‘ri tokda p sohadan n sohaga harakatlanayotgan kovaklar oqimini hisobga olmay faqatgina n sohadan p soha tomon harakatlanayotgan elektronlar oqimini qarab chiqish yetarli bo‘ladi.



38-rasm. Diodlar ishining impulsi rejimi

$p-n$ o‘tish orqali bu diffuziyali oqim p sohada elektronlarning to‘planib kolishiga olib keladi, chunki ular bu sohadagi kovaklar bilan tezda rekombinatsiyalanishga yoki p sohaning chiqishlarigacha yetib borishga ulgurmaydi. Kuchlanish qutblari o‘zgarganda bazada to‘planib qolgan zaryad teskari yo‘nalishda harakatlanishni boshlaydi va teskari tok impulsi hosil bo‘ladi. To‘g‘ri tok qanchalik katta bo‘lsa, shuncha ko‘p elektronlar bazada to‘planib kolishadi va shunga mos ravishda teskari tok impulsi ham shuncha kuchlirok bo‘ladi. Elektronlar teskari yo‘nalishda – bazadan emitter tomon harakatlanayotganda ularning bir qismi kovaklar bilan rekombinatsiyalashadi, bir qismi esa n soha orqali o‘tib bu sohaning metall chiqishlarigacha yetib boradi.

Bazada to‘planib qolgan zaryadning yo‘qolishi (surilishi) bir necha muddat davom etadi. Bunday surilishning oxirida teskari tok o‘zining juda kichik bo‘lgan o‘rnatilgan qiymatiga $i_{\text{tes.ur}}$ erishadi. Boshqacha qilib ayganda,

diodning teskari qarshiligi R_{tes} oldiniga uncha katta bo‘lmaydi, keyinchalik sekin-asta o‘zining normal o‘rnatilgan qiymatigacha ko‘payib boradi.

Teskari tokning hosil bo‘lish onidan to uning o‘rnatilgan qiymatiga erishguncha ketgan vaqt $\tau_{k.t.}$ teskari qarshilikning kayta tiklanish vaqt deb ataladi. Bu vaqt impulsli ishlar uchun mo‘ljallangan diodlarning muhim parametri hisoblanadi. Bunday diodlarda $\tau_{k.t.}$ ning qiymati mikrosekundning unning ulushlaridan oshmaydi. U qancha kichik bo‘lsa, shuncha yaxshi: diod tezrok yopiladi.

Teskari tok impulsini hosil bo‘lishining ikkinchi sababi – teskari kuchlanish ta’sirida paydo bo‘ladigan diodning sig‘im zaryadidir. Bunday sig‘imning zaryad toki zaryadning surilish toki bilan ustma-ust tushadi va natijada ular kushilib teskari tok impulsini hosil qiladiki, bu impuls qanchalik katta bo‘lsa, diod sig‘imi shunchalik katta bo‘ladi. Impulsli ishlar uchun mo‘ljallangan maxsus diodlarda bu sig‘imning miqdori bir pikofaradadan oshmaydi.

Agar to‘g‘ri tok impulsining davomiyligi ko‘rish chiqilgan utkinchi jarayonlar davomiyligidan ancha katta bo‘lsa, unda teskari tok impulsi juda ko‘p marta qisqa bo‘ladi (38v-rasm) va uni hisobga olmasa ham bo‘ladi.

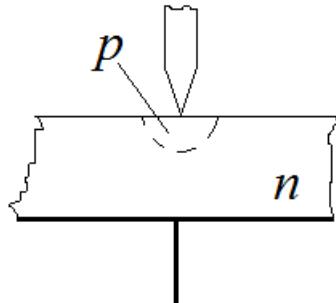
Impulsli diodlar $\tau_{k.t.}$ va S parametrlardan tashqari yana bir necha parametrlar bilan ham xarakterlanadi. Ularga quyidagilar kiradi: o‘zgarmas to‘g‘ri kuchlanish U_{tug} , o‘zgarmas to‘g‘ri tok I_{tug} , teskari tok I_{tes} , teskari kuchlanish U_{tes} , teskari kuchlanishning ruxsat etilgan maksimal qiymati $U_{tes.max.}$ vat ugri tok impulsining balandligi $I_{tug.i.max..}$

DIODLARNING ASOSIY TURLARI

Yarim o‘tkazgichli diodlar juda ko‘p belgilariga ko‘ra guruhlarga bo‘linadi. Diodlar turli xil yarim o‘tkazgichli materiallardan tayyorlangan bo‘lishi mumkin, past yoki yuqori chastolar uchun mo‘ljallangan bo‘lishi mumkin, turli xildagi funksiyani bajarishga mo‘ljallangan bo‘lishi mumkin va bir biridan konstruksiyasi jixatidan farq qilishi mumkin. Diodlar strukturasiga qarab ikki xil bo‘lishi mumkin; nuqtaviy va sirtiy diodlar.

Nuktaviy diodlar kichik $p-n$ o‘tish sigimini tashkil qiladi (odatda 1 pF dan kichik) va shuning uchun O‘YuCh gacha bo‘lgan ixtiyoriy chastotada qo‘llaniladi. Lekin ular faqatgina bir yoki o‘n milliamper tokni o‘tkazishi mumkin. Sirtiy diodlar esa $p-n$ o‘tishning yuzasiga bog‘liq ravishda o‘nlab pikofarada sig‘imga ega bo‘lishi mumkin. Shuning uchun ularni o‘nlab kilogersdan katta bo‘lmagan chastotalarda ishlatish mumkin. Sirtiy diodlarda ruxsat etilgan tokning maksimal qiymati o‘nlab mikroamperdan yuzlab ampergacha bo‘lishi mumkin.

Nuktaviy va sirtiy diodlarning asosi bo‘lib, butun hajmi bo‘ylab to‘g‘ri kristallik tuzilmaga ega bo‘lgan monokristalldan qirqib olingan yarim o‘tkazgich plastinka xizmat qiladi. nuqtaviy va sirtiy diodlarda yarim o‘tkazgichli material sifatida ko‘pincha germaniy yoki kremniy, shuningdek keyingi yillarda arsenid galliy (GaAs) va boshqa birikmalar ham ishlatilmokda.

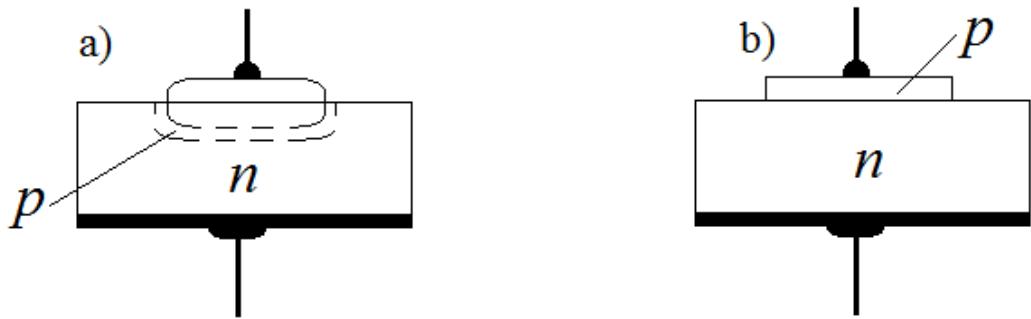


39-rasm. Nuqtaviy diodlar tuzilishshi

Nuqtaviy diodning tizilish prinsipi 39-rasmda ko‘rsatilgan. Aralashma kiritilgan ingichka uchli o‘tkazgich (nina) impuls toki yordamida aniq bir o‘tkazuvchanlik tipiga mansub bo‘lgan yarim o‘tkazgichli plastinkaga kavsharlanadi. Bunda ninadan yarim o‘tkazgich asosiga boshqa tip elektr o‘tkazuvchanlik sohasini hosil qiluvchi aralashmalar diffuziyalanadi. Bu jarayon diodning shakllanishi deb ataladi. Shunday qilib, nina atrofida yarimsfera shaklidagi kichkinagina p - n o‘tish hosil bo‘ladi. Mos ravishda, nuqtaviy va sirtiy diodlar orasidagi farq anna shu hosil bo‘lgan p - n o‘tish yuzasining qiymatidir.

Germaniyli nuqtaviy diodlar odatda solishtirma qarshiligi nisbatan katta bo‘lgan n -tipli germaniydan yasaladi. Germaniy plastinkasiga indiy bilan koplangan ninasimon volfram o‘tkazgichi kavsharlanadi. Indiy germaniy uchun akseptor vazifasini o‘taydi. Germaniydagи hosil bo‘lgan p -soha emitter sifatida ishlaydi. Kremniylik nuqtaviy diodlarni yasashda esa n -tipli kremniy va u uchun akseptor vazifasini o‘tovchi alyuminiy bilan qoplangan nina ishlatiladi.

Sirtiy diodlar asosan qorishmali yoki diffuziya usullari yordamida yasaladi (40-rasm). Germaniyning n -tipli plastinkasiga harorati 500°S atrofida bo‘lgan indiy tomchisi tomiziladi. Indiy tomchisi germaniy bilan qorishib germaniyda p -tipli qatlam hosil qiladi. hosil bo‘lgan p -tipli elektr o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan soha, asosiy plastinka bo‘lmish nisbatan yuqori qarshilikga ega bo‘lgan germaniyga qaraganda, yuqori konsentratsiyali aralashmaga ega bo‘ladi va shuning uchun bu soha emitter hisoblanadi. Germaniy va indiy plastinkalari asosiga nikel o‘tkazgichidan chiqishlar kavsharlanadi. Agar boshlang‘ich material sifatida yuqori qarshilikga ega bo‘lgan p -tipli germaniy olingan bo‘lsa, unda unga surma tomizilati va u holda emitter sohasi n -tipli bo‘ladi.



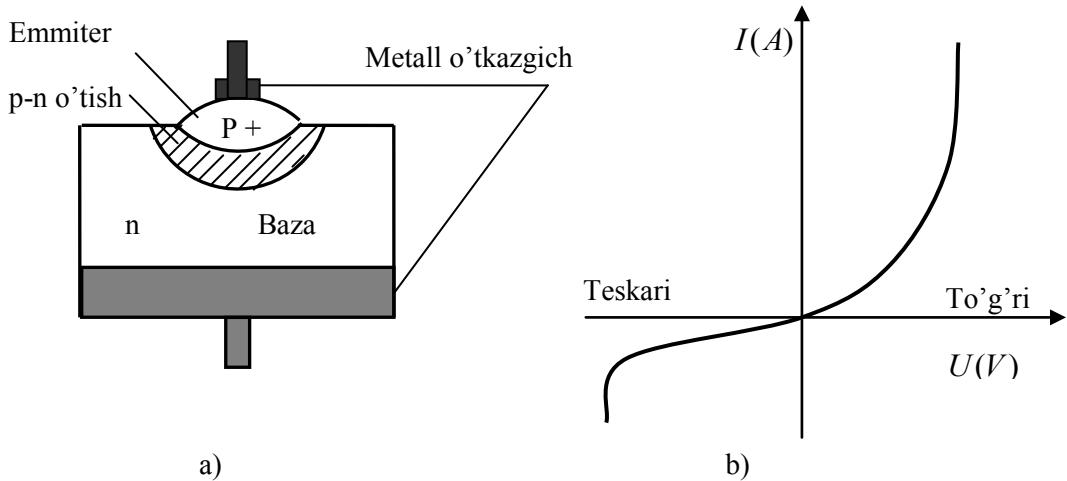
40-rasm. Qorishmali (a) va diffuziyali (b) usullar yordamida ishlab chikarilgan germaniyli sitriy diodlarning tuzilishi

Takidlash kerakki, qorishmali usul yordamida hosil qilingan $p-n$ o'tishlar cho'qqili yoki pog'onasimon bo'ladi. Ularda aralashmalar konsentratsiyasi o'zgarish sohasining qalinligi $p-n$ o'tishdagi hajmiy zaryadlar sohasi qalinligidan ancha kichik bo'ladi.

$p-n$ o'tishni hosil kilishning diffuziyali usuli aralashma atomlarining asos yarim o'tkazgichga diffuziyalanish hodisasiga asoslangan. Ushbu holda aralashma sifatida xizmat qiluvchi jism gaz holatida bo'ladi. Diffuziya jarayoni samarali kechishi uchun yarim o'tkazgich asosi qorishma usuliga nisbatan yuqoriqoq bo'lgan haroratgacha qizdiriladi. Masalan, n -tipli germaniy plastinkasini 900°S gacha qizdiriladi va indiy bug'lari ichiga joylashtiriladi. U holda plastinka sirtida germaniyning p -tipli qatlami hosil bo'ladi. Diffuziya davomiyligini o'zgartirib kerakli qalinlikdagi qatlamni juda aniq olish mumkin. Sovutilgandan so'ng bu qatlamni uning bir tomonidan boshqa hamma tomonidan kimyoviy yemirish yo'li orqali olib tashlanadi. Diffuziyali qatlam emitter rolini bajaradi. Undan va plastinka asosidan chiqishlar hosil qilinadi. Diffuziyali usulda aralashma atomlari asos yarim o'tkazgich ichiga nisbatan chuqurroq kirib boradi va shuning uchun $p-n$ o'tish silliq hosil bo'ladi, ya'ni unda aralashmalar konsentratsiyasi o'zgarish sohasining qalinligi hajmiy zaryadlar sohasi qalinligiga yaqin bo'ladi.

Endi turli xil vazifani bajaruvchi diodlarni ko'rib chiqamiz.

Umuman dioda bitta r-p o'tish mavjud bo'lib, uning r va p sohalaridan ulanish uchi chiqarilgan bo'ladi. Yarim o'tkazgichli diodning tuzilishi va volt-amper tavsifi 41-rasmida keltirilgan. r-p o'tish hosil qiluvchi sohalarning birida, asosiy tok tashuvchi zarrachalarning konsentratsiyasi ko'p bo'lib, u *emmiter* deb ataladi. Ikkinchisi esa *baza* deb ataladi.



41– rasm. Yarim o'tkazgichli diodning tuzilishi (a) va uning volt-amper tavsifi (b)

Tavsifning to‘g‘ri r-p qismida tokning kuchlanishga bog‘liqligi eksponensial xarakterga ega. Volt-amper tavsifdan ko‘rinib turibdiki, yarim o’tkazgichli diod ham nochiziqli elementlar qatoriga kiradi. Diodlardan o‘zgaruvchan tok kuchlanishini o‘zgarmas tok kuchlanishiga o‘zgartirishda, ya’ni to‘g‘rilashda, avtonom invertorlarning kuch sxemalarining sun’iy kommutatsiya zanjirlarida va boshqa maqsadlarda ishlatilishi bilan bir qatorda signallarni detekterlash, modulyatsiyalash maqsadlarda ham ishlatiladi.

To‘g‘rilagich diodlar past chastotali $f < 50$ kGs o‘zgaruvchan toklarni to‘g‘rilashda ishlatiladi. Tayyorlanish texnologiyasiga ko‘ra diodlar yassi va nuqtaviy bo‘lishi mumkin. Yassi diodlarda r-p o‘tishning yuzini belgilovchi o‘lchamlar, uning qalinligiga nisbatan katta bo‘ladi. Nuqtaviy diodlarda esa aksincha bo‘ladi.

To‘g‘rilagich diodlar sifatida asosan yassi diodlar ishlatiladi. To‘g‘ri yo‘nalishda o‘tuvchi to‘g‘rilangan tok kuchi 1600 ampergacha, teskari yo‘nalishda 1000 V gacha kuchlanishga mo‘ljallangan diodlar ishlab chiqariladi. Shu sababli diodlarga issiqlikni sochuvchi radiatorlar kiydirilib montaj qilinadi.

To‘g‘rilovchi sirtiy diodlar. Chastotasi bir kilogersgacha bo‘lgan o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash uchun past chastotali to‘g‘rilovchi diodlar keng qo‘llaniladi. Bu diodlar turli xildagi qurilmalarning elektr ta’milot manbasi bo‘lgan to‘g‘rillagichlarda ishlatiladi. Ba’zida ularni kuch diodlari ham deb ataladi. Past chastotali diodlar sirtiy bo‘ladi va germaniy yoki kreminiyan yasaladi. Ular kichik, o‘rta va katta quvvatli diodlarga bo‘linadi va bulardagi to‘g‘rilangan tokning chegaraviy qiymatlari mos ravishda $300mA$ gacha, $300mA$ dan $10A$ gacha va $10A$ dan yuqori. Diodlarning barcha parametrlari odatda atrof muxit harorati $20\pm5^{\circ}S$ bo‘lgan holat uchun ko‘rsatilgan bo‘ladi.

Germaniyli diodlar qoidaga ko‘ra n -tipli germaniyga indiyni qorishtirib yasaladi. Ular o‘zidan $0,8 \text{ V}$ kuchlanishda zichligi 100 A/sm^2 bo‘lgan tokni o‘tkazishi mumkin. Ulardagi teskari kuchlanishning maksimal qiymati 400 V dan oshmaydi, teskari tok esa kichik quvvatli diodlar uchun milliamperning o‘nning ulushlaridan, o‘rtalarda quvvatli diodlar uchun esa milliamperning ulushlaridan oshmaydi. Diodlarning ishchi harorati -60°S dan $+75^\circ\text{S}$ gacha. Agar diodlar 20°S dan yuqori bo‘lgan atrof muxit haroratida ishlayotgan bo‘lsa, unda teskari kuchlanish qiymatini pasaytirish darkor. Past atmosfera bosimda yoki sovitish tizimining qoniqarsiz holatida diodlarning kuyish ehtimoli ko‘proq bo‘ladi. Bunga yo‘l qo‘ymaslik uchun esa to‘g‘rilangan tok qiymatini kamaytirish zarur.

Katta quvvatli germaniyli diodlar tabiiy sovitish tizimida ishlaydi. Ular to‘g‘rilangan tokning qiymati 1000 A gacha, teskari kuchlanishning qiymati 150 V ga teng qilib ishlab chiqariladi.

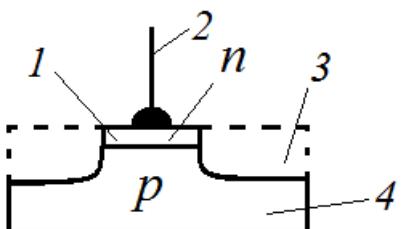
Kremniyli to‘g‘rilovchi diodlar keyingi yillarda keng qo‘llanila boshlandi. Ular n -tipli kremniyga alyuminiyli qorishtirib yasaladi, shuningdek p -tipli kremniyga olovo bilan fosfor birikmasini yoki oltin bilan surma birikmasini qorishtirib diffuziyali usul yordamida yasaladi. Ular germanili diodlarga qaragan qator afzalliklarga ega. To‘g‘ri tok zichligining qiymati ularda 200 A/sm^2 gacha, teskari kuchlanishning chegaraviy qiymati esa 1000 V gacha bo‘lishi mumkin. Ishchi harorat esa ularda -60°S dan $+125^\circ\text{S}$ gacha (ba’zi birlarida esa $+150^\circ\text{S}$ gacha) bo‘lishi mumkin. Kremniyli diodlarda to‘g‘ri kuchlanish $1,5 \text{ V}$ gacha boradi, ya’ni germaniyli diodlarga qaraganda bir muncha katta. Kremniyli diodlardagi teskari tokning qiymati esa germaniyli diodlarga qaraganda ancha kichik.

To‘g‘rilovchi nuqtaviy diodlar. Bu diodlarning tuzilishini ko‘rib chiqqan edik. Nuqtaviy diodlar yuqori chastotalarda, ba’zi bir turdagilari esa o‘ta yuqori chastotalarda keng qo‘llaniladi hamda past chastotalarda ham yaxshi ishlay olishlari mumkin. Bu diodlar turli xildagi sxemalarda qo‘llanilishi mumkin, shuning uchun ba’zida ularni universal diodlar ham deb ataladi. Germaniyli va kremniyli diodlar teskari kuchlanishning chegaraviy qiymati 150 V gacha va to‘g‘rilangan tokning maksimal qiymati 100 mA gacha qilib ishlab chiqariladi.

Impulsli diodlar. Diodlarning impulsli ish rejimlarining o‘ziga xos xususiyatlarini va bu rejimni xarakterlovchi parametrlarni oldinroq ko‘rib chiqqan edik. Qisqa impulslerda qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan diodlarni aniqlovchi teskari qarshilikni qayta tiklanish vaqtiga $\tau_{k.t.}$ eng muhim parametrlardan hisoblanadi. Uni kamaytirish uchun esa diodlar shunday ishlab chiqariladiki, unda $p-n$ o‘tish sig‘imi kichik bo‘ladi va zaryad tashuvchilarining

rekombinatsiyasi imkon qatar tezroq sodir bo‘ladi. Impulsli diodlar tokning qiymatini bir necha yuz milliamperga va teskari kuchlanish chegaraviy qiymatini esa bir necha o‘n voltga mo‘ljallab ishlab chiqariladi.

Juda qisqa impulslar uchun esa bir vaqtning o‘zida katta miqdorda mezadiodlar ishlab chiqariladi. (ispanchadan «meza»-stol). Oldiniga asosiy yarim o‘tkazgich plastinkasiga diffuziyali usul yordamida boshqa turdag'i elektr o‘tkazuvchanlikga ega bo‘lgan qatlam hosil qilinadi. Keyin esa bu plastinka maxsus niqob bilan qoplanadi va kimyoviy yemirishga qo‘yiladi. Niqob plastinkadagi uncha katta ko‘plab qismlarni yemirilishdan himoya qiladi. Aynan mana shu himoyalangan qismlarda plastinka sirtida «stolchalar» ko‘rinishdagi kichik o‘lchamli $p-n$ o‘tishlar qoladi (41-rasm). Shundan keyin plastinkaning aloxida qismlari-diodlar qirqib olinadi. Mezadiodning o‘ziga xos xususiyati baza sohasi hajmining kamayishi hisoblanadi. Buning oqibatida esa bazadagi zaryad tashuvchilarning to‘planish va surilish vaqtini qisqaradi. Bitta plastinkadan bir vaqtning o‘zida katta miqdordagi bunday diodlarni ishlab chiqarish ularning xarakteristikalari va parametrlari deyarli bir biriga teng bo‘lishiga olib keladi.



41-rasm. Mezadiod tuzilishining prinsipi

1-diffuziyali yo‘l bilan hosil qilingan n-tipli o‘tkazuvchanlikga ega bo‘lgan qatlam; 2-n sohaning chiqishi; 3-kimyoviy yemirish yo‘li bilan olib tashlangan qism; 4-p-tipli yarimo‘tkazgich plastinkasi

Stabilitronlar. Yarim o‘tkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasidagi elektrik teshilish sohasi kuchlanishni stabilizatsiya qilish uchun qo‘llanilishi mumkinligini aytib o‘tgandik. Kremniyli sirtiy diodlarda bunday soha teskari tokning keng diapozondagi o‘zgarishiga mos keladi. Bunda teshilish boshlanguncha teskari juda kichgina bo‘ladi, teshilish rejimida esa, ya’ni stabilizatsiya rejimida u xuddi to‘g‘ri toka o‘xshab qoladi. Bugungi kunda kremniyli stabilitronlarning ko‘p sonli turlari ishlab chiqarilmokda. Ularni ba’zida tayanch diodlar ham deb ataladiki, ular orqali olinadigan stabil kuchlanish aksariyat holatlarda etalon sifatida qo‘llaniladi. 42-rasmida stabilitronning teskari tokdagi volt-amper xarakteristikasi ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki stabilizatsiya rejimida kuchlanish deyarli o‘zgarmaydi. Stabilitronning to‘g‘ri tokdagi xarakteristikasi oddiy diodlarning xarakteristikalariga o‘xshashdir.

Kremniyli stabilitronlar ko‘pchilik tranzistorli qurilmalarga kerak bo‘lgan kichik kuchlanishlarga mo‘ljallab ishlab chiqarili mumkin.

Kremniyli stabilitronlarning asosiy parametrlarini ko‘rib chiqamiz. Kuchlanish stabilizisiyasi U_{st} taxminan 5 V dan 200 V gacha bo‘lishi mumkin, stabilitron tokining I_{min} dan I_{max} gacha o‘zgarishi o‘nlab hattoki yuzlab milliamperni tashkil qiladi. Stabilitronning ruxsat etilgan maksimal quvvati P_{max} – yuz millivattdan bir vattgacha bo‘lishi mumkin. Stabilizatsiya rejimidagi differensial qarshilik $R_d = \Delta u / \Delta i$ bir omning ulushlaridan 200 Om gacha bo‘lishi mumkin. Kichik quvvatli past kuchlanishli stabilitronlarning qarshiligi R_D bir omdan o‘nlab omgacha bo‘lishi mumkin. R_D qarshilik qancha kichik bo‘lsa, stabilitronning stabilizatsiyasi shuncha yaxshilanadi. Bundan ko‘rinadiki ideal stabilizatsiyalash uchun esa $R_D=0$ bo‘lishi kerak. Shu narsani yodda tutish kerakki, R_D o‘zgaruvchan tokka ko‘satadigan qarshilik bo‘lib, o‘zgarmas tokka bo‘lgan statik qarshilik $R_0 = u/i$ dan faqr qiladi. R_0 qarshilik esa hamma vaqt R_D qarshilikdan katta bo‘ladi.

Stabilitron - yarim o‘tkazgichli diod bo‘lib, uning ishlash prinsipi $r-n$ o‘tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo‘lmagan o‘zgarishiga olib kelishiga asoslangan. 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.

Stabilitron VAX sidagi ishchi soha elektr teshilish sohasida joylashadi. Barqarorlash kuchlanishi diod bazasidagi kiritma konsentratsiyasi bilan aniqlanadigan $r-n$ o‘tishga bog‘liq. Agar yuqori konsentratsiyaga ega bo‘lgan yarim o‘tkazgich qo‘llanilsa, u holda $r-n$ o‘tish tor bo‘ladi va tunnel teshilish kuzatiladi.

U_{ST} ishchi kuchlanishi 3-4 V dan oshmaydi.

Yuqori voltli stabilitronlar keng $r-n$ 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.

Stabilitronning elektr teshilish sohasidagi differensial qarshiligi r_D barqarorlash darajasini xarakterlaydi. Bu qarshilik qiymati dioddagi kichik kuchlanish o‘zgarishi qiymatining diod toki o‘zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi r_D qiymati qancha kichik bo‘lsa, barqarorlash shuncha yaxshi bo‘ladi.

Stabilitronning asosiy parametri bo‘lib barqarorlash kuchlanishining temperatura koeffisienti (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.

Yuqori chastotali diodlar signallarni detektorlash, o‘zgartirish, modulyatsiyalash kabi ishlarda qo‘llaniladi. Bu ishlarni bajarishda diodning xususiy sig‘imi muhim ahamiyatga ega. Bunday diodlarda sig‘im kichik bo‘lishi talab qilinganligi tufayli asosan nuqtaviy diodlar ishlatiladi. Hozirgi kunda ishchi chastotasi 1000 MGs gacha bo‘lgan yuqori chastotali diodlar mavjud. Yuqori chastotali diodlar kichik tekari kuchlanishda va kichik toklar rejimida ishlaydi.

Impuls rejimida ishlaydigan diodlar elektr sxemalarda kalit vazifasini bajaradi. Bu rejimda asosan nuqtaviy va kichik yassi diodlar ishlatiladi. Diod ikki holatda bo‘ladi: «ochiq» yoki «yopiq». Ochiq holda diod qarshiligi kam, yopiq holda katta bo‘ladi.

Yarim o‘tkazgichli kuchlanish stabilizatori (stabilitron, stabistor). Bu yarim o‘tkazgichli diod zanjirga teskari r-p o‘tish hosil bo‘ladigan qilib ulanadi. Ish rejimi, diod tavsifining teskari yo‘nalishda yorib (teshib) yotuvchi tok o‘tadigan qismiga to‘g‘ri keladi. Yorib o‘tsh deyilganda, diodga teskari r-p o‘tishga to‘g‘ri keladigan kuchlanish qo‘yilib, uning ma’lum qiymatida teskari tokning keskin ortib ketishi tushuniladi. Diodda ko‘chkili, tunnel, va issiqlik ta’sirida yorib o‘tishlar kuzatilishi mumkin.

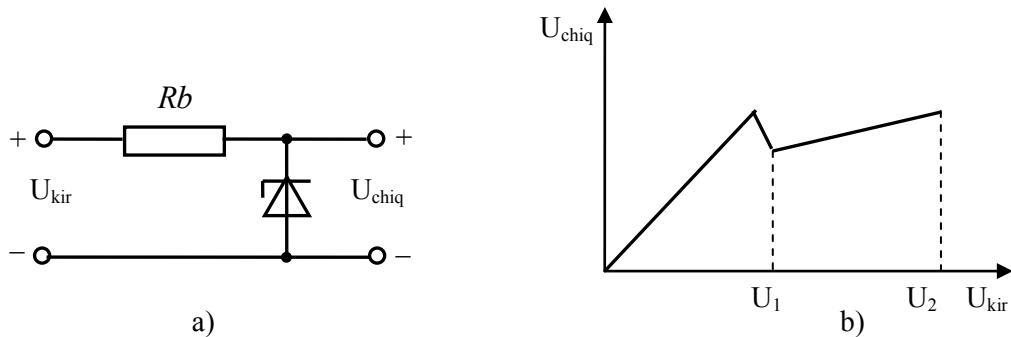
Yarim o‘tkazgichda aralashma miqdori juda kichik bo‘lganda, katta teskari kuchlanish ta’sirida bo‘lgan elektronlar va kovaklar neytral yarim o‘tkazgich atomining yana bitta kovalent bog‘langan elektronini urib chiqarishi mumkin. Natijada zaryad tashuvchi zarrachalarning yangi jufti hosil bo‘ladi. Yetarli miqdordagi teskari kuchlanishda bunday urib chiqarish ko‘chkisimon ko‘rinishda namoyon bo‘ladi.

Tunnel orqali yorib o‘tishda kuchli elektr maydon ta’sirida elektr sohalarining chegarasi siljiydi va chegara yaqinida kichik potensial to‘siqqa ega bo‘lgan tuynuk ochiladi. Qarshiligi kichik yarim o‘tkazgichlarda tunnel orqali tok o‘tish, ko‘chkisimon o‘tish kuzatiladigan o‘tish kuzatiladigan kuchlanishdan kichikroq kuchlanishlarda ro‘y beradi. Qarshiligi katta bo‘lgan yarim o‘tkazgichlarda esa, aksincha.

Issiqlik ta’sirida yorib o‘tishda r-p o‘tish sohasi qizib, unda asosiy bo‘lmasan tok tashuvchilarning ko‘payishi va natijada teskari yo‘nalishdagi tokning ortib ketishi kuzatiladi.

Ko'chkisimon va tunnel orqali yorib o'tishlar diodni ishdan chiqarmaydi. Shu sababli buo'tishlar elektron qurilmalarda qo'llaniladi. Issiqlik ta'sirida yorib o'tish esa, r-p o'tishni buzadi.

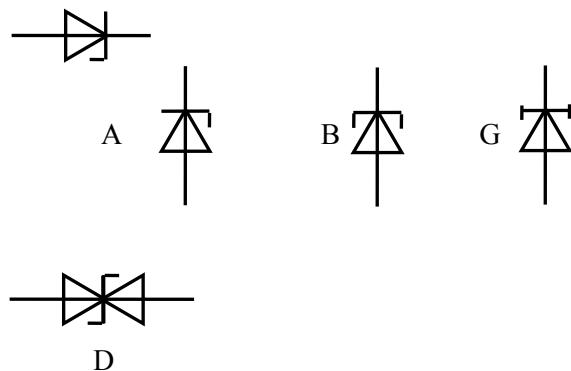
Stabilitronlar ko'chkisimon yorib o'tish hodisasiga asoslanib ishlaydi. Uning ishlash prinsipi quyidagicha (42-rasm): stabilitronga qo'yilgan teskari yo'nalishdagi kuchlanish orttirib borilsa, dioddan o'tadigan teskari tok miqdori juda kichik bo'lganligidan, sxemaning chiqishidagi kuchlanish ham ortib boradi.



42 – rasm. Stabilitronni tok manbaiga ulash sxemasi (a) va uning chiqish tavsifi

Kuchlanish miqdori ko'chkisimon yorib o'tish miqdoriga yetganda, dioddan o'tayotgan tok keskin ortib ketadi (1.1b – rasm). Chiqish kuchlanishi esa bir oz kamayadi. Kirish kuchlanishining bundan keyingi ortishi stabiliton orqali o'tuvchi tokni oshirishga sarflanadi va chiqish kuchlanishi deyarli o'zgarmaydi (42b – rasm). Bu oraliqqa to'g'ri kelgan chiqish kuchlanishi, stabilitronning **stabilizatsiyalash kuchlanishi** deb yuritiladi.

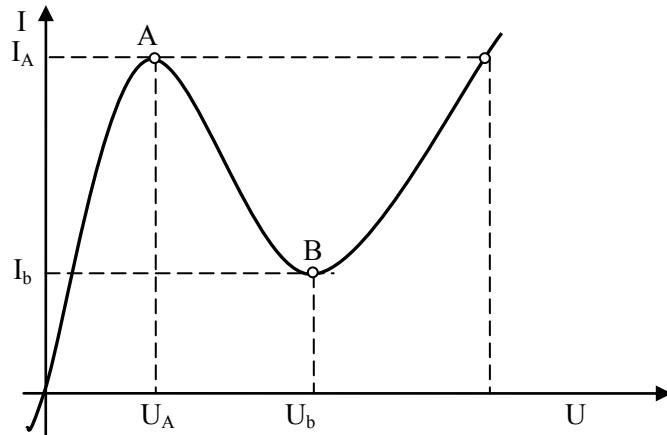
Asosiy ko'rsatkichlariga stabilizatsiyalash kuchlanishi U_{st} , stabilizatsiyalash toki I_{st} , stabilizatsiyalash tokiga to'g'ri kelgan differensial qarshiligi R_{st} kiradi. 43 – rasmda stabiliton, tunnel va aylantirilgan diodlarning sxematik belgilanishlari keltirilgan.



43 – rasm. Yarim o'tkazgichli stabiliton, tunnel va aylantirilgan diodlarning shartli belgilanish:

a – bir tomonlama o‘tkazadigan, b – ikki tomonlama o‘tkazadigan stabilitron; v – tunnel, g – aylantirilgan diodlar

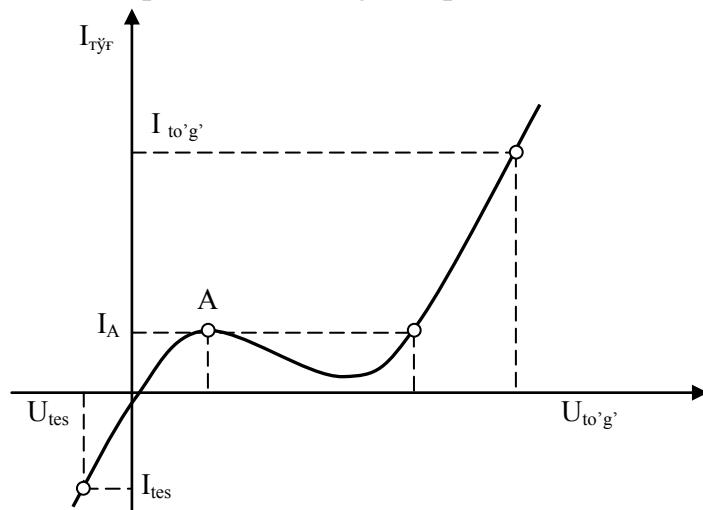
Tunnel diodlar asosan ko‘p aralashmali diodlardan yasaladi. Uning ishlash prinsipi tunnel orqali yootb o‘tish hodisaiga asoslangan. Tunnelli diodning volt-amper tavsifi 44 – rasmda keltirilgan.



44 – rasm. Tunnel diodning volt-amper tavsifi

Tavsifdan ko‘rinib turibdiki, uning to‘g‘ri o‘tishga mos kelgan qismida differensial manfiy qiymatga ega bo‘lgan soha mavjud. Manfiy qarshilik deyilganda kuchlanish ortishi bilan tok kuchi kamayishi tushuniladi. Bu xususiyatga ko‘ra tunelli dioddan kuchaytirgich, generator va turli xil impuls rejimda ishlaydigan qurilmalarda foydalaniladi. Diod teskari yo‘nalishdagi tokni yaxi o‘tkazadi.

Aylantirilgan diodlar ham tunelli diodlarga o‘xshash bo‘lib, volt-amper tavisida, do‘nglik va chuqurlik fazasidagi farq kichik bo‘ladi (45 – rasm).



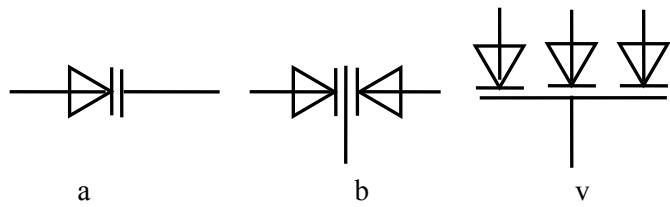
45 – rasm. Aylantirilgan diodning volt-amper tavsifi

Diodda aralashma kritik konsentratsiyada olinib, teskari yo‘nalishdagi o‘tkazuvchanlik to‘g‘ri yo‘nalishdagi o‘tkazuvchanlikdan katta bo‘ladi. Bunday

diodlarning teskari yo‘nalishdagi volt-amper tavsifi to‘g‘rilovchi diodlarnikiga o‘xhash bo‘ladi.

Varikap – bu yarim o‘ikazgichli diod bo‘lib, sig‘im teskari yo‘nalishdagi kuchlanishga bog‘liq bo‘ladi, Teskari kuchlanish oshishi bilan r-p o‘tish sig‘imining qiymati oshib boradi.

Varikaplar galliy arseniddan tayyorlanib, unda asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kam kam bo‘ladi. Teskari yo‘nalishdagi differensial qarshiligi katta bo‘ladi. 1.6 – rasmda varikaplarning shartli belgilanishlari keltirilgan.



46 – rasm. Varikaplarning shartli belgilanishlari:

a – varikap; b – bir katodli ikki (v) uch varikapli matrisa

Varikaplar kontur chastotsini avtomatice tazda sozlash ishlarida generator va geterodinlar chastotalarini o‘zgartirishda ishlatiladi.

Signal chastotsini ko‘paytiruvchi varikaplar **varaktor** deb ataladi. Asosiy ko‘rsatkichlari: varikapning aslligi, stg‘imini o‘zgartirish koeffisienti, umumiy sig‘imi.

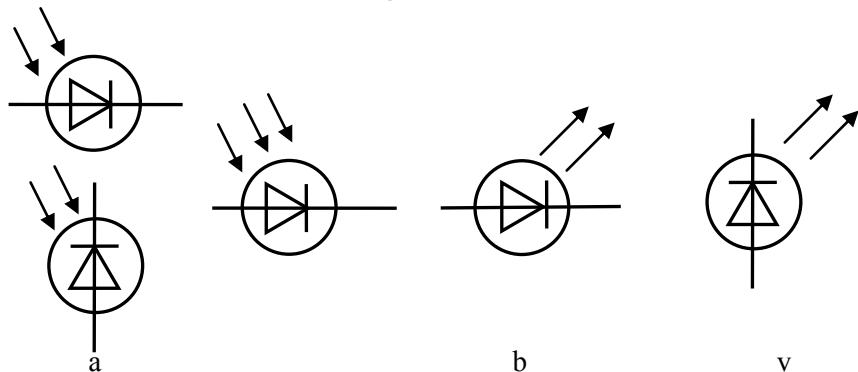
Fotodioldar. Ayrim moddalarga yorug‘lik tushganda, energiya modda atomlari tomondan yutilib, elektron – kovak juftini hosil qiladi. Bu moddadan yasalgan material uchlariiga kuchlanish berilsa, elektronlar bir tomonga, kovaklar ikkinchi tomonga harakat qiladi. Yorug‘lik intensivligi oshishi bilan tok kuchi ham ortib boradi.

Fotoelektrik qurilmalarda yorug‘lik ta’sirida kuchlanish hosil bo‘ladi. Fotodioldar – yorug‘lik ta’sirida elektr tokini o‘tkazuvchi qurilma sifatida ishlatiladi.

Yorug‘lik dioddar – bu bir yoki bir necha r-p o‘tishga ega bo‘lgan diod bo‘lib, undan tok o‘tganda o‘zidan yorug‘lik chiqaradi. Bu diodda tok tashuvchi zarrachalar elektronlar va kovaklardan iborat bo‘lsa-da, elektronlarning miqdori kovaklarga nisbatan ko‘proq bo‘ladi. Elektronlar p sohadan r-sohaga o‘tish davomida, bir energetik sathdan ikkinchisiga o‘tadi. Elektronlar r-sohada kovaklar bilan rekombinatsiyalanib o‘zlarining ortiqcha energiyalarini yo‘qotadi. Bu energiya nur sifatida namoyon bo‘ladi. Tok ortishi bilan yorug‘lik intensivligi ham ortadi. Chiqayotgan nur kengroq fazoga taqsimlanishi uchun

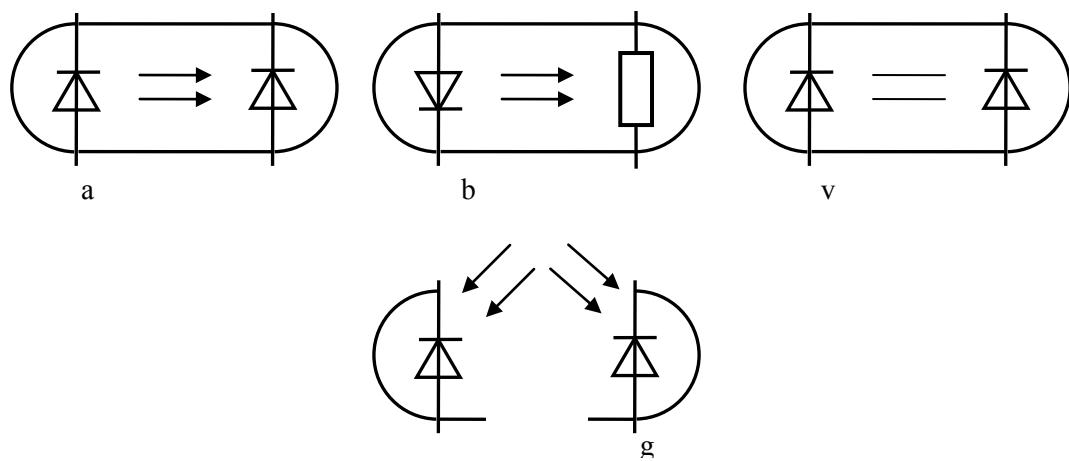
diodning nur chiqayotgan sohasiga ixcham linza ham o‘rnataladi. Diod materialiga qarab undan chiqayotgan nurning rangi ham har xil bo‘ladi.

Yorug‘lik diodlari yorug‘lik indikatorlari, optoelektron asboblarida nurlanish manbai, kinofototexnikada va avtomatik qurilmalarda keng qo‘llanishi bilan bir qatorda, hozirda energiya tejamkor yoritish vositalari sifatida ko‘cha va uylarning va ko‘cha yoritish lampalari sifatida hamda ko‘cha reklama shchitlarida ham qo‘llanilmoqda. Fotodiod va yorug‘lik diodlarning shartli belgilanishi 47 – rasmida keltirilgan.



47 – rasm. Fotodiod va yorug‘lik diodlarning shartli belgilanishlari:
a – fotodiod; b – fotodinistor; v – yorug‘lik diodlari

Optoron asboblar. Bitta qurilma ichiga fotodiod va yorug‘lik diodi joylashtirilgan asboblar optronlar deb ataladi (48 – rasm). Bunday asboblar signallarni bir blokdan ikkinchisiga o‘tkazishda ishlatiladi.

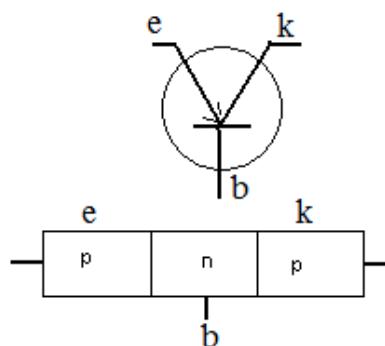


48 – rasm. Optron asboblar

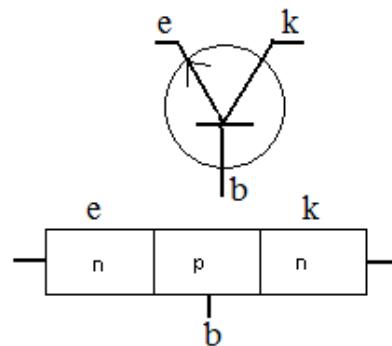
BIPOLYaR TRANZISTORLAR

Bipolyar tranzistor yarim o‘tkazgich monokristallida ikkita p-n o‘tish sohasini hosil qilish asosida yasaladi. Uni o‘tkazuvchanligi almashib keladigan 3 ta sohaga ajratish mumkin. Agar monokristallning elektron o‘tkazuvchanlik hajmi ikki yonidan kavak o‘tkazuvchanlik hajmi bilan chegaralangan bo‘lsa, hosil bo‘lgan yassi tranzistor *p-n-p* turdagি tranzistor deyiladi (49a-rasm). Aksincha,

kovak o'tkazuvchanlik qismi ikkita elektron o'tkazuvchanlik soha orasida bo'lsa, *n-p-n* turdagit tranzistor hosil bo'ladi (49b-rasm). Kontakt sohasi kichik bo'lsa nuktaviy tranzistorlar hosil bo'ladi.



49a-rasm



49b-rasm

To'g'ri o'tish asosida ishlovchi chap tomondagi *p-n* o'tish *emitter* o'tishi deb, *p*- qatlam esa, *emitter* deb ataladi. Teskari ulanadigan o'ng tomondagi *p-n* o'tish *kollektor* o'tishi deb, *p*-qatlami esa - *kollektor* deb ataladi.

O'rtadagi *n*-qatlam esa *baza* yoki *asos* deb ataladi. Bu qatlamlardan metall kontakt orqali chiqarilgan tutashtirish uchlari -elektrodlar mos nomlar- *emitter*, *kollektor* va *baza* deb yuritiladi.

N-p-n turdagи tranzistorlarning ishlash prinsipi *p-n-p* turdagи tranzistorlarnikidan farq qilmaydi. Bunda faqat manbalarning ulanish kutbini teskarisiga o'zgartiriladi. Asosiy tok tashuvchilar kavaklar emas, balki elektronlar bo'ladi.

Tranzistorning boshqarilish xususiyati shundaki uncha katta bo'lмаган U_e kuchlanish ta'sirida hosil bo'lgan emitter toki I_e o'ziga deyarli teng bo'lgan kollektor toki I_k ni hosil qiladi. Bu tok esa teskari ulangan va U_e kuchlanishdan ancha katta bo'lgan U_k kollektor kuchlanishini o'zgartiradi. Bipolyar tranzistorning ishlashi emitterdan baza orqali kollektorga zaryad tashuvchilar oqimining o'tkazilishidan iborat. Ikkinci tomon, tranzistorning strukturasini ikki *p-n* o'tishga: emitter-baza va kollektor-bazaga ajratsak, birinchi o'tishga elektr bilan ta'sir etib, ikkinchi o'tishning qarshiligini o'zgartirishimiz mumkin. Shunga asosan asbobning nomi ham ikkita inglizcha so'z (transfer - o'zgartirmok, resistor - qarshilik) dan kelib chikadi.

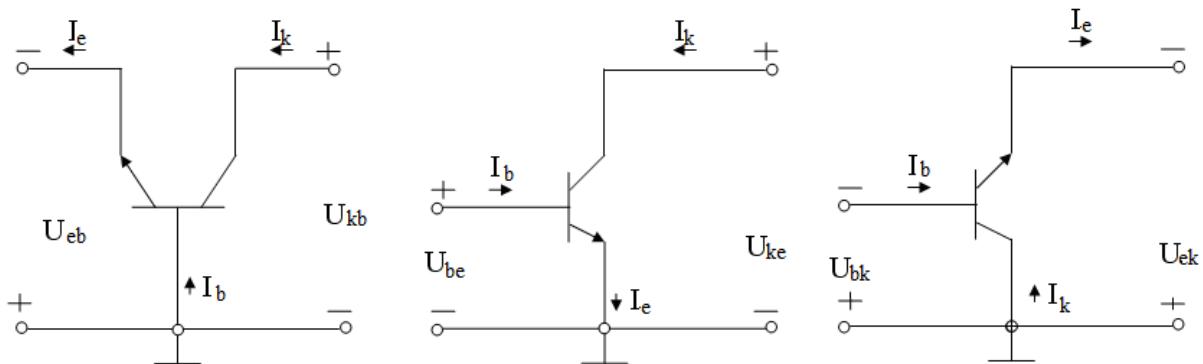
Bipolyar tranzistorlarning uch xil ulanish sxemasi mavjud.

- **Umumiy bazali sxema - UB**
- **Umumiy emitterli sxema - UE**
- **Umumiy kollektorli sxema - UK**

Tranzistorlar uchun to'rt xil - kirish, chiqish, to'g'ri va teskari o'tish (bog'lanish) xarakteristikalari sistemasi mavjud.

Tranzistor sxemaga ulanayotganda chiqishlaridan biri kirish va chiqish zanjiri uchun umumiy qilib ulanadi, shu sababli quyidagi ulanish sxemalari mavjud: umumiy baza (UB) a-rasm; umumiy emitter (UE) b-rasm; umumiy kollektor (UK) v- rasm. Bu vaqtida umumiy chiqish potensiali 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

50-rasm. Bipolyar tranzistorning sxemaga ulash usullari.



Tranzistorli sxemalarni o‘rganishda kirish va chiqish xarakteristikalar sistemasi katta egamiyatga ega. Shuning uchun bu xarakteristikalarini tranzistorning UE ulanish sxemalari uchun aniklaymiz.

Tranzistorning umumiy emitterli sxema uchun kirish xarakteristikasi deganda kollektor kuchlanishi yoki toki o‘zgarmas bo‘lgandagi baza tokining baza kuchlanishiga bog‘liqligi tushuniladi:

$$I_\sigma = f(U_\sigma) \downarrow_{U_k I_k = \text{const}} \quad (48)$$

U emitter-baza o‘tishining to‘g‘ri ulanish hollari uchun volt-amper xarakteristikasidir. Shuning uchun ular tranzistorning UB sxema uchun olingan kirish xarakteristikalar bilan mos keladi. Lekin ulardan farqli $U_k = \text{const}$ bulan hol uchun olingan xarakteristikalar kollektordagi manfiy kuchlanish ortishi bilan chapga emas, balki o‘ngga surila boshlaydi. Chunki bunda kollektor kuchlanishi kamayishi bilan baza toki ham kamayadi. Ikkinci tomondan, $U_k = U_b$ bo‘lganda baza zanjiri bo‘ylab kolletkor o‘tishining ochiq holatiga mos tok o‘tadi. Shuning uchun baza toki ortadi, ya’ni $U_k = 0$ qiymatga to‘g‘ri keladigan xarakteristika kollektor kuchlanishining katta qiymatlarida olingan xarakteristikaga nisbatan o‘ngda emas, balki chapda yotadi. Kollektor toki o‘zgarmas bo‘lgan holda olingan xarakteristikalar $U_k = \text{const}$ holdagi xarakteristikalardan farq qilmaydi. Kollektor toki ortishi bilan ular kichik baza toklari sohasiga (o‘ngga) suriladi, chunki bunda kollektor kuchlanishi ortishi kerak.

Tranzistorning UE sxema uchun chiqish xarakteristikasi deganda baza kuchlanishi yoki toki o‘zgarmas bo‘lgandagi kollektor tokining kollektor kuchlanishiga bog‘liqligi tushiniladi:

$$I_{\kappa} = f(U_{\kappa}) \downarrow_{U_{\delta} I_{\delta} = const} \quad (49)$$

Amaliy jixatdan $I_b=const$ bo‘lgan holda aniklangan xarakteristikalar sistemasi katta ahamiyatga ega.

Undan shu narsa ko‘rinadiki, kollektor kuchlanishining boshlang‘ich kichik qiymatlarida kollektor toki keskin o‘sishga ega, uning katta qiymatlarida esa, bu o‘sish juda susayib qoladi. Bu kuyidagicha tushuntiriladi:

$U_k=0$ qiymatlarda bo‘lganda emitterda to‘g‘ri ulanish kuchlanishi bo‘lgani uchun kollektor o‘tishining qarshiligi juda kichik bo‘ladi. Shuning uchun bu sohada kavaklarning konsentratsiyasi juda katta bulib, ularning rekombinatsiyalanishi yetarlicha katta miqdorli tokni hosil qiladi. Manfiy kollektor kuchlanishi ortishi bilan kollektor o‘tishi kengayadi va baza qatlami torayadi. Natijada baza toki kamayishi kerak. Lekin uning qiymati emitter kuchlanishi yordamida o‘zgarmas qilib olingani uchun emitter va kollektor toklari ortadi. Bunda kollektor tokining o‘sishi juda sust bo‘ladi.

Baza toki ortishi bilan kollektor toki ham o‘s sa boshlaydi va xarakteristika katta kollektor toki sohasiga suriladi, hamda uning og‘maligi ortadi. Bu baza toki yordamida kollektor tokini boshqarish mumkinligini ko‘rsatadi.

Tranzistor ishlatilganda xarakteristikaning biror qismi ishchi soha qilib olinadi. Shu maqsadda xarakteristika turli sohalarga ajratiladi. Masalan chiqish xarakteristikasining boshlang‘ich qismi *to‘yinish sohasi* deb ataladi. U UE sxemada kollektor kuchlanishining boshlang‘ich manfiy qiymatlariga to‘g‘ri keladi.

Tranzistorlar xarakteristikasining *to‘yinish sohasida* elektron kalit sifatida ishlatiladi va kalitning ulangan holatiga to‘g‘ri keladi.

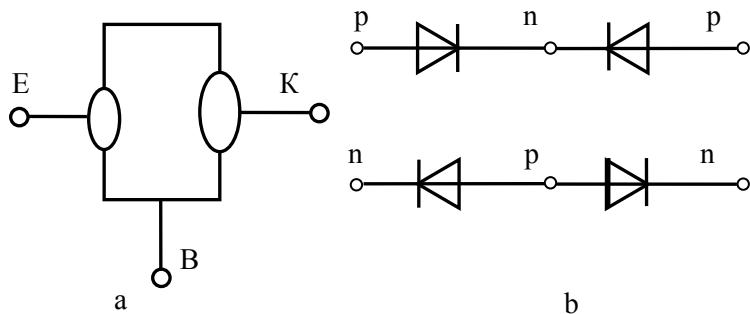
Xarakteristikaning kollektor kuchlanishi o‘kiga deyarli paralel bo‘lgan to‘g‘ri chizikli qismi *aktiv soha* deb ataladi. Bu sohada emitter o‘tishi kuchlanishi to‘g‘ri ulanishda bo‘lsa, kollektor o‘tishidagi kuchlanish teskari ulanishda bo‘ladi. Shuning uchun kollektor o‘tishining differensial qarshiligi yetarlicha katta bo‘ladi. Aktiv soha tranzistorning kuchaytirish sohasi hisoblanadi.

Xarakteristikaning $I_e=0$ va $I_b=0$ qiymatlardan kuyi sohasi *kesish sohasi* deb ataladi.

Kollektor kuchlanishining yetarlicha katta qiymatlarida to‘g‘ri kelgan soha *buzilish sohasi* bo‘ladi. Bu sohada xarakteristika yana tez o‘s sa boshlaydi. Tranzistor UE sxema buyicha ulanganda kollektor kuchlanishi o‘zining buzilish

hosil qiladigan qiymatiga yetmasdan kollektor toki tez ortib ketishi mumkin. Bunda xarakteristikada manfiy qarshilikli soha vujudga keladi. Xarakteristikaning bu sohasi *ko'chki soha* deb ataladi. Ana shu sohasi asosiy qilib olingan maxsus tranzistorlar *ko'chki sohali* yoki *ko'chki tranzistorlar* deb ataladi.

Tranzistor uchta sohadan iborat yarim o'tkazgichli asbob. Uning tuzilishi 1.9 – rasmda keltirilgan. O'rta qismi baza deb atalib, aralashma konsentratsiyasi chetki qismlariga nisbatan kam va yupqa bo'ladi. Chetki qismlaridan biri emitter, ikkinchisi kollektor deb ataladi.

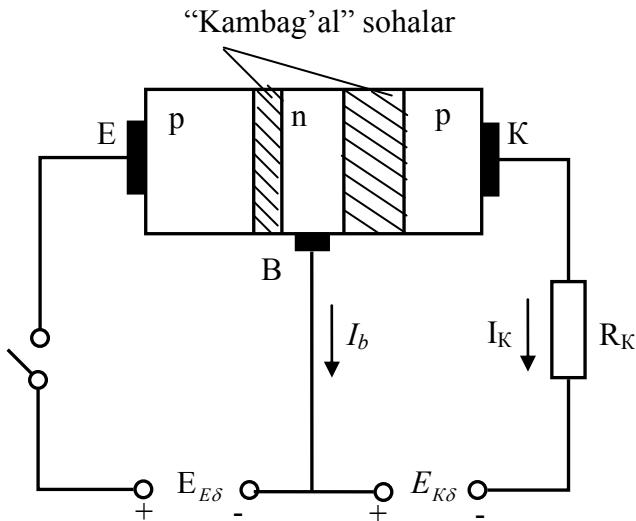


51–rasm. Tranzistorning tuzilishi (a) va uning qarama-qarshi ulangan diodlar sifatida tasvirlanishi (b)

Emitter degan nom elektronlar bazaga purkaladi, in'eksiya, ya'ni injeksiyalanadi degan ma'noni bildiradi. Tranzistorda kollektor toki hosil bo'lishi uchun albatta baza toki bo'lishi shart. 51– rasmda keltirilgan tranzistor diskret tranzistor deb ataladi. Bu tranzistorda r-p o'tishlar yarim o'tkazgichli plastinaning qarama-varshi tomonlarida joylashgan. O'tishlari bir tomoniga joylashgan tranzistorlar ham mavjud va ular **integral tranzistorlar** deb ataladi. Emitter sohasida aralashma miqdori ko'proq bo'ladi. Kollektor zaryad tashuvchilarni ekstraksiyalash (sug'urib olish) vazifasini bajaradi.

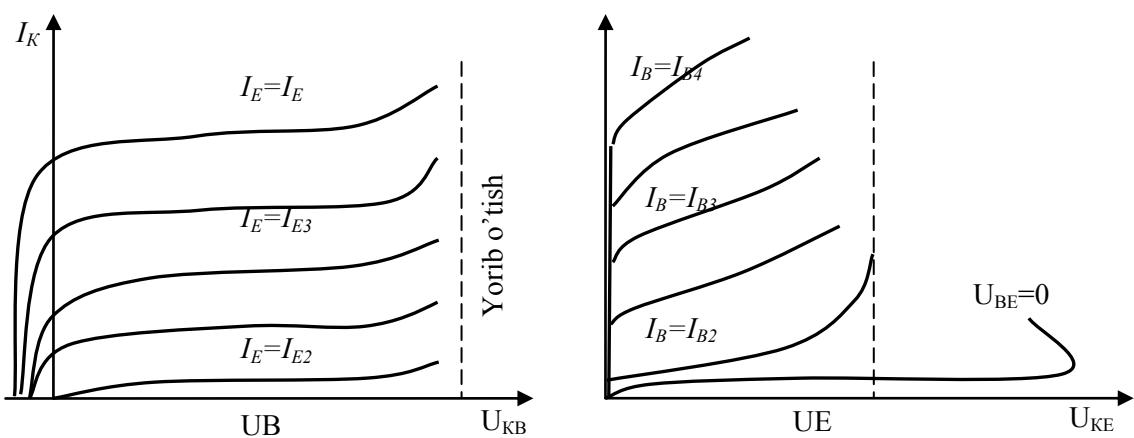
Tranzistorning bazasi p yoki r o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi mumkin. Shunga ko'ra chetki qismlari r yoki p o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Demak, tranzistor r-p-r yoki p-r-p strukturali bo'ladi. Tranzistorda ikkita r-p o'tish mavjud. Buni hisobga olgan holda tranzistorni ketma-ket ulangan ikkita bog'langan diod sifatida qarash mumkin (51–rasm). Uning chetki uchlariga (emmiter – kollektorga) kuchlanish ulanganda r-p o'tishlarning biri to'g'ri o'tish bo'lsa, ikkinchisida teskaoi bo'lganligidan har ikkala yo'nalishda tizimdan tok o'tmaydi. Tranzistorni ikkita tok manbaiga 52 rasmda ko'rsatilgandek ulaymiz. K kalit ochiq bo'lganda emmiter zanjirida tok bo'lmaydi. Kollektor zanjirida esa oz miqdorda teskari r-p o'tish toki (I_{kBT} , t – teskari demak) bo'ladi. K – kalit ulanganda emmiter zanjirida tok hosil bo'ladi. Chunki Ye_e manba kuchlanishi

emmitter – baza yo‘nalishida to‘g‘ri r-p o‘tish hosil qiladi. Bunda ko‘pchilik kovaklar emitterdan bazaga o‘tganda $L_B > L_D$ bo‘lganligidan kollektor o‘tishiga yetib boradi. Natijada kollektor toki ortadi. Umuman olganda, tranzistorning asosiy xossasi bazada boraytgan jarayonlar bilan belgilanadi.



52–rasm. Tranzistorni umumiy baza sxemasida ulash

Bazada chet moddalar taqsimlanishi natijasida unda asosiy bo‘lmagan zaryadlarni emitterdan kollektorga o‘tishiga yordam beruvchi elektr maydon bo‘olsa, bunday tranzistor *dreyfli tranzistor* deyiladi. Agar bazada xususiy maydon bo‘lmasa, asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar baza orqali asosan diffuziya hodisasi tufayli o‘tsa, bunday tranzistor *dreyfsiz tranzistor* deb ataladi. 53– rasmda tranzistorning chiqish tavsiflari keltirilgan. Unda $I_3 = 0$ ga mos kelgan tavsif K kalit osiq bo‘lgan holni ifodalaydi. Tavsifdan ko‘rinadiki, kollektor – bazaga qo‘yilgan manfiy kuchlanish qiymati ortishi bilan tokning sezilarli darajada ortishi kuzatilmaydi.



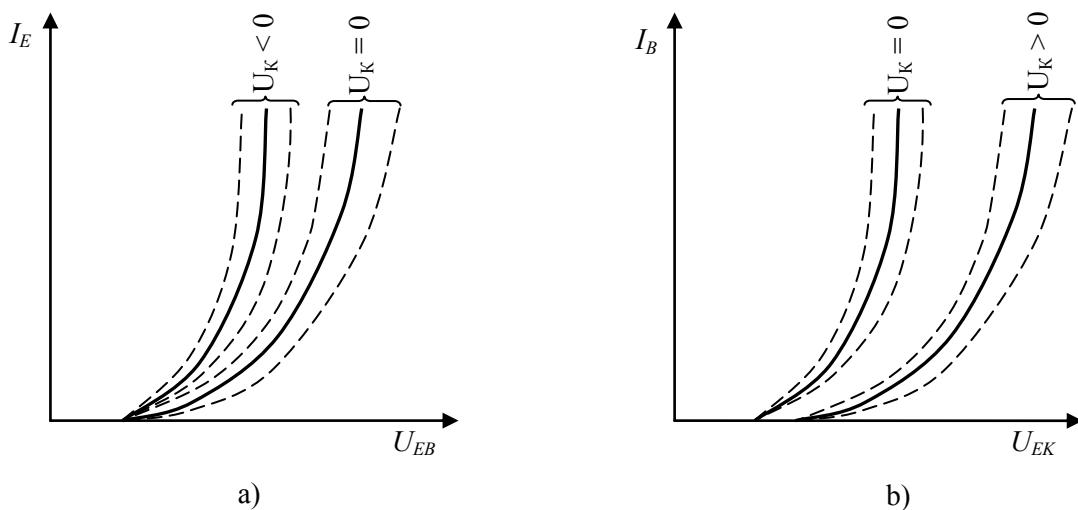
53– rasm. Umumiy baza (UB) va umumiy emmiter sxemada ulangan tranzistorning chiqish tavsiflari

Tranzistordan o‘tuvchi toklarning kuchlanishga bog‘liqligi statik qolt-amper tavsiflari (VAT) orqali ifodalanadi. Ular kirish va chiqish tavsiflariga ajratiladi.

Kirish tavsifi deyilganda chiqish zanjirining kuchlanishi o‘zgarmas saqlangan holda, kirish zaejiridagi tokning kirish kuchlanishiga bog‘livlik grafigi tushuniladi. Masalan, umumiy emitter sxemasida $U_{K\Theta} = \text{const}, I_\delta = F(U_{\delta\Theta})$. Chiqish tavsifi deyilganda kirish zangjiridagi tok o‘zgarmas bo‘lganda, chiqish tokining chiqish kuchlanishiga bog‘liqligi tushuniladi. Masalan, umumiy emitter sxemada $I_\Theta = \text{const}, I_\kappa = F(U_{\kappa\Theta})$.

Umumiy baza va umumiy emitter sxemaning kirish VAT i 54–rasmda keltirilgan. Tavsifdan ko‘rinib turibdiki, tavsiflar diodnikiga o‘xshash ko‘rinishga ega.

53– rasmda umumiy baza va umumiy emitter sxemalar bo‘yicha ulangan tranzistorlarning chiqish tavsiflari keltirilgan. Umumiy baza sxemada, umumiy emitternikiga qaraganda kollektor toki kollektor kuchlanishiga kuchsiz bog‘langan. Umumiy emitter sxemada kollektor tokining keskin ortishi umumiy bazonikiga nisbatan kichik kollektor kuchlanishida ro‘y beradi.



54– rasm. Tranzistorlarning chiqish tavsiflari:

a – umumiy baza va b – umumiy emitter sxemalarida

Tranzistordan kuchaytirgich sifatida foydalanilganda, ummiy emitterli sxemada signalni kuchlanish bo‘yicha 10 – 200 marta kuchaytirish mumkin. Shu sababli umumiy emitterli sxema boshqalarga nisbatan ko‘proq qo‘llaniladi. Lekin umumiy emitterli sxemada kirish qarshiligi 500 – 1000 Ω , chiqish qarshiligi 2 – 20 $k\Omega$ atrofida bo‘ladi. Umumiy kollektorli sxemada kuchlanish

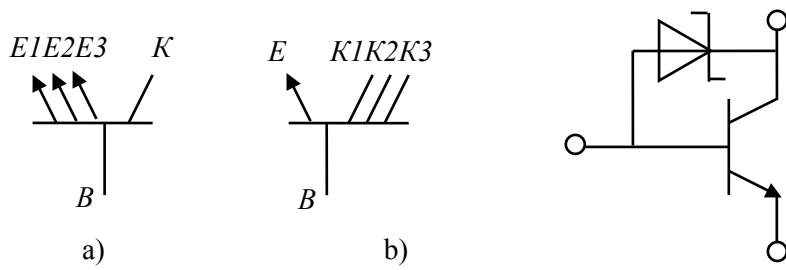
bo‘yicha kuchaytirish bir atrofida, tok bo‘yicha kuchlanish umumiy emitterliniki bilan bir xil. Umumiy bazali sxemada tok bo‘yicha bir atrofida, kuchlanish umumiy emitterli niki kabi bo‘ladi. Kirish qarshiliga bu sxemada juda kichik, 10 – 200 Om atrofida bo‘lganligidan ko‘pincha elektr signallarni generatsiyalash va shunga o‘xhash qurilmalarda ishlatiladi.

INTEGRAL TRANZISTORLAR

Integral tranzistorlar kremniy monokristalidan tayyorlangan plastina asosida yasaladi. Plastina maxsus texnologiya asosida baza, emitter va kollektor sohalarida turli konsentratsiyali aralashmalar hosil qilinadi. So‘ngra bu sohalardan plastinalar ustki qismiga uchlar chiqariladi. Integral tranzistorning bazasi juda yupqa bo‘lib, emitter baz potensial sathi yuqori bo‘ladi. Integral sxemalarda asosan, kollektor zanjiri ta’minlovchi manbaning manfiy qutbiga ulanadi.

Hozirda integral sxemalar (IS) da, diskret sxemalarda qo‘llanilmaydigan maxsus p-r-p tipli tranzistorlar ishlatiladi. Bularga ko‘p emitterli va ko‘p kollektorli tranzistorlar, Shotki to‘sig‘iga ega bo‘lgan tranzistor va superbeta-tranzistorlar kiradi.

Ko‘p emitterli integral tranzistorning shartli belgilanishi 55–rasmda keltirilgan bo‘lib, bu tranzistorlar asosan raqamli IS da keng qo‘llaniladi. Bu tranzistor ikki holatda: «ochiq» va «yopiq» holatda ishlashga mo‘ljallangan. Bunda baza va kollektor hamma emitter uchun umumiy hisoblanadi. Shu sababli baza va kollektorga qo‘yilgan ma’lum kuchlanishda, emitterlar kuchlanishiga qarab ba’zilari ochiq bo‘lsa, ba’zilari yopiq bo‘ladi.



55– rasm. Integral tranzistorlarning shartli belgilanishi:

a – ko‘p emittkrli tranzistor, b – ko‘p kollektorli tranzistor, v – Shotki to‘sig‘iga ega bo‘lgan tranzistor

Ko‘p kollektorli integral tranzistorning shartli belgilanishi 55b–rasmda keltirilgan bo‘lib, uning tuzilishi ko‘p emitterli tranzistordan uncha farv vilmaydi. Faqat farqi shundaki, u inversiya rejimida ishlaydi. Shu boisdan p⁺ qatlam baza sohasiga yaqinroq qilib yasaladi. Bunda p⁺ qatlam elektronlar injektori vazifasini bajaradi.

Shotki to'sig'iga ega bo'lgan tranzistorning shartli belgilanishi 55v – rasmida keltirilgan. Tranzistor bazasidan alyuminiyli kontakt chiqarilgan bo'lib, u kollektor tomon cho'zilgan. Bu kontakt kollektoring p- sohasi bilan Shotki diodini hosil qiladi va natijada tranzistorning to'yinishiga yo'l qo'yilmaydi. Bazadagi kuchlanish kollektordagi kuchlanishdan yuqori bo'lganda Shotki diodi ochilib, baza va kollektorni qisqa tutashtiradi. Shotki diodining borligi tranzistorning ishslash tezligini oshiradi.

Superbeta-tranzistorda bazaning tok o'tkazish koeffisienti 3000 – 6000 atrofida bo'ladi. Bunday katta o'tkazish koeffisientiga bazaning o'ta yupqaligi tufayli erishiladi. Shu sababli elektrodlardagi kuchlanish kamroq qilib olinadi.

Integral diodlar – tranzistor tarkibi asosida amalga oshiriladi, uchinchisi, ishlatilmaydigan elektrod qolgan ikki elektrodlardan biriga ulab qo'yiladi. IS larda emitter baza oralig'i diod sifatida ishlatiladi.

MAYDONLI TRANZISTORLAR

Unipolyar tranzistor elektr maydoniga ega bo'lgan tranzistor bo'lib, tok bir turdag'i asosiy tok tashuvchi hisobiga hosil qilinadi.

"Elektr maydoniga ega bo'lgan" yoki "maydonli" so'zining mohiyati shundan iboratki, unipolyar tranzistorning chiqish toki boshqaruvchi elektrodning kuchlanishi hosil qiladigan elektr maydon orqali boshqarilishini bildiradi.

Maydonli tranzistor – chiqish toki kirish kuchlanishi bilan boshqariladigan yarim o'tkazgichli asbob. Maydonli tranzistorlarda chiqish tokiga ta'sir qiluvchi kirish kuchlanishi elektr maydon hosil qiladi.

Maydonli tranzistorlarda tok asosiy tok tashuvchilar yordamida hosil qilinib, asosiy bo'limgan tok tashuvchi zaryad muhim rol o'ynamaydi. Shu sababli maydonli tranzistor *unipolyar tranzistor* deb ham ataladi.

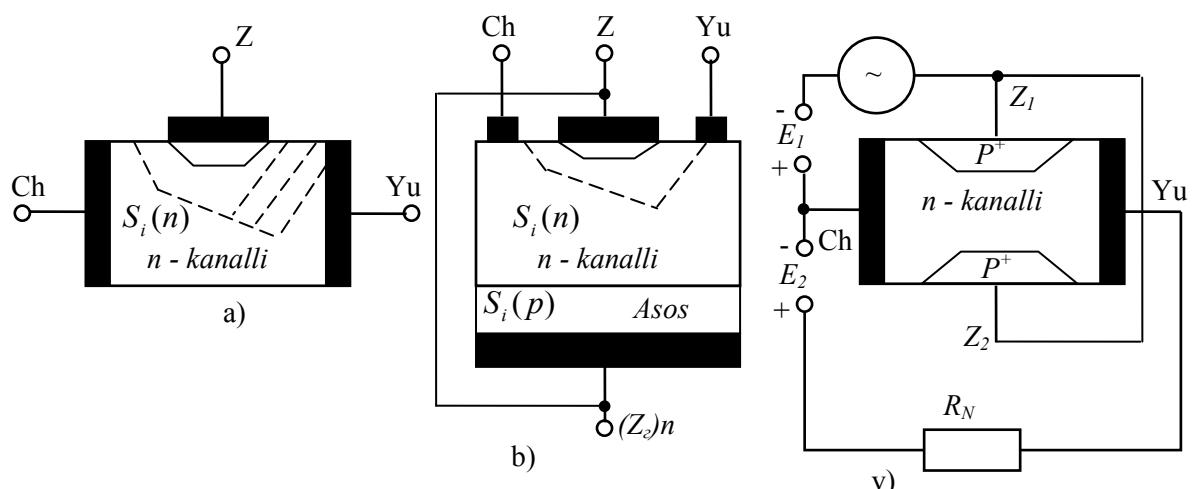
Maydonli tranzistorda tokni boshqarish elektr maydon vositasida boshqarilganidan o'zgarmas tok va past chastotali o'zgaruvchan toklar uchun tranzistorning kirish qarshiligi juda katta bo'ladi: $10^8 - 10^{15}$ Om.

Maydonli tranzistorni tayyorlash texnologiyasi bipolyar tranzistorlarni tayyorlashga nisbatan soddarоq. Bundan tashqari, maydonli tranzistorlar mikrosxemalarda kichik yuzani egallaydi va kam tok iste'mol qiladi. Shu sababli kichik o'lchamda bir necha mingdan, o'n mingacha tranzistor va rezistorlarni hosil qilish imkonini beradi.

Maydonli tranzistorlar tayyorlash texnologiyasi va konstruktiv ijrosiga ko'ra, ikki guruhga bo'linadi: boshqariladigan r-p o'tishli va zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar.

Boshqariladigan r-p o'tishli maydonli tranzistor p yoki r-o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristalldan tayyorlanadi. Kristallning qaramaqarshi tomonlaridan ulanish uchlari chiqarilib, ulardan biri chiquvchi (istok), ikkinchisi yutuvchi (stok) deb ataladi. Chiquvchi va yutuvchi oralig'iga diffuziya usuli bilan r-soha (p-o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristallda) joylashtiriladi. Natijada kristallning shu qismida r-p o'tish vujudga keladi. Tranzistorning chiquvchi va yutuvchi oralig'iga Y_{e_2} batareya shunday ulanadiki, natijada asosiy tok tashuvchilar chiquvchidan yutuvchi tomonga harakatlanadi. Tok tashuvchi zaryadlar bunda r-p o'tish orqali emas, balki uning yonidan kanal bo'y lab oqadi. Ikkinci Y_{e_1} tok manbaini chiquvchi va zatvor oralig'iga teskari r-p o'tish hosil bo'ladigan qilib ulanadi. Natijada r va p- sohalar orasida mavjud bo'ladigan berkituvchi qatlama kengayadi. Bunda zatvor sohasida zaryadlar konsentratsiyasi kanalga nisbatan katta bo'lganligidan kambag'al sohaning kengayishi asosan kanal hisobiga ro'y beradi. Natijada tok o'tkazuvchi kanalning ko'ndalang kesimi kamayadi va shunga muvofiq uning qarshiligi ortadi. Bu esa o'z navbatida kanal orqali o'tuvchi tokning kamayishiga olib keladi. 56- rasmda bu kanal shaklining o'zgarishi uzlukli chizivlar vositasida ifodalangan. Shunday qilib, zatvor tranzistorda boshqaruvchi elektrod bo'lib xizmat qiladi.

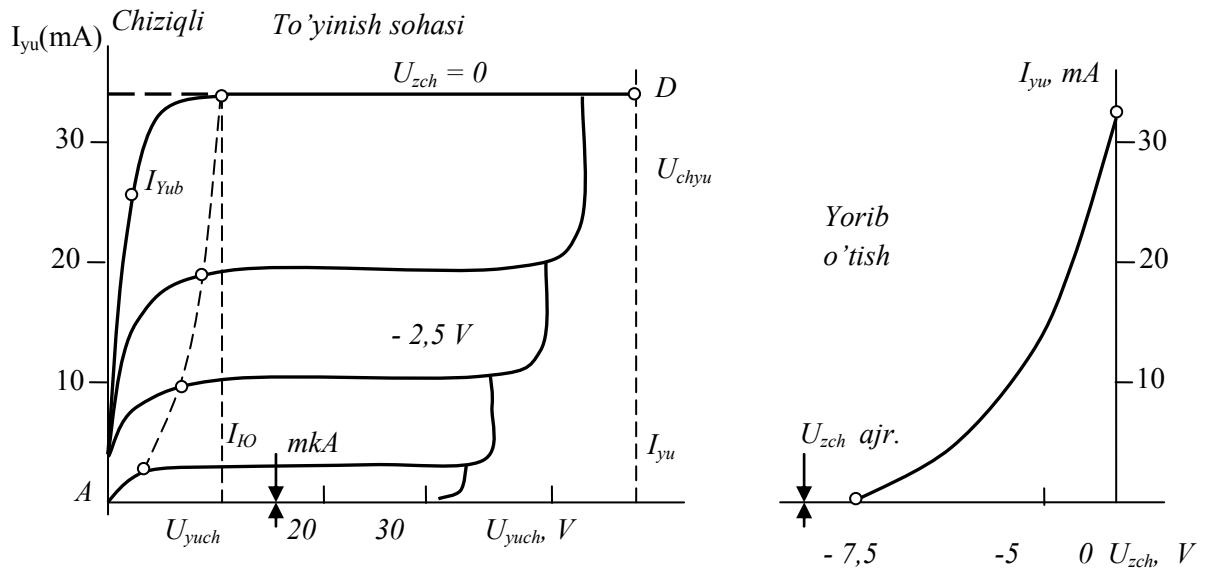
Tranzistor orqali o'tuvchi tok nolga teng yoki ma'lum belgilangan qiymatgacha kamayadigan zatvor-chiquvchi kuchlanishi **ajratish kuchlanishi** deb ataladi. r-kanalli tranzistorlarda bu kuchlanish musbat bo'lib, odatda 0,2 – 7 V oralig'ida bo'ladi.



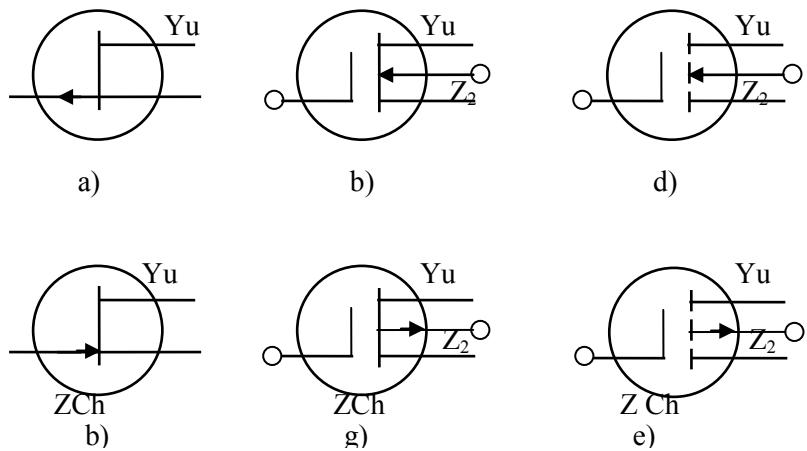
56– rasm. Boshqariladigan r-p o'tishli maydon tranzistori

Hozirda maydonli tranzistorlar ikki zatvorli qilib chiqarilmoqda (56b – rasm). Ikkinci zatvor ko'pincha birinchi zatvorga ulab qo'yiladi va u kanalni

pastki tomonidan cheklaydi. Maydon tranzistorining VATi 57– rasmida keltirilgan.



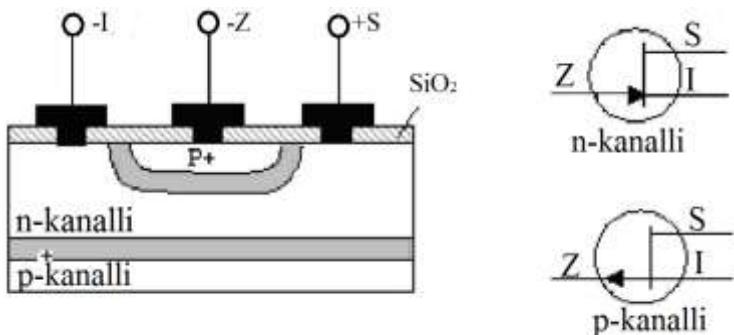
57– rasm. Boshqariladigan r-p o‘tishli maydon tranzistorining chiqish tavsiflari
Maydonli tranzistorlarning shartli belgilanishlari 58–rasmda keltirilgan.



58– rasm. Maydon tranzistorlarning shartli belgilanishi:
 a – r- kanalli, b – p- kanalli, v – zatvorli izolyatsiyalangan p- kanalli, g – zatvori izolyatsiyalangan r- kanalli, d – zatvori izolyatsiyalangan p- kanalli to‘yingan,
 ye – zatvori izolyatsiyalangan r- kanalli to‘yingan

Elektrod toklari asosiy zaryad tashuvchilarning kristall hajmidagi elektr maydon ta’sirida dreyf harakatlanishiga asoslangan uch elektrodli, kuchlanish bilan boshqariladigan yarimo‘tkazgich asbob *maydoniy tranzistor* (MT)

deyiladi. MTlarda tok hosil bo‘lishida faqat bir turli-asosiy zaryad



59-rasm. *n* - kanalli MT tuzilmasining ko‘ndalang kesimi va uning shartli belgilanishi

tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) qatnashgani sababli ular ba’zan *unipolyar tranzistorlar* deb ataladi. MTlarda, BTlardagi kabi tezkorlikka ta’sir etuvchi injeksiya va ekstraksiya natijasida noasosiy zaryad tashuvchilarning to‘planish jarayonlari mavjud emas.

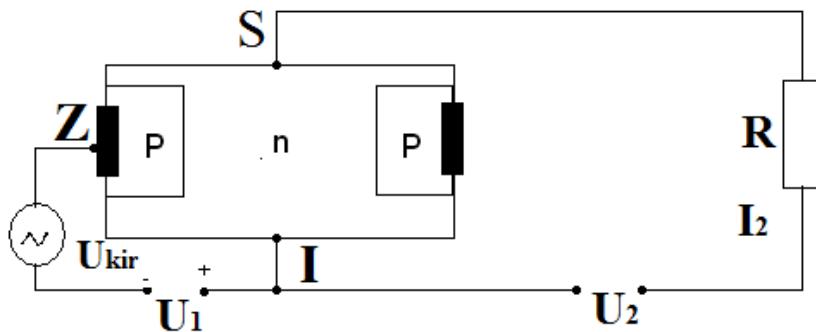
r-n o‘tish bilan boshqariluvchi *n* - kanalli MT tuzilmasining ko‘ndalang kesimi va uning shartli belgilanishi yuqoridagi 59-rasmda keltirilgan.

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

MTda elektrodlar uchta bo‘lgani sababli, uch xil ulanish sxemalari mavjud: *umumiyl istok* (*UI*), *umumiyl stok* (*US*) va *umumiyl zatvor* (*UZ*). Bunda MT elektrodlaridan biri sxemaning kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiyl, uning o‘zgaruvchan tok (signal) bo‘yicha potensiali esa nolga teng qilib olinadi. Asosiy ulanish sxemasi bo‘lib UI ulanish xizmat qiladi.

Boshkaruvchi p-n o‘tishli tranzistor eng sodda unipolyar tranzistor hisoblanadi. Uning tuzilishi quyidagi rasmida ko‘rsatilgan. Unda chapdagisi elektrod oqim boshlanishi - *istok* deb, ungdagi elektrod esa, oqim quyilishi -*stok* deb ataladi. O‘rtadagi boshqaruvchi elektrod -*zatvor* deyiladi.

Istok bilan stok oraliq‘idagi qatlama *kanal* deb yuritiladi. Uning o‘tkazuvchanligi n yoki p tip bo‘lishi mumkin. Agar asos yarim o‘tkazgich n - tipli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lsa, zatvor qatlami p - tipli yarim o‘tkazgich



60-rasm. Asos qatlami n – tipli yarim o‘tkazgichdan iborat bulgan maydonli tranzistor.

buladi. Aksincha, u p-tipli bo‘lsa, zatvor n-tipli o‘tkazuvchanlikli yarim o‘tkazgich materialidan qilinadi. Yuqoridaq rasmda ko‘rsatilgan tranzistorda asos qatlam n-tipli yarim o‘tkazgichdan iborat. Shuning uchun stokka istokka nisbatan musbat kuchlanish berilsa, asosiy tok tashuvchilar, ya’ni elektronlar stokka tomon agar manfiy bo‘lsa, istokka tomon harakat qiladi. Zatvorga kuchlanish xamma vaqt teskari kulanishda beriladi, chunki p-n o‘tish yopilishi kerak. Ko‘rilayotgan holda zatvorga istokka nisbatan manfiy kuchlanish berilgan. Shuning uchun p-n o‘tish qatlami kengayib, kanalni toraytiradi, ya’ni Y_{e_z} manba kuchlanishining o‘zgarishi hisobiga kanalning kesimi o‘zgartiriladi. Bu undan o‘tadigan elektron oqimining miqdori o‘zgarishiga, ya’ni stok tokining boshqarilishiga olib keladi.

Unipolyar tranzistorning stok toki ikkita kuchlanish- zatvor va stok kuchlanishlarining funksiyasidir:

$$I_c = f(U_z, U_c) \quad (50)$$

Zatvor kuchlanishi o‘zgarmas bo‘lganda, stok tokining stok kuchlanishiga bog‘liqligi

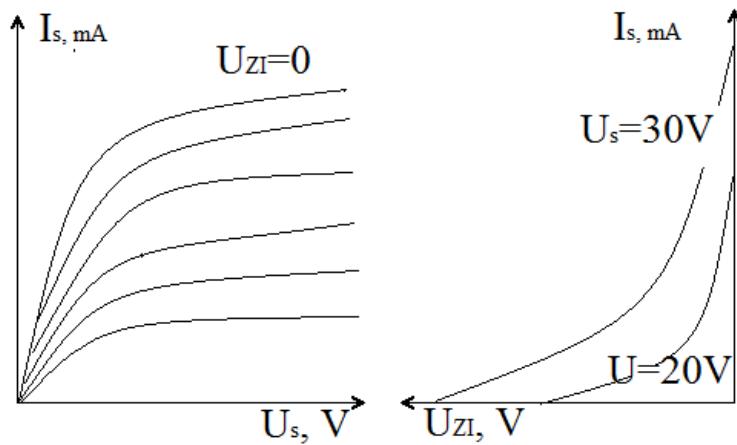
$$I_c = f_1(U_c) - U_z = \text{const} \quad (51)$$

unipolyar tranzistorlarning statik chikish xarakteristikalar sistemasi deb ataladi (61a-rasm).

Stok kuchlanishi o‘zgarmas bo‘lganda stok tokining zatvor kuchlanishiga bog‘liqligi

$$I_c = f_2(U_{zi}) - U_s = \text{const} \quad (52)$$

esa statik utish (kirish) xarakteristikalar sistemasi deb ataladi (61b-rasm).



61-rasm. Maydonli tranzistorning tavsifnomalari.

Maydonli tranzistorning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

1. O‘tish kiyaligi tavsivnomasi:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{3H}}, U_c = const \quad (53)$$

2. Kirish qarshiligi:

$$R_{kup} = \frac{\Delta U_{3H}}{\Delta I_{3H(max)}} \quad (54)$$

3. Chiqish (ichki) qarshiligi:

$$R_{uch} = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}, U_{3H} = const \quad (55)$$

TIRISTORLAR

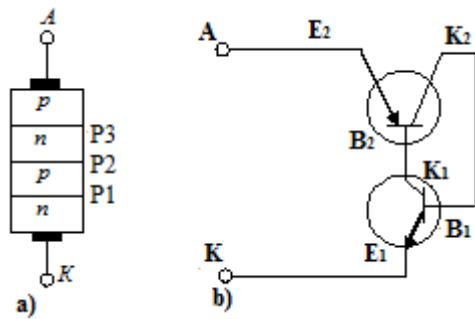
Tiristor – to‘rt qatlamlı yarim o‘tkazgichli asbob. Uning tuzilishi 62a–rasmida keltirilgan. Unda uchta r-p o‘tish bo‘lib, A nuqtaga manbaning musbat qutbi, B nuqtaga manfiy qutbi ulansa, P1 va P3 o‘tishlar to‘g‘ri, P2 esa teskari r-p o‘tishga ega bo‘ladi. Uning ishslash prinsipini tushuntirish uchun, tiristorni ikkita r-p-r va p-r-p tipli tranzistorlarga ekvivalent deb qaraladi (62b – rasm). Bu paytda tiristordan o‘tuvchi umumiy tok uchta tashkil etuvchidan iborat bo‘ladi:

$$I = I_{\alpha_1} + I_{\alpha_2} + I_{\text{enuk}} \quad (56)$$

bundan

$$I = \frac{I_{\text{enuk}}}{1 - (\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (57)$$

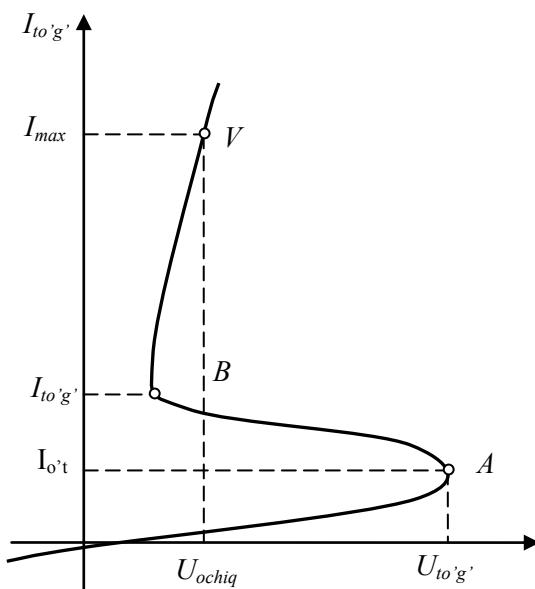
bu yerda I_{yopiq} – tiristor yopiq bo‘lganda o‘tadigan tok, α_1 va α_2 – moshavishda tranzistorlarning tok uzatish koeffisientlari.



62– rasm. Tiristorning tizimi tuzilishi (a) va uni qo’sh tranzistor kabi tasvirlash (b)

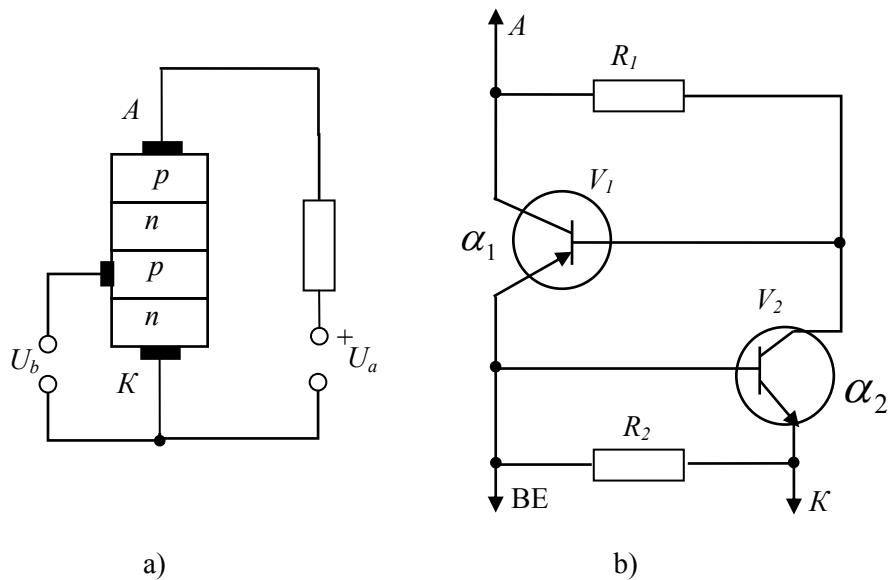
Agar $\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat birga nisbatan kichik bo’lsa, u holda umumiyl tok I_{yopiq} ga yaqin bo’ladi. Asbobni ochiq holatga o’tkazish uchun $\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat birga intilishi kerak. Bunday holda tiristor orqali o’tuvchi tok keskin ortadi.

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 63– rasmida 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 differential qarshiligi qiymati nolga yaqin bo’ladi. AV qismida esa differential qarshilik manfiy qiymatga ega bo’ladi. Kuchlanishning bundan keyingi ortishi tokning ortishiga olib keladi (BV qismi). Kuchlanishni kamaytirib tiristordan o’tuvchi tokni I_{tut}

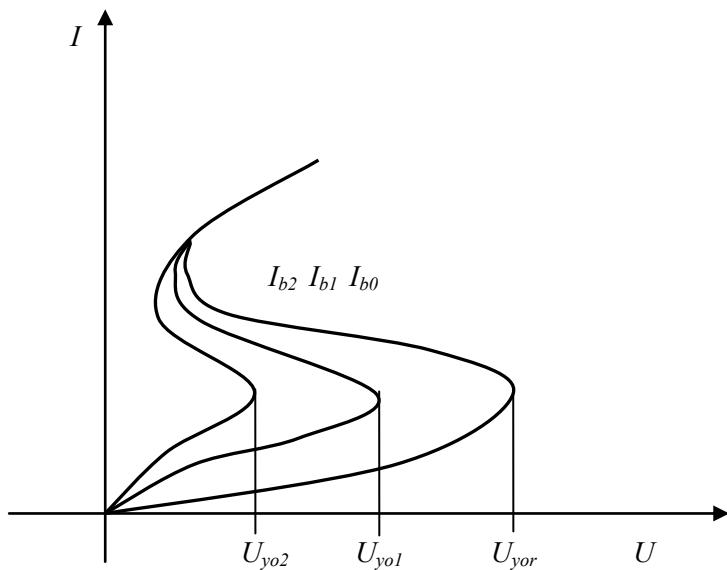


63– rasm. Tiristorning volt-amper tavsifi

Faqat ikki chetki qismlaridan ularish uchlari chiqarilgan tiristor *diodli tiristor* (dinistor) deb ataladi. O‘rta sohalarining biridan ularish uchi chiqarilgan tiristor triodli tiristor yoki trinistor deb ataladi. Bu uchta qo‘sishma manbadan anodga yoki katodga nisbatan to‘g‘ri r-p o‘tish hosil qiladigan kuchlanish berilsa α_1 yoki α_2 ning keskin ortishiga olib keladi (64–rasm). Bipolyar tranzistordagi kabi α_1 yoki α_2 ning ortishi bilan boshqaruvchi kuchlanishning katta qiymatga ega bo‘lishi shart emas. Trinistorning VAT i 65–rasmida keltirilgan. Tavsifda boshqaruvchi tok ortishi bilan yorib o‘tuvchi kuchlanish kamayishi ko‘rsatilgan.

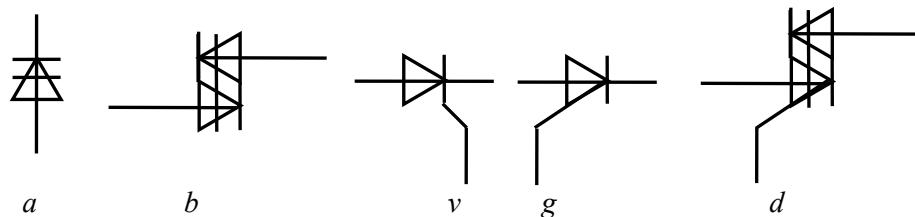


64– rasm. Triodli tiristorning tizimiyl tuzilishi (a) va uni qo‘sish tranzistor kabi tasvirlash (b)



65– rasm. Triodli tiristorning valt-amper tavsifi

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



66– rasm. Tiristorlarning shartli belgilanishlari:

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

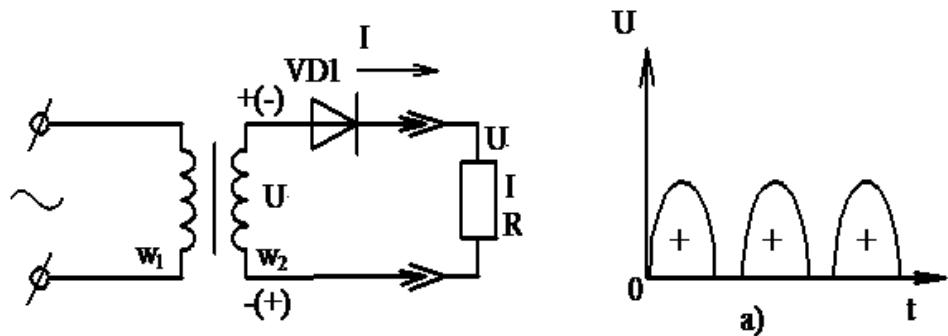
Besh qatlama га eга bo‘lgan tiristorlar simmetrik tiristor (simistor) deb ataladi. VAT ning to‘g‘ri va teskari shohobchalarida manfiy qarshilikli sohalari mavjud. Simistorni ochiq holatga o‘tkazish boshqarish signali yordamida, yopiq holatga o‘tkazish – kuchlanishni uzish yoki uning ulanish qutbini o‘zgartirish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

III-BOB. YaRIM O'TKAZGICHLI O'ZGARTKICH TEXNIKASI

YaRIM O'TKAZGICHLI TO'G'RILAGICHALAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT.

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 ishlataladi. Diodlar past, o'rta, yuqori quvvatli bo'lib, talab etilgan joylarda ularni tanlab olib foydalaniladi. Masalan diodlar majmuasi yordamida, to'g'rilaqich qurilmasi yaratilgan. Yarim o'tkazgichli to'g'rilaqichlar elektr zanjirida ikkilamchi manba sifatida foydalaniladi. Elektron qurilmalarni deyarli hammasi yarim o'tkazgichli to'g'rilaqichlar yordamida ishlaydi, ular o'zgaruvchan tok manbalariga ulangan bo'lsa ham, o'zgarmas tokka aylantiriladi. Yarim o'tkazgichli to'g'rilaqichlarni bir necha asosiy ulanish chizmalari mavjuddir.

a) 1,5-davrli to'g'rilaqich chizmasidan foydalanilsa, ularning vazifasi o'zgaruvchan tokni bir dona yarim o'tkazgichli diod yordamida to'g'rilaqich mumkin (67-rasmga qarang).

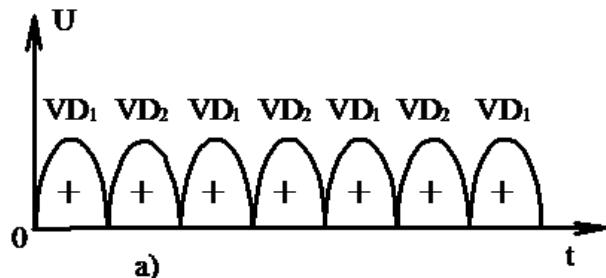
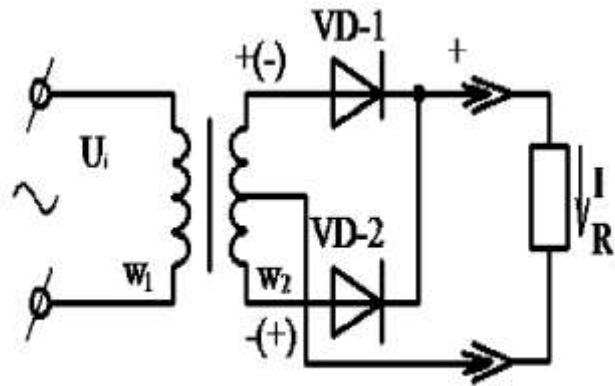


67-rasmda Oddiy 1,5-davrli to'g'rilaqich chizmasi va kuchlanishni to'g'rilaqan holati (a).

Transformatorning w_2 -g'altakdag'i 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'rilaqich chiqishida chastotasi 50 gs bo'lgan (ellikta yarim davr o'tish bir sekundda sodir bo'ladi).

b) 2,5-davrli to'g'rilaqich chizmasida esa ikkita yarim o'tkazgichli diod ishlataliladi va transformatorni ikkinchi g'altagani o'rta nuqtasida ulanadi (68-rasmga qarang).

Transformatorning ikkinchi w_2 g‘altaginiн 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-labaratoriya ishlari bajargan paytlarda qo‘llaniladi. Ularning turlari VU-4; VU-8; VU-10 deb ishlab chiqariladi.

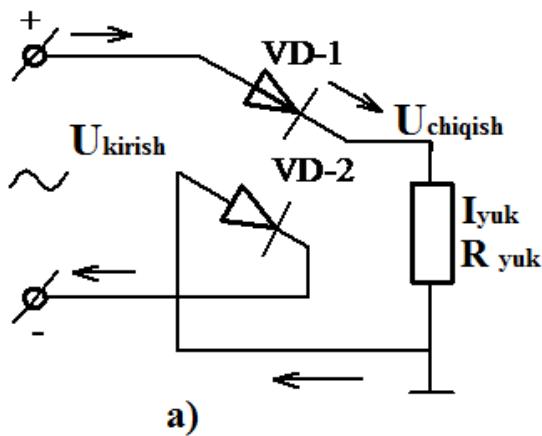


68-rasmda 2,5-davrli to‘g‘rilagich chizmasi vakuchlanish to‘g‘rilangan holati.

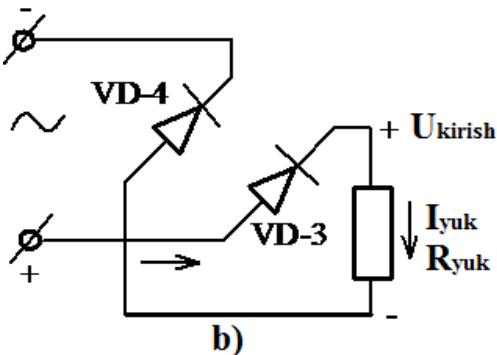
BIR FAZALI, KO‘PRIK ChIZMALI TO‘G‘RILAGICHLAR.

Bu turdagи to‘g‘rilagichlar uchun to‘rtta yarim o‘tkazgichli diodlar ishlatiladi va ular elektr zanjirga ko‘prik chizma usulida ulanadi.

Har bir yarim davrli tokni olish uchun 2ta VD-diod ishlaydi. Ularni chizmasi bilan tanishamiz (69-rasmga qarang).



a)



b)

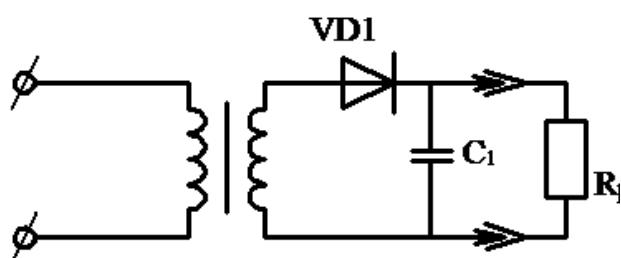
69-rasm. Bir fazali, ko‘prik chizmali to‘g‘rilagichlarning taxlili.

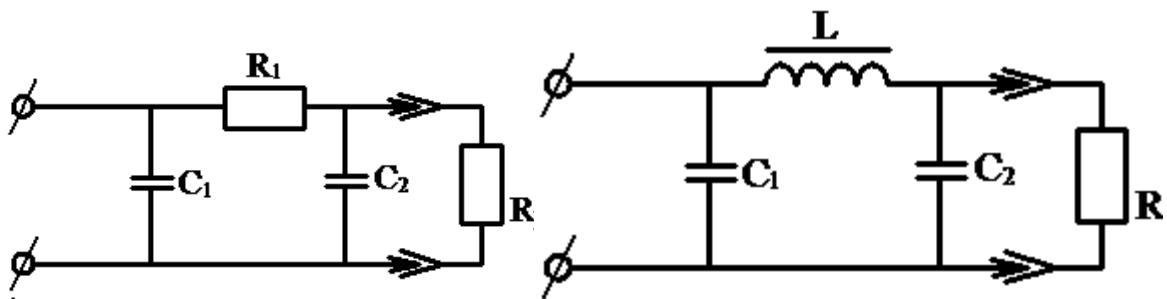
To‘g‘rilagichning U_{chiquish} joyida chastotasi $f = 100$ gs gacha o‘zgarib turadi.

Bir fazali ko‘prik chizmali to‘g‘rilagichlar eng ko‘p ko‘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‘sishma oddiy elektr qiymatni sifatli rostlab berish filtrii (tozalagich) o‘rnataladi. Filtrlarning asosiy elementlari bu kondensator, o‘zakli induktiv g‘altak (drossel) va rezistordan iboratdir.

Qo‘yidagi chizmalarda elektr filtrlari turlari berilgan (70-rasm).





70-rasm. Elektr filtrlarining turlari. Oddiy filtr, RC filtr, LC filtr

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 rostlash kerak. Talab etilgan, o'zgarmas kuchlanish holatiga keltirib keyin iste'molchiga taqsimlash kerak. Bu ishlarni hammasini yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar bajaradi.

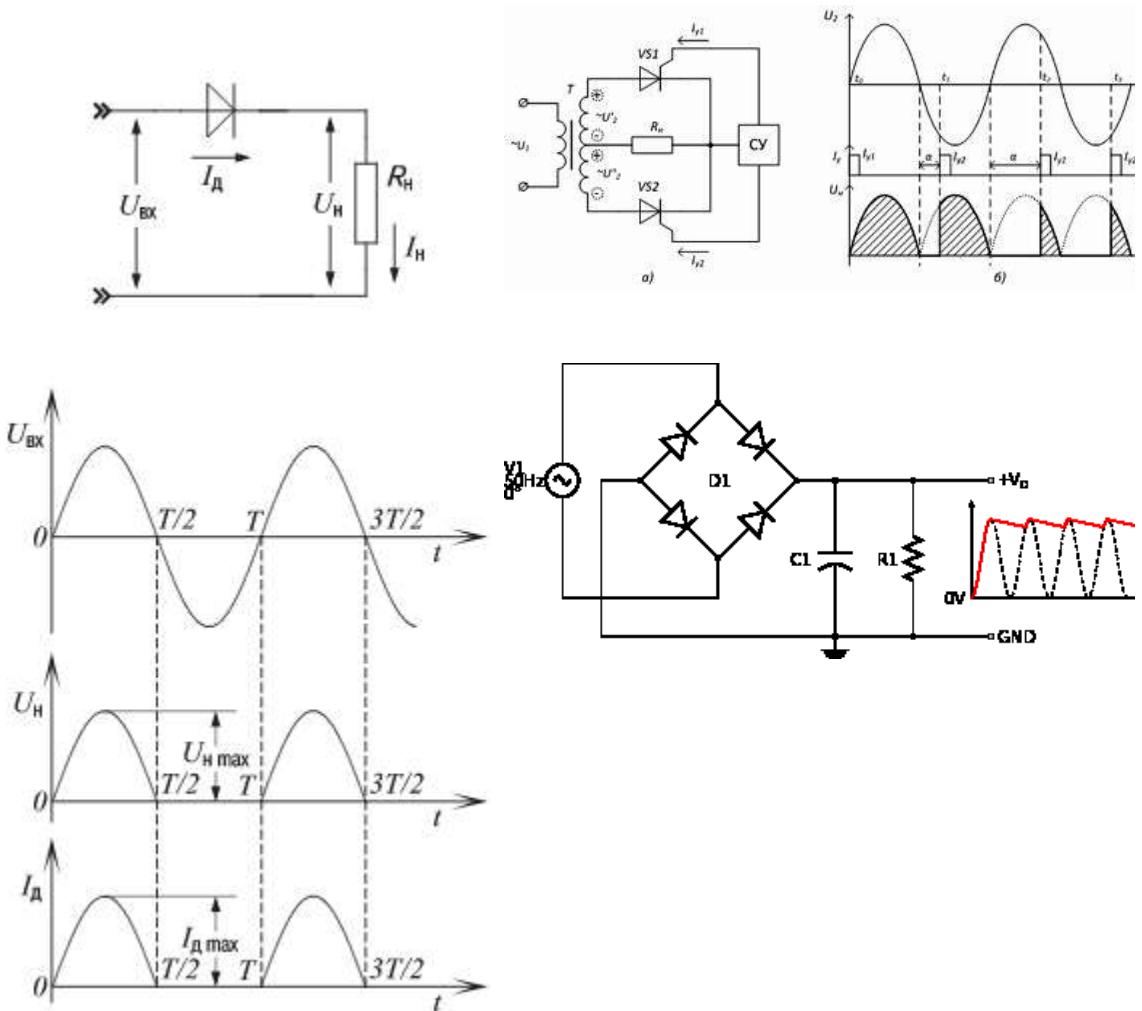
AKTIV VA AKTIV-INDUKTIV YuKLANISHLI REJIMDA IShLOVChI TO'G'RILAGICHLAR.

Bir fazali va uch fazali o'zgaruchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilash uchun mo'ljallangan boshqariladigan to'g'rilagichlarni turli chizmalarda ular mumkin. To'g'rilagichlar germaniy, kremniy elementlaridan tayyorlanadi, yarim o'tkazgichlilarni elektroni bir yo'nalishda o'tkazish xossasiga va tokning qo'yilgan kuchlanishiga proporsional bo'lganligiga asoslangan. Keyingi yillarda germaniyli va kremniyli diod (to'g'rilagich)lar ishlab chiqilgan. Hozirgi vaqtida foydali ish koeffisienti 99%ga yetadigan germaniyli diodlar ishlab chiqilgan. Diodlarning ba'zi turlari to'g'ri kuchlanishi 1 V bo'lganda bir necha yuz Amperga tokka yo'l qo'yadi. To'g'rilagich sifatida ishlaydigan bunday diodlar

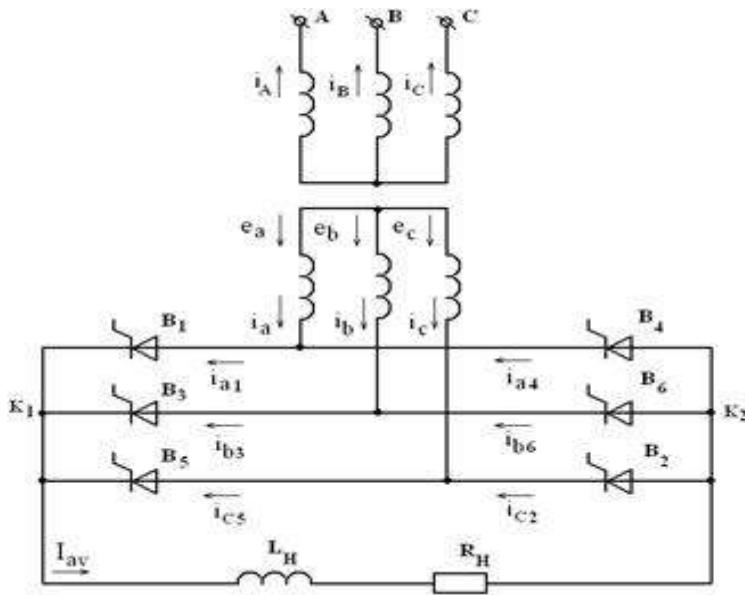
energiyani kam isrof qilishi (F.I.K. yuqori bo‘lishi) sababli katta yuklamalarda qizimaydi va sovituvchi radiatorlarga muhtoj bo‘lmaydi.

Keyingi yillarda F.I.K.-98% gacha, ishchi kuchlanishi 1000 Vdan yuqoriroq, tok zichligi 300 A/sm^2 bo‘lgan kremniyli to‘g‘rilagichlar ishlab chiqilgan.

Aniqlik kiritish maqsadida bir fazali va uch fazali to‘g‘rilagichlar chizmalarini bilan tanishamiz.



71-rasm. Bir fazali to‘g‘rilagichlar.



72-rasm. Uch fazali to‘g‘rilagichlar.

$$U_e = U_n = \sqrt{3}U_\phi \quad (58)$$

BOSHQARILMAYDIGAN VA BOSHQARILADIGAN TO‘G‘RILAGICHALAR.

Bir fazali to‘g‘rilagichlar 71a-rasmga keltirilgan chizma. Bir fazali tokning bitta davrli boshqarilmaydigan to‘g‘rilagich chizmasi.

To‘g‘rilaqanadigan o‘zgaruvchan tok kuchlanishi transformatorlardan olinadi. Yuklama transformatorlarning ikkilamchi g‘altagidan V_n -to‘g‘rilagich bilan ketma-ket ulanadi. Boshqarilmaydigan to‘g‘rilagich tokni oqimi yuqoridan pastki tomonga bir tekis oqqanda potensialga ega bo‘ladi, o‘zgaruvchan tokning yarim to‘lqini tomonida o‘tkazadi. Kuchlanishning pastki yarim amplitudasi yuklama orqali o‘tadigan tokni vujudga keltirmaydi, boshqarilmaydigan to‘g‘rilagichning teskari qarshiligi juda kattadir.

Bir fazali tok chizmasidagi boshqarilmaydigan to‘g‘rilagichning ikki yarim davrli chizmasi keltirilgan. Ikkilamchi cho‘lg‘amning O o‘rta nuqtasidan to‘g‘rilaqan tokli zanjirning bir qutbi chiqarilgan cho‘lg‘amning eng chetki “a” va “b” o‘ramlarining uchlari navbatma-navbat ikkinchi qutb bo‘ladi. Haqiqatga esa bu chizma kuchlanishning yarim to‘lqinining yo‘nalishiga qarab navbatma-navbat ishlaydigan bir yarim davri boshqarilmaydigan to‘g‘rilagichdan iborat bo‘ladi.

Kuchlanishning yarim to‘lqini musbat bo‘lganda yuqoridagi o‘ramlar o‘rtadagi o‘ramlar (o‘rta nuqta)ga nisbatan musbat potensialga, o‘rtadagi o‘ramlar esa pastki o‘ramlarga nisbatan musbat potensialga ega bo‘ladi. Kuchlanish vektori teng ikkiga bo‘linadi va uning O nuqtadagi “a” nuqtagacha bo‘lgan yuqoridagi yarim to‘g‘rilaqadi. Tok 0 nuqta –yuqoridagi o‘ramlar –1

to‘g‘rilagich yuklama 0 nuqta orqali o‘tadi. Manfiy yarim davr 0 nuqtaning potensiali V nuqtaga nisbatan manfiy bo‘ladi. Ayni vaqtida 0 nuqta A nuqtaga nisbatan musbat potensialga ega bo‘ladi. Bu to‘g‘rilagich asosan ko‘rik chizma usulida bo‘lgani uchun afzallikka ega, texnikada ko‘p qo‘llaniladi.

Uch fazali tokni to‘g‘rilash chizmasi 72-rasmga keltirilgan.

72a-rasmda. Har fazada bitta yarim davrli to‘g‘rilagich ishlaydi. Fazalar 120° ga siljigani sababli to‘g‘rilangan tokning yarim to‘lqinlari bir-birini qoplaydi va puls tarorlanishi kamayadi.

72b-rasmda. Har fazada ikkala yarim to‘lqin to‘g‘rilanadi, chunki bu yerda ikkita yarim davrli to‘g‘rilash yuz beradi. to‘g‘rilagichlardan tuzulgan ko‘prika tarmoq kuchlanishi beriladi. Davrning har qaysi oltidan bir qismi davomida to‘g‘rilangan tokning zanjirida fazalar birining to‘g‘rilangan kuchlanishi ta’siridan tok o‘tadi.

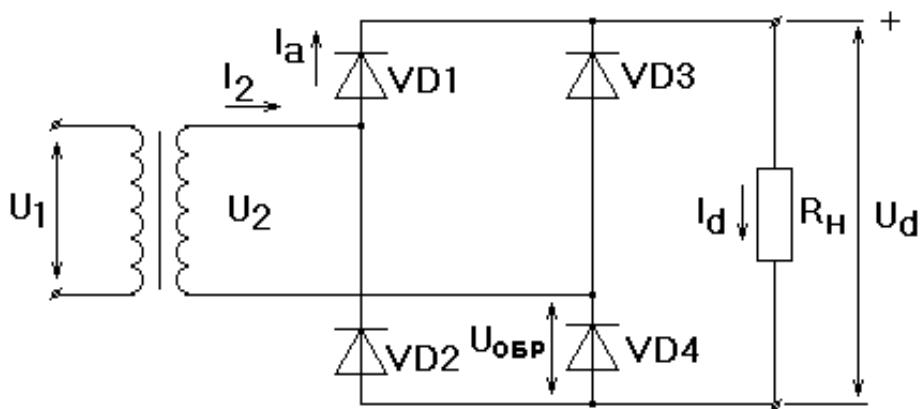
72b chizmani ishlash prinsipini ko‘rib chiqamiz. 1-tugunda A fazani oniy kuchlanishi maksimal bo‘ladi. Yuklama zanjirida tok A faza-1 to‘g‘rilagich (diod) yuklama-4 va 6 to‘g‘rilagich (diod)-V va S fazalar-cho‘lg‘amining nol nuqtasi A fazadan iborat zanjir orqali o‘tadi. Ana shunday tartibda o‘zgaruvchan tok o‘zgarmas tokka aylantiriladi.

Uch fazali o‘zgarmas toklar, o‘zgarmas tok dvigatellari uchun asosiy elektr manbasi bo‘lib xizmat qiladi. Barcha elektr energiya ishlab chiqarish korxonalari uch fazali o‘zgaruvchan tok elektr energiyasi ishlab chiqaradi va ular maxsus qurilmalar yordamida iste’molchilarga yuboriladi. Sanoatning shunday saxalari borki, o‘zgaruvchi tokni to‘g‘ridan-to‘g‘ri qabul qilmaydi, ularga o‘zgarmas tok kerak, shunga muvofiq ularni ehtiyojini qondirish uchun uch fazali to‘g‘rilagichlar yordamida o‘zgarmas tok olinib yetkazib beriladi. Kimyo sanoati, qora va rangli metall ishlab chiqarish korxonalari, transpotr va aloqa soxasining ozuqasi bo‘lmish uch fazali o‘zgarmas tok elektr energiyasi bo‘lmasa elektr energiyasi bo‘lmasa, bu soxalarda ish to‘xtab qoladi.

O‘zgarmas tok energiyasini olish uchun tok o‘zgartirgichlar (preobrazovatellar) va to‘g‘rilagichlar (vipryamitellar) kerak. Bu qurilmalarda yarim o‘tkazgichli diodlar va o‘zgartirgich moslamalar qo‘llaniladi.

O‘zgarmas tok olish usulida eng ko‘p ko‘priko usulidagi kombinatsiyalashgan elektr ko‘priko chizmalar ishlataladi. Ko‘pchilik xollarda yarim o‘tkazgichli to‘g‘rilagichlar ko‘priko chizmasi bo‘yicha yig‘iladi. Ularni chizmasi quyidagi rasmda berilgan.

$$U_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \approx 0,9U \quad (59)$$



73-rasm. Boshqarilmaydigan to‘g‘rilagich chizmasi

Boshqarilmaydigan to‘g‘rilagich chizmasi (73-rasm) transformatorlar cho‘lg‘amining 3-nuqtasida birinchi yarim davrda musbat potensial, 4-nuqtasida manfiy potensial bo‘lsin deb faraz qilaylik. Bu vaqtida elektr toki 3-nuqtadan 7-nuqtada VD₂-to‘g‘rilagich, 5-nuqtadan iste’molchiga, 6-nuqtadan va VD₄-to‘g‘rilagich orqali ikkilamchi cho‘lg‘amning 4-nuqtaga boradi.

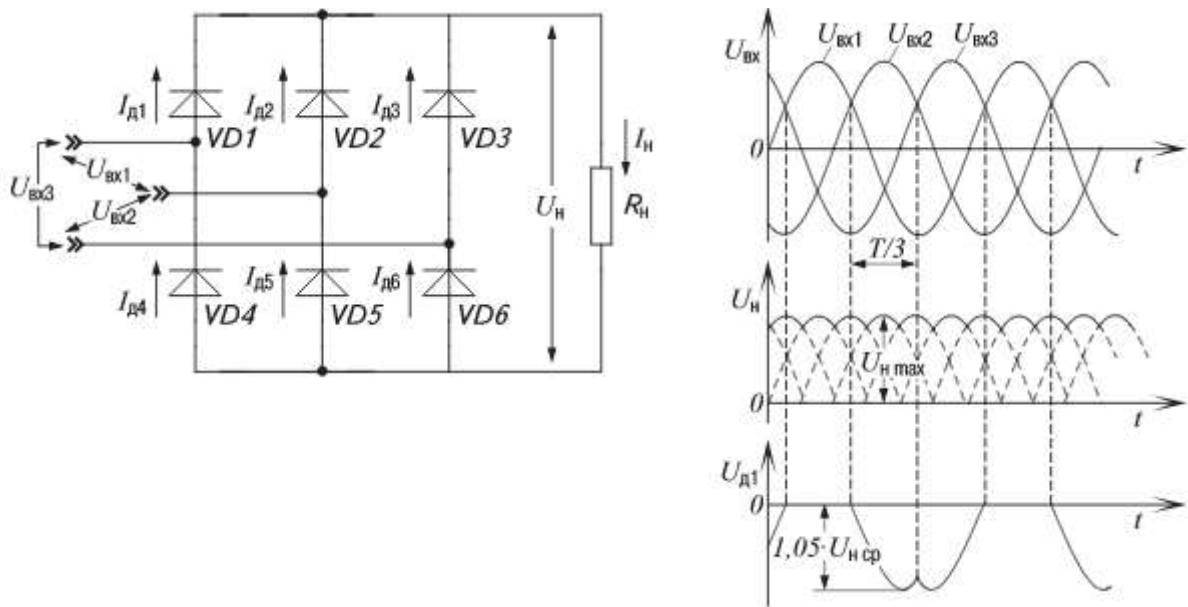
Ikkinci yarim davrda transformatorning ikkilamchi cho‘lg‘amining 3-nuqta va 4-nuqtalarida potensial ishorasi (qutbi) o‘zgaradi: 3- nuqtada manfiy potensial, 4-nuqtada musbat potensial bo‘ladi. U vaqtida tok 4-nuqtadan 8-nuqta VD₁-to‘g‘rilagich, 5-nuqtadan esa iste’molchi (birinchi yarim davr davomidagi yo‘nalishda) 6-nuqta VD₃-to‘g‘rilagich va 7-nuqta orqali 3-nuqtaga o‘tadi. Har bir yarim davr davomida iste’molchi orqali ayni bir yo‘nalishda tok o‘tib turadi. Ko‘priklı chizmaning o‘zgaruvchan tokni ikki yarim davrli odatdagı to‘g‘rilagich chizmasiga nisbatan afzal tomonlari haqida chuqur tushuncha berish kerak.

Uch fazali tokni ikkita yarim davrli to‘g‘rilash chizmasi va to‘g‘rilangan tokni grafi 74-rasmida keltirilgan. Ayrim fazalardagi tok va kuchlanishlarni to‘g‘rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning ikkilamchi

cho‘lg‘amidagi faza kuchlanishlari bir-biriga nisbatan $\frac{2\pi}{3}$ burchakka siljigan.

$$U_a = U_m \sin wt; \quad U_e = U_m \sin \left(wt - \frac{2\pi}{3} \right); \quad (60)$$

$$U_c = U_m \sin \left(wt + \frac{2\pi}{3} \right); \quad (61)$$



74-rasm. Uch fazali tokni ikkita yarim davrli to‘g‘rilash chizmasi

74-rasmdagi sinusoidallar musbat yarim to‘lqinlardagi maksimumlar davrning uchdan bir qismida almashib turadi. Shu vaqt ichida bir tomonlama harakatlanuvchi $i_a; i_b; i_c$ toklar hosil bo‘ladi. Boshqarilmaydigan kuchlanishni o‘rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

harakatlanuvchi $i_a; i_b; i_c$ toklar hosil bo‘ladi. Boshqarilmaydigan kuchlanishni o‘rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\tilde{y}pm} = U_{mye} = \frac{1}{T/3} \int_{i_1}^{t_2} U dt \quad \text{yoki}$$

$$U_{\tilde{y}pm} = \frac{3}{T} \int_{T/12}^{5\pi/12} U dt = \frac{3}{\omega t} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3U_m}}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6U}}{6,28} = 1,17U$$

(62)

$$I_{myepu} = \frac{U_{mye}}{R_u} = \frac{1,17U}{R_u}; \quad (63)$$

Har bir diod davrdan uchdan bir qismida uzluksiz ishlaydi, boshqa vaqt esa yopiq holatda bo‘ladi.

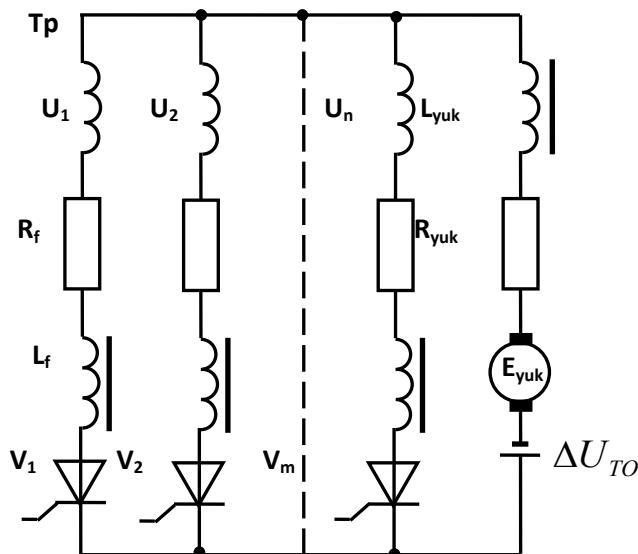
BOSHQARILUVCHI YARIM OTKAZGICHLI O‘ZGARMAS TOK O‘ZGARTKICHLARI

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 foydalananiladi 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'naliishli tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichi (TO') ish rejimlarini tahlil qilishda odatda umumlashgan **m** fazali hisob sxemalaridan keng foydalananiladi (75-rasm).

75- 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, ye_{yuk} – motorning EYuK (agar TO' motorning qo'zg'atish chulg'amiga ulangan bo'lsa, u holda $ye_{yuk} = 0$); 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 $VI-V_m$ ideal, ya'ni to'liq boshqariluvchan deb qaraladi.

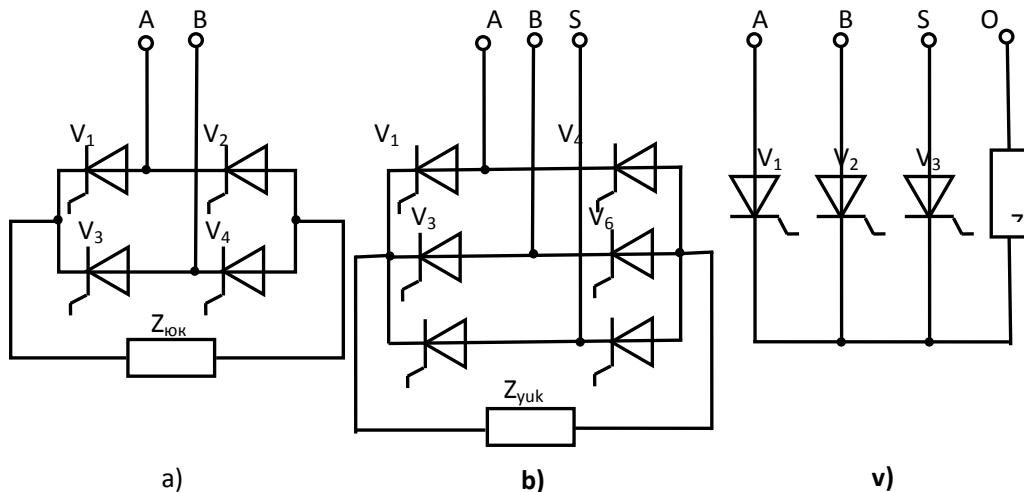


75- rasm. Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining hisob sxemasi
TO' ning statik rostlash tavsifi $Ye_d = f(\alpha)$ umumiyl ko'rinishda quyidagi matematik ifodadan iborat bo'ladi

$$E_d = \frac{m}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} - \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} + \alpha} E_{\phi m} \sin \omega_0 t d\omega_0 t = E_{d \max} \cos \alpha , \quad (64)$$

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.



76– 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 (76– rasm) va ta’minlovchi tarmoq elektr ko‘rsatkichlariga bog‘liqdir (1 – jadval). Yuklanishning quvvati $P_d = E_{dmax}I_d$ ga teng bo‘ladi (bu yerda I_d yuklanish toki).

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 EYUК ning maksimal qiymati, E_{dmax}	$0,9 E_{2l}$	$1,17 E_{2f}$	$1,35 E_{2l}$
Maksimal teskari kuchlanish, $U_{tes.kuchi}$	$1,57 E_{dmax}$	$2,09 E_{dmax}$	$1,05 E_{dmax}$
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 (76a – rasm) asosan kichik quvvatli elektr yuritmalar uchungina qo‘llanilishi bilan chegaralanadi. Uch fazali sxemalar esa asosan o‘rtacha va katta quvvatli elektr yuritmalarda ishlataladi. Uch fazali ko‘prik sxema (76v – rasm)

uch fazali nol sxemaga (76b – rasm) nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Bu afzalliklar nimalardan iborat ekanligi 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 (chastota $f = 300$ Gs) bo‘lishi bilan birga amplitudasi ikki marta kamdir;
3. ishchi sxema tarmoqqa transformatorsiz ham ulanishi mumkin;
4. transformatorning rusumiy quvvati kam va bor yo‘g‘i $S_t=1.05P_d$ 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 iqtsodiy, 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 koeffisentining 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 koeffisenti 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‘sinq to‘lqinlarining tarqalish darajasini oshirishga olib keladi.

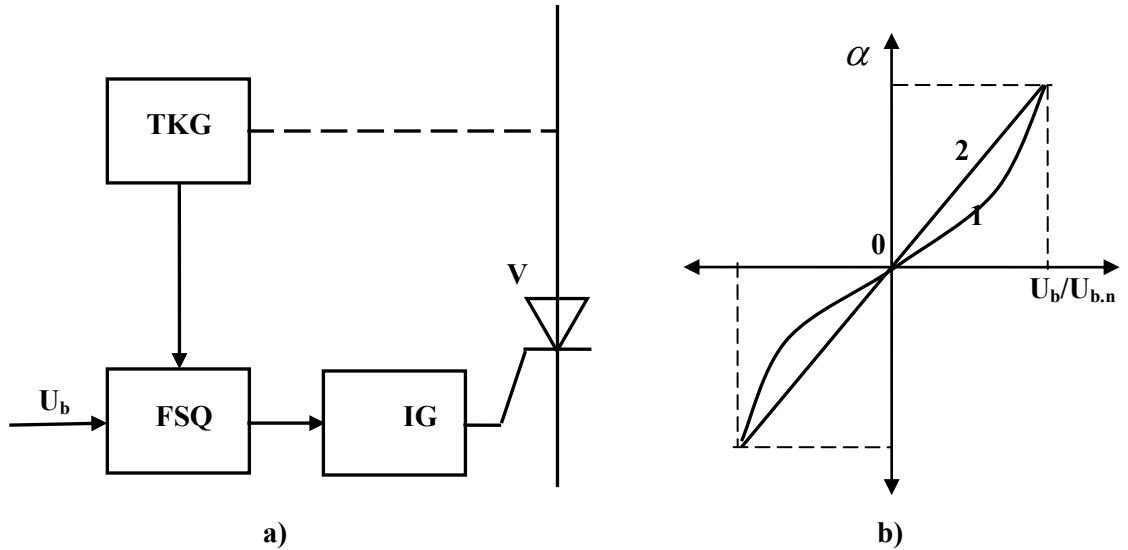
TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICH TIRISTORLARINI BOSHQARISH

Hozirgi paytda TO'ishchi sxemalaridagi tiristorlarni boshqarish uchun vertikal prinsipida ishlovchi impuls – fazal boshqaruv tizimlari (IFBT) keng qo'llanilmoqda. IGBT ga qo'yiladigan asosiy talablar tiristorlarning normal ishlashini ta'minlashi va har qanday nonormal rejimlardan muhofaza qilishi lozim va bu talablar quydagilardan iborat:

1. boshqarish impulsining amplitudasi $200 - 400 \text{ mA}$ dan kam bo'lmasligi kerak;
2. impuls kengligi shunday bo'lishi kerakki, bu oraliqda tiristordagi tokning o'sishi, uning o'rtacha qiymatiga yetib olishga ulgurishi kerak va odatda bu kenglik $10 - 15^0$ ga teng bo'ladi;
3. boshqaruv jarayonidagagi asimetriyani yo'qotish uchun (asimetriya darajasi 3^0 dan oshmasligi kerak) impulsning boshlanishidagi tiklik darajasi yuqori (10 A/s tartibda) bo'lishi lozim;
4. boshqaruv burchagini o'zgarish dipazoni $-2(\gamma + \delta) \leq D \leq \pi(\gamma + \delta)$ bo'lib, tiristorlar boshqarish burchagini maksimal qiymati $\alpha = 150^0 - 160^0$ bo'lishi kerak;
5. boshqaruv tizimining tezkorligi TO'ning amalda inersiyasiz qurilma sifatida ishlashiga imkon yaratishi lozim.

IFBT ning funksional sxemasi 77a – rasmida berilgan bo'lib, bu yerda TKG – tayanch kuchlanishi U_{TK} ni hosil qiladi (U_{TK} ning formasi sinisoi-dal, arrasimon va boshqa ko'rinishlarda bo'lishi mumkin) bu signal FSQ – fazal siljitis qurilmasida boshqaruv kuchlanishi U_b bilan solishtirilib, ularning ayirmasi ($U_b - U_{TK}$) ishorasi o'zgarilishi IG – impuls genera-torida boshqaruv impulsining yuzaga kelishiga va kuch sxemadagi tiristor V ni ochishga imkon beradi. 77b–rasmida amaliyotda keng qo'llaniladigan tayanch kuchlanshi U_{TK} ning ikki xil ko'rinishi uchun IGBT ning boshqaruv tavsifi $U_\delta = f(\alpha)$ va kuchaytirish koeffisenti $K_{IFBT} = f(\alpha)$ ning matematik ifodalari, hamda sinusoidal va arrasimon ko'rinishdagi tayanch kuchlanishli IGBT ning rostlash tavsiflari $\alpha = f(U_\delta / U_{\delta_h})$ berilgan bo'lib, bu tavsiflar tayanch kuchlanishining formasi sinusoidal bo'lganda (1 – egri chiziq) va arrasimon bo'lganda (2 – egri chiziq) to'g'ri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. Xuddi shu ikki xil ko'rinishga ega bo'lgan tayanch kuchlanishli IGBT larning kuchaytirish koeffisientlari ham keltirilgan. Tayanch kuchlanishining formasi sinusoidal (1 – egri chiziq) va (2 – to'g'ri chiziq) bo'lgan holdagi IGBT kuchaytirish koeffisientlarini solishtirsak

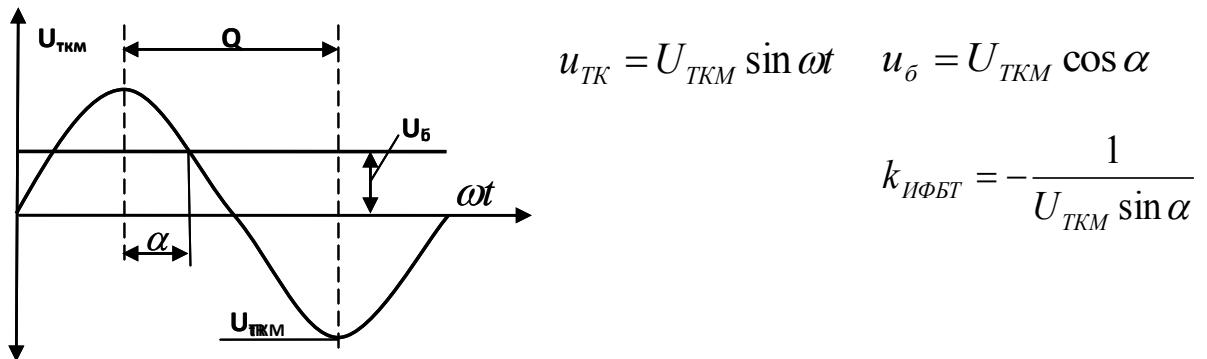
U_{TK} ning formasi arrasimon bo‘lgan holda kuchaytirish koeffisient o‘zgarmas bo‘lib, tiristorlarning ochilishini boshqarishda katta qulaylik yaratadi.



77 – rasm. IFBTning funksional sxemasi (a) va boshqaruvin burchagining tayanch kuchlanishiga bog‘liqlik tavsiflari (b)

Tayanch kuchlanishi formasi $u_{TK} = f(\omega t)$ $u_\delta = f(\alpha)$,
 $k_{H\Phi ET} = f(\alpha)$

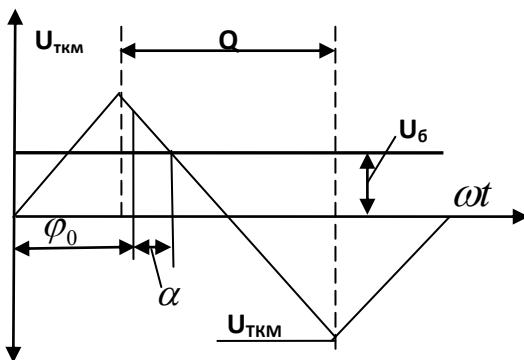
Cinusoidal



Arrasimon

$$u_{TK} = U_{TKM} \left(1 - \frac{\omega t}{Q}\right) \quad u_\delta = U_{TKM} \left(1 - \frac{\varphi_0 + \alpha}{Q}\right)$$

$$k_{IFBT} = -\frac{Q}{U_{TKM}}$$



78 – rasm. tayanch kuchlanshi U_{TK} ning ikki xil ko‘rinishi uchun IFBT ning boshqaruv tavsifi $U_\delta = f(\alpha)$ va kuchaytirish koeffisenti $K_{IFBT} = f(\alpha)$ ning matematik ifodalari TO‘ ning natijaviy kuchaytirish koeffisenti

$$K_{TY} = K_{IFBT} \cdot K_{HC} \quad (65)$$

bo‘lib, bu yerda $K_{HC} = \frac{de_d}{d\alpha}$ – o‘zgartkich ishchi sxemasining kuchaytirish koef-fisient bo‘lib, (64) tenglamani boshqaruv burchagi α bo‘yicha olingan hosilasidir.

TO‘ ning boshqaruv tavsifi $E_d = f\left(\frac{U_\delta}{U_{\delta,H}}\right)$ ham so‘zsiz IFBT tayanch kuchlanishi U_{tk} formasiga bog‘liqdir, agar U_{tk} ning formasi sinusoidal bo‘lsa yukoridagi ifodalarni (78-rasm) hisobga olganimizda, o‘zgartkichning boshqaruv tavsifi chiziqli funksiya bo‘ladi (77b – rasm, 2 – to‘g‘ri chiziq), ya’ni

$$E_d = E_{d_{max}} \cos \alpha = E_{d_{max}} \cos(\arccos \frac{U_\delta}{U_{\delta,H}}) = E_{d_{max}} \frac{U_\delta}{U_{\delta,H}} \quad (66)$$

ko‘rinishda yoziladi. Agar U_{tk} ning formasi arrasimon bo‘lsa $\alpha = f\left(\frac{U_\delta}{U_{\delta,H}}\right)$ funksiya chiziqli bo‘lishi bilan (77b – rasm, 2 – to‘g‘ri chiziq), o‘zgartkichning boshqaruv tavsifi

$$E_d = E_{d_{max}} \cos \alpha = E_{d_{max}} \sin(Q \frac{U_\delta}{U_{\delta,H}}), \quad (67)$$

ko‘rinishda bo‘lib, agar U_{tk} ning formasi uchburchak ko‘rinishda bo‘lsa TO‘ ning boshqaruv tavsifi

$$E_d = E_{d_{max}} \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{U_\delta}{U_{\delta,H}}\right), \quad (68)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

IMPULS KENGLIGI BOSHQARILADIGAN O'ZGARMAS TOK MANBALAR

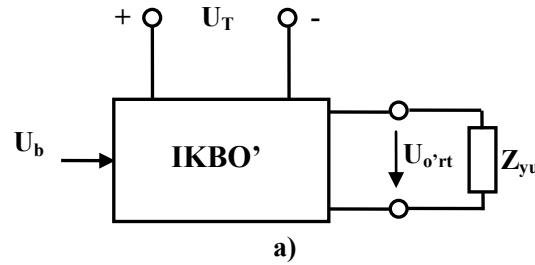
Kichik quvvatli (bir necha kilovatgacha bo'lgan) o'zgarmas tok elektr yuritmalarda uzlusiz xarakterdagi o'zgarmas tok kuchlanishi kengligi boshqariladigan impuls larga o'zgartirilib elektr motorlarni boshqarish keng qo'llash taraqqiy etmoqda. Bunday turdag'i o'zgartkichlarning asosini impulsning amplituda va chastota qiymatlari o'zgarmas qoldirilib, faqat kengligini o'zgartiradigan modulyator (IKM) tashkil etadi. Impuls kengligi boshqariladigan o'zgartgichlar (IKBO') TO'larga qaraganda tezlikni rostlash oralig'i katta, ya'ni $D = (2000 \div 6000) : 1$ yuqori darajada bo'lishi bilan, motorning tok bo'yicha yuklanishi katta bo'lishi va tarmoq kuchla-nishining formasiga ta'siri kam bo'lishi bilan ijobiy farqlanadi.

IKBO'ning funksional sxemasi 79a – rasmda tasvirlangan bo'lib, yuklanishdagi kuchlanishning o'rtacha qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

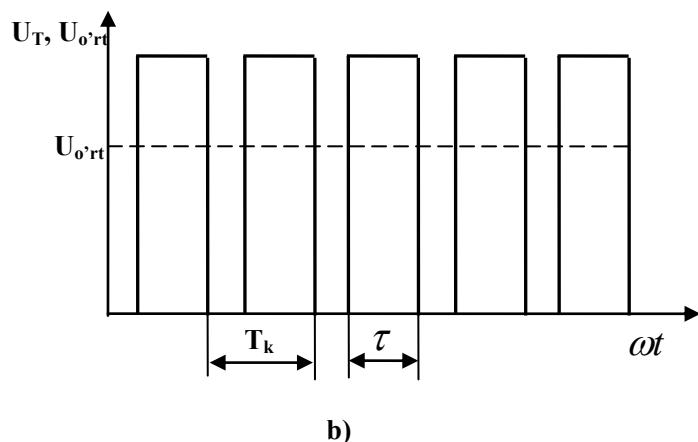
$$U_{\ddot{y}_{PT}} = \frac{\tau}{T_k} U_T = U_T \nu , \quad (69)$$

bu yerda U_T – manba kuchlanishi; $\nu = \frac{\tau}{T_k}$ – impuls chuqurligi; T_k – kommutatsiya davri; τ – kommutatsiya davrining ishchi qismi.

(69) – tenglamadan ko'rinish turibdiki, yuklanishdagi kuchlanishning $U_{\ddot{y}_{PT}}$ qiymati $U_T = \text{const}$ bo'lganidagina impuls chuqurligiga bog'liq bo'ladi (79v – rasm).



a)

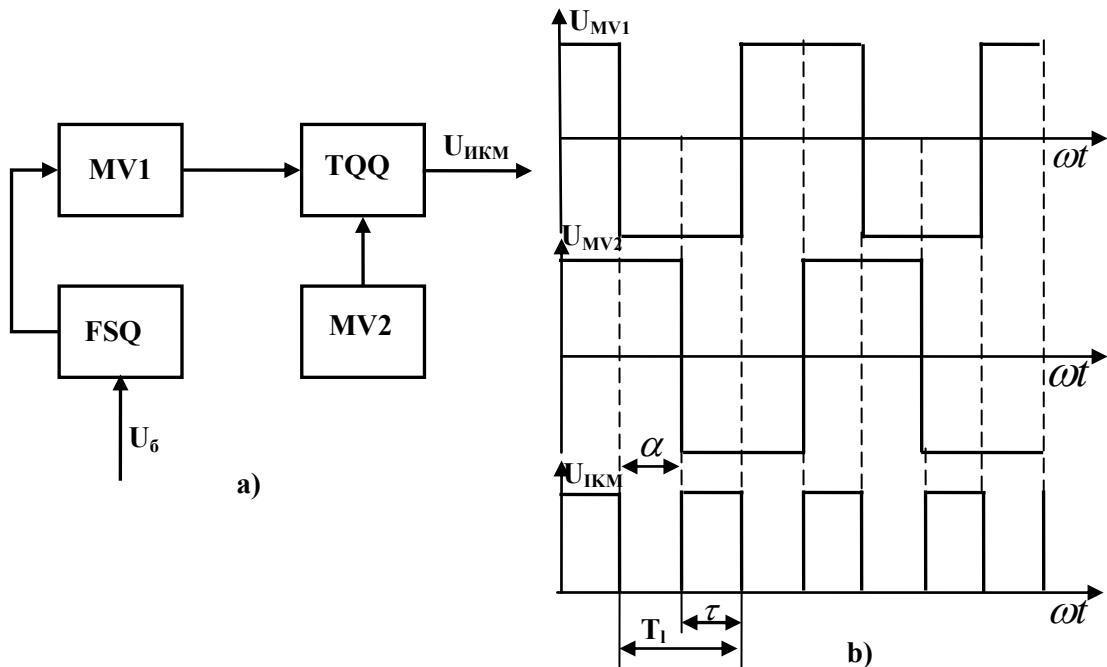


b)

79– rasm. Impuls kengligi boshqariladigan o‘zgarmas tok o‘zgartkichining funksional sxemasi (a), blok – tizim modeli (b) va kuchlanishlar diagrammasi (v)

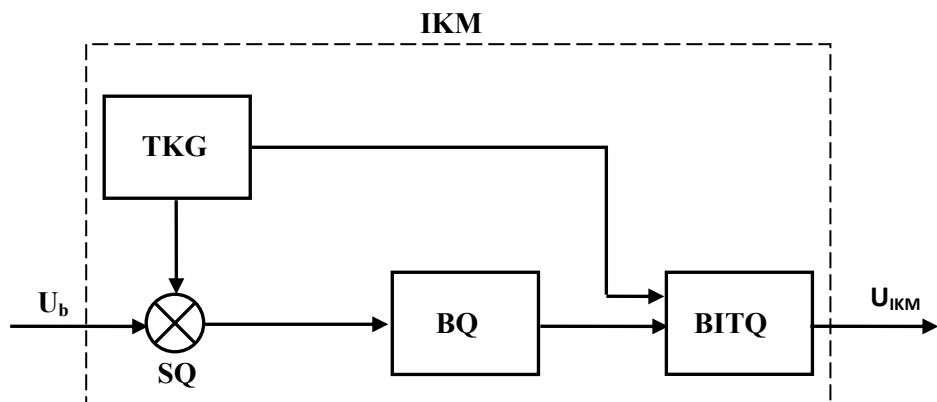
IKMning vazifasi U_b boshqaruv kuchlanishining qiymatiga mos keluvchi kenglikdagi impulslarni hosil qilishdir. Boshqariladigan kenglikdagi impulslarni hosil qilishning ikki xil usuli mavjud bo‘lib, ulardan biri fazalarig‘i boshqariladigan ikki to‘g‘ri burchakli impulslarni qo‘shish asosida (80a – rasm); bunday qurilma to‘g‘ri burchakli kuchlanishlarni hosil qiluvchi MV1 va MV2 multvibratorlardan, fazalar siljitim qurilmasi FSQ dan hamda chiqish kuchlanishlarini qo‘shuvchi va to‘g‘rilovchi qurilma TQQ dan iborat bo‘ladi.

80b – rasmda kerakli impuls chuqurligiga ega bo‘lgan natijaviy impulslarni hosil qilinishi kuchlanishlar diagrammasi orqali tasvirlangan.



80– rasm. Multivibratorli IKMning funksional sxemasi (a) va kuchlanishlar diagrammasi (b)

Ikkinci usul ma'lum chastota va formaga ega bo'lgan tayanch kuchlanishi U_{TK} bilan boshqaruv kuchlanishi U_b ni qo'shish natijasida impuls kengligi boshqariladigan signal hosil qilinadi. 81-rasmida shunday impuls kengligi modulyatori IKM ning funksional sxemasi tasvirlangan bo'lib, bu yerda TKG – tayanch kuchlanish generatori, SQ – solishtirish qurilmasi, BQ – bo'sag'a qurilmasi, BITQ – boshqariluvchan impulslarni tashkil qiluvchi qurilma. Tayanch kuchlanishi generatori TKG dan chiqqan U_{TK} SQ da boshqaruv kuchlanishi U_b bilan solishtirilib, ularning ayirmasi BQ ga uzatiladi. U_{TK} ning formasи arrasimon bo'lib, chastotasi $f_{TK} = 1/T_K$ ga teng bo'ladi. Agar BQ dagi signal $U_{TK} - U_b > 0$ bo'lsa, BQ dan chiqayotgan signal maksimal darajada («bir» signal) bo'ladi va bu signallar BITQ ga yuboriladi, hamda TKGning signali bilan solishtirilib, kommutatorni boshqarish uchun impulslar U_{IKM} ishlab chiqaradi.



81 – rasm. Tayanch kuchlanish generatorli IKMning funksional sxemasi

Kommataordagi tiristor yoki tranzistorlar kalit rejimida ishlab, ularning ishlash taklari IKMdan chiqqan signallarning ko'rsatkichlariga bog'liqdir. Tayanch kuchlanishi formasi arrasimon bo'lganda, IKBO'ning o'rtacha kuchlanish tavsifi to'g'ri chiziqli funksiyani beradi

$$U_{\check{y}PT} = \gamma U_T = \frac{U_\delta}{U_{TK\max}} U_T = \kappa_{\check{y}_3} U_\delta, \quad (70)$$

bu yerda $\kappa_{\check{y}_3}$ – IKBO'ning kuchaytirish koeffisenti.

IKBO' ning kuch sxemasi kommutasion ish rejimida ishlaydigan tiristorlar yoki kuch tranzistorlaridan tashkil topgan bo'ladi. Agar tiristorli elektr yuritmalarda tiristorlar tabiiy kommutasion rejimda ishlasa, IKBO'li elektr yuritmalarda esa tiristorlar sun'iy kommutasion ish rejimda ishlashi bilan farq qiladi. IKBO' larning quvvati 0,5 kVt gacha (kuchlanishi 110 V), tokining esa chekhanish qiymati $2 \div 2,5$ A bo'lgan qurilmalarda ishchi sxema kuch tranzistorlari asosida yaratiladi. Bu avvalambor, hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan kuch tranzistorlarining tok bo'yicha imkon chegaralanganligi, boshqarish sxemalarining murakkabligi va ayniqsa, tranzistorlar ketma – ket ulangan bo'lsa yanada murakkablashishi, bu yarim o'tkazgichlarni IKBO'ning ishchi sxemalarida keng qo'llanilishiga imkon bermaydi. Kuchlanish va tok qiymatlari bo'yicha tranzistorlarning imkoniyati past bo'lgani uchun ham katta qiymatli tok va kuchlanishga mo'ljallangan qurilmalarda katta quvvatga ega tiristorlarni qo'llash ishchi sxemalarini soddalashtirishga va ularni boshqarishni osonlashtirishga olib keladi. Tiristorlar ham ba'zi juziy kamchiliklardan xoli emas, chunonchi sun'iy kommutatsiyaning zaruriyligi rostlash tizimining murakkablashishiga olib keladi; tok qiymati yuklanish tokining qiymatiga teng bo'lganda o'z – o'zidan o'chib qolishi; tiristorni ochiq holda ushlab turish uchun kerak bo'lgan tok qiymatining kichikligi; yuklanishning xarakteri induktiv bo'lganda tiristorlarni ochiq holda ushlab turish uchun tokning kerak bo'lgan qiymati darajasigacha o'sishi uchun kechga qolish vaqtining mavjudligidir.

Noreversiz IKBO'ning ishchi sxemasi sodda bo'lib, tiristor kalit VI dan va diod $D1$ dan iboratdir (82a – rasm). Yuklagich Z_{yuk} dagi kuchlanish quyidagi formula yordamida aniqlanadi

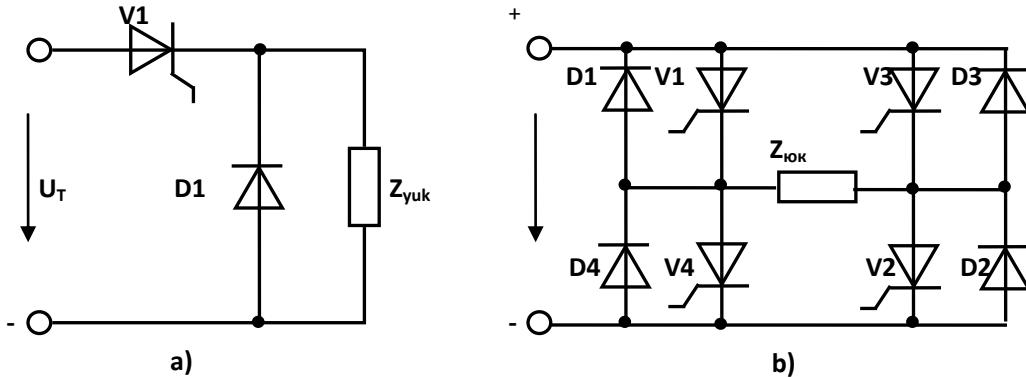
$$U_{\check{y}PT} = \frac{1}{T_\kappa} U_T t_{y\pi} = \gamma U_T. \quad (71)$$

$D1$ ning vazifasi kommutatorning $T - t_{ul}$ vaqt oralig'ida, ya'ni o'chiq holatida o'zinduksiya EYuK ta'sirida yuklanishda tokning uzilib qolishiga yo'l qo'ymaslikdan iborat. Reversiz IKBO'ning ishchi sxemasi ko'prik sxema asosida bo'lib, kalitlarning kommutatsiyasi turli qonuniyatlar asosida bajarilishi mumkin (82b – rasm). Tiristorlarni simmetrik boshqarish usuli bilan

ochganimizda t_{ul} vaqtida tiristorlar jufti V1 va V3 ishlab, V2 va V4 tiristorlar o‘chirilgan bo‘ladi. Bunday kommutatsiya yuklanishda har xil ishorali impuls EYuK hosil qiladi,

$$U_{\dot{y}_{PT}} = \frac{1}{T_k} (U_T t_{ya} - U_T t_0) = U_T (2\gamma - 1) \quad (72)$$

va bu reversiv IKBO‘ning o‘rtacha kuchlanishini beradi.



82– rasm. IKBO‘ning noreversiv (a) va reversiv (b) kuch sxemalari

Bunday kommutatsiya usulida ishlayotgan IKBO‘ning kuchlanishi $U_{O\cdot RT} = 0$ bo‘lganida yuklanishdan o‘tayotgan tok uzilib qolmaydi va o‘zgartkichning tashqi tavsifi chiziqli xarakterga ega bo‘ladi. Tok pulsatsiya darajasining yuqori bo‘lishi IKBO‘ larning asosiy kamchiliklaridir.

Tiristorlarni nosimmetrik boshqarganimizda IKBO‘ning chiqishidagi kuchlanish bir qutbli impluslardan iborat bo‘ladi. Har qaysi tiristorli juft kalitlar $t_{ul} + T_k$ vaqt oralig‘ida va bitta tiristor kalitning boshqasiga nisbatan T_k davrga siljishi vaqtida ulanishi bilan xarak-terlanadi. Tiristorlarning navbat bilan ishlash tartibi quyidagicha: V1, V3 – V1 – V1, V3 – V3 – V1, V3 va h.k. t_{ul} vaqt oralig‘ida ikkala tiristor ulangan holda impuls EYuK hosil bo‘lib, bir tiristor ulangan t_0 vaqt oralig‘ida impuls EYuK hosil bo‘lmay balki o‘zinduksiya toki ulangan tiristor va diod orqali yopiq kontur hosil qiladi. EYuK qutblarini o‘zgartirish uchun juft tiristorlar V2 va V4 ulanadi. Agar yuklanish vazifasini o‘zgarmas tok motori bajarganda IKBO‘ ning muhim ko‘rsatkichi bo‘lgan tok pulsatsiyasini aniqlaymiz

$$\Delta I_n \approx \frac{U_T}{R_a} \frac{\gamma(1-\gamma)}{\kappa T_a f_k}, \quad (73)$$

bu yerda R_a – motor yakor zanjirining aktiv qarshiligi, Ω .

T_a – yakor zanjirining elektromagnit vaqt doimiyligi, s; k – sxema koefisienti: bir qutbli EYuK impulslar uchun $k = 1$, har xil qutbli EYuK impulslar uchun esa $k = 0,5$.

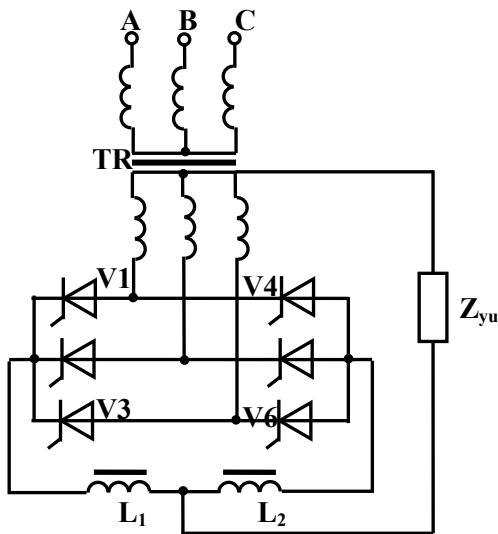
(73) – tenglamadan ko‘rinib turibdiki, nosimmetrik kommutatsiya rejimida ishlayotgan IKBO‘ning tok pulsatsiyasining darajasi simmetrik

kommutatsiya rejimiga nisbatan ikki martaba kam bo‘ladi va shu bilan birga IKBO‘ning nosimmetrik qonuniyati bilan ishlaydigan kommutatsiyalanuvchi sxemalarning afzallikkari yaqqol ko‘rinadi.

TIRISTORLI BEVOSITA ChASTOTA O‘ZGARTKICHLAR

Tiristorli bevosita chastota o‘zgartkichlarda tarmoqdan kelayotgan o‘zgarmas chastotali va kuchlanishning haqiqiy qiymati o‘zgarmas bo‘lgan o‘zgaruvchan tok kuchlanishi bevosita oraliq o‘zgartkichlarsiz chastota va kuchlanishining haqiqiy qiymati rostlanuvchan o‘zgaruvchan tok kuchlanishiga o‘zgartiriladi.

Bevosita TChO‘ning ishslash prinsipini shu o‘zgartkichning bir fazali sxemasi asosida ko‘rib chiqamiz (83–rasm). Bu sxema o‘zgarmas tok tiristorli o‘zgartkichning reversiv nol sxemasidan iboratdir. Agar chap guruh tiristorlariga ochilishi uchun signal berganimizda, yuklanish Z_{yuk} dan kuchlanish nol nuqtaga nisbatan musbat ishorali bo‘ladi va uning o‘rtacha qiymati $U_{iok} = U_{iok0} \cos \alpha$ bo‘lib, bu yerda α – tiristorlarning boshqarish burchagi; U_{iok0} – boshqarish burchagi $\alpha = 0$ bo‘lgandagi yuklanish Z_{yuk} dagi kuchlanish.

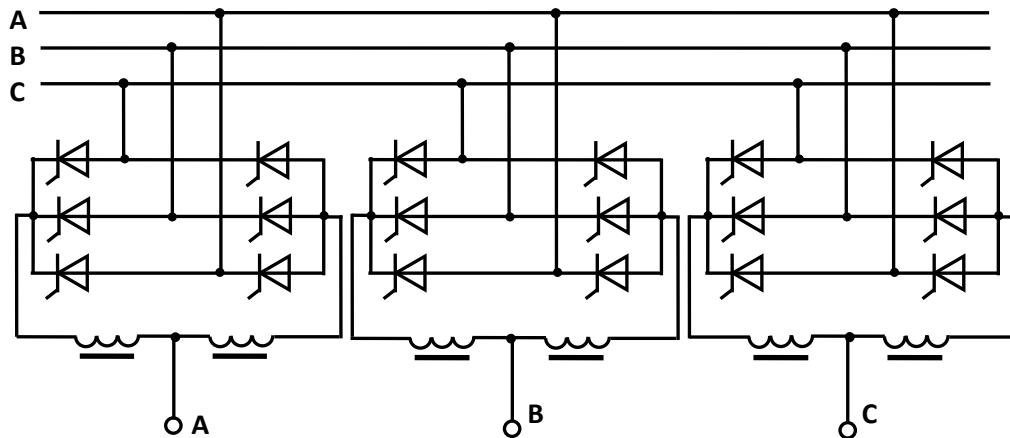


83– rasm. Bir fazali bevosita TChO‘ning sxemasi

Endi o‘ng guruh tiristorlariga boshqaruv signallarini berib ochganimizda, chap guruh tiristorlari yopilib Z_{yuk} dagi kuchlanishning ishora-si manfiy bo‘ladi. Agar boshqaruv impulslarini goh u goh bu guruh tiristorlariga davriy ravishda yuborib turganimizda, yuklanishdagi kuchlanishning ishorasi ham mos ravishda o‘zgarib turadi. Shunday qilib, yuklanishda chastotasi tarmoq chastotasidan farqli (unga teng yoki undan kam) chasteotali o‘zgaruvchan kuchlanish hosil qilamiz. Boshqaruv impulslarning ketma – ketlik davrini o‘zgartirib U_{yuk} ning

chastotasi boshqariladi, agar α boshqaruv burchagini o‘zgartirsak U_{yuk} ning o‘rtacha qiymati rostlanadi.

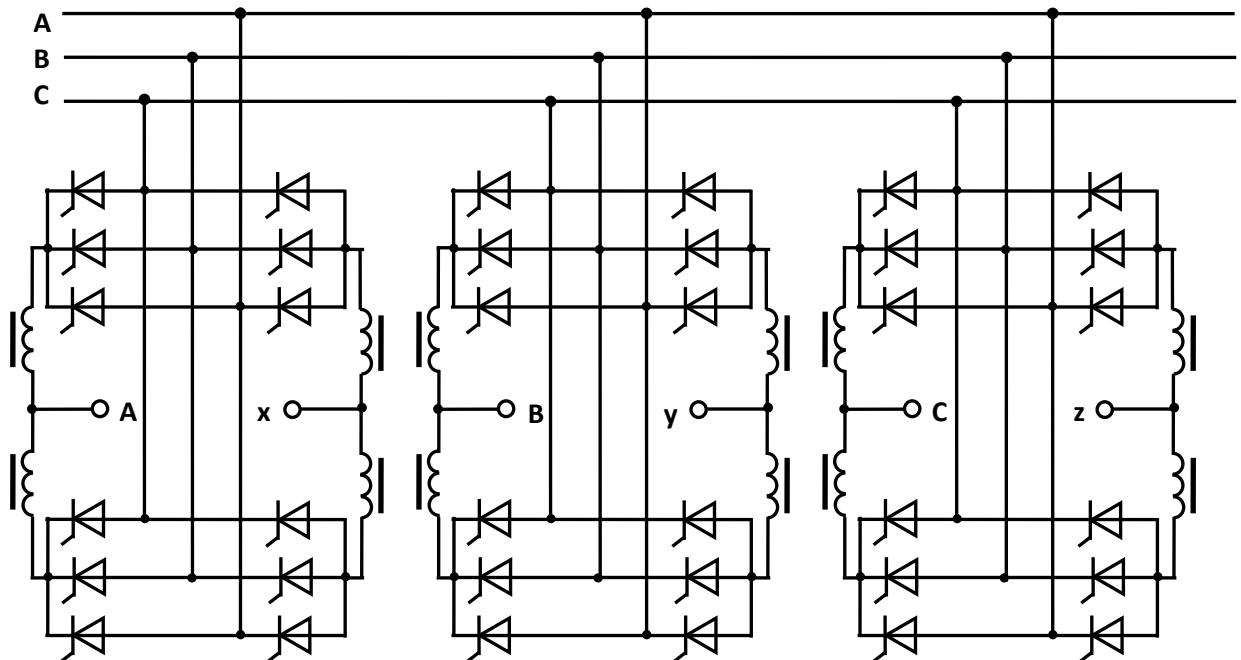
Sanoat qurilmalari elektr yuritmalarida bevosita TChO‘larning uch fazali nol sxemalari ko‘proq qo‘llaniladi va uning principial sxemasi 84–rasmda tasvirlangan. Iishchi tiristorlarning soni 18 ga teng. Bevosita TChO‘ning uch fazali ko‘prik sxemali variantda esa ishchi tiristorlarning soni 36 ga teng (85–rasm). O‘rta va katta quvvatli o‘zgaruvchan tok elektr yuritmalarida ushbu sxemali bevosita TChO‘ ning ishlatalishi iqtisodiy va ekspluatasion ko‘rsatkichlari bo‘yicha o‘zini oqlaydi.



84–rasm. Uch fazali nol sxemali bilvosita TChO‘ sxemasi

Bevosita TChO‘larning boshqariv burchagini boshqarish uchun reversiv o‘zgarmas tok o‘zgartkichlarida qo‘llaniladigan faza siljitim qurilmalaridan foydalaniladi. Bevosita TChO‘ning ishchi sxemasida tiristorlar komplekti soniga qarab FSQ lar ham shuncha bo‘lishi, ya’ni uch fazali nol sxemali bevosita TChO‘ lar uchun FSQ lar soni oltita bo‘lishi talab etiladi. FSQlarni boshqarish uchun chastotasi hamda kuchlanish amplitudasi rostlanuvchan bo‘lgan olti fazali simmetrik tizim bo‘lishi kerak.

Bevosita TChO‘ chiqish kuchlanishining formasi to‘g‘ri burchakli – pog‘analni bo‘lsa, u holda boshqariluvchi kuchlanish manbai sifatida to‘g‘ri burchakli impuls ishlab chiqaruvchi olti fazali «generator»dan foydalaniladi. Bunday «generator» bir fazali generator va impulslar tarqatgich bloklaridan tashkil topgan bo‘ladi.



85-rasm. Uch fazali ko‘prik sxemali bilvosita TChO‘ sxemasi

Bevosita TChO‘larning asosiy afzalliklari:

1. Tiristorlar quvvatlarining kichikligi va o‘zgartkich foydali ish koeffisienti yuqori;
2. Tiristorlarni boshqarishda sun’iy kommutatsiya qurilmalarining bo‘lmasligi o‘zgartkichning ishonchliligi darajasini oshiradi va og‘irlik – o‘lchov kattaliklarini kamaytiradi;
3. Formasini o‘zgartirmagan holda past chastotalarda chiqish kuchlanishlarni olish mumkinligi;
4. Asinxron motorning rekuperativ tormoz rejimini osonlik bilan hosil qilish mumkinligi.

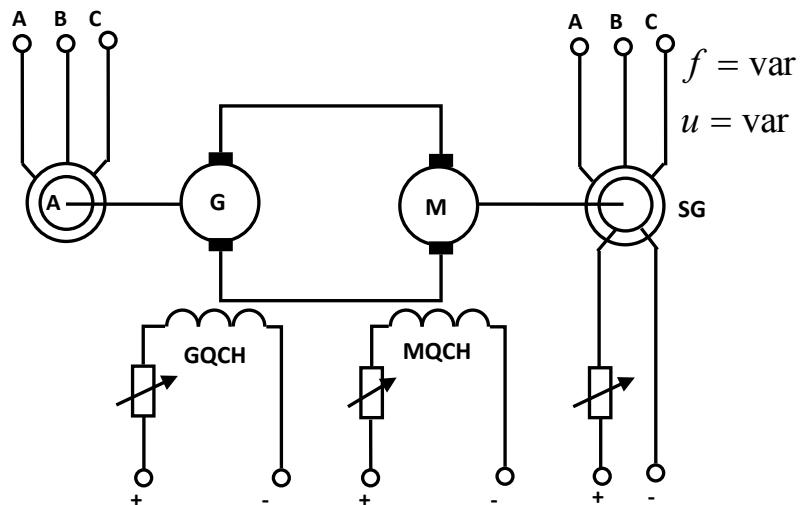
Bevosita TChO‘ning asosiy kamchiliklari:

1. Chiqish kuchlanishi chastota qiymatining chegaralanganligi (tarmoq kuchlanish chastotasiga yaqin va undan katta qiymatli chastotaga ega bo‘lgan kuchlanish hosil qilish mumkin emasligi);
2. Tarmoq quvvat koeffisientining past bo‘lishi;
3. Ishchi sxemalarda tiristorlar sonining ko‘p bo‘lishi (uch fazali ko‘prik sxemali bilvosita TChO‘da tiristorlar soni 12 ga teng bo‘lgan holda, bevosita TChO‘da esa tiristorlar soni 36 ga teng).

TIRISTORLI BILVOSITA ChASTOTA O‘ZGARTKICHLAR

Ta’minlovchi kuchlanishning chastotasini o‘zgartirib asinxron motorning tezligini rostlash, tezlikni rostlash usullari ichida iqtisodiy jihatdan eng samarali usuldir. Tezlikni chastotani o‘zgartirib rostlaganimizda butun tezlikni rostlash diapazoni oralig‘ida asinxron motorning sirpanishi uncha katta bo‘ligan

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 martaba 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.



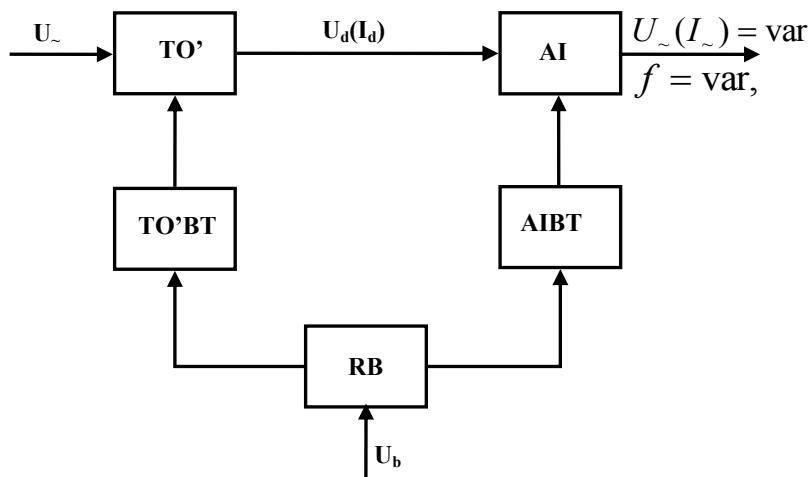
86 – rasm. Elektromexanik chastota o‘zgartkichning blok sxemasi

Birinchi chastota o‘zgartkichlar elektromexanik qurilmalar asosida yuzaga keldi (86–rasm). Bunday elektromexanik chastota o‘zgartkichda sinxron generator SG dan olinayotgan kuchlanishning qiymati va chastotasi bir – 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 judda katta (to‘rtta yordamchi mashinalar to‘liq quvvat bilan ishlaydi); foydali ish koeffisienti 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 qolaberdi.

Keyingi paytda takomil yarim o‘tkazgichlarning ishlab chiqila boshlanishi 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 guruhgaga **bilvosita** va **bevosita chastota o‘zgartkichlarga** 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. 87 – rasmida shunday TChO‘ning blok sxemasi berilgan bo‘lib, bu yerda TO‘ boshqariluvchi tiristorli o‘zgartkich, TO‘BT uning boshqarish tizimi, ya’ni IFBT, 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.



87 – rasm. Tiristorli bilvosita chastota o‘zgartkichning blok sxemasi

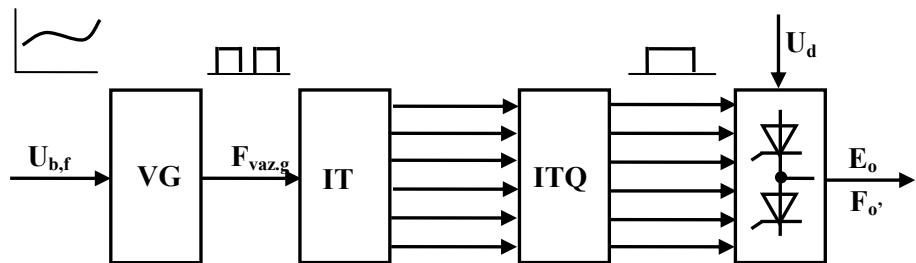
Bilvosita TChO‘larda o‘zgarmas tokli zvenoning bo‘lishi, avtonom niver-torning chiqishidagi chastotaning ham yuqoriga va ham pastga qarab keng diapazonda rostlashga imkon beradi, bu bilvosita TChO‘ning asosiy afzalligi bo‘lib, bu turdagи TChO‘ larning ishlab chiqarishda keng qo‘llani-lishiga olib keladi.

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 qiymatlari bo‘lishi, invertorga kelayotgan kuchlanishning yuklanish tokiga bog‘liq bo‘lmasslikka olib keladi. Agar TO‘ning ichki qarshiligi kichik bo‘lmasa va uning ta’siri sezilarli bo‘lsa, u holda $U_d=const$ sharti TO‘ ning kuchlanish bo‘yicha kuchli manfiy teskari bog‘lanishi orqali amalga oshiriladi. U_d qutblari o‘zgarmas bo‘lgani uchun yuklanish zanjiridagi o‘zgaruvchan tok tarmoqqa energiyaning uzatilishi faqat I_d ning yo‘nalishi o‘zgatirilgandagina mavjud bo‘la oladi, bu esa yana qo‘srimcha tiristorlar komplekti bo‘lishini taqoza qiladi va bu KAlli TChO‘larning asosiy kamchiliklaridandir.

TChO'ning TAIli variantida I_d ning doimiyligi yuklanish kuchlani-shiga bog'liq bo'lmasligi kerak, ya'ni asinxron motorning tezligiga bog'liq bo'lmasligi kerak. $I_d=const$ shartining bajarilishida TO'ning ish rejimi tok manbai rejimi bo'lib, bu rejim o'zgarmas tok zanjiriga katta induktivlikka ega reaktorni ulashni va teskari bog'lanish konturi bo'lishini taqozo qiladi. Energiyani tarmoqqa uzatish jarayonida I_d yo'nalişning o'zgarmasligini hisobga olsak, TO' kuchlanishning qutblari o'zgarishi lozim. Bu shart reversiv bo'lmanan TO' sxemasida tiristorli o'zgartikchning tarmoqqa ergashuvchi invertor rejimiga o'tkazish asosida amalga oshiriladi. TAIli TChO'ning asosiy afzalligi bir tiristor komplektida energiyaning 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 invertorlarning ish rejimlari qanday bo'lishidan qat'iy nazar ularning boshqarish tizimlari 88 – 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 fazva va chastotasi bo'yicha uch fazali impulslar tizimiga moslashtirib, invertor tiristorlarining olti boshqarish kanallari bo'yicha taqsimlaydi. Impuls tashkil qiluvchi qurilma ITQ ning vazifasi IT dan chiqayotgan impulsurni tiristorlarning ochilishiga quvvati, formasi va impuls uzunliklarini mos xolga keltirishdir.



88 – rasm. Avtonom invertor boshqaruv tizimining blok sxemasi

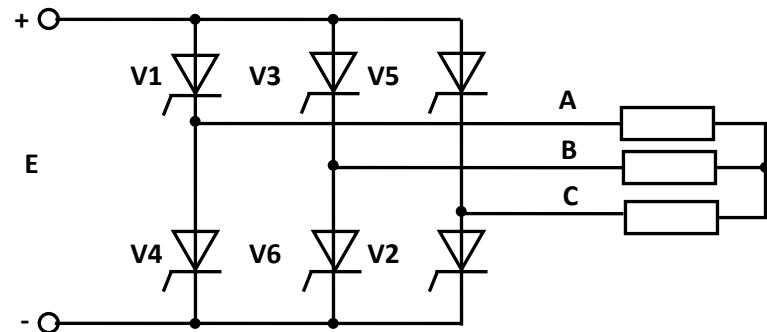
Hozirgi paytda AIBT larni yaratishda mikroelektronika va mikroprotsessor tizimlari keng qo'lanilayotganligi sababli ularning og'irlik va o'lchamlari ihchamlashib bormoqda, yig'ish va sozlash texnologiyasi ham soddalashib, ishonchlilik darajasi esa oshib bormoqda.

AVTONOM INVERTORLAR

Asinxron motorlarning tezligini stator chulg'amga berilayotgan kuchlanish (yoki tok) chastotasini o'zgartirib tezligi rostlanadigan avtomatlashtirilgan elektr

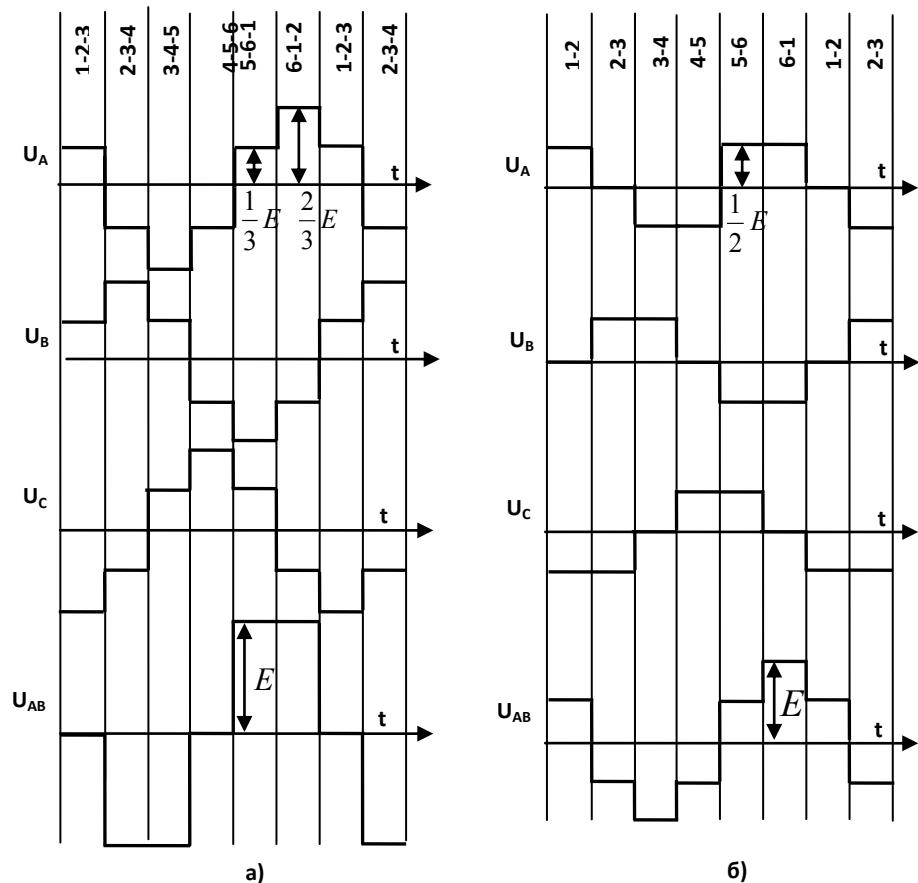
yuritmalardagi TChO' avtonom invertorlarining ko'priklar kuch sxemali turlari keng qo'llaniladi.

89-rasmda kuch sxemasi shartli ko'priklar bo'lgan avtonom invertorning 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.



89 – rasm. Ko'priklar kuch sxemali avtonom invertorning sxemasi

Invertorga aktiv yuklanish ulangan holni ko'rib chiqamiz. 89-rasmdagi tiristorlarning tartib soni kuchlanishlar diagrammasidagi (90-rasm) tiristorlarning navbatma–navbat ochilishiga mos keladi.



90 – rasm. Tiristorlarning o‘tkazuvchanlik burchaklari $\lambda = 180^\circ$ (a) va $\lambda = 120^\circ$ (b) bo‘lganligi 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‘elishi, 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.

90a,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 turdagи avtonom invertorlarni kuchlanish avtonom invertorlari – KAI va tok avtonom invertorlari – TAI guruhlarga bo‘lib qarash maqsadga muvofiq bo‘ladi.

Kuchlanish avtonom invertorilarning 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 rostlash mumkin: 1) ta’milot 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.

Ikkinci 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.

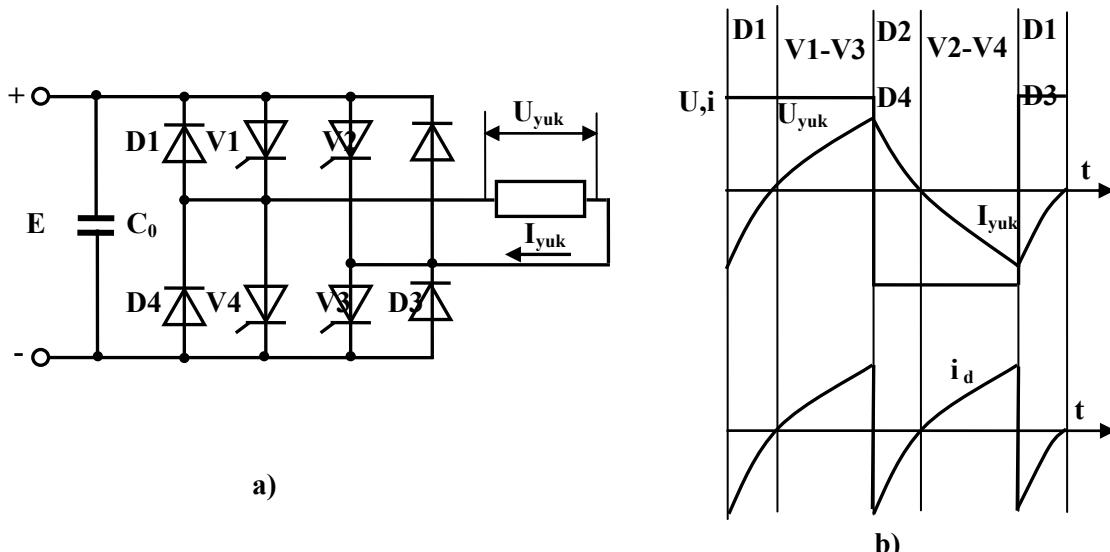
KAIllarning chiqish kuchlanishlarini impuls kengligini o‘zgartirib rostlashda uchinchi usuldan foydalaniladi.

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 invertor boshqarish tizimining ishlashi shaklanadi.

91a – rasmda bir fazali KAIning shartli sxemasi berilgan bo‘lib, chiqishidagi kuchlanishni rostlash bиринчи 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, ampilitudasi manba kuchlanishiga teng bo‘lishini taqozo qiladi va yuklanishdan o‘tayotgan tokning formasi eksponenta bo‘laklaridan iborat bo‘ladi (91b – rasmga 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.



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

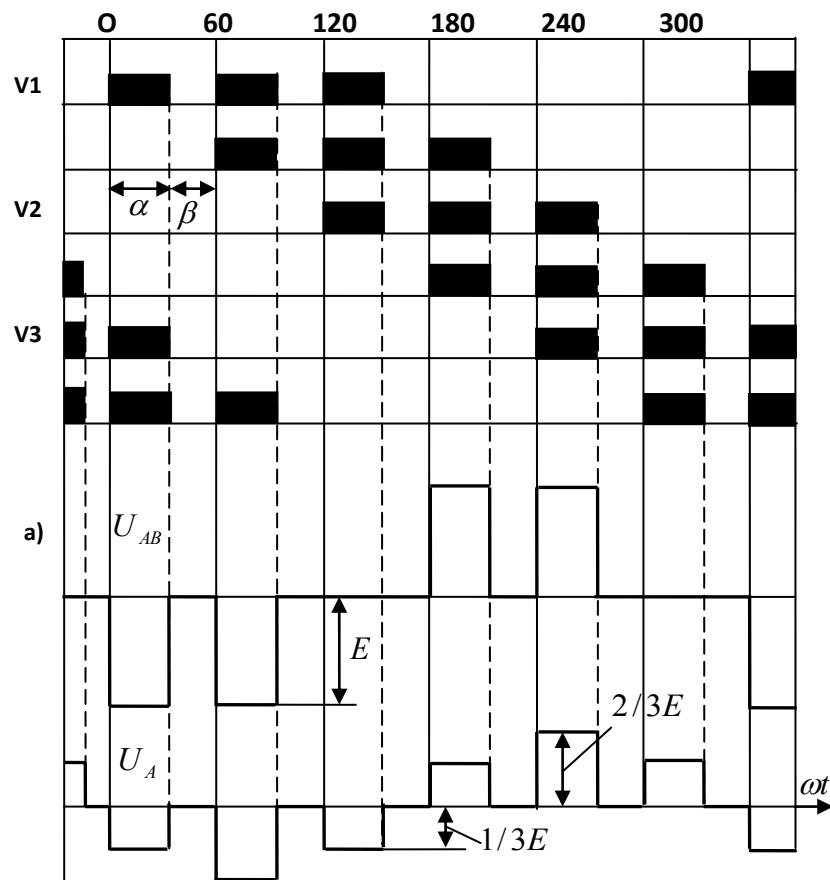
Yuklanishdagi tok va kuchlanishning ishoralari teskari bo‘lgan holda u yoki bu juft diodlar ochiladi. Shunda manbadan kelayotgan tok i_d ishorasini o‘zgartirib Ye kuchlanishga qarama – qarshi yo‘nalishda oqadi. Agar manba bir tomonli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lsa, ya’ni to‘g‘rilagich bo‘lsa, u holda manbaga 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 qiyomatga ega bo‘lishi kerak.

KAI chiqish kuchlanishini impulsli boshqarish usulini tiristorlar-ning o‘tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180^0$ bo‘lgan hol uchun ko‘rib chiqamiz.

Tiristorlarning o‘tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180^0$ bo‘lganida bir vaqtida uchta tiristor ishlaydi va bu holda kuchlanishning formasi yuklanishga deyarli bog‘liq bo‘lmaydi.

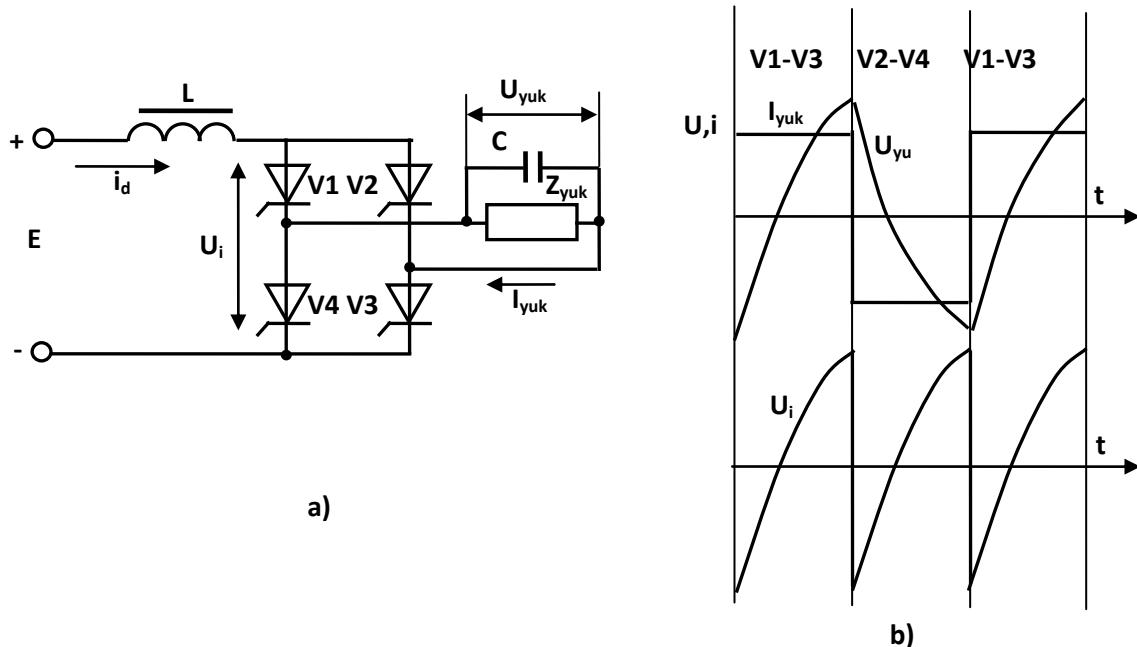
92a – rasmdan ko‘rinib turibdiki bir paytda uchta tiristorlarning ochilishini va interval o‘tishi bilan yopilishini ta’minlaydigan impulslar OYoA vositasida amalga oshiriladi. Har tiristorning ochilib turishi burchagi α ni rostlanishi natijasida chiqishdagi kuchlanish impulsni kengligi o‘zgartiriladi.



92 – rasm. Uch fazali KAI chiqish kuchlanishini impuls kengligini o‘zgartirib rostlash jarayonidagi tiristorlarning holatlari, liniya (a) va faza kuchlanishlari (b) o‘zgarishlari diagrammalari

Tok avtonom invertori to‘liq bo‘lmagan boshqariluvchi yarim o‘tkazgichlarda bajarilishi mumkin (93a – rasm). TAI yuklanishga parallel ulangan kondensator S ning vazifasi, bir juft tiristorlar ulangan holatda bo‘lganida ikkinchi juft tiristorlarning o‘chiq holda bo‘lishi uchun ularga boshqariluvchanlik xususiyatlarini tiklanish davri oralig‘ida manfiy kuchlanish bilan to‘sinq hosil qilishdan iboratdir. Manbadan chiqayotgan tokning

pulsatsiyasini kamadirish maqsadida TAIning kirish qismiga yetarli darajeada induktivlikka ega bo'lgan reaktor ulanadi. Agar kondensatorni ham yuklanishning bir qismi deb qaraydigan bo'lsak, yuklanish tokining formasi to'g'ri burchakli formada bo'ladi (93b – rasm). Yuklanishdagi kuchlanish formasi yuklanishning xarakteriga bog'liqdir. Invertoring kirish qismidagi kuchlanishning manfiy ishorali qismi vaqt oralig'ida tiristorlarning yopiq holatiga to'g'ri keladi.



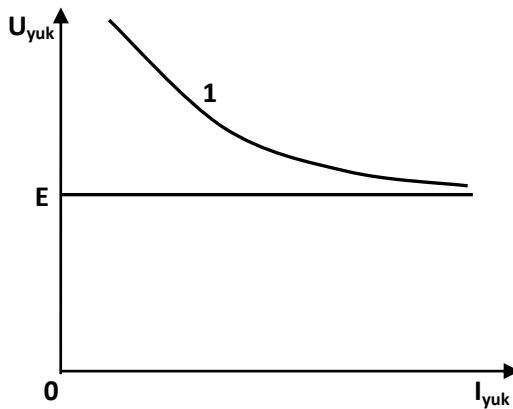
93 – rasm. Bir fazali TAI sxemasi (a) va uning kuchlanish va tok diagrammasi (b)

Shunday qilib, KAI larning asosiy afzalligi kuchlanishning yuklanishga bog'liq emasligi, balki tiristorlar kommutatsiyasining tartibiga bog'liqdir. TAI larda tiristorlar kommutatsiyasining tartibi tok formasini belgilaydi, kuchlanishning formasi yuklanishning xarakteriga bog'liq bo'lganligi sababli invertorlarning chiqish tavsiflari 94-rasmida tasvirlanganidek bo'lib, KAI ning tashqi tavsifi abssissa 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:

$$U_{yok} = \frac{EI_d}{I_{yok} \cos \varphi} \approx \frac{E}{\cos \varphi}, \quad (74)$$

bu yerda U_{yuk} va I_{yuk} – yuklanish kuchlanishi va tokining birinchi garmonik tashkil qiluvchilarining haqiqiy qiymatlari; $\cos \varphi$ – yuklanishning quvvat koeffisenti. (74) dan ko'riniib 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 $U_{\text{tok}} \rightarrow E$ ga intiladi.



94 – rasm. Avtonom invertorlarning tashqi tavsiflari

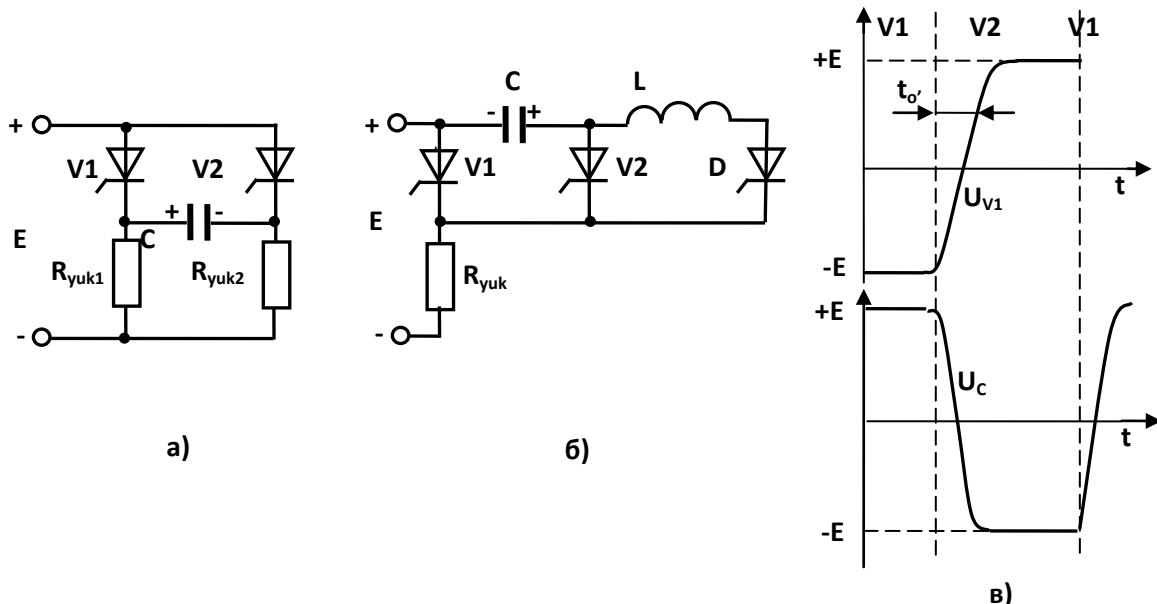
Sun’iy kommutatsiya qurilmalari tiristorli avtonom invertorlarning zarur qismlaridan bo‘lishi bilan bir qatorda invertorning rostlash xususiyatlarini, energetik va ishonchlik darajalarini ko‘p jihatdan belgilaydi. Quyida amaliyatda keng qo‘llaniladigan sun’iy kommutatsiya sxemalarining ikki xilini ko‘rib chiqamiz.

95a – 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 Ye 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 Ye dan 0 gacha tushishi vaqtি oralig‘ida (95v – 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 vaqtি t_o · tiristorning pasportida ko‘rsatilgan t'_o · dan kam bo‘lmasligi kerak, ya’ni

$$C = \frac{t'_o}{R_{\text{tok}} \ln 2} . \quad (75)$$

95b – rasmdagi ishchi tiristomi o‘chirish uchun unga parallel oldindan zaryadlanib qo‘ylgan 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 (95b – rasm). Kondensator S ning sig'imi xuddi (75) ifoda bilan aniqlanadi. Induktivlik L ning vazifasi kondensator Sning kerakli darajada tez qayta zaryadlanishida tok amplitudasi qiymatini chegaralashni ta'minlashdir. Bu sxemaning afzalligi 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.

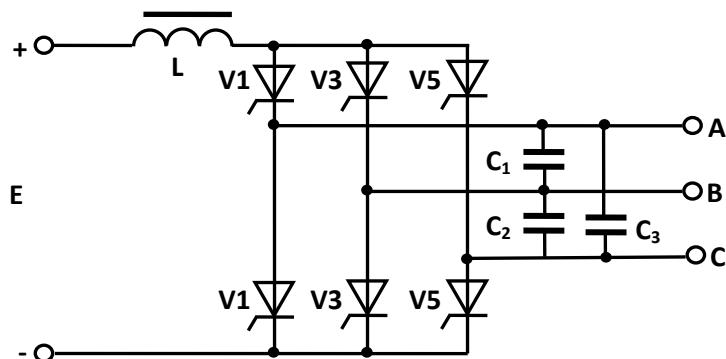


95 – rasm. Avtonom invertor kuch sxemalaridagi ishchi tiristorlarning sig'imi (a) va tebranma konturli (b) sun'iy kommutatsiya sxemalari hamda ularning kuchlanish diagrammalari (v)

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

96 – rasmda tasvirlangan avtonom invertoring uch fazali ko'priksxemali eng sodda 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 toeldirish vazifasini ham bajaradi. Bunday invertorlar yuklanish momenti deyarli o'zgarmaydigan va chastota rostlash diapozoni uncha katta bo'limgan asinxron elektr yuritmalarda qo'llaniladi. Bu invertoring eng katta kamchiligi chastotaning kichik qiymatlarida (10 Gs va undan kichik) kondensatorlarning sig'imi juda katta qiymatga ega bo'lishi zarurligidir. Bundan

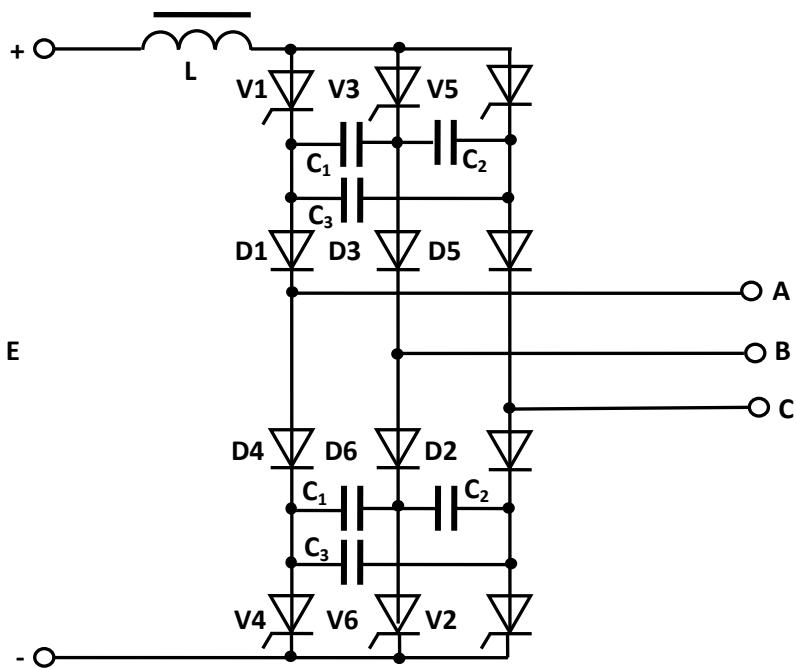
tashqari asinxron motorga kondensatorlarning parallel ulanishi elektr yuritmada yo‘qotishi qiyin bo‘ladigan avtotebranishlarning paydo bo‘lishiga olib keladi. Bu sxemaning takomillashgan varianti (97 – rasm) kondensatorlar asinxron motor stator chulg‘amidan D1 – D6 diodlar orqali ajratilgan. Kondensatorlar orqali kommutatsiya vaqtidagina tok o‘tib, boshqa paytda ulardan tok o‘tmaydi. Bu esa kondensator sig‘imlarining chastota o‘zgarishidan qat’iy nazar anchagina kamaytirish imkonini beradi. Ammo kommutatsiya jarayonida asinxron motoring stator chulg‘amidi yig‘ilgan energiyaning kondesatorlariga uzatilishi, kondensatorlarda kuchlanishning o‘sishiga olib keladi. Shuning uchun kondensatorlarning sig‘imini shunday tanlashi keraki, bir tomonidan bu kuchlanish o‘sishini ruxsat etilgan qiymatidan oshmasligi, ikkinchidan esa kondensatorlarning qayta zaryadlash jarayoni uzayib ketmasligi kerak.



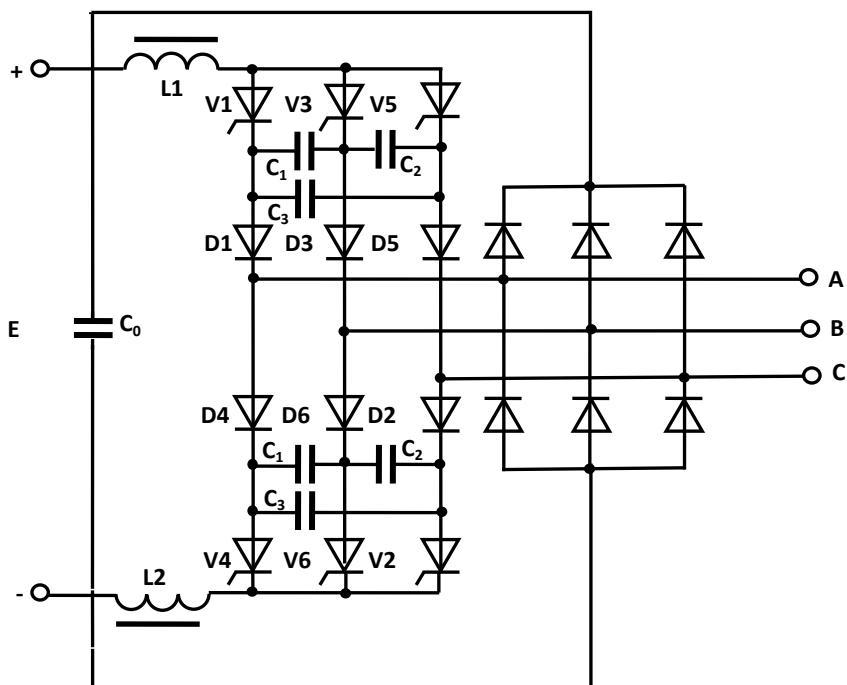
96 – rasm. Parallel tok avtonom invertori sxemasi

98-rasmdagi kuchlanish avtonom invertorining 97-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‘imlari yanada ham kam bo‘ladi. L₁ va L₂ reaktorlarning vazifasi kondensatorlarning teskari ulangan diodlari orqali tez qayta zaryadlanishiga yo‘l qo‘ymaslikdir.

97 va 98 – rasmlarda keltirilgan invertorlarda bir fazadagi tiristorlarning o‘chirilishi ikkinchi fazadagi tiristorlarning esa yoqilishi bilan xarakterlangani uchun bunday invertorlarni fazalararo kommutatsiyali invertorlar deb ataladi.



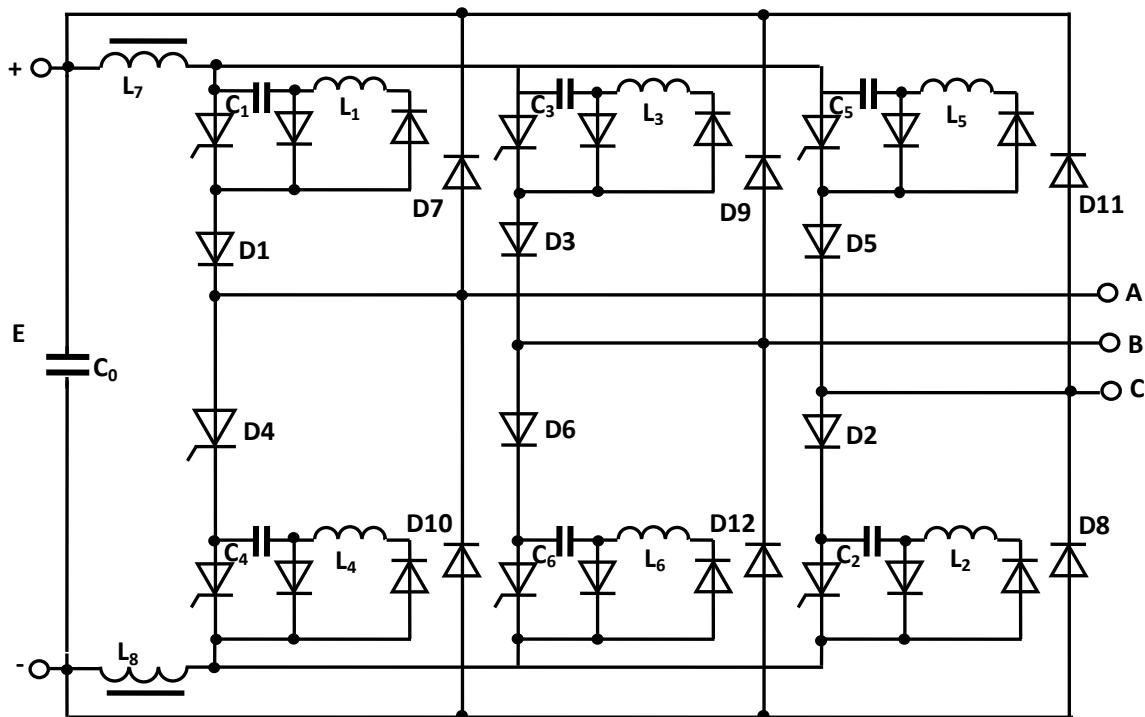
97 – rasm. Kondensatorlar diodlar yordamida ajratilgan tok avtonom invertori sxemasi



98 – rasm. Fazalararo kommutatsiyali kuchlanish avtonom igvertori sxemasi

99 – rasmda tasvirlangan invertor sxemasida har bir tiristor uchun alohida o‘zining kommutatsiya zanjiri mavjudligi bilan oldingi qaralgan invertorlarning sxemalaridan farq qiladi. D1 – D6 diodlar 98–sxemadagidek asinxron motorning invertor sxemasidan ajratish uchun xizmat qiladi, D7 – D12 diodlar esa teskari ko‘prik sxemasi bo‘yicha o‘zgarmas kuchlanish manbaiga ulanadi. Bunday sxemali kuchlanish avtonom invertorlarida 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.



99 – rasm. Individual kommutatsiyali kuchlanish avtonom invertori sxemasi

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

INDUKTIV – SIG'IMLI PARAMETRIK O'ZGARTKICHLAR

O'zgarmas tok tiristorli o'zgartkichlar kuchlanish manbai sifatida ishlatiladigan bo'lsa, yuklanishning tok qiymati o'zgargan paytda ham kuchlanishning qiymati deyarli o'zgarmay qolib va uning o'zgarishi esa faqat vazifalovchi boshqaruv kuchlanishining qiymatigagina bog'liq bo'ladi. Ammo bunday TO' ma'lum sxemalar asosida, masalan, tok bo'yicha kritik musbat teskari bog'lanishli sxema asosida yig'iladi, kuchlanishning qiymati o'zgargan holda yuklanishdagi tokning qiymati o'zgarmay qolib o'zgartkich tok manbai vazifasini bajaradi. Sanoatda tok manbai o'zgartkichlari, misol uchun elektr yoy pechlarida yoy tokining qiymatini bir xil ushlab turishda, kabel va sim o'rovchi qurilmalarining motorlarida bir xil mexanik kuchlanish hosil qilishda, tajriba – sinov stendlarida o'zgarmas qiymatli moment hosil qiluvchi yuklanish qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Sodda va ishonchli tok manbai (TB) kuchlangish rezonansi bo'yicha sozlangan induktiv – sig'imli TMning (100a – rasmga qarang) ish rejimi quyidagi Kirxgof tenglamalari tizimi bilan ifodalanadi

$$\left. \begin{array}{l} I_L Z_L + I_{\text{iok}} Z_{\text{iok}} = U_c; \\ I_{\text{iok}} Z_{\text{iok}} - I_c Z_c = 0; \\ I_L - I_c = I_{\text{iok}}. \end{array} \right\} \quad (76)$$

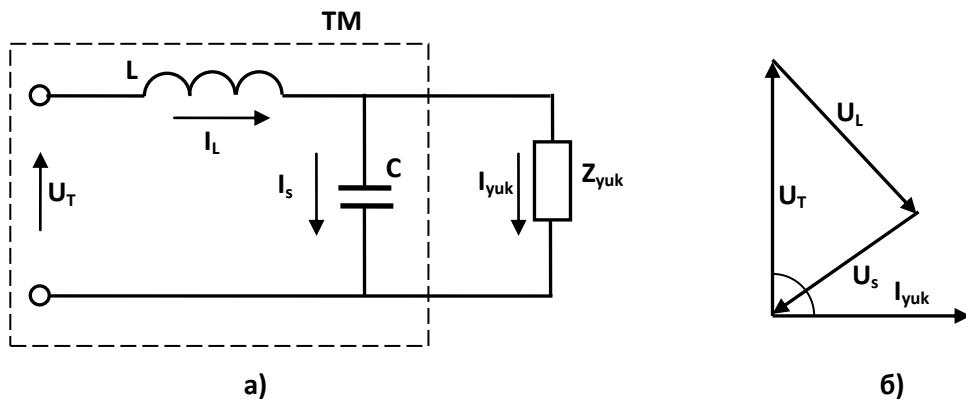
Tenglamalar tizimi (76) ni I_{yuk} ga nisbatan yechganimizda quyidagi ifodani hosil qilamiz –

$$I_{\text{iok}} \left[1 + Z_{\text{iok}} \left(\frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_L} \right) \right] = \frac{U_c}{Z_l}. \quad (77)$$

Bu yerda $Z_L = jX_L$, $Z_c = -jX_c$ va $X_L = X_c = X_R$ ekanligini hisobga olganimizda (77) tenglama soddalashtirilgan ko'rinishga keladi:

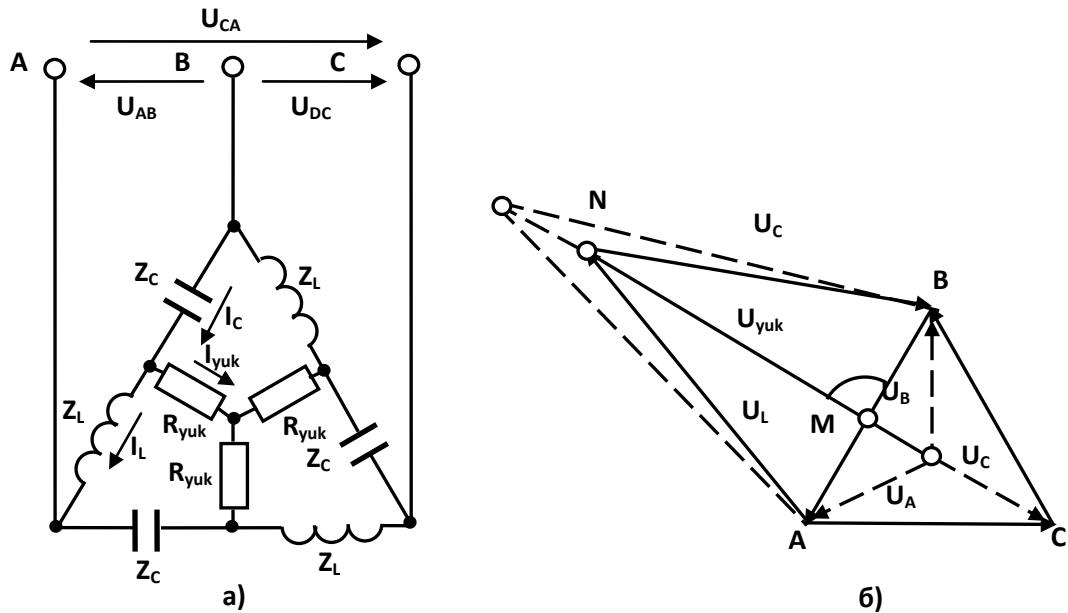
$$I_{\text{iok}} = \frac{U_T}{jX_P}, \quad (78)$$

Bu yerda X_R – kondensator va reaktoring reaktiv qarshiliklarining rezonans qiymatlari, U_T – manba tarmog'ining kuchlanishi.



100–rasm. Bir fazali induktiv – sig'imli TMning sxemasi (a) va kuchlanishlarning vektor diagrammasi (b)

Shunday qilib, yuklanishdagi tokning qiymati o'zgarmas bo'lib, Z_{yuk} va $U_{\text{yuk}} = I_{\text{yuk}} Z_{\text{yuk}}$ larga bog'liq bo'lmaydi. U_{yuk} ning ixtiyoriy qiymati uchun induktiv – sig'imli tok manbaining vektor diagrammasi 100b–rasmda tasvirlangandek ko'rinishga ega bo'ladi. Bunday TMlarning afzalligi soddaligida. Kamchiliga esa yuklagich sifatida TMga to'g'rilaqich orqali o'zgarmas tok motori ulanganida o'zgarmas tok qiymatining doimiyligi sharti buziladi. Bir fazali TMning kamchiliklaridan biri uzlukli tok rejimining mavjudligi va uning yuklanishga ta'siri sezilarli bo'lishi-dadir. Bu kamchilikni yo'qotish uchun TMlarning ko'p fazali sxemalari qo'llaniladi (101a – rasm).



101– rasm. Uch fazali induktiv – sig‘imli TMning sxemasi (a) va uning kuchlanishlar diagrammasi (b)

Uch fazali TMning ish rejimlarini hisoblash uchun biron – bir fazasi uchun Kirxgof tenglamasini tuzish kifoyadir va bu tenglamalar tizimi (76) ko‘rinishda bo‘ladi. I_{yuk} ga nisbatan yechimi ifodasini soddalashtirib va mos o‘zgartirishlardan so‘ng $R_L = 0$ bo‘lgan holat uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz

$$I_{yuk} = U_l / X_R = \text{const.} \quad (79)$$

Bu yerda U_l – tarmoqning liniya kuchlanishi; $X_L = X_e = X_R$ – sig‘im va reaktorlarning reaktiv qarshililarining rezonans qiymatlari. 101b–rasmdagi vektor diagrammadagi ON yuklanish kuchlanishi vektori ($U_{yuk} = I_{yuk} R_{yuk}$) va U_{AV} kuchlanishga perpendikulyar bo‘ladi. Yuklanishning qisqa tutashishi, ya’ni $R_{yuk} = 0$ rejimi tarmoq uchun eng yengil rejim bo‘ladi va liniya toki

$$I_{\pi} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{\pi}}{Z_L \cdot Z_c} = \begin{cases} 0 & R_L = 0 \\ \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3} X_p D_L} & R_L \neq 0 \end{cases} \quad (80)$$

qiymatga teng bo‘ladi.

Yuklanishning salt yurish rejimi, ya’ni $R_{\text{tok}} = \infty$ favqulodda (avariya) rejimi bo‘lib, ta’minlovchi tarmoqning qisqa tutashuv rejimiga mos keladi:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 & R_L = 0 \\ \quad & \end{array} \right.$$

$$I_{\pi} = \sqrt{3} \frac{U_{\pi}}{Z_L + Z_c} = \frac{\sqrt{3} U_{\pi}}{R} \quad R_L \neq 0 \quad (81)$$

TMning tashqi tavsifini ifodalovchi tenglamada yuklanishning toki chiqish ko'rsatkichi bo'lib, g'alayonlovchi ta'sir esa yuklanishning kuchlanishi bo'ladi

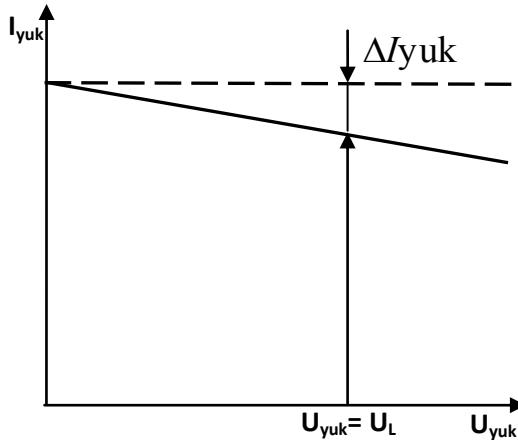
$$I_{\text{tok}} + U_{\text{tok}} \frac{1}{X_p D_L} = \frac{U_{\pi}}{X_p} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{3} D_L} \right), \quad (82)$$

bu yerda $D_L = \frac{X_L}{R_L}$ – reaktorning aslligi.

Bu tenglamada $U_{yuk} = 0$ bo'lishi TM tashqi tavsifining salt yurish rejimidagi $I_{yuk} = I_0$ qiymatini beradi (102–rasm). Tavsifning nishabligi $U_{yuk} = U_L$ bo'lgandagi holat uchun statizm orqali aniqlanadi

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{1}{D_L}. \quad (83)$$

Reaktorning aslligi qancha katta bo'lsa, shuncha TMning tashqi tafsifi shuncha bikr bo'ladi. TM lar uchun qo'llaniladigan reaktorlarning aslligi odatda $D_L > 100$ bo'lib, $\delta_I < 1\%$ qiymatga ega bo'ladi.



102– rasm. TMning tashqi tavsifi

Kuchlanish rezonansi hodisasi TM larda qo'llanilib, yuklanish qarshiligining o'sishi bilan reaktor va sig'imda ham kuchlanishning o'sishi kuzatiladi. Shuning uchun TM ning reaktoridagi kuchlanishning maksimal qiymatini aniqlash asosiy amallardan biridir. 101b – rasmdagi vektor diagrammadali U_L teng yonli ANB uchburchakning AN tomoni deb qaraladi va bu vektoring qiymati quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$AN = \sqrt{AM^2 + MN^2} \quad (84)$$

va shuningdek, liniya kuchlanishi qiymatining analitik ifodasi esa quyidgi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$U_{\text{L}} = \sqrt{\left(\frac{U_{AB}}{2}\right)^2 + \left(U_{\text{tok}} - \frac{U_A}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{L}}}{2}\right)^2 + \left(U_{\text{tok}} - \frac{U_{\text{L}}}{2\sqrt{3}}\right)^2}. \quad (85)$$

Ushbu ifoda asosida yuklanish kuchlanishi 0 dan to U_1 gacha o‘zgarganda ham U_L ning qiymati U_1 dan kichik bo‘lishini va U_{yuk} qiymatining ushbu diapazon oralig‘ida reaktor tokining maksimal qiymati yuklanish toki bilan quyidagicha bog‘langanligini aniqlaymiz

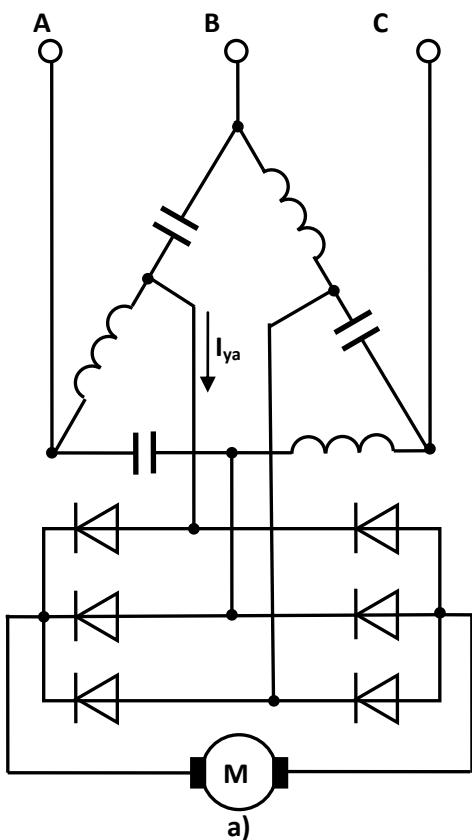
$$I_{L\max} = \frac{U_{L\max}}{X_p} = 0,87 \frac{U_{\text{L}}}{X_p} = 0,87 I_{yuk} \quad (86)$$

va uning qiymati yuklanish tokidan kam bo‘ladi. Shunday qilib, reaktorning o‘lchamlarini belgilovchi quvvati $U_{L\max}I_L < U_{yuk}I_{yuk}$ tengsizlikdan iborat bo‘ladi.

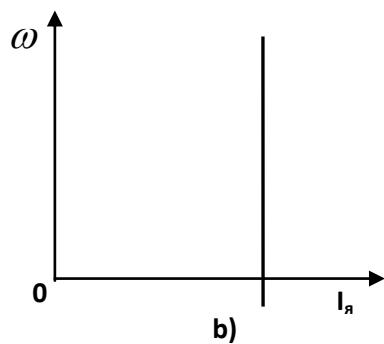
Induktiv – sig‘imli tok manbalari uchun tipik yuklanish sifatida yakor zanjiri TMdan to‘g‘rilagich ko‘prik sxemasi orqali ta’milanuvchi mustaqil qo‘zg‘aluvchan o‘zgarmas tok motorlari keng qo‘llaniladi (103a – rasm). Agar reaktorning aktiv qarshilagini $R_L = 0$ deb qarasak to‘g‘rilagich nochiziqligining TMga ta’sirini hisobga olmaganimizda yuklanish toki liniya kuchlanishi va reaktorning induktivligiga bog‘liq bo‘lib qoladi

$$I_{\text{a}} = \kappa \frac{U_{\text{L}}}{X_p} \approx 1,23 I_{yuk} = const \quad (87)$$

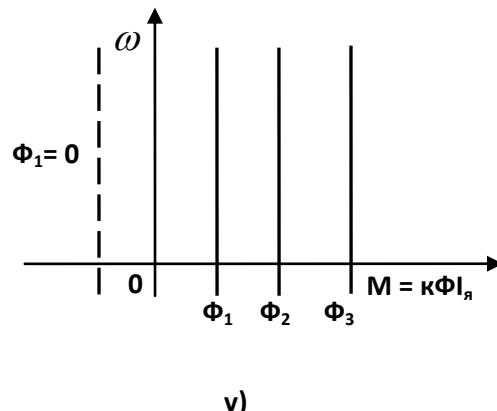
va bu esa yakor zanjiridagi tokning kuchlanishga hamda motorning tezligi ω ga bog‘liq bo‘lmaydi (103b – rasm). Motorning momenti ifodasi $M = kFI_{ya}$ dan ko‘rinib turibdiki, yakor tokining $I_{ya} = const$ bo‘lishi, momentning magnit oqimiga to‘g‘ri proparsional bo‘lishining ta’milanishi va induktiv – sig‘imli tok o‘zgartkichi va o‘zgarmas tok motori tizimining mexanik tavsiflari F ning turli qiymatlari uchun vertikal to‘g‘ri chiziq-lardan iborat tavsiflari majmuasidan iborat bo‘ladi (103v – rasm). Shunday qilib, bu elektr yuritma tizimi magnit oqimini rostlovchi o‘zgarmas moment manbai xususiyatiga ega bo‘ladi.



a)



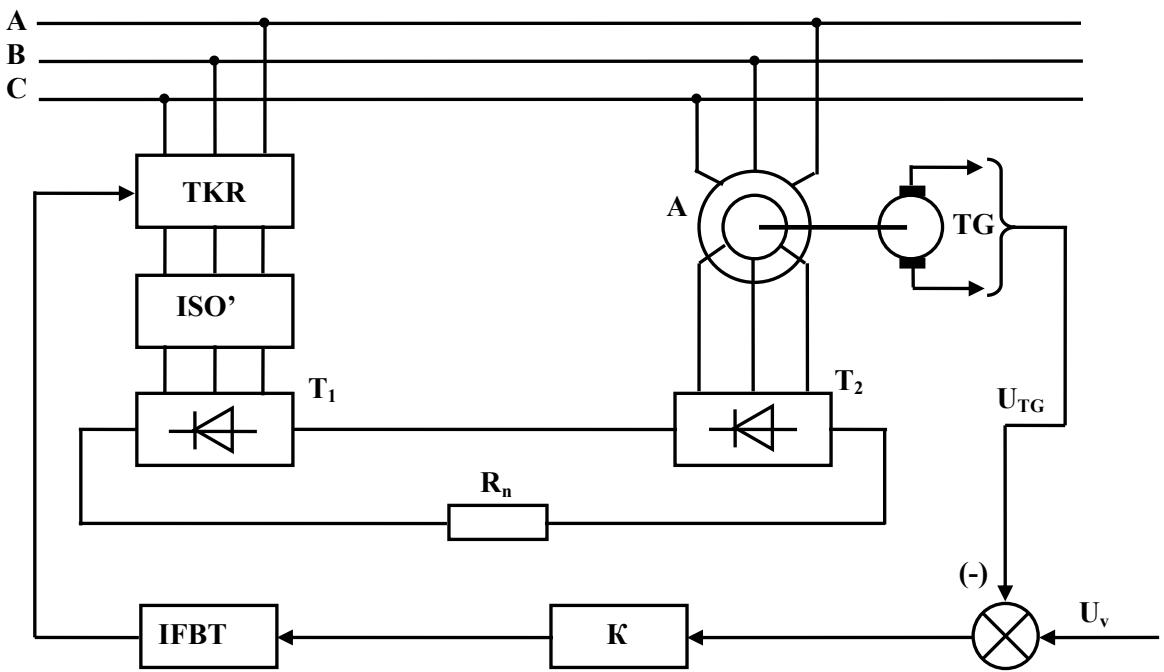
b)



v)

103–rasm. TMli o‘zgarmas tok elektr yuritmasining sxemasi (a) va uning elektromexanik (b) va mexanik (v) tavsiflari

Asinxron motorlarning o‘zgarmas tok motorlariga nisbatan ishlatilishining osonligi, massa – og‘irlik ko‘rsatkichlari kichikligi va ishonchlilik darajasining yuqoriligi bilan ajralib turadi. Shuning uchun ham asinxron motorlar asosida «tok manbai – motor» elektr yuritma tizimlarini yaratish maqsadga muvofiqdir. Bunday tizimning negizini induktiv – sig‘imli parametrik o‘zgartkich hosil qilib, u fazalarli asinxron motor fazasidagi tokni stabillashga hizmat qiladi. Asinxron motor hosil qiladigan aylantirish momenti stator chulg‘ami magnit oqimi maydonining o‘zgarmas qiymatida rotor tokining haqiqiy qiymatiga to‘g‘ri proparsional bo‘lib, stabillashgan rotor tokini o‘zgartirib unga mos keluvchi $M=const$ tavsiflari to‘plamini hosil qilish mumkin. Agar elektr yuritma tizimida tezlik bo‘yicha manfiy teskari bog‘lanish qo‘llanilsa, u holda $\omega = const$ bo‘lgan tavsiflar to‘plamini hosil qilish mumkin bo‘ladi.



104– rasm. «Tok manbai – asinxron motor» elektr yuritma tizimining funksional sxemasi

104–rasmda «tok manbai – asinxron motor» elektr yuritma tizimining funksional sxemasi keltirilgan bo‘lib, bu yerda ISO‘ – induktiv – sig‘imli o‘zgartikich, TKR – tiristorli kuchlanish rostlagich, T1 va T2 – to‘g‘rilagichlar, A – asinxron motor, TG – taxogenerator, IFBT – impuls – fazा boshqarish tizimi, rotor zanjiridagi R_N – rotor zanjiridagi aktiv qarshilik, K – oraliq kuchaytirgich. Rotor zanjiridagi R_N qarshilik ketma – ket ulangan T1 va T2 to‘g‘rilagichlarning ishlashini ta’minlaydi. Sirpanishning oshishi bilan asinxron motor rotoridan R_N ga uzatilib so‘nayotgan energiyaning qiymati ham oshadi va shu vaqtida ISO‘dan uzatilayotgan energiya kamayadi. Bunday energiya taqsimi asinxron motor rotor tomonidan qo‘sishma qarshilik ulangandek qabul qilinadi. R_N qarshilikning qiymati quydagicha aniqlanadi:

$$R_h = r_2 \frac{s_{\max} - s_{\min}}{s_{\min}} \frac{K_{2U}}{K_{2I}}, \quad (88)$$

bu yerda s_{\max} , s_{\min} – sirpanishning maksimal va minimal qiymatlari, r_2 – rotor fazasi chulg‘amining aktiv qarshiligi, K_{2U} va K_{2I} – T2 to‘g‘rilagichning kuchlanish va tok bo‘yicha o‘zgartirish koefisientlari.

Agar elektr yuritma tizimidagi ISO‘, TKR, IFBT va K – qurilmalarni inersiyasiz zvenolar deb qarasak, tezlik bo‘yicha teskari bog‘lanish yo‘q bo‘lgan hol uchun elektr yuritma tizimining holati quydagi tenglamalar tizimi orqali ifodalanadi:

$$\begin{aligned}
M - M_c &= J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}; \\
M &= C_M \Phi_1 I_2; \\
K_1 I_{HCY} r_2 &= I_1 r_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}; \\
I_{HCY} &= K_2 U_{eas},
\end{aligned}, \quad (89)$$

bu yerda M – motorning hosil qilayotgan aylantirish momenti; M_s – yuklanish momenti; J_{Σ} – elektr yuritmaning inersiya momenti; ω – motorning burchak tezligi; $K_1 = \frac{K_{1I}}{K_{2I}}$ – T_1 va T_2 to‘g‘rilagichlarning tok bo‘yicha o‘zgartirish koeffisientlarinng nisbati; $K_2 = K_k K_{IFBT} K_{TKR} K_{ISO}$ – tizimning umumiy uzatish koeffisienti, U_v – tizimning kirish qismiga beriladigan vazi-falovchi kuchlanish.

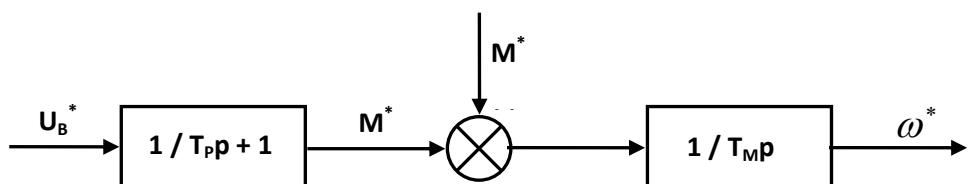
Tenglama tizimi yechimlarini umumiy ko‘rinishga keltirish uchun barcha kattaliklar o‘lchovsiz nisbiy kattaliklarga keltiriladi. Negizaviy kattaliklar deb M_N va ω_H larni qabul qilamiz va ular asosida boshqa negizaviy kattaliklarni hisoblaymiz:

$$I_{2H} = \frac{M_H}{C_M \Phi_1}, \quad I_{HCY} = \frac{I_{2H}}{K_1}, \quad U_B = \frac{I_{HCY_H}}{K_2}. \quad (90)$$

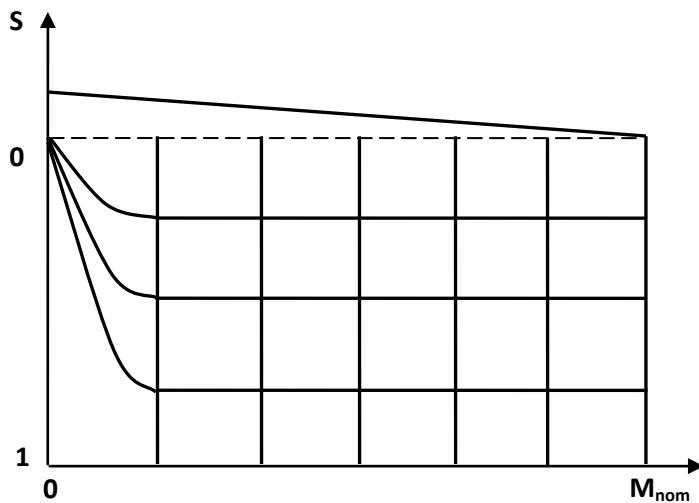
(89) tenglamani (90) ni hisobga olgan holda qaytadan yozamiz:

$$\begin{aligned}
M^* - M_c^* &= T_{MH} \frac{d\omega^*}{dt}; \\
M^* &= I_2^*; \\
I_{HCY}^* &= I_2^* + T_p \frac{dI_2^*}{dt}; \\
I_{HCY}^* &= U_3^*.
\end{aligned}, \quad (91)$$

bu yerda $T_{MH} = J_{\Sigma} \frac{\omega_H}{M_H}$ – elektromexanik vaqt doimiyligi, $T_p = \frac{L_2}{r_2}$ – asinxron motor rotorining elektromagnit vaqt doimiyligi, L – rotor fazasining induktivligi.



105–rasm. «Tok manbai – asinxron motor» elektr yuritmaning ochiq holatining tizim sxemasi



106– rasm. «Tok manbai – asinxron motor» elektr yuritmaning mexanik tavsiflari

(91) tenglamalar tizimini yechib, elektr yuritmaning ochiq holati uchun (105– rasmga qarang) quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$M^* - M_c^* = T_{\text{MH}} \frac{d\omega}{dt}; \quad U_{\text{ea3}}^* = M^* - T_p \frac{dM^*}{dt}; \quad (92)$$

M^* va U_V^* larni o‘zaro bog‘lanishi –

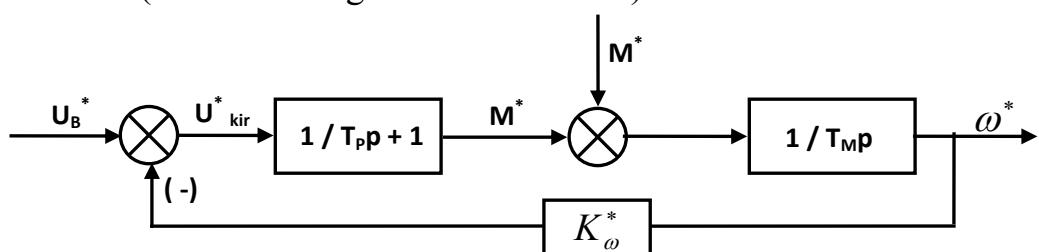
$$M^*(P) = \frac{U_B^*(P)}{T_p P + 1}; \quad (93)$$

turg‘un holat uchun esa –

$$M^* = U_V^* \quad (94)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Shunday qilib, (94) tenglama asosida aytishimiz mumkinki, agar asinxron elektr yuritma tizimi ochiq holatda va rotor zanjiri stabillashgan tok bilan ta’milnadanigan bo‘lsa, u holda stabillashgan toklar qiymatiga mos stabillashgan momentlar hosil qilinib, tizim boshqariluvchi moment manbaili tizimga aylanadi. Buday tizimning mexanik tavsiflari vertikal tavsiflar to‘plamidan iborat bo‘ladi. (106–rasmning vertikal tavsiflari).



107– rasm. . «Tok manbai – asinxron motor» elektr yuritmaning yopiq holatining tizim sxemasi

(91) tenglamalar tizimini tizimning yopiq holati uchun (107–rasm) quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$\begin{aligned} M^* - M_c^* &= T_{MH} \frac{d\omega^*}{dt}; \\ U_{kup}^* &= M^* + T_p \frac{dM^*}{dt}; \\ U_{kup}^* &= U_B^* - K_\omega^* \omega^*, \end{aligned} \quad (95)$$

bu yerda $K_\omega^* = \frac{K_\omega}{K_{\omega_H}}$ – tezlik bo‘yicha teskari bog‘lanishning o‘lchovsiz kattaligi; $K_\omega = \frac{U_{TT}}{\omega}$ – taxogeneratorning uzatish koeffisienti, $K_{\omega_H} = \frac{U_{B.H}}{\omega_H}$.

Agar chiqish ko‘rsatkichi qilib tezlikni olsak, u holda

$$\omega^*(p) = \frac{U_B^*}{(T_p p + 1) T_M p + K_\omega^*} - \frac{M_c^*(p)(T_p p + 1)}{(T_p p + 1) T_{MH} p + K_\omega^*} \quad (96)$$

ko‘rinishda bo‘lib, turg‘un rejim uchun esa quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\omega^* = \frac{U_B^* - M_c^*}{K_\omega^*}. \quad (97)$$

(97) dan ko‘rinib turibdiki, elektr yuritma yopiq boshqaruvi tizimli bo‘lsa, u holda elektr yuritmaning mexanik tavsiflari gorizontal mexanik tavsiflar to‘plamidan iborat bo‘ladi (106–rasmning gorizontal tavsif-lari).

Tavsiflar soni U_V^* ga to‘g‘ri proporsional bo‘lib, statik tavsifning bikirligi bir xil bo‘ladi va uning qiymati $\frac{dM^*}{d\omega^*} = -K_\omega^*$ ga tengdir. Tavsiflarning boshlang‘ich qismidagi nochiziqlikning bo‘lishi asinxron motorlarning noan’anaviy rejimda ishlashi va konstruktiv alohidaligidan kelib chiqadigan xususiyatidir.

ADABIYOTLAR

1. Gitsevich A.B. Poluprovodnikovie pribori. Diodi vipryamitelnie, stabilitroni, tiristori: Spravochnik. M.: Radio i svchayaz, 1989.
2. Kovalenko L.P. Sovremennie poluprovodnikovie pribori. Osnovi primeneniya. Kiev: Vissaya shkola, 2002.
3. Spravochnik po avtomatizirovannomu elektroprivodu. Pod red. V.A. Yeliseyeva, A.V. Shinyanskogo. – M.: Energoatomizdat, 1983. 616 s.
4. Turdiev N.Sh. Radioelektronika asoslari. Toshkent: O‘qituvchi, 1992. 256 b.
5. Terexov V.M. Elementi avtomatizirovannogo elektroprivoda. – M.: Energoatomizdat, 1987. 224 s.
6. Chijenko S.K. Preobrazovatelnaya texnika. M.: Energiya, 1988.
7. Hoshimov O.O., Saidahmedov S.S. O‘zgartkich texnikasiva ta’minot manbai. Toshkent: TDTU, 2002. 96b.
8. Hoshimov O.O., Imomnazarov A.T. Elektromexanik qurilma va majmualarning elementlari. – Toshkent: «O‘AJBNT» Markazi, 2004. 94 b.
9. Imomnazarov A.T. Elektromexanik tizimlarning elementlari. Toshkent: Talqin, 2009, 155 b.

MUNDARIJA

KIRISH.....	4
I-BOB. YaRIM O'TKAZGICHLARDAGI FIZIK JARAYoNLAR.....	6
BIR JINSLI ELEKTR MAYDONDA ELEKTRONLARNING HARAKATI	6
BIR JINSLI BO'L MAGAN ELEKTR MAYDONDA ELEKTRONLARNING HARAKATI	10
BIR JINSLI MAGNIT MAYDONDA ELEKTRONLARNING HARAKATI	12
ELEKTRONLARNING QATTIQ JISMDAGI HOLATI.....	14
ELEKTRONLI VA KOVAKLI XUSUSIY O'TKAZUVChANLIK	19
ARALAShMALI ELEKTR O'TKAZUVChANLIK	23
YaRIM O'TKAZGICHLARDA ZARYaD TASHUVChILARNING DIFFUZIYaSI	26
TASHQI KUCHLANISH ULANMAGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH ...	29
TO'G'RI KUCHLANISH ULANGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH	34
TESKARI KUCHLANISH ULANGAN ELEKTRON-KOVAK O'TISH	38
METALL-YaRIM O'TKAZGICH O'TISH.....	39
II-BOB. YaRIM O'TKAZGICHLI ASBOBLAR	41
YaRIM O'TKAZGICH DIODNING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASI	41
YaRIM O'TKAZGICHLI SIG'IM	45
YaRIM O'TKAZGICHLI DIODNING HARORATGA BOG'LIQ XUSUSIYaTI	48
YaRIM O'TKAZGICHLI DIODNING ISh REJIMI	49
YaRIM O'TKAZGICHLI DIODNING O'ZGARUVChAN TOKNI TO'G'RILASHDA QO'LLANILISHI	51
DIODNI PARALEL VA KETMA-KET ULAsh.....	60
DIODLARNING IMPULS REJIMI	62
DIODLARNING ASOSIY TURLARI	64

BIPOLYaR TRANZISTORLAR	75
INTEGRAL TRANZISTORLAR	82
MAYDONLI TRANZISTORLAR	83
TIRISTORLAR	88
III-BOB. YaRIM O'TKAZGIChLI O'ZGARTKICh TEXNIKASI	92
YaRIM O'TKAZGIChLI TO'G'RILAGIChLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT	92
BIR FAZALI, KO'PRIK ChIZMALI TO'G'RILAGIChLAR	93
AKTIV VA AKTIV-INDUKTIV YuKLANISHLI REJIMDA IShLOVChI TO'G'RILAGIChLAR	95
BOShQARILMAYDIGAN VA BOShQARILADIGAN TO'G'RILAGIChLAR	97
BOShQARILUVChI YaRIM O'TKAZGIChLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKIChLARI	100
TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKIChI TIRISTORLARINI BOShQARISh	104
IMPULS KENGLIGI BOShQARILADIGAN O'ZGARMAS TOK MANBALAR	107
TIRISTORLI BEVOSITA ChASTOTA O'ZGARTKIChLAR	112
TIRISTORLI BILVOSITA ChASTOTA O'ZGARTKIChLAR	114
AVTONOM INVERTORLAR	117
INDUKTIV – SIG'IMLI PARAMETRIK O'ZGARTKIChLAR	127
ADABIYoTLAR	137

SODERJANIE

VVEDENIE	4
I-RAZDEL. Fizicheskie protsessi v poluprovodnikax	6
Deystvie elektronov v odnorodnom elektricheskem pole	6
Deystvie elektronov v neodnorodnom elektricheskem pole	10
Deystvie elektronov v odnorodnom magnitnom pole.....	12
Polojenie elektronov v tverdom elemente.....	15
Elektronnaya i dirchataya chastnaya provodimost	19
Smeshannaya elektro provodimost.....	23
Diffuziya nositeley zaryada v poluprovodnikax.....	26
Elektronno-dirchatiy perexod nesoedinenniy vneshnim napryajeniem.....	30
Elektronno-dirchatiy perexod soedinenniy pryamim napryajeniem ..	35
Elektronno-dirchatiy perexod soedinenniy obratnim napryajeniem.....	38
Metallo-poluprovodnikovy perexod.....	39
II-RAZDEL. POLUPROVODNIKOVIE PRIBORI.....	41
Volt -ampernaya xarakteristika poluprovodnikovogo dioda	43
Poluprovodnikovy kondensator.....	47
Svoystva zavisimosti k temperature poluprovodnikovogo dioda.....	55
Rabochie rejimi poluprovodnikovogo dioda.....	52
Primenenie poluprovodnikovogo dioda v vipryamlenii peremennogo toka.....	54
Parallelnoe i posledovatelnoe soedinenie dioda	64
Impulsniy rejim diodov.....	69
Bipolyarnie tranzistori.....	75
Integralnie tranzistori.....	82
Polevie tranzistori	89
Tiristori.....	88

III-RAZDEL. Poluprovodnikovaya preobrazovatelnaya texnika.....	92
Ovšie ponyatiya o poluprovodnikovix vipryamitelyax.....	99
Odnofaznie, mostovie vipryamiteli.....	101
Vipryamiteli rabotayushchie v aktivnom i aktivno-induktivnom rejime zagruzki.....	103
Upravlyaemie i neupravlyaemie vipryamiteli.....	105_Toc424543144
Upravlyaemie poluprovodnikovie preobrazovateli postoyannogo toka.....	100
Upravlenie tiristorov tristornogo preobrazovatelya postoyannogo toka.....	112
Istochniki postoyannogo toka upravlyaemie impulsnim rasshireniem.....	115_
Toc424543147	
Neposredstvennie tiristorne chastotnie preobrazovateli.....	120
Posredstvennie tiristorne chastotnie preobrazovateli	123
Avtonomnie inventori.....	117
Induktivno – kondensatornie parametricheskie preobrazovateli....	127
Literatura.....	137

CONTENT

INTRODUCTION.....	4
I-SECTION. Physical processes in semiconductors.....	6
The action of electrons in a homogeneous electric field.....	6
The effect of electrons in an inhomogeneous electric field.....	10
The action of electrons in a homogeneous magnetic field.....	12
The position of electrons in a solid element.....	15
Electronic and holey conductivity.....	19
Mixed conductivity.....	23
Diffusion of charge carriers in semiconductors.....	26
Electron-hole junction not connected by external voltage.....	30
Electron-hole junction connected by direct voltage.....	35
The electron-hole junction is connected by a reverse voltage.....	38
Metal-semiconductor junction.....	39
II-SECTION. SEMICONDUCTOR DEVICES.....	41
Volt-ampere characteristic of a semiconductor diode.....	43
Semiconductor Capacitor.....	47
Properties of the temperature dependence of a semiconductor diode.....	51
Operating modes of a semiconductor diode.....	52
The use of a semiconductor diode in rectifying an alternating current.....	54
Parallel and series connection of a diode.....	64
Pulsed mode of diodes.....	69
Bipolar transistors.....	75
Integral transistors.....	82
Field Effect Transistors.....	89
Thyristors.....	88
III-SECTION. Semiconductor converter technology.....	92
General concepts of semiconductor rectifiers.....	99
Single-phase, bridge rectifiers.....	101
Rectifiers operating in active and active-inductive loading mode.....	103

Managed and unmanaged rectifiers.....	105
Controlled semiconductor DC converters.....	100
Control of thyristors of a DC-DC converter.....	112
DC sources controlled by pulse expansion.....	115
Direct thyristor frequency converters.....	120
Medium Thyristor Frequency Converters.....	123
Stand-alone inverters.....	117
Inductive-capacitor parametric converters.....	127
References.....	137