

1. Zona quruluşuna görə maddələrin təsnifatı: keçiricilər, yarımkəçiricilər və dielektriklər.

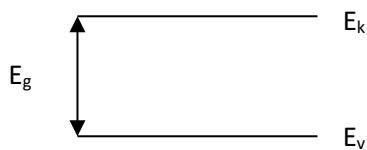
Enerji zonaları elektronlarla tutulmasına görə keçiricilər və qeyri-keçiricilərə bölünürler. Atomların valent elektronlarının enerji səviyyələrinin birləşməsindən əmələ gələn enerji zonası **valent zonası** adlanır. Valent zonasından yuxarıda mütləq sıfır temperaturunda tam boş olan **sərbəst zona** və ya **keçiricilik zonası** yerləşir. Bəzi metallarda valent zonası elektronlarla qismən tutulur.

Bunlara birvalentli *Li*, *Na*, *K*, *Ag*, *Au* misal ola bilər. Elektronlarla qismən tutulmuş zona, tam dolu valent zona ilə sərbəst zonanın üst-üstə düşməsi ilə də yaranır. Bu hal II qrup elementləri məsələn *Mg*, *Ca*, *Ba* üçün xarakterikdir. Enerji zonası elektronlarla tam tutulmayanda maddənin elektrikkeçiriciliyi yüksək olur. Xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə enerji dəyişməsi baş verir və elektronlar təcillə hərəkət edirlər. Zonada boş enerji səviyyələri var deyə, elektronlar daha yüksək boş enerji səviyyələrinə keçə bilir, yəni kristal boyunca sərbəst hərəkət edir.

Yarımkeçirici və dielektriklərdə, yəni qeyri-keçiricilərdə valent elektronlarının sayı valent zonasındaki kvant hallarının sayına bərabərdir. Mütləq sıfır temperaturunda valent zonası elektronlarla tam tutulmuş, keçiricilik zonası isə tam boş olur. Bu maddələr cərəyan keçirmir. Çünkü, xarici elektrik sahəsi zona daxilində elektronların enerjisini dəyişə bilmir, ancaq elektronlar bir-biri ilə yerlərini dəyişə bilərlər. Daha yüksək keçiricilik zonasına keçmək üçün **qadağan olunmuş zonanın** eni (E_g) qədər enerji lazımdır, amma zəif elektrik sahələri elektronlara bu enerjini verə bilmir.

Elektronlara valent zonadan keçiricilik zonasına keçmək üçün lazım olan E_g qədər enerji xarici təsirlərlə, qızdırılmaqla, şüalanma təsiri ilə və s. verilə bilər.

Deməli, yarımkəçiricilərin əsas fundamental parametr qadağan olunmuş zonanın enidir (E_g). Bu maddələrin bütün optik, fotoelektrik və s. xassələri keçiricilik zonasının dibi adlanan ən aşağı səviyyəsi, qadağan zonanın eni və valent zonasının tavanı adlanan ən yüksək səviyyəsi ilə təyin edilir.



Yarımkeçiricilər və dielektriklər əsasən qadağan olunmuş zonanın eni ilə fərqlənirlər.

Formal olaraq $E_g < 3 \text{ eV}$ olan maddələr yarımkəçirici, $E_g > 3 \text{ eV}$ olan maddələr isə dielektrik hesab olunur.

Keçiricilər ilə dielektriklər arasında belə bir fərq var: keçiricilərdə böyük miqdarda sərbəst yükdaşıyıcılar var və az da olsa elektrik sahəsinin təsiri ilə onlar istiqamətlənmiş hərəkət edərək cərəyanın keçməsində iştirak edirlər. Dielektriklərdə isə sərbəst yükdaşıyıcılar yoxdur, onların yaranması və maddədən cərəyanın keçməsi üçün müxtəlif xarici təsirlər, məsələn istilik enerjisi, şüalanma, qüvvətli elektrik sahəsi və s. tələb olunur.

Yarımkeçirici və dielektrik materialları da bir-birindən fərqlənir. Kristal quruluşuna görə, yükdaşıyıcıların növünə görə, optik, istilik və s. xassələrinə görə də fərqlənirlər.

2. Məxsusi və aşqar yarımkeçiricilər. Donor və akseptor aşqarlar

Məxsusi yarımkeçiricilər

Məxsusi yarımkeçiricilər kimyəvi təmiz yarımkeçiricilərdir.

$T = 0\text{ Kelvin}$ də valent zona tam dolu, keçiricilik zonası isə tam boşdur. Deməli, $T = 0\text{ Kelvin}$ də elektrikkeçiriciliyi sıfır bərabərdir. Amma temperatur arttıkca istilik həyəcanlanması nəticəsində qadağan olunmuş zonanın eni (E_g) qədər enerji alan elektronlar keçiricilik zonasına keçir və keçiricilikdə iştirak edir. Bu zaman valent zonada elektronun boş qalan yerinə müsbət (+e) yüklü zərrəcik kimi baxılır və "deşik" adlandırılır. Bu istilik həyəcanlanması nəticəsində bərabər sayıda sərbəst elektron və deşiklər yaranır ki, bu yükdaşıyıcılar yarımkeçiricinin məxsus elektrikkeçiriciliyini təyin edir. Qadağan olunmuş zona nə qədər ensiz, temperatur nə qədər yüksək olarsa zonalararası keçidlər çox olar, nəticədə də yükdaşıyıcıların konsentrasiyası, elektrikkeçiriciliyi də bir o qədər yüksək olar.

Aşqarlı yarımkeçiricilər

Yarımkeçiricilər hər nə qədər təmizliyə malik olsa da, tərkibində yenə də aşqar atomları olur. Amma bəzən də, yarımkeçiricilərin xassələrini dəyişə bilmək üçün bilərəkdən müxtəlif aşqarlar daxil edilir. Bütün bu aşqarlar icazəli və ya qadağan olunmuş enerji zonalarında öz enerji səviyyələrini yaradır. Qadağan olunmuş zonadakı vəziyyətinə görə aşqar səviyyələri dayaz və ya dərin olurlar. Dayaz aşqar səviyyələri əsasən yarımkeçiricinin elektrik xassələrinə, dərin səviyyələr isə optik və fotoelektrik xassələrinə təsir göstərir. Aşqarların növündən asılı olaraq dayaz aşqar səviyyələri donor və akseptor səviyyələrinə ayrıılır.

Donor səviyyələri.

Məsələn, *Germanium* kristalında 4-valentli *Germanium* atomlarının bir hissəsi 5-valentli *ArSEN* atomları ilə əvəz edilmişdir. Hər bir *Germanium* atomu dörd qonşu atomla dörd valent elektronu vasitəsilə kovalent rabitə yaradacaq. *ArSEN* atomu dörd valent elektronunu qonşu *Germanium* atomları ilə kovalent rabitəyə verir, beşinci valent elektronu isə heç bir kovalent rabitəyə girə bilmir və uzaq orbitlə hərəkət edir. Bu zaman *ArSEN* atomunun həmin valent elektronu ilə nüvə arasında cazibə qüvvəsi & dəfə azalır. Kristala əlavə keçiricilik elektronları verən aşqarlar donor aşqarları, aşqar səviyyələri isə donor səviyyələri adlanır. Donor aşqarlı kristal *n*-tip, onun elektrikkeçiriciliyi isə *n*-tip keçiricilik adlanır.

Akseptor səviyyələri.

Məsələn, *Germanium* atomlarının bir hissəsi üçvalentli *Indium* atomları ilə əvəz olunur. Bu zaman qonşu atomlarla kovalent rabitələrin tamamlanması üçün bir elektron çatmayıacaq. Həmin tamamlanmamış rabitəyə müsbət yüklü zərrəcik kimi yəni, deşik kimi baxılır. Kovalent rabitələrdə iştirak edən elektronlar rabitəni qırıb sərbəstləşmək üçün qadağan olunmuş

zonalın eni (E_g) qədər enerji almalıdır. Amma, onlar E_g -yə nisbətən çox kiçik enerji sərf etməklə qonşu rabitədəki boş yerə keçə bilərlər. Sonra da, deşiklər elektronların əksi istiqamətində hərəkət edib keçiricilikdə iştirak edə bilər.

3. Elektron-deşik keçidi (p-n keçid). p-n keçidin düz və əks qoşulması. p-n keçidin VAX-ı

p-n keçid əks tip keçiriciliyə malik iki yarımkəcərinin kontaktında yaranan elektrik keçididir.

p-n keçid planar ya da epitaksiya üsulları ilə alınır və öz əlamətlərinə görə simmetrik və qeyri-simmetrik, kəskin və tədrici (səlis), nöqtəvi və müstəvi və s. kimi növlərə ayrıılır. Simmetrik p-n keçidlərdə n və p oblastlar eyni səviyyədə aşqarlanır. Qeyri-simmetrik keçidlərdə isə aşqarlanma dərəcələri müxtəlif olur. Kəskin p-n keçidlərdə kontakt sahəsində konsentrasiyanın dəyişdiyi oblastın qalınlığı çox kiçik olur: $\Delta x \rightarrow 0$, yəni müstəvidə keçiricilik növü kəskin dəyişir. Buna da ideallaşdırılmış hal deyilir. Real keçidlər o zaman kəskin hesab olunur ki, Δx həcmi yüksək oblastının enindən çox kiçik olsun. Tədrici p-n keçidlərdə isə Δx həcmi yüksək oblastının eni ilə eyni tərtibdə olmalıdır.

p-n keçidin ən mühüm xüsusiyyəti onun düzləndirmə xassəsidir. Keçid oblastı əsas yükdaşıyıcılarla yoxsullaşlığından onun xüsusi müqaviməti ballast hissələrə nisbətən bir neçə tərtib yüksəkdir. Yəni, xarici gərginlik tamamilə keçid oblastında düşür.

Mənbəyin müsbət qütbü p oblasta, mənfi qütbü n oblasta bağlanarsa, yekun sahənin intensivliyi azalır: $E = E_k - E_{xar}$. Bu zaman potensial çəpərin eni və hündürlüyü də azalır: $e\phi_k = e(\phi_k - U)$. Bu xarici sahənin düz istiqaməti və ya p-n keçidin düz qoşulması adlanır.

Müsbət qütb n, mənfi qütb p oblasta birləşdirilərsə, yekun sahənin intensivliyi artar: Yəni, $E = E_k + E_{xar}$ olar, eyni zamanda potensial çəpərin eni və hündürlüyü də artar: $e\phi_k = e(\phi_k + U)$. Bu isə xarici sahənin əks istiqaməti və p-n keçidin əks qoşulması adlanır.

p-n keçiddən axan cərəyan da (1) ifadəsi ilə təyin edilir. Bu ifadə p-n keçidin Volt-Amper-Xarakteristikasını təyin edir. Düz istiqamətdə **$U > 0$** olur, və cərəyan gərginlikdən **eksponensial** asılı olaraq artır. Əks istiqamətdə isə cərəyan bir qədər artır **Isaturation** yəni doyma qiymətinə yaxınlaşır (**s-saturation-doyma**). Doyma cərəyanı yarımkəcərinin aşqarlanması dərəcəsindən, keçidin ölçülərindən, temperaturdan asılı olur. Məsələn Silisium p-n keçidlərin doyma cərəyanı Germanium keçidlərinə nisbətən xeyli kiçikdir. Həmçinin Silisium p-n keçidlərin düz gərginlik düşgüsü böyük olur.

p-n keçidin VAX-ından onun statik və dinamik (differensial) müqavimətini hesablamaq olar. Statik müqavimət $R = U/I$, dinamik müqavimət isə $r = dU/dI = \Delta U/\Delta I$ kimi təyin edilir.

Temperatur arttıkca **istilik generasiyası** da güclənir. Odur ki, **Isaturation** doyma cərəyanı temperaturdan çox asılı olur. Nəticədə temperatur arttıkca əks cərəyan kəskin olaraq artır və p-n keçidin düzləndirici xassələri zəifləyir. Temperaturun müəyyən yüksək qiymətində də eəfək sıfır qiymət alır, yəni p-n keçid yox olur.

4. p-n keçidin tutum xassələri. Varikap

p-n keçid tutum xassələrinə də malikdir. Yəni, deşiklərlə zəngin p və elektronlarla zəngin n oblastları özlərini kondensatorun köynəkləri kimi, həcmi yüksək oblastı isə dielektrik təbəqəsi kimi aparır. p-n keçidin tutumu xarici gərginlikdən asılı olaraq dəyişir.

Keçiddəki həcmi yüksəklərin, yəni müsbət və mənfi ionların hesabına yaranan tutum çəpər tutumu

adlanır: $C_\zeta = \frac{dQ}{dU}$ (burada dQ yükün, dU xarici gərginliyin dəyişməsidir).

Çəpər tutumu əsasən əks gərginlikdə özünü göstərir və $U_{əks}$ artdıqca azalır (bu zaman həcmi yüksəklər oblastının eni, yəni kondensatorun köynəkləri arasındaki dielektrik təbəqənin eni, artır). Nəzəri olaraq düz istiqamətdə də çəpər tutumu mövcuddur. Ancaq düz istiqamətdə diffuziya tutumu daha yüksək qiymət alır.

Diffuziya tutumu düz gərginliyin təsirlə kecidə cəlb olunan yükdaşıyıcıların yaratdığı tutumdur. Diffuziya tutumu düz cərəyanla və qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yaşama müddəti T ilə düz mütənasibdir:

$$C_{dif} = \frac{e \cdot I \cdot \tau}{kT} = \frac{e}{2kT} (I_n \tau_n + I_p \tau_p).$$

Müxtəlif növ diodlar üçün $C_{\text{ç}} = (1 - 10^2) \text{ pF}$, diffuziya tutumu isə mikrofaradlar tərtibində olur. İstənilən halda p–n keçidin tutumu onun ətalətliliyinə səbəb olur.

Varikap – çəpər (baryer) tutumunun əks gərginlikdən asılılığından istifadə olunan yarımkəcərici dioddur. Məlumdur ki, çəpər tutumu əks gərginlikdən asılıdır və əks gərginlik artıqca $C_{\text{çep}}$ azalır.

Varikaplar müxtəlif elektron və radiotexniki qurğularda idarə olunan kondensator kimi tətbiq edilir. Məsələn, rezonans konturlarında, parametrik gücləndiricilərdə və generatorlarda, tezliyi avtomatik tənzimlənən sxemlərdə, amplitud və tezlik modulyasiyalı sxemlərdə və s.

5. P-n keçidin deşilməsi. Stabilitron

p–n kecidə tətbiq olunan gərginliyi sonsuz artırmaq mümkün deyil. Yəni, əks gərginliyin müəyyən qiymətində əks cərəyan kəskin şəkildə artır. Bu hadisə p–n keçidin deşilməsi adlanır.

Tunel (Zener) deşilməsi. Əks gərginliyin böyük qiymətlərində yarımkəcəricinin enerji səviyyələri o dərəcadə əyilir ki, p–oblastın valent zonasının elektronlarla dolu səviyyələri ilə n–oblastın keçiricilik zonasının boş enerji səviyyələri bərabərləşir. Əks gərginlik artıqca potensial çəpərin eni azalır, keçiddə sahənin intensivliyi artır. Bu halda elektronlar p–oblastın valent zonasından n–oblastın keçiricilik zonasına enerjisi dəyişmədən keçə bilərlər. Belə keçidlərə tunel keçidləri deyilir.

Tunel keçidləri nəticəsində əks cərəyan kəskin artır və keçidin deşilməsi baş verir. Buna *tunel deşilməsi* deyilir. Temperatur yüksəldikcə tunel deşilmə gərginliyinin qiyməti azalır. Tunel deşilməsi güclü aşqarlanmış, xüsusi müşaviməti nisbətən kiçik və qadağan zonası nisbətən ensiz olan yarımkəcəricilər əsasında yaradılmış p–n keçidlərdə daha üstün olur.

Selvari deşilmə. Qüvvətli elektrik sahələrində sərbəst yükdaşıyıcılar böyük enerji qazanıb çox sürətlənir və qarşılıqlı təsir zamanı neytral atomları ionlaşdırıb bilirlər. Bu zaman yeni elektron-deşik cütləri yaranır. Onlar da öz növbəsində sahədə sürətlənib yeni neytral atomları ionlaşdırırlar. Nəticədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası kəskin şəkildə – selvari olaraq artır. Bu hadisə zərbə ilə ionlaşma adlanır.

Beləliklə yükdaşıyıcıların səli əmələ gəlir və bu deşilməyə selvari deşilmə deyilir. Selvari deşilmə elektrik deşilməsidir.

Selvari deşilmə zəif aşqarlanmış yarımkəcəricilərdən hazırlanmış p–n keçidlərdə üstünlük təşkil edir.

İstilik deşilməsi. p-n keçiddən əks cərəyan axlığda keçiddə Coul istiliyi ayrılır və temperatur yüksəlir. Keçiddə yaranan istilik miqdarı ətrafa verilən istilik miqdarından çox olursa, yəni ayrılan istilik miqdarı tam olaraq ətraf mühitə verilmirsə, onda p-n keçidin temperaturu tədricən artır. Yarımkeçirici materialarda yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və nəticədə elektrikkeçirciliyi temperaturdan güclü asılı olduğu üçün müəyyən temperaturda yükdaşıyıcıların istilik generasiyası başlayır və sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Bu isə əks cərəyanın artmasına səbəb olur. Cərəyanın artması keçidin temperaturunun artmasına səbəb olur, bu isə öz növbəsində cərəyanı daha da artırır. Beləliklə, xarici gərginliyin müəyyən qiymətində bu iki proses arasında yaranan müsbət əks əlaqə p-n keçiddən axan cərəyanın kəskin artmasına və keçidin istilik deşilməsinə səbəb olur.

Stabilitron

Stabilitronlar elektrik sxemlərində gərginliyi sabit saxlamaq üçün istifadə olunur. Onların volt-amper xarakteristikasının deşilmə hissəsində gərginliyin qiyməti cərəyandan zəif asılı olur. Bu cihazların xarakteristikalarının işçi hissəsi əks qoldur. Burada xarakteristika demək olar ki, cərəyan oxuna paralel olur və işçi gərginlik isə deşilmə gərginliyi hesab olunur. Bu cihazlar əvvəllər həm də dayaq diodlar adlanmışdır. Stabilitronların iş prinsipi p-n keçidində elektrik deşilmə hadisəsinə əsaslanır. Baza qatında aşqarların yüksək konsentrasiyasında keçiddə selvari deşilmə, aşqarların zəif konsentrasiyasında isə tunel deşilməsi baş verir. Birinci hal yüksək gərginlikli, ikinci isə alçaq gərginlikli stabilitonlarda istifadə olunur. Silisium diodlarının xarakteristikasının düz qolunda da gərginlik sabit qaldığından(qırıq xətt) bu effekt stabilitonların işində istifadə olunur.

6. Yarımkeçirici diod: quruluşu, iş prinsipi, müxtəlif növləri, xarakteristika və parametrləri, tətbiqləri

Yarımkeçirici diodlar — Diodlar, yalnız bir istiqamətdə cərəyan keçirən dövrə elementidirlər. Digər bir ifadə ilə, bir istiqamətdəki müqavimətləri kiçik, digər istiqamətdəki müqavimətləri isə çox böyük olan elementlərdir. Müqavimətin kiçik olduğu istiqamətə "düz istiqamət", böyük olduğu istiqamətə "əks istiqamət" deyilir. Diodun ucları müsbət (+) və mənfi (-) işarələri ilə də müəyyən olunur. "+" ucu anod, "-" uca katod deyilir. Diod anoduna, gərginlik mənbəyinin müsbət (+) qütbü, katoduna isə mənbənin mənfi (-) qütbü gərginlik tətbiq olunarsa diod naqil roluna keçər(keçiricilik göstərər). Yarımkeçirici diodları, p-n səth kecidli (junction) diodlar və nöqtə əlaqəli diodlar olmaq üzrə iki ana qrupda toplanır. Yarımkeçirici diodlar, ilk olaraq nöqtə əlaqəli kristal diod halında istifadəyə girmişdir. Zaman keçidkə bunların yerini səth birləşməli diodlar almışdır. Nöqtə əlaqəli diodlar bu gün bəzi özəl sahələrdə istifadə edildiyindən xüsusi məqsədli diodlar hissəsində araşdırılmışdır. p-n səth birləşməli diod digər adı jonksiyon dioddur, P və N tipli kristalların, xüsusi usullar ilə, bir-birinin ardınca birləşdirilməsi yolu ilə əldə edilir. Diodun P zonasından çıxarılan əlaqə ucuna (elektrod) anod ucu, N zonasından çıxarılan əlaqə ucuna da katod ucu deyilir. Anod "+" katot "-" ilə göstərilir.

7. Duzləndirici diod və xüsusi növ diodlar

Duzləndirici Diodlar

Adı düzləndirici diodlar məhdud tezlik diapazonunda (50-100 khs) dəyişən cərəyanı sabit cərəyana çevirmək üçün istifadə olunur. Diodlar düzünə cərəyanın orta qiymətinə görə alçaq, orta və böyük güclü diodlara bölünür. Hal-hazırda silisiumdan və germaniumdan hazırlanan müstəvi diodlar geniş istifadə olunur. Silisium diodları qadağan olmuş zonanın eni böyük olduğuna görə kiçik əks cərəyana malik olurlar və germanium diodlarına nisbətən daha böyük əks gərginliyə dözürlər. Silisium diodlarında baza qatının müqaviməti böyük olduğundan yüksək cərəyanın eyni qiymətində germanium dioduna nisbətən düz qoşulma rejimində gərginlik düşgüsü daha böyük olur.

Xüsusi növ diodlar

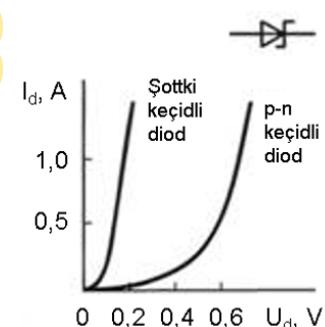
Stabilitron

Stabilitronlar elektrik sxemlərində gərginliyi sabit saxlamaq üçün istifadə olunur. Onların volt-amper xarakteristikasının deşilmə hissəsində gərginliyin qiyməti cərəyandan zəif asılı olur. Bu cihazların xarakteristikalarının işçi hissəsi əks qoldur. Burada xarakteristika demək olar ki, cərəyan oxuna parallel olur və işçi gərginlik isə deşilmə gərginliyi hesab olunur. Bu cihazlar əvvəllər həm də dayaq diodlar adlanmışdır. Stabilitronların iş prinsipi p-n kecidində elektrik deşilmə hadisəsinə əsaslanır. Baza qatında aşqarlar yüksək konsentrasiyasında keçidə selvari deşilmə, aşqarların yüksək konsentrasiyasında isə tunel deşilməsi baş verir. Birinci hal yüksək gərginlikli, ikinci isə alçaq gərginlikli stabilitonlarda istifadə olunur. Silisium diodlarının xarakteristikasının düz qolunda da gərginlik sabit qaldığından (qırıq xətt) bu effekt stabilitonların işində istifadə olunur.



Şottki diodları.

İş prinsipi metal-yarımkeçirici kontaktının düzləndirici xassəsinə əsaslanmışdır. Metal kimi əsasən Al, yarımkəçirici olaraq Si götürülür. Şottki diodlarının əsas xüsusiyyəti odur ki, onlarda qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olmur. Deməli, qeyri-əsas yükdaşıyıcıların kontakt oblastına sorulması baş vermir. Belə olduqda diffuziya tutumu da yaranmır. Odur ki, Şottki diodları çox yüksək tezliklərdə işləyə bilirlər. Məsələn, metal altlıq ilə epitaksiyal Si təbəqəsinin əmələ gətirdiyi Şottki diodları 500 kHs tezliklərdə istifadə oluna bilir. Şottki diodlarında düz gərginlik düşküsü adı düzləndirici diodlara nisbətən kiçikdir. Maksimal düz cərəyan onlarla amper, əks gərginlik isə yüzlərlə volt ola bilər.



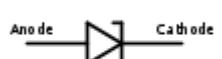
Varikap

Çəpər (baryer) tutumunun əks gərginlikdən asılılığından istifadə eliyən yarımkəçirici dioddur. Məlumdur ki, çəpər tutumu əks gərginlikdən asılıdır və əks gərginlik arttıkca $C_{çəp}$ azalır. Varikaplar müxtəlif elektron və radiotexniki qurğularda idarə olunan kondensator kimi tətbiq edilir. Məsələn, rezonans konturlarında, parametrik gücləndiricilərdə və generatorlarda, tezliyi avtomatik tənzimlənən sxemlərdə, amplitud və tezlik modulyasiyalı sxemlərdə və s.



Tunel diodu

çox güclü aşqarlanmış yarımkəçiricilərdən hazırlanır. Belə diodlarda yükdaşıyıcıların enerjisi potensial çəpərin hündürlüyündən kiçik olsa belə onlar p-n kecidən tunel keçidləri edə bilirlər. Adı diodlardan fərqli olaraq tunel diodlarında cərəyanı əsas yükdaşıyıcılar keçirir. Əks cərəyanın qiyməti adı diodlardakı düz cərəyandan da böyük olur. Düz istiqamətdə çox kiçik gərginliklərdə düz cərəyan kəskin artıb I_{max} olur, sonra I_{min} -a qədər azalır, daha sonra isə adı diodlarda olduğu kimi artır. U_1-U_2 arasında r differensial müqavimət mənfi qiymət alır. Belə VAX N-şəkilli VAX adlandırılır.



U1–U2 intervalında tunel keçidləri edə bilən elektronların sayı azalır və U2-də sıfır olur. Düz gərginliyin qiyməti artıqla potensial çəpərin hündürlüyü azalır. Odur ki, tunel cərəyanı yox olur. U2-ə qədər dioddan tunel cərəyanı axır. U2-dən sonra düz cərəyan diffuziya ilə təyin olunur və adı diodlardakı kimi artır. Tunel diodları çox aşağı temperaturlarda da ($2K$ -ə qədər) işləyə bilirlər. Müasir tunel diodları əsasən **Ge** və **GaAs** əsasında hazırlanır. Əsas parametrləri: I_{max} ; I_{min} ; U_2 ; U_1 ; $r=\Delta U/\Delta I$.

Tunel diodları dəyişən elektrik siqnallarını generasiya etmək, gücləndirmək üçün istifadə olunur.

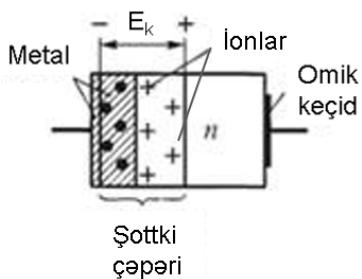
9. p-n keçid və metal-yarımkeçirici kontaktı əsasında düzləndirici diodlar

Yarımkeçirici cihazlar iki böyük qrupa bölünür: yarımkəciriçinin həcmi və səthində baş verən hadisələrə əsaslanan cihazlar və kontakt hadisələrinə əsaslanan cihazlar. Əksər yarımkəciriçili cihazların iş prinsipi kontakt hadisələrinə əsaslanır. Buraya müxtəlif növ diodlar, bipolyar tranzistorlar, sahə tranzistorları, tiristorlar, integrallı sxemlər daxildir. Bu cihazların işi ya metal ilə yarımkəciriçi kontaktında, ya da p-tip və n-tip keçiriciliyə malik iki yarımkəciriçinin kontaktında baş verən hadisələrə əsaslanır.

Əvvəlcə metal ilə n-tip yarımkəciriçinin kontaktına baxaq. Kontakt o vaxt yaranır ki, kontaktta gətirilmiş səthlər arasındaki məsafə atomlararası məsafələr tərtibində olsun. Bu zaman kontaktta gətirilmiş maddələr arasında effektiv elektron mübadiləsi mümkün olur. Fərz edək ki, $F_m > F_{y/m}$, yəni elektronun metaldan çıxış işi yarımkəciriçidən nisbətən böyükdür. Bu halda ilk anda yarımkəciriçidən metala doğru elektron axını əks istiqamətdəki axından üstün olur. Bu üstünlük termodinamik tarazlıq halı yaranana qədər davam edir. Termodinamik tarazlıq halında hər iki maddədə **Fermi** səviyyələri bərabərləşir. Nəticədə kontakt oblastında metalda mənfi, yarımkəciriçidə isə ionlaşmış aşqar atomlarından ibarət olan müsbət həcmi yüksəklər yaranır. Həcmi yüksəklər arasında yarımkəciriçidən metala doğru yönəlmüş daxili – kontakt elektrik sahəsi (E_k) yaranır. Baxılan halda daxili sahə yarımkəciriçidən metala doğru yönəlmüşdür. Metal ilə yarımkəciriçi kontaktında həcmi yüksəklər təbəqəsinin yaranması və enerji səviyyələrinin əyilməsi nəticəsində yaranan potensial çəpər Şottki çəpəri (alman fiziki Valter Şottkinin şərəfinə) deyilir. Baxılan halda yarımkəciriçidən metala doğru hərəkət edən elektronlar üçün potensial çəpər yaranır. Çəpərin hündürlüyü $e\phi k = (F_m - F_{y/k})$ şəklində təyin olunur. Metalda həcmi yüksəklər oblastının qalınlığı (10^{-10} – 10^{-9}) m tərtibində, yarımkəciriçidə isə 10^{-6} m və daha böyük olur. Ona görə hesab etmək olar ki, kontakt potensiallər fərqi tam yarımkəciriçi tərəfə düşür. Yarımkəciriçidə həcmi yüksəklər oblastında əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası çox kiçik olduğundan onun müqaviməti kristalın kontaktdan kənar hissələrinə nisbətən çox böyükdür. Odur ki, bu oblast yoxsullaşmış təbəqə, metal ilə yarımkəciriçinin yoxsullaşmış təbəqəsinin kontaktı bağlayıcı kontakt adlandırılır. Bağlayıcı metal-yarımkeçirici kontaktının ən mühüm xüsusiyyətlərindən biri onun müqavimətinin xarici gərginlikdən asılı olmasıdır. Bu asılılığın nəticəsində kontaktın keçiriciliyi praktiki olaraq unipolyar – biristiqamətlidir.

Fərz edək ki, xarici sahə kontakt elektrik sahəsinin əksi istiqamətdə yönəlmüşdir. Bu halda yekun elektrik sahəsinin intensivliyi $E = E_k - E_{xar}$ olur. Kontakt potensiallər fərqi azalıb ($\phi k - U$), potensial çəpərin hündürlüyü isə $e(\phi k - U)$ olacaq. Eyni zamanda potensial çəpərin eni də azalır. Xarici elektrik sahəsinin bu istiqaməti düz istiqamət adlanır.

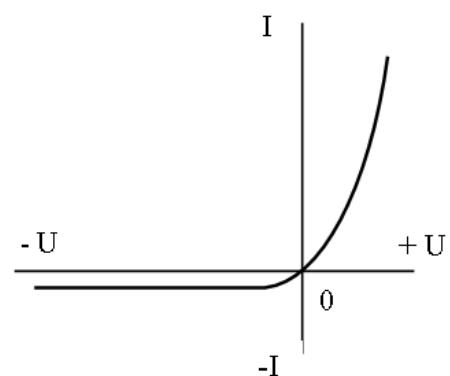
Indi isə fərz edək ki, xarici elektrik sahəsi daxili sahə ilə eyni istiqamətdə yönəlmüşdir. Bu halda yekun elektrik sahəsinin intensivliyi $E = E_k + E_{xar}$ olur. Bu zaman kontakt potensiallər fərqi artır ($\phi k + U$), potensial çəpərin hündürlüyü isə $e(\phi k + U)$ olacaq. Eyni zamanda potensial çəpərin eni də artır. Xarici elektrik sahəsinin bu istiqaməti əks istiqamət adlanır. Xarici elektrik sahəsinin təsirilə potensial çəpərin hündürlüğünün dəyişməsi kontaktdan keçən elektron selləri arasında tarazlığı pozur. Qeyd etmək lazımdır ki, hər iki halda xarici sahə ancaq yarımkəciriçidən metala keçən elektronlar üçün potensial çəpərin hündürlüğünü dəyişir. Metaldan yarımkəciriçiyə keçən elektronlar üçün potensial çəpərin hündürlüyü dəyişməz qalır. Kontaktdan axan cərəyan üçün aşağıdakı ifadə alınırlar:



$$I = I_s (e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$$

Qəbul edilir ki, düz gərginlik müsbət ($U_{\text{düz}} > 0$), əks gərginlik isə mənfidir ($U_{\text{əks}} < 0$). Bunu nəzərə almaqla metal yarımkəciriçi kontaktının volt-amper xarakteristikası şəkildə göstərilən kimidir. Göründüyü kimi, kontakt düzləndirici xassəyə malikdir. Yəni düz istiqamətdə cərəyanı buraxır, əks istiqamətdə isə demək olar ki, buraxmır.

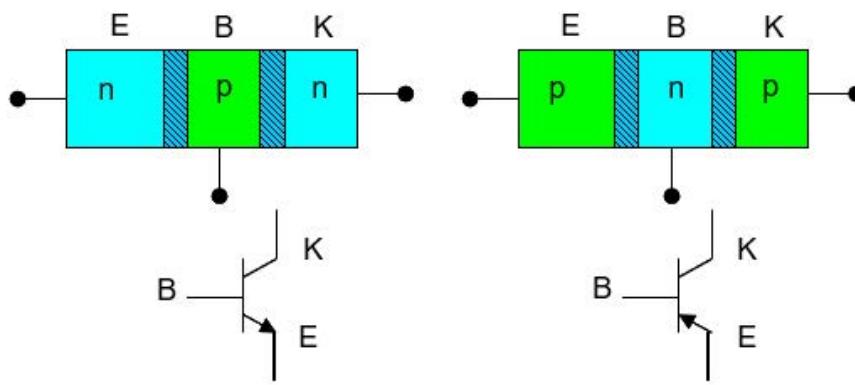
$F_m < F_{y/k}$ olduqda metal ilə n-tip yarımkəciriçinin kontaktında elektronların metaldan yarımkəciriçiyə doğru axını üstünlük təşkil edəcək. Bu halda kontakt oblastında metalda müsbət həcmi yükler təbəqəsi, yarımkəciriçidə isə mənfi həcmi yükler təbəqəsi yaranacaq. Belə təbəqədə əsas yüksəkliklərini konsentrasiyası həcmidəkinə nisbətən yüksək olduğundan ona zənginləşmiş təbəqə deyilir. Zənginləşmiş təbəqənin xüsusi müqaviməti həcmə nisbətən kiçik olur və ona anti-bağlayıcı təbəqə də deyilir. Belə kontakt düzləndirici deyil, yəni omikdir.



Düzləndirici metal-yarımkəciriçi kontaktının VAX-ı

11. Bipolar tranzistorlar: quruluşu, iş prinsipi, növləri.

Tranzistor – p-n və ya başqa elektrik keçidləri əsasında işləyən, geniş tətbiq sahələrinə malik cihazlardır. Tranzistor gücləndirici elementdir. O, əlavə mənbənin kiçik enerjisi hesabına zəif giriş signallını gücləndirə bilir. Ən geniş yayılmış tranzistorlar bipolar tranzistorlardır. **Bipolar tranzistor** - bir-bir ilə qarşılıqlı təsirdə olan iki p-n keçidi və üç çıxışı olan yarımkəciriçi cihazdır.



Şəkil 1. n-p-n və p-n-p tipli tranzistorların quruluşu və şərti işarələri

Bipolar tranzistorlar n-p-n və p-n-p tipli olurlar. Orta oblast baza, kənar hissələr isə emitter və kollektor adlanır. Belə tranzistorda cərəyan keçirilməsində iki tip yükdaşıyıcılar – həm elektronlar, həm də deşiklər iştirak etdiyi üçün onlara **bipolar tranzistor** deyilir. n-p-n tipli tranzistorlada emitter və kollektor cərəyanları elektronlarla, baza cərəyanı isə deşiklərlə keçirilir, p-n-p tipli tranzistorlarda isə əksinə, emitter və kollektor cərəyanları deşiklərlə, baza cərəyanı isə elektronlarla keçirilir. Elektronların yürüklüyü deşiklərə nisbətən çox böyük olduğundan n-p-n tipli bipolar tranzistorlar daha geniş istifadə olunur.

Emitterlə baza arasındaki kecid *emitter keçidi*, baza ilə kollektor arasındaki kecid isə *kollektor keçidi* adlanır. Adətən bipolar tranzistorun oblastları müxtəlif dərəcədə aşqarlanır. Məsələn, emitter və kollektor bazaya nisbətən bir neçə tərtib artıq aşqarlanır. Odur ki, emitter və kollektorun xüsusi müqaviməti bazaya nisbətən xeyli kiçik olur. Bəzi tranzistorlarda baza ilə kollektor eyni səviyyədə, emitter isə çox güclü aşqarlanır. Əksər hallarda isə emitter güclü, kollektor nisbətən zəif, baza isə çox zəif aşqarlanır.

Bipolar tranzistorun işini aydınlaşdırmaq üçün bir misala baxaq. Fərz edək ki, n-p-n tipli tranzistorda emitter keçidi düz, kollektor keçidi isə əks istiqamətdə qoşulmuşdur. Bu halda elektronlar xarici sahənin təsirilə emitterdən bazaya injeksiya olunurlar (ötürülür). Bazada elektronlar qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olur. Onlar kollektor tərəfindən ekstraksiya olunurlar (sorulurlar) və nəticədə kollektor cərəyanı artır. Beləliklə, baxılan halda kollektor cərəyanı emitter cərəyanı ilə idarə olunur.

Bipolar tranzistorun oblastları təkcə aşqarlanma dərəcələri ilə yox, həm də ölçüləri ilə fərqlənir. Bazarın qalınlığı çox kiçik – qeyri-əsas yükdaşıyıcıların diffuziya uzunluğundan kiçik götürülür. Belə olduqda bazaya injeksiya olmuş yükdaşıyıcıların böyük hissəsi kollektor kecidini keçə bilir. Həmçinin kollektor kecidinin sahəsi emitter kecidinə nisbətən böyük götürülür.

12. Bipolar tranzistor. Bipolar tranzistorun qoşulma sxemləri

Bipolar tranzistorun üç çıxışı olmasına baxmayaraq tranzistorlu sxemlərdə onlar adətən 2 dövrəyə: giriş və çıkış dövrələrinə qoşulur. Hər dövrəyə tranzistorun 2 çıxışı (elektrodu) birləşdirildiyindən, çıxışlardan biri həm giriş, həm də çıkış dövrəsi üçün eyni (ümumi) olur. Bipolar transiztora gücləndirici qurğu olaraq aktiv dörd qütblü kimi baxılır.

Elektroolların hansının giriş və çıkış gərginliklərinin ümumi tətbiq nöqtəsi olmasından asılı olaraq BT-un üç cür qoşulma sxemi var: ümumi bazalı(ÜB), ümumi emitterli(ÜE) və ümumi kollektorlu(ÜK).

ÜB sxemində emitter dövrəsi giriş, kollektor dövrəsi çıkış dövrəsidir. ÜE sxemində baza dövrəsi giriş, kollektor dövrəsi çıkış dövrəsi sayılır. Tranzistorlarda cərəyan, gərginliyə və gücə görə güclənmə baş verir. Uyğun olaraq hər üç parametrə görə güclənmə əmsalları daxil edilir. ÜB sxemdə gərginliyə görə güclənmə əmsalı $K_U = U_{\text{çix}} / U_{\text{gir}} \sim 10^3$ tərtibində ola bilər, cərəyan görə güclənmə əmsalı $K_I = I_{\text{çix}} / I_{\text{gir}}$ isə vahiddən kiçik olur. Çıxış dövrəsində yük müqaviməti olduqda ÜB sxemində gücə və gərginliyə görə gücləndirmə almaq olur; bu halda cərəyan görə güclənmə yoxdur. ÜE sxemində hər üç parametrə görə güclənmə var.

BT-un qoşulma sxemləri arasında ümumi kollektorlu sxem (ÜK) xüsusi yer tutur. Belə sxemdə baza cərəyanı giriş, emitter cərəyanı isə çıxış cərəyanıdır. Lakin, E_E və E_B qida mənbələrinin belə qoşulması invers rejim yaradır. Bu isə cərəyanın α və β ötürülmə əmsallarının xeyli azalmasına səbəb olur. Belə qoşulma n-p-n tranzistorun normal aktiv rejimi təmin edir. Bu sxemdə də baza cərəyanı giriş, emitter cərəyanı isə çıxış cərəyanıdır. ÜK sxemində gücə və cərəyana görə güclənmə mövcuddur. Texnikada ən çox ÜE qoşulma sxemindən istifadə olunur.

13. Bipolar tranzistor. Bipolar tranzistorun iş rejimləri

Bipolar tranzistorun 4 iş rejimi mövcuddur: aktiv və ya xətti rejim, invers rejim, doyma rejimi və ayırma(kəsilmə) rejimi.

- Aktiv rejimdə** emitter keçidi düz, kollektor keçidi əks istiqamətdə qoşulur. Bu zaman n-p-n tipli bipolar tranzistorda elektronların emitterdən bazaya injeksiyası, bazada diffuziya və dreyf nəticəsində daşınması və kollektor kecidinin sahəsinin təsirilə kollektora ekstraksiyası baş verir ki, bu hadisələr aktiv rejimdə bipolar tranzistorun işinin əsasını təşkil edir. p-n-p tipli tranzistorlarda isə eyni proseslər deşiklərlə baş verir. Göründüyü kimi, çıxış cərəyanı giriş cərəyanı ilə idarə olunur. Bu isə elektron sxemlərində bipolar tranzistordan aktiv element kimi istifadə etməyə imkan verir.
- Invers rejimdə** aktiv rejimin əksinə - emitter keçidi əks, kollektor keçidi düz istiqamətdə qoşulur. Bu halda emitter və kollektor kecidləri aktiv rejimə nəzərən funksiyalarını dəyişir: kollektor əsas yükdaşıyıcıların injeksiyasını, emitter isə onların ekstraksiyasını həyata keçirir.
- Doyma rejimində** hər iki kecid düz istiqamətdə qoşulur.
- Ayırma rejimində** hər iki kecid əks istiqamətdə qoşulur.

Gücləndirici sxemlərdə tranzistor aktiv rejimdə işləyir. İmpuls sxemlərində, o cümlədən elektron açar sxemlərində tranzistor doyma və ayırma rejimlərində, məntiq sxemlərində (rəqəm integrallı sxemləri) isə invers rejimdə də işləyir.

14. Bipolar tranzistorun ümumi bazalı sxeminin xarakteristika və parametrləri

Bipolar tranzistorların ümumi bazalı sxeminin xarakteristika və parametrləri

Giriş xarakteristikası çıxış gərginliyi sabit olduqda giriş cərəyanının giriş gərginliyindən asılılığıdır. Aktiv rejimdə bu xarakteristika diodun VAX-in düz qoluna oxşayır. U_{KB} çıxış gərginliyi arttıkça əyri sola doğru sürüşür. Belə sürüşmə **Erli effekti** ilə izah olunur. **Erli effekti** U_{KB} arttıkça kollektor kecidinin eninin artması və nəticədə baza oblastının eninin azalmasıdır. Kollektor kecidində yoxsullaşmış təbəqənin eninin artması nəticəsində bazonın eninin azalması giriş cərəyanının artmasına səbəb olur. Odur ki, U_{KB} arttıkça I_E -n eyni bir qiyməti daha kiçik U_{KB} gərginliklərində alınır, yəni əyrilər sola doğru sürüşür.

Çıxış xarakteristikaları I_E -n müxtəlif sabit qiymətlərində I_K çıxış cərəyanının U_{KB} çıxış gərginliyindən asılılığıdır. Bu ayrılar diodun VAX-nın əks qoluna oxşayır, $I_E = 0$ olduqda isə diodun VAX-nın əks qolun ilə eynidir: $I_E = 0$ olduqda $U_{KB} = 0$ olarsa I_K da sıfır olur. I_E artıqca əyrilər yuxarı doğru sürüsür, həm də $U_{KB} = 0$ olduqda belə, yəni, baza ilə kollektor qısa qapandıqda belə kollektor dövrəsindən cərəyan axır. Kollektor cərəyanını yox etmək üçün kollektora düz gərginlik vermək lazımdır ki, bu da artıq doyma rejimidir. Göründüyü kimi, çıkış xarakteristikasında tranzistorun həm aktiv, həm doyma, həm də ayırma rejimlərini görmək mümkündür.

Ötürmə xarakteristikaları $U_{gir} = U_{EB} = \text{const}$ qiymətlərində I_K çıkış cərəyanının I_E giriş cərəyanından asılılığıdır. İlk yaxınlaşmada bu xarakteristikalar düz xətt hesab etmək olar.

Əks əlaqə xarakteristikaları I_E giriş cərəyanının sabit qiymətlərində U_{EB} giriş gərginliyinin U_{KB} çıkış gərginliyindən asılılığıdır.

15. Bipolyar tranzistorun ümumi emitterli sxeminin xarakteristika və parametrləri

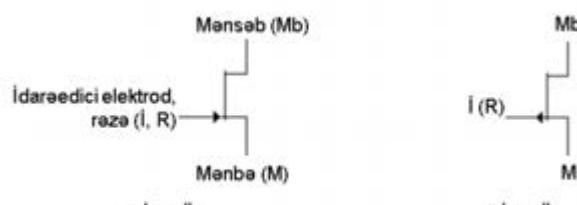
Ümumi emitterli sxemin xarakteristikaları və parametrləri

ÜE sxemdə giriş cərəyanı I_B , çıkış cərəyanı isə I_K -dir. **Giriş xarakteristikalar ailesi** U_{KE} gərginliyinin sabit qiymətlərində I_B cərəyanının U_{BE} gərginliyindən asılılıq əyriləridir. Bu halda **Erli effekti** hesabına U_{KE} gərginliyi artıqca giriş əyriləri sağa doğru sürüsür. Tranzistorun giriş differential müqaviməti: $r = dU_{BE}/dI_B$, I_B -verilmiş, $U_{KE} = \text{const}$, kimi verilir. ÜE sxemində I_B giriş cərəyanının qiyməti I_E cərəyanından 2-3 tərtib kiçikdir.

ÜE sxemi üçün **çıxış xarakteristikaları** I_B cərəyanının sabit qiymətlərində I_K cərəyanının U_{KE} gərginliyindən asılılıq əyriləridir.

16. Unipolyar tranzistorlar: növləri, quruluşu, iş prinsipləri

Unipolyar və ya sahə tranzistorunda cərəyan ancaq bir növ yükdaşıyıcılarla keçirilir, həm də cərəyan elektrik sahəsi ilə idarə olunur. Bunlara həmçinin kanal tranzistorları da deyilir, çünki cərəyan müəyyən keçirici kanal boyunca axır. Sahə tranzistorlarında üç çıkış olur: mənbə, mənsəb(MB) və idarəedici(və ya rəzə, sürgü). Rəzə keçirici kanaldan əks istiqamətdə qoşulmuş p-n keçidlə və ya nazik dielektrik təbəqəsi ilə ayrıılır. Birinci halda cihaz idarəedici p-n keçidlə (p-n keçidlə idarə olunan) və ya sadəcə sahə tranzistoru, ikinci halda isə idarəedicisi təcrid olunmuş və ya MDY(Metal-Dielektrik-Yarımkeçirici) tranzistoru adlandırılır. Keçirici kanal mənbə ilə mənsəb arasında yerləşir, həm n-tip, həm də p-tip ola bilər.



Şəkil 1. İdarəedici p-n keçidlə sahə tranzistoru

Əksər hallarda MDY-tranzistorlarda dielektrik kimi SiO_2 təbəqəsi götürülür və onlar MOY tranzistor adlandırılır. MDY və ya idarəedicisi izolə olunmuş tranzistorlar öz növbəsində iki növ olur: **hazır kanallı** və **induksiya olunmuş** kanallı MDY tranzistorlar. Hər iki halda kanal n-tip və ya p-tip ola bilər.

17. İdarəedici p-n keçidli sahə tranzistoru: quruluşu, iş prinsipi, xarakteristika və parametrləri.

p-n keçidlər əks qoşulmalıdır. Buradan gərginlik tətbiq edilmədikdə maksimal cərəyan axır. $U_{IM} = 0$ (giriş gərginliyi) olduqda. U_{IM} artıqca kanal daralmağa başlayır. Müəyyən bağlanma qiymətində kanaldan cərəyan axmır. İş prinsipi budur.

Xarakteriktisaları

Çıxış xarakteristikası bipolar transistorda olduğu kimi çıkış cərəyanının çıkış gərginliyindən asılılığıdır. İdarəedici elektrodla(Rəzə) mənbə transistorum giriş dövrəsini təşkil edir. Çıxış mənsəb cərəyanının mənbə ilə mənsəb arasındaki gərginliyindən asılılığıdır.

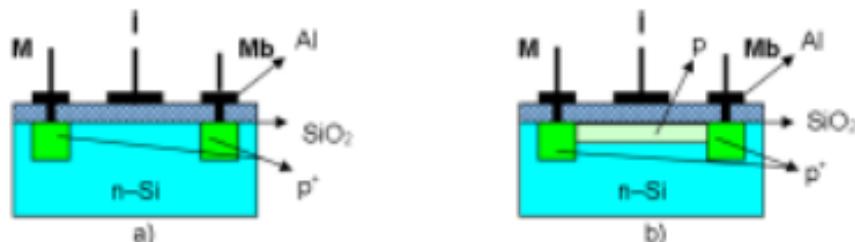
Öturmə xarakteristikası çıkış cərəyanının girişdəki gərginliyindən asılılığıdır. Yəni çıkışın girişdən asılılığıdır.

Parametrləri

Öturmə xarakteristikasının dikliyi, çıkış müqaviməti(daxili diferensial müqavimət), gərginliyə görə gücləndirmə əmsali, giriş müqaviməti, bağlanma gərginliyi, doyma gərginliyi, giriş tutumu, kecid tutumu, çıkış tutumu kimi parametrləri mövcuddur.

19. MDY-tranzistorun növləri. İnduksiyallanmış kanallı MDY-tranzistor.

MDY tranzistorlar öz növbəsində iki yerə bölünür: induksiya olunmuş kanallı və hazır kanallı tranzistorlar. Hazır və induksiya olunmuş n-kanallı: hazır və induksiya olunmuş p-kanallı MDY-tranzistolar (saqlı bütöv xətlərlə hazır kanal, qırıq xətlərlə isə induksiyallanmış kanal işarə olunur). Ox kanala doğru gəlirsə bu n-tip, kanaldan çıxırsa p-tip kanaldır.



Şəkli 6. İnduksiyallanmış p-kanallı (a) və hazır p-kanallı MDY-tranzistorlar

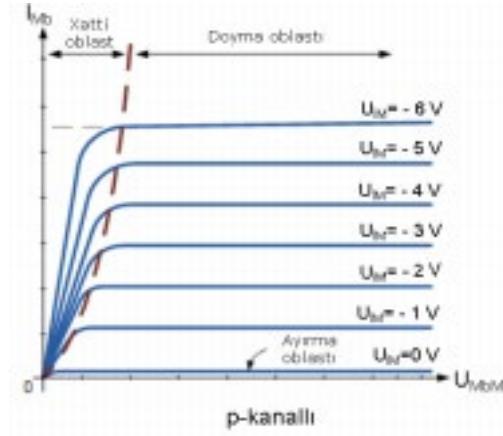
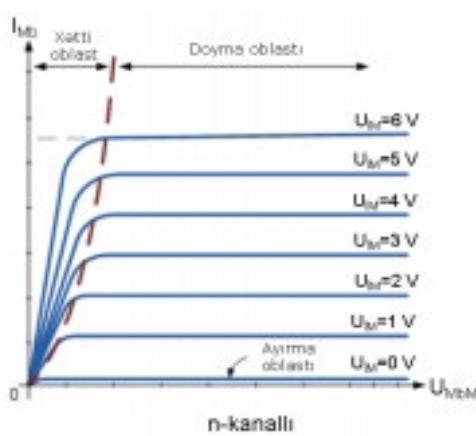
Hər iki halda nisbətən yüksək müqavimətli yarımkəcərici altlıq üzərində əks keçiricilik tipinə malik olan və güclü aşqarlanmış oblastlar yaradılır. Bu oblastların üzərinə metal elektrodlar çökdürülür: mənbə və mənsəb. Mənbə ilə mənsəb arasındaki məsafə bir neçə mikrometr olur. Onların arasında altlığın üzərinə nazik, **0,1 mkm** qalınlıqlı dielektrik təbəqəsi çəkilir. Dielektrikin üzərinə isə idarəedici elektrod çökdürülür. Beləliklə idarəedici elektrod nazik dielektrik təbəqəsi ilə yarımkəcərici altlıqdan təcrid (izolə) edilmiş olur. Hazırda MDY-tranzistorları üçün əsas material **Si**-dur. Əksər hallarda MDY tranzistorlarda dielektrik kimi **SiO₂** təbəqəsi götürülür və onlar **MOY(Metal-Oksid-Yarımkəcərici)** tranzistor adlandırılır.

MDY transiztorun iş prinsipi.

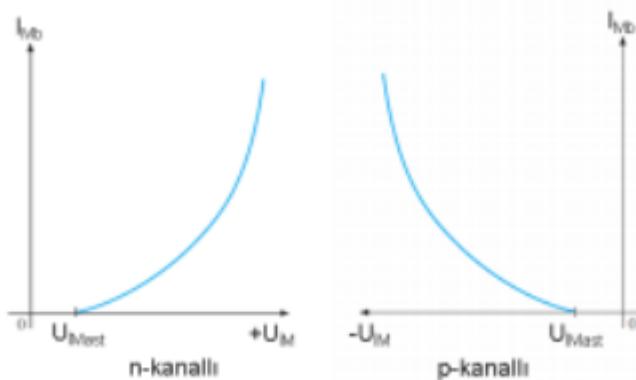
Giriş gərginliyi sıfıra bərabər olduqda ($U_{IM}=0$) hətta çıxış gərginliyi sıfırdan fərqlənsə belə ($U_{MMB} \neq 0$) çıxış cərəyanı I_{MB} , yəni p-n keçidin əks cərəyanı çox kiçik olur. Kanal p-tip olduqda idarəediciyə mənfi potensial verilərsə, bu gərginlik mənbə ilə mənsəb arasında əsas yükdaşıyıcılar olan elektronları dielektrikə yaxın olan təbəqələrdən itələyib çıxarar, p+-ciblərdəki deşikləri oraya cəlb edər və dielektrikin altında elektronlarla yoxsullaşmış təbəqə yaranar. Müəyyən $U_{IM} > U_{ast}$ gərginliyində idarəedicinin altında invers təbəqə (keçiriciliyi altlığın keçiriciliyinə əks olan təbəqə) yaranır. Bu təbəqə mənbə ilə mənsəb arasında keçirici kanal rolunu oynayır. U_{IM} giriş gərginliyi arttıkça kanalda yükdaşıyıcıların konsentrasiyası da artır, yəni kanalın müqaviməti azalır. Bu isə öz növbəsində çıxış cərəyanının artmasına səbəb olur. Deməli, giriş gərginliyini dəyişməklə keçirici kanalın müqavimətini dəyişmək, yəni modulyasiya etdirmək və beləliklə də çıxış cərəyanını idarə etmək olar. Bu tip tranzistorlarda keçirici kanal idarəedici gərginliyin təsirilə yarandığından onlara induksiya olunmuş kanallı MDY-tranzistorlar deyilir.

İdarəedici ilə altlıq arasında dielektrik təbəqəsi olduğundan giriş dövrəsində cərəyan çox kiçik olur. Deməli sərf olunan güc də çox kiçik olur. Belə kiçik güc ilə nisbətən böyük çıxış cərəyanı idarə olunur. Odur ki, induksiyalananmış kanallı MDY-tranzistorlarda elektrik siqnalları gərginliyə və gücə görə gücləndirilir.

Çıxış xarakteristikası giriş gərginliyinin sabit qiymətlərində ($U_{IM}=\text{const}$) $I_{MB}=f(U_{MB}M)$ asılılığıdır. Bu xarakteristikalar sahə tranzistorunun çıxış xarakteristikalarına oxşayır. Fərqli ondadır ki, sahə tranzistorlarında giriş gərginliyi arttıkça əyrilər aşağı – kiçik cərəyanlar oblastına doğru sürüsür, çünki kanalın eni azalır və nəticədə müqaviməti artır. Induksiyalananmış kanalı MDY tranzistorlarda isə giriş gərginliyi arttıkça əyrilər yuxarı – böyük cərəyanlar oblastına doğru sürüsür, çünki kanalda yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır və onun müqaviməti azalır. Çıxış gərginliyinin böyük qiymətlərində ya mənsəb altındakı p-n keçidin, ya da idarəedicinin altındaki dielektrik təbəqəsinin elektrik deşilməsi baş verə bilər.



Şekil 7a. İnduksiyalananmış n- və p-kanallı MDY-tranzistorların çıkış xarakteristikaları



Şekil 7b. İnduksiyalananmış n- və p-kanallı MDY-tranzistorların ötürmə xarakteristikaları

20. MDY-tranzistorun növləri. Hazır kanallı MDY-tranzistor.

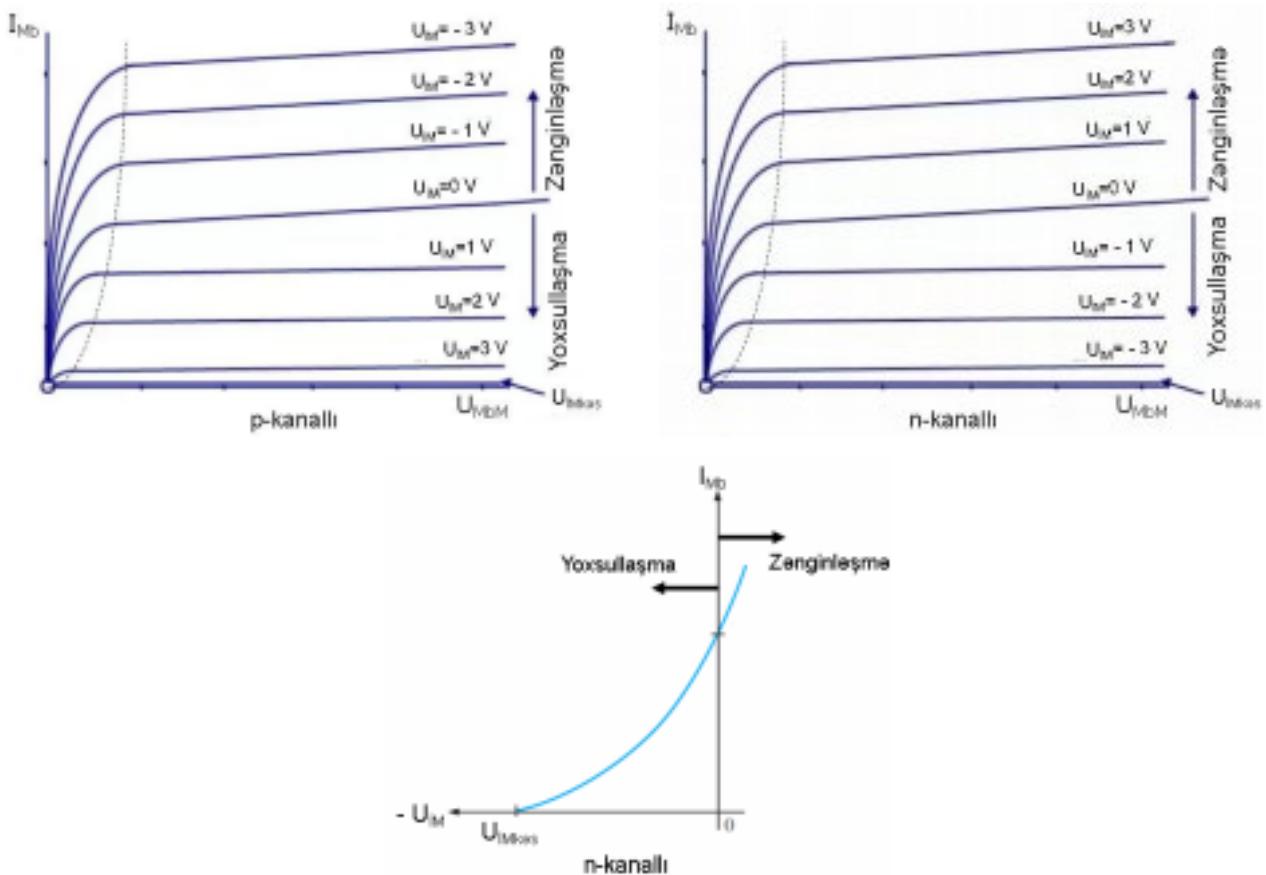
MDY-tranzistorlar iki cür olur: induksiya olunmuş kanallı və hazır kanallı tranzistorlar. Hər iki halda nisbətən yüksək müqavimətli yarımkəcərici altlıq üzərində əks keçiricilik tipinə malik olan və güclü aşqarlanmış oblastlar yaradılır. Bu oblastların üzərinə metal elektrodlar çökdürülür: mənbə və mənsəb. Mənbə ilə mənsəb arasındaki məsafə bir neçə mikrometr olur. Onların arasında altlığın üzərinə nazik, 0,1 mkm qalınlıqlı dielektrik təbəqəsi çəkilir. Dielektrikin üzərinə isə idarəedici elektrod çökdürülür. Beləliklə idarəedici elektrod nazik dielektrik təbəqəsi ilə yarımkəcərici altlıqdan təcrid (izolə) edilmiş olur. Qeyd edək ki, mənbə və mənsəb altında düzləndirici elektrik kontaktı təkcə p-n kecid yox, Şottki kontaktı da ola bilər. Yəni metal elektrodlar birbaşa yarımkəcərici altlığın üzərinə çökdürülə bilər. Bu halda bəzi üstünlüklər əldə edilir. Məsələn, Şottki kontaktlarının eni nisbətən az olduğu üçün qısa kanallı sahə tranzistorlarının yaradılması asanlaşır; Şottki kontaktlı MDY-tranzistorları elə yarımkəcərici materiallar üzərində hazırlanıa bilər ki, onlarda keyfiyyətli p-n kecidlər alınmır və s. Hazırda MDY-tranzistorları üçün əsas material Si-dur. Odur ki, dielektrik kimi Si kristalının səthində yaradılmış SiO₂ təbəqəsi istifadə olunur.

Hazır kanallı MDY-tranzistorda keçirici kanal əvvəlcədən aşqarların diffuziyası, ion implantasiyası və ya başqa üsullarla mənbə ilə mənsəb arasında altlıq üzərində yaradılır. Keçirici kanalın müqaviməti idarəedicinin həm müsbət, həm də mənfi potensialında modulyasiya edir.

Verilmiş halda kanal p-tipdir, əsas yükdaşıyıcılar deşiklərdir. Müsbət idarəedici gərginlik deşikləri kanaldan itələyir və yoxsullaşma rejimi yaranır. Bu halda idarəedici gərginliyin mütləq qiyməti artdıqca kanalın müqaviməti də artır və çıkış xarakteristikasından göründüyü kimi çıkış cərəyanı azalır.

Mənfi idarəedici gərginlik deşikləri kanala cəlb edir, kanalın müqaviməti azalır və çıkış cərəyanı artır.

Öturmə xarakteristikasından göründüyü kimi, $U_{IMkəs}$ kəsilmə gərginliyində kanal o qədər yoxsullaşır ki, çıkış cərəyanı demək olar ki, sıfır qiymət alır. Burada 1-ci kvadrant idarəedici gərginliyin müsbət qiymətlərinə, yəni yoxsullaşma rejiminə, 2-ci kvadrant isə mənfi qiymətlərinə, yəni zənginləşmə rejiminə uyğundur.



21. Tiristorlar: növləri, quruluşu, xarakteristikaları.

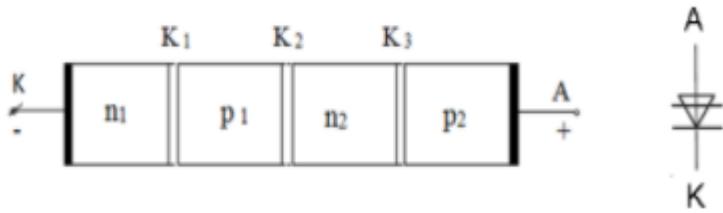
Qarşılıqlı təsirdə olan 3 p-n keçidli və bu keçidləri yaradan 4 hissədən ibarət yarımkəçirici cihaz tiristor adlanır. Tiristor 2 dayanıqlı hal ilə xarakterizə olunur: bağlı hal – yüksək müqavimətli, açıq hal – aşağı müqavimətli. Bağlı vəziyyətdə tiristordakı gərginlik 1000 V və yuxarı, açıq halda tiristordan axan cərəyanlar isə onlarla amperdən bir neçə yüz amperə qədər dəyişə bilər. Tiristorlar ən çox elektron açarı kimi və güc elektronikasında (elektrik maşınlarda, düzləndiricilərdə (dəyişən cərəyanı sabit cərəyana çevirmək üçün), invertorlarda (sabit cərəyanı dəyişən cərəyana çevirmək üçün)) geniş istifadə olunurlar.

Tristordakı yarımkəçirici hissələrin elektrik keçiriciliyinin tipləri ardıcıl dəyişir. Kənar oblastlar emitter və müvafiq olaraq kənar keçidlər (K1 və K3) emitter keçidləri, orta oblastlar baza, orta kecid (K2) isə kollektor keçidi adlandırılır. Beləliklə, tiristorda 2 emitter (n1 və p2) və 2 baza (p1 və n2) var.

Müxtəlif növ tiristorlar mövcuddur. Elektrodlarının (çıxışlarının) sayına görə tiristorlar iki və üç elektroldu olurlar. İki elektroldlu tiristor – dinistor (idarə olunmayan tiristor və ya diod tiristoru), üç elektroldlu tiristor – trinistor və ya idarə olunan tiristor (triod tiristoru) adlanır. Dinistor və trinistorlar cərəyanı yalnız bir istiqamətdə keçirirlər. Cərəyanı hər iki istiqamətdə keçirən tiristorlar simistor (simmetrik tiristor) adlanırlar.

22. Dinistor: quruluşu, iş prinsipi, VAX-I

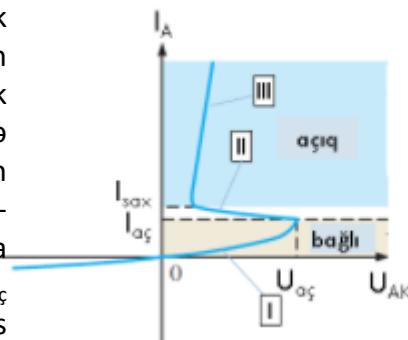
2 elektroldlu tiristorun işləməsinə baxaq (şək. 1). Xarici gərqiqlik belə cihazın n1 – kənar hissəsinə mənfi, p2 – kənar hissəyə müsbət olmaqla tətbiq olunur. Bu zaman kənar K1 və K3 keçidləri düz istiqamətdə, orta K2 keçidi isə əks istiqamətdə qoşulur.



Şəkil 1. Dinistorun quruluşu və şərti işaretesi

Xarici U gərginliyinin əsas hissəsi kollektor keçində düşür; ona görə də tiristorun VAX-inin I hissəsi (şək. 2) adı diodon əks xarakteristikasına uyğundur - cərəyan kiçik, gərginlik düşküsü isə böyükdür.

Tiristora tətbiq olunan gərginlik artdıqca, K1 və K3 emitter keçidlərindəki gərginlik düşküləri və, deməli, onlardan yükdaşıyıcıların injeksiyası da artır. Böyük anod gərginliklərində K2 kollektor keçidində selvari deşilmə hadisəsi də baş verir. Bütün bu hadisələr UA gərginliyi artdıqca n2-bazada yığılan elektronların və p1-bazada deşiklərin miqdarnı artırır və $UA=U_{ac}$ gərginliyində kollektor keçidi əks istiqamətdən düz istiqamətə qoşulur.



Şəkil 2.

Bu halda tiristor sıçrayışla bağlı haldan açıq hala keçir (VAX-in II hissəsi), yəni IA cərəyanı kəskin artır, UA gərginliyi isə kəskin azalır. Bu isə VAX-da mənfi diferensial müqaviməti hissənin olduğunu göstərir. VAX-in II hissəsi dayanıqsızdır; tiristor bu halda çox qısa müddətdə olur. Açıq halda (VAX-in III hissəsi) dinistorun VAX-ı diodon düz xarakteristikasına uyğun gəlir.

Beləliklə, tiristor 2 dayanaqlı vəziyyətdə ola bilər: böyük gərginlik düşküsü və kiçik cərəyanla xarakterizə olunan bağlı hal, kiçik gərginlik düşküsü və böyük cərəyanla xarakterizə olunan açıq hal.

Tiristor o vaxta qədər açıq vəziyyətdə qalır ki, keçən cərəyan hesabına kollektor keçidi düz istiqamətdə qoşulmuş olsun. Tiristordan axan cərəyan $IA < I_{sax}$ (I_{sax} – saxlama cərəyanı – tiristoru açıq vəziyyətdə saxlamaq üçün minimal cərəyandır; $I_{ac} < I_{sax}$ olur) şərtini ödədikdə tiristor yenidən sıçrayışla bağlı hala keçir, yəni kollektor keçidi əks istiqamətdə qoşulur.

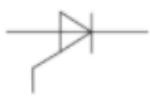
23. İdarəolunan tiristor və ya Trinistor: quruluşu, iş prinsipi, VAX-ı.

Tiristorda emitter keçidlərindən biri idarə olunduqda, yəni açılma gərginliyi idarə olunduqda onun tətbiq imkanları artır. Belə tiristor idarə olunan tiristor və ya trinistor adlanır.

Dinistoru açıq hala keçirmək üçün bazalarda artıq tarazsız daşıyıcıların yığıılması vacibdir. Bu iş gərginliyi açılma qiymətinə qədər qaldırmaqla əldə edilir. Həmin effekt bazalardan birinə əlavə elektrod – idarəedici elektrod birləşdirmək yolu ilə də əldə edilə bilər. İdarəedici elektrod p1-bazaya birləşdirildikdə tiristor katodla idarə olunan (şək. 4, a), n - bazaya birləşdirildikdə isə – anodla idarə olunan (şək. 4, b) adlanır.



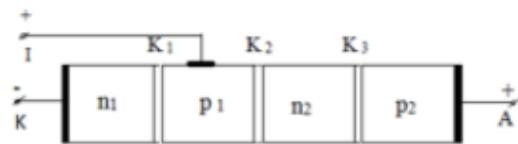
a)



b)

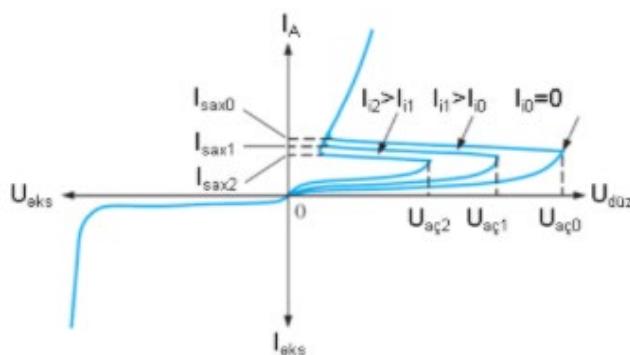
Şekil 4. Trinistorun şərti işareləri:

a) – katodla idarə olunan; b) – anodla idarə olunan

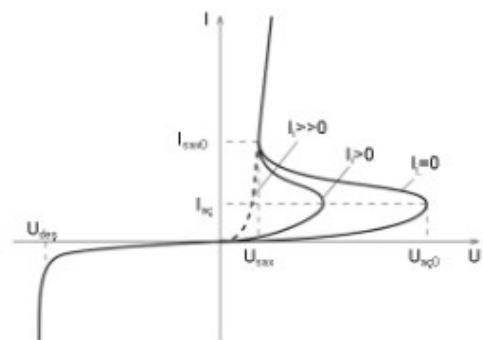


Şekil 5.

İdarəediciyə elə qütblü sabit və ya impuls gərginliyi tətbiq olunur ki, bu bazaya bitişmiş emitter keçidi düz istiqamətdə qoşulsun (şək. 5). Bu zaman n1-emitterindən elektronların cərəyanı artır; bu isə öz növbəsində tiristorun bazalarındaki tarazsız daşıyıcıların sayını artırır və tiristordakı anod gərginliyi açılma gərginliyindən az olduqda belə tiristorun açılmasına gətirir. Başqa sözlə, idarəediciyə gərginlik tətbiq etdikdə emitterin cərəyanını və, deməli, tranzistorlardan birinin ötürülmə əmsalını tənzim etmək olar. Beləliliklə, tiristorun açılma gərginliyini idarə etmək olar. İdarəedici cərəyan (I_i) artıqca açılma gərginliyinin qiyməti azalır (şək. 6, a). I_i cərəyanının kafi qədər böyük qiymətində tiristorun VAX-ı diodun düz xarakteristikası ilə eyni olur, yəni tiristor birbaşa açıq hala keçir (şək. 6, b – $I_i > 0$).



a)



b)

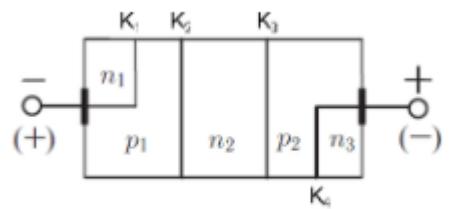
Şekil 6.

24. Simistor: quruluşu, iş prinsipi, VAX-ı.

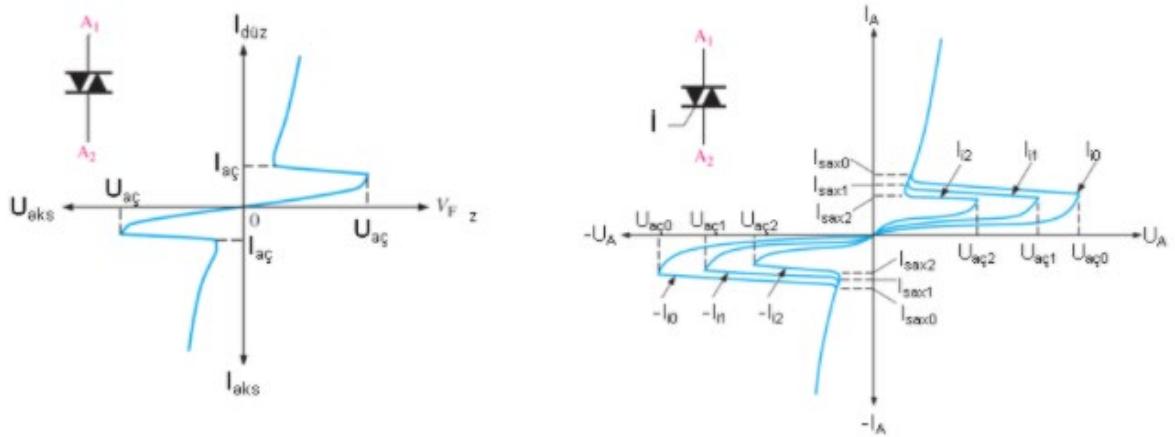
Simmetrik tiristor keçiriciliyi ardıcıl dəyişən 5 hissədən və bu hissələrin yaratdığı 4 p-n keçiddən ibarət olan yarımkəcərıcı cihazdır. Kənar keçidlər bunlara birləşən hissələrin həcmi müqavimətləri ilə şuntlanmışdır (şək. 7). Əgər bu tiristorun n1-hissəsinə qida mənbəyinin müsbət və n3-hissəsinə mənfi qütbünü birləşdirsek, onda K1 keçidi əks istiqamətə qoşulmuş olur. K1 keçidi bağlı olduğundan tiristordan axan cərəyan şuntlayıcı

p1-hissəsindən keçir. Bu zaman tiristorun işçi hissəsi p1-n2-p2-n3 quruluşu olur və bu quruluşda adı dinistordaki hadisələr baş verir, yəni xarici gərginliyin müəyyən qiymətində belə tiristor bağlı haldan açıq hala keçir. Xarici gərginliyin qütb'lərini dəyişsək, K4 keçidi əks istiqamətdə qoşulur, yəni o bağlı olur, tiristorun cərəyanı şuntlayıcı p2-hissədən axır. Bu zaman tiristorun işçi hissəsi n1-p1-n2-p2 quruluşu olur. Bu dinistor da xarici gərginliklə bağlı haldan açıq hala və əksinə keçə bilər.

İdarə olunmayan və idarə olunan simmetrik tiristorların şərti işarələri və VAX-ları şək. 8-də göstərilmişdir.



Şəkil 7.



Şəkil 8.

27. Yarımkeçiricilərdə diffuziya və dreyf cərəyanları.

Metallardan fərqli olaraq, yarımkeçiricilərdə 2 növ cərəyan mövcuddur: dreyf və diffuziya cərəyanları.

Yükdaşıyıcıların elektrik sahəsində istiqamətlənmiş hərəkəti **dreyf cərəyanı** adlanır.

Yarımkeçiricilərdə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası metallardakına nəzərən minlərlə dəfə kiçik olduğundan kristalın müəyyən bir hissəsində onların artıq konsentrasiyasını yaratmaq olar. Başqa sözlə, yarımkeçiricidə müxtəlif xarici təsirlər vasitəsilə yükdaşıyıcıların konsentrasiya qradientini yaratmaq olar. Konsentrasiya qradienti yükdaşıyıcıların istiqamətli hərəkətinə səbəb olur ki, bu da **diffuziya cərəyanı** adlanır. kT/q Eynsteyn tənliyi adlanır.