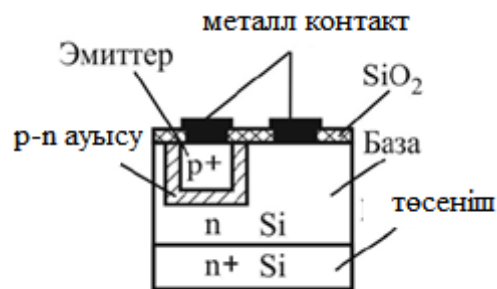


Жартылай өткізгіш диодтар

Жартылай өткізгіш диодтың алыну материалына қарай (селендік, германилік, кремнийлік, арсенид-галлийлік); өткелдің структурасы бойынша (нүктелік, жазықтықтық); қызметіне қарай (түзеткіш, импульстік, стабилитрондар және т.б.); жиілігіне қарай (төменгіжиілікті, жоғарыжиілікті, өте жоғарыжиілікті диодтар); вольт-амперлік сипаттамасына қарай және т.б. болып бөлінеді.

Технологиялық процесстерге байланысты жасалынатын диодтар: микросплавты, сплавты, диффузиондық, планар-эпитаксиалдық диодтар болып бөлінеді. Планар-эпитаксиалды технология арқылы жасалған жартылайөткізгішті диодтың түрі сурет-6.4 көрсетілген.



Сурет-6.4. Планар-эпитаксиалды технология арқылы жасалған жартылайөткізгішті диод

Жартылайөткізгішті диодтардың шартты графикалық белгіленулері сурет-6.5 көрсетілген. Диодтың шығыстары катод және анод деп аталады. Катод – құрылғының шығысы, яғни ток бұл арқылы сыртқы тізбекке өтеді. Анод – құрылғының шығысы, яғни ток сыртқы тізбектен құрылғыға өтеді.



Сурет-6.5. Диодтардың шартты белгіленуі

Диодтың вольт-амперлік сипаттамасы, тесік және жалпы параметрлері. Диод арқылы ағатын тоқтың тәуелділігі, түйініне басылған мөлшерден керағарлығына дейінгі сыртқы кернеулік диодтың ВАС-ы деп аталады:

$$I(U) = I_0(T)(e^{\frac{qU}{kT}}) = I_0(T)(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1) \quad (6.9)$$

$\varphi_T = kT/q$ -жылу потенциалы 26мВ $T=300K$ тең, $I_0(T)$ - температураға қатты тәуелді кері қанығу тоғы,. (6.9) теңдеуді теориялық немесе идеалды диодтың ВАС-ы деп аталады.

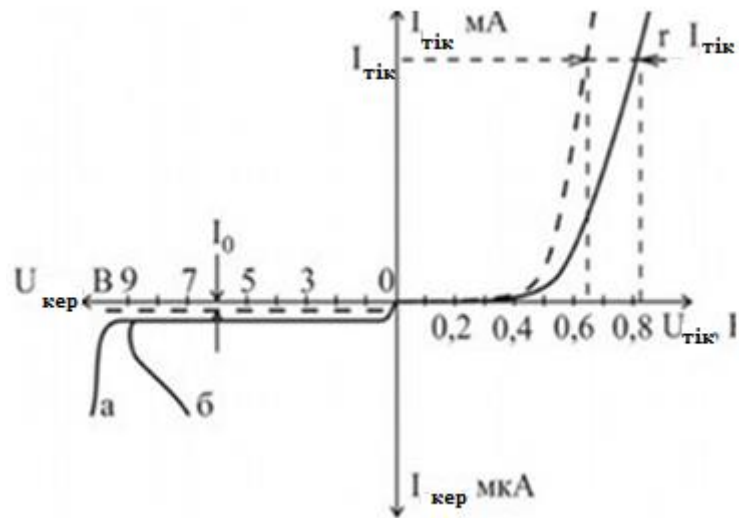
$$I(U) = I_0(T)(e^{\frac{q(U-r_{nl})}{kT}} - 1) \quad (6.10)$$

6.9-теңдеуінде шынайы ВАС(түзу сызық) және теориялық ВАС (үзік сызық) көрсетілген. Шынайы ВАС-ның тура тармағы, (6.10) – бойынша, $I_T=const$ кезіндегі тура кернеудің үлкен мәндеріне қарай жылжытылған. Кері кернеу аумағындағы шынайы және теориялық ВАС-ның айырмашылығы кедейленген қабаттағы заряд тасушылардың жылулық генерациялануы. Кері кернеу $U_{кер}$ өскен сайын кедейленген қабаттың көлемі де өсіп, электронды-кемтікті будың термогенерациялану процестерінің саны да арта түседі, сол себепті кері ток та ұлғаяды. Сондықтан $I_{кер}$ тұрақты болып қалмай, $U_{кер}$ артқан сайын, жаймен арта береді. Сонымен қатар, кері кернеу $U_{проб}$ пробой кернеуі деп аталатын сындық мәнге келгенде, кері токтың бірден артуы байқалады. Бұл құбылыс диод өткелінің пробойы (бұзылуы) деп аталады.

Пробойдың негізгі екі түрі бар: электрлік және жылулық. Өз кезегінде электрлік пробой лавиналық және туннельді болып бөлінеді. Лавиналық пробой легирлейтін қоспаның концентрациясы жоғары емес ($N < 10^{17} \text{см}^{-3}$) аймақтармен пайда болған кең өткелді диодтарға тән. Егер заряд тасушылардың еркін жүру қашықтығының ұзақтығы өткел енінен аз болса, онда кері кернеудің үлкен мәнінде заряд тасушыларда шалаөткізгіш атомдараның иондалуының лавина тәріздес күшеюіне жетерліктей кинетикалық энергия пайда болады, бұл кері кернеу аз өзгерген кезде токтың күрт артып кетуіне алып келеді.

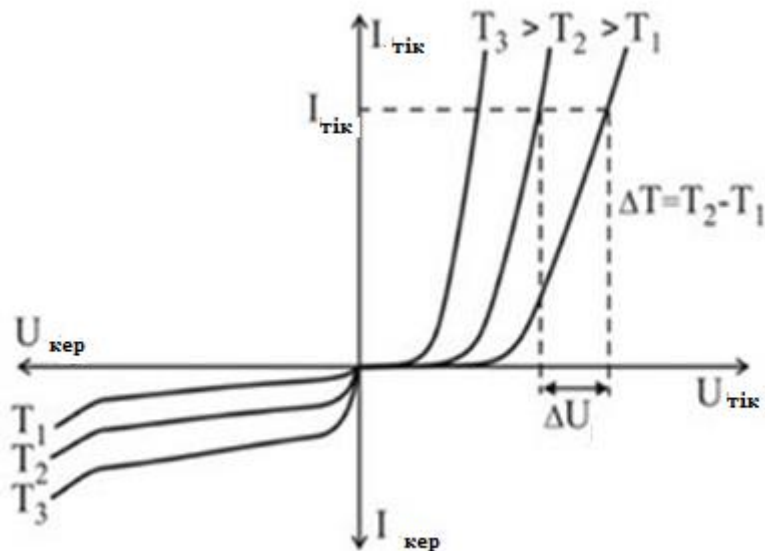
Туннельді пробой легирлейтін қоспаның концентрациясы жоғары ($N > 10^{18} \text{см}^{-3}$) аймақтармен қалыптасқан тар өткелді диодтарда болады. Туннельді пробой квантты-механикалық туннельдік эффектiге негiзделген.

Жылулық пробой электрлік ауысудың қатты қызып кетуінен пайда болады. Термогенерацияның салдарынан өткелдегі тасушылардың диодтағы кері тоғы ұлғаяды және пайда болатын қуат өткелдің қызып кетуіне әсер етеді. Егер де диодтың температурасы шекті мәнінен асатын болса, онда өткелдің структурасы қалпына келмейтіндей болып, диод бұзылады. Жылулық пробой аумағында (сурет-6.6 қисығы) $I_{кер}$ өскенде $U_{кер}$ азаяды.



Сурет-6.6. Диодтың ВАС-ы

Диодтың ВАС-на қоршаған ортаның температурасы да тікелей әсер етеді (сурет-6.7). Температура жоғарылаған сайын, экспоненциалдық заңдылық $e^{-\Delta W/kT}$ бойынша ток I_0 де ұлғаяды. Мұндағы ΔW -жартылайөткізгіш материалының тыйым салынған зонасының ені.



Сурет-6.7. Температураға тәуелді диодтың ВАС-ы

Белгіленген кернеу кезінде $U_{\text{пр}}$ температура жоғарылаған сайын диодтың тура тоғы да өседі немесе белгіленген тура ток кезінде $I_{\text{пр}}$ диодтағы кернеу азаяды. Температураның диод ВАС-ның тура тармағына әсерін температуралық кернеу коэффициентімен анықтаймыз

$$TKH = \left. \frac{\Delta U_T}{\Delta T} \right|_{I_T = \text{const}}$$

Диодтар бір-біріне ортақ болатын параметрлер тізімінен тұрады. Оларға жататындар:

- Өткел температурасының диапазоны $T_{\min} \dots T_{\max}$;
- Максималды белгіленген тура ток $I_{T \max}$, бұл кезде температура максимал мәніне жетеді.
- Максимал кері кернеу $U_{\text{кер} \max}$, р-п-ауысуында пробой болмайды, көбінесе $U_{\text{кер} \max} < 0,8U_{\text{проб}}$;
- Тура және кері максималды қуат:

$$P_{T \max} = (T_{\max} - T_0)/R_T \quad (6.11)$$

$$P_{\text{кер} \max} = (T_{\max} - T_0)/R_T \quad (6.12)$$

мұндағы T_0 – қоршаған ортаның температурасы; R_T – өткелдің жылулық кедергісі;

- Диодтың тура және кері статикалық кедергісі (тұрақты ток кедергісі):

$$R_T = \frac{U_T}{I_T} \quad R_{\text{кер}} = U_{\text{кер}}/I_{\text{кер}} \quad (6.13)$$

- Тура және кері дифференциалдық кедергі (айнымалы ток кедергісі):

$$r_T = \Delta U_T / \Delta I_T \quad r_{\text{кер}} = \Delta U_{\text{кер}} / \Delta I_{\text{кер}} \quad (6.14)$$

- Диодтың дифференциалдық кедергісі статикалықтан әлдеқайда кіші болады.

$$K_B = I_T / I_{\text{кер}} = e^{U_p / U_T} \gg 1 - \text{түзету коэффициенті.}$$

Екі сыйымдылықтық параметрімен сипатталатын, зарядтардың жиналу механизмы екі түрлі болады.

Барьерлік сыйымдылық р-п-ауысуындағы иондалған атомдардың электрлік зарядтары көлемді болуын көрсетеді, оны жазық конденсатор ретінде қарастыруға болады. Конденсатордың аумағын р-п-ауысуының ені δ арқылы анықтайды.

$$C_{\text{бар}}(U) = \varepsilon \frac{S}{\delta(U)} = \frac{C_0}{(1 + U/\phi_k)^\gamma} \quad (6.15)$$

мұндағы S – өткелдің көлденең ауданы,

$$C_0 = S \sqrt{\frac{\varepsilon q}{2\phi_k}} \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} \quad - \text{ кернеу } 0\text{-ге тең кездегі барьерлік}$$

сыйымдылықтың өлшемі;

$\gamma = 1/3 \dots 1/2$ – легіріленген өткелдің параметрі.

U – өткелдегі кері кернеу.

Диффузиондық сыйымдылық р-п-ауысуының тура қосылу кезіндегі негізгі емес тасушылардың жиналуын көрсетеді. Диффузиондық сыйымдылықтың өлшемі өткелдің тура тогына тура пропорционал:

$$C_{\text{диф}} = \frac{r_{\text{эф}} I_T}{\varphi_T} = \frac{r_{\text{эф}}}{r_T} \quad (6.16)$$

мұндағы $\tau_{\text{эф}}$ - негізгі емес заряд тасушылардың эффективті уақыты. Өткелдің 10 мА тогы кезінде диффузиялық сыйымдылық ондаған-жүздеген нанофарадка барады. Симметриялық емес өткел жағдайында әр түрлі салмақты заряд тасушылар диодтың базасында жинақталады.

Ортақ параметрлермен қатар диодтар, тек қана сол диодқа ғана тиесілі арнайы параметрлермен де сипатталады.

Түзеткіш диодтар 50-ден 20000 Гц жиілік аралығындағы айнымалы токты бір бағытта жүретін (пульсирующий) токқа түрлендіру үшін арналған және әр түрлі мақсатта қолданылатын радиоэлектронды аппараттардың қорек көздерінде кеңінен қолданылады. Мұндай диодтар үшін шалаөткізгіш материал ретінде алғашқы кездері германий қолданылған, ал қазір кремний мен галлий арсениді қолданылады. Түзеткіш диодтардың жұмыс істеу принципі р-п-өткелдің вентильді қасиетіне негізделген. Аз қуатты диодтар 300 мА-ге дейінгі токтарды түзетуге, орта және жоғарғы қуаттағы диодтар сәйкесінше 300 мА-ден 10 А-ге дейінгі және 10 А-ден 1000 А-ге дейінгі токтарды түзетуге арналған. Кремнийлік диодтардың германийлік диодтармен салыстырғандағы артықшылықтары: аз кері токтар; қоршаған ортаның аса жоғары температураларында және кері кернеулердің жоғары мәндерінде қолдану мүмкіндігі. Германийлік диодтардың артықшылығы – тура ток өткен кезде кернеу түсуінің мәнінің аздығы 0,3...0,6 В (кремнийдегі 0,8...1,2 В-пен салыстырғанда).

Түзеткіш диодтар ретінде симметриялы емес р-п-өткел негізінде жасалған жазықтық (плоскостный), балқытылған (сплавный), диффузиондық және эпитаксиальды диодтар қолданылады. Үлкен ауданға байланысты өткелдің барьерлік сыйымдылығы жоғары болады және оның мәні ондаған пикофарадка жетеді. Германийлік диодтарды 70-80 С⁰-тан аспайтын температураларда қолдануға болады, кремнийлік диодтарды – 120 – 150 С, галлий арсенидтік диодтарды – 240-280 С⁰-та. Галлий арсенидті диодтың тағы бір артықшылығына заряд тасушылардың қозғалғыштығының жоғары болуы жатады және бұл оларды 100-500 кГц аралығында қолдануға мүмкіндік береді.

Аз қуатты төменгі жиілікті түзеткіш диодтардың максимал кері кернеуі ондаған вольттан 1200 В аралығында жатады. Жоғары кернеулер үшін өндірісте түзеткіш бағаналар (выпрямительные столбы) шығарылады, олар бір корпуста бірнеше тізбектей қосылған диодтарды пайдаланады. Германийлік диодтар үшін кері ток мәні 300 мкА-ден аспайды, ал кремнийлік диодтар үшін 10 мкА-ден аспайды.

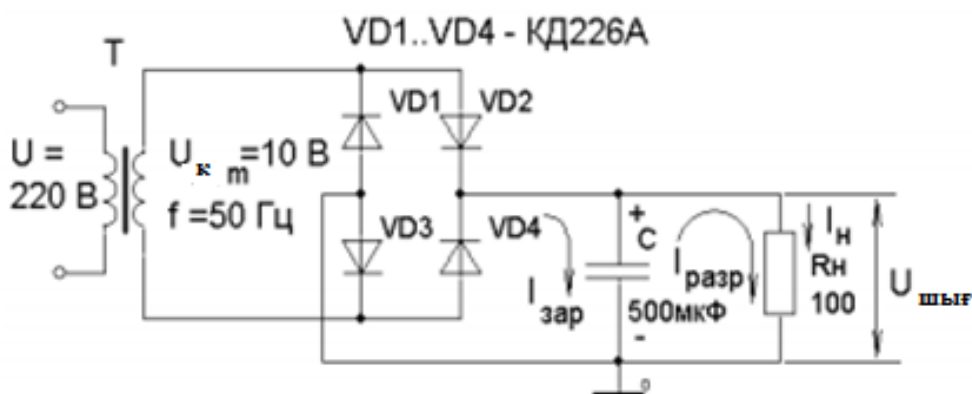
Қуатты (күшті) диодтар жиілік қасиеттері бойынша жіктеледі де ондаған Гц-тен ондаған кГц-ке дейінгі жиілік диапазонында жұмыс жасайды және көбіне кремнийден жасалынады.

Үлкен мәндегі тура ток кезіндегі және жоғары кері кернеу жағдайындағы жұмыс р-п өткелде үлкен мәндегі қуаттың бөлінуімен байланысты. Сондықтан орта және жоғары қуатты диоды бар қондырғыларда салқындатқыштар – ауа және сұйықпен салқындайтын радиаторлар қолданылады. Ауа арқылы салқындау кезінде жылу радиатор көмегімен шығарылады. Мұндай жағдайда салқындау табиғи (ауа конвекциясы есебінен) (естественный) немесе мәжбүрлі (принудительный) (қондырғы корпусы мен радиаторды вентилятор көмегімен үрлеу арқылы) болуы мүмкін. Сұйық арқылы салқындау кезінде радиаторға арнайы каналдар арқылы жылу алып шығатын сұйықтар (су, антифриз, трансформаторлық май, синтетикалық диэлектриктік сұйықтар) жіберіледі.

Түзеткіш диодтардың негізгі параметрлеріне мыналар жатады:

- Максимал мүмкін болатын (допустимый) тура ток $I_{T \max}$;
- Диодтағы тура кернеу түсуі U_T ($I_{T \max}$ кездегі);
- Максимал мүмкін болатын кері кернеу $U_{\text{кер} \max}$;
- Берілген кері кернеу кезіндегі кері ток $I_{\text{кер}}$ ($U_{\text{кер} \max}$ кездегі);
- Қоршаған ортаның жұмыс жасай алатын температура диапазоны;
- Түзету коэффициенті K_B ;
- Түзету коэффициентінің 2 есе кішіреюіне сәйкес келетін шекті түзету жиілігі;

Сурет-6.8 екіжартылайпериодты түзеткіш схемасы – түзеткіш диодтарды қосудың типтік схемасы көрсетілген.



Сурет-6.8. Екі жарты периодты түзеткіштің сұлбасы

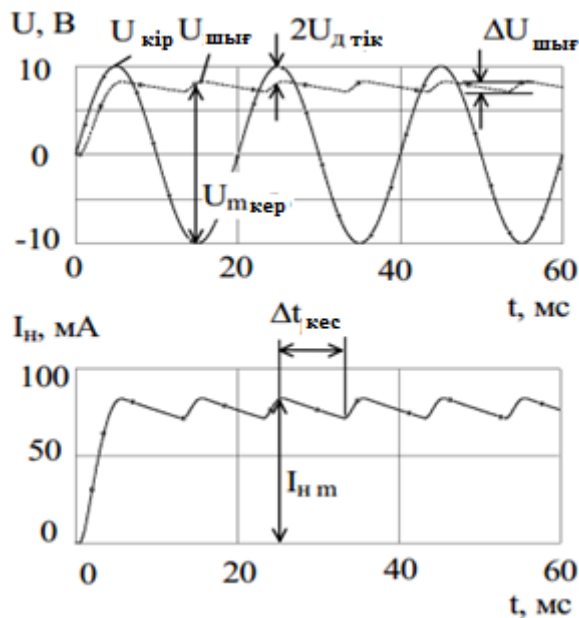
Мұндай атау жүктеме (нагрузка) арқылы өтетін ток кіріс кернеудің екі жарты периодында да ағып өтетініне байланысты қойылған. Схема Т төмендеткіш трансформатордың, иіндеріне (плечо) VD1-VD4 төрт диод жалғанған диодтық көпірден, сонымен қатар C конденсатордан (сглаживающий) тұрады. Айнымалы кернеу көпірдің бір диагоналіне

беріледі, ал жүктеме екіншісіне жалғанады. Кіріс кернеудің оң жарты толқыны әсерінен VD2, VD3 диодтары ашық болады, ал теріс жарты толқын әсерінен – VD1, VD4. Бұл схемадағы кіріс, шығыс кернеудің, жүктеме тогының формалары сурет-6.9 көрсетілген. Берілген схемадағы конденсатор жүктемедегі пульсирлеуші кернеуді тегістеуді, деңгейлестіруді (сглаживание) қамтамасыз етеді. Бұл периодтың бір бөлігі аралығында қорек көзінен зарядталудан және іс жүзінде кіріс кернеудің периодының жартысына $\Delta t_{\text{разр}} \approx T/2 = 1/(2 \cdot f)$ тең болатын уақыт аралығында жүктеме арқылы разрядталу есебінен жүзеге асады. Жүктеме тогының $I_{\text{н м}}$ максимал мәнінде жүктемедегі кернеу соғуының (пульсация) $\Delta U_{\text{шығ}}$ амплитудасын қамтамасыз ететін конденсатор сыйымдылығы мына өрнек бойынша анықталады:

$$C = \frac{I_{\text{н м}}}{(2\Delta U_{\text{шығ}} \cdot f)} \quad (6.17)$$

Берілген схемада теріс жарты толқынның әсері кезінде бір диодқа берілетін кері кернеудің максимал мәні іс жүзінде кіріс кернеудің амплитудасына тең:

$$U_{\text{м обр}} \approx U_{\text{к м}} \quad (6.18)$$



Сурет-6.9. Кіріс, шығыс кернеудің жүктеме тогының формалары

Жоғары жиілікті (детекторлы) диодтар жоғары жиілікті электр сигналдарын түзетуге арналған. Төменгі жиілікті түзеткіш диодтар сияқты белгіленеді. Радиоқабылдағыштарда, телеарналарда және басқа да аппараттарда (детекторлар және демодуляторлар) қолданылады. Төменгі

жиілікті түзеткіштерге қарағанда $I_{пр\ max}$ және $U_{обр\ max}$ шамалары аз болады. Жоғары жиілікті диодтарда меншікті сыйымдылықтың минимал мәнін алуға тырысады, себебі жеткілікті жоғары жиілікте бұл сыйымдылықтың реактивті кедергісінің мәні диодтың р-п-өткелінің кері кедергісінің мәнінен аз болады, яғни түзету әсері (эффект выпрямления) (детектілеу) тез азаяды. Р-п-өткелдің ауданын, осының әсерінен сыйымдылығын төмендету үшін, диодтың нүктелік конструкциясын қолданады. Нүктелік диодтардың барьерлік сыйымдылығы 1пФ-тан аспайды, ал жұмыс жасайтын жиілігі 150 МГц не одан да жоғары болады.

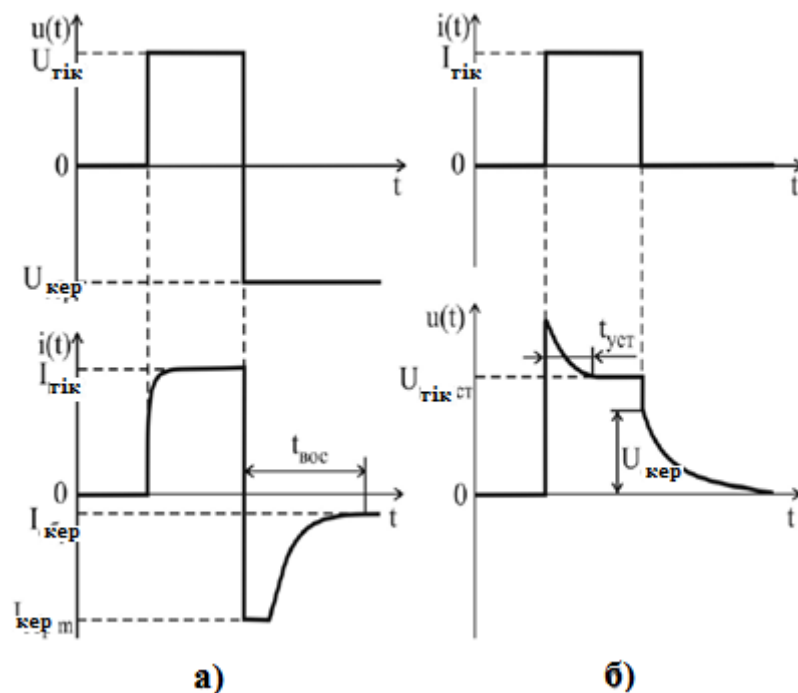
Диод сыйымдылығы корпус сыйымдылығы мен р-п-өткел сыйымдылығының қосындысы болып табылады ($C_d = C_k + C_p$). C_k корпус сыйымдылығының азаюы арнайы құрастырылған корпуссты қолдану әсерінен болады. Осы мақсатта жоғары жиілікті диодтар көбіне корпуссыз жасалады, мұндай жағдайда олар гибриді интегралды схемалардың немесе герметикалық корпусқа орналасатын модульдің құраушы бөлігі ретінде қолданылады.

Нүктелік диодтың ВАС-ның тура тармағы іс жүзінде р-п-өткелдің реал ВАС-нан айырмашылығы болмайды, ал кері тармағында ешқандай анық білінетін қанығу аймағы болмайды, бұл тасқындық көбею (лавинное умножение) әсерінен болатын нүктелік байланыстың біртектісі өрісінде заряд тасушылардың генерация процесінің болуымен түсіндіріледі.

Импульсты диодтар импульсты және сандық қондырғыларда жұмыс жасауға арналған. Түзеткіштер сияқты белгіленеді және өтпелі процестердің ұзақтығы аз болады. Түзеткіш диодтардан р-п-өткелінің сыйымдылығының аздығымен ерекшеленеді және диодтың өтпелі сипаттамаларын анықтайтын бірнеше параметрлермен сипатталады. р-п-өткелдің ауданын кішірейту арқылы сыйымдылықты азайтуға болады, сондықтан таралудың мүмкін болатын қуатының шамасы жоғары болмайды (30...40 мВт).

Диодқа кернеудің немесе токтың қысқа уақытты тікбұрышты импульстері әсер еткенде диодтан кейінгі токтың немесе кернеудің формасы тікбұрыштан өзгеше болады, бұл базадағы заряд тасушылардың жинақталу және таралу процестерінің инертті болуына, сонымен қатар, барьерлік сыйымдылығының тым көп зарядталуына байланысты. Ток пен кернеудің аз мәнінде өтпелі процесс ұзақтығы барьерлік сыйымдылықпен, ал үлкен мән болғанда диффузиялықпен анықталады.

Сурет-6.10 ток пен кернеудің жоғары деңгейіндегі диодтағы өтпелі процестер көрсетілген.



Сурет-6.10. Ток пен кернеудің жоғары деңгейіндегі диодтағы өтпелі процестер

Диодқа тура кернеу берген кезде ток бірден бола қоймайды, себебі уақыт өтуімен базада инжекцияланған негізгі емес тасушылардың жинақталуы және оның кедергісінің төмендеуі болады. Ток импульсының алдыңғы фронты бұрмаланады (сурет-6.10 а). Дегенмен берілген процесс кері қалпына келу уақытымен $t_{вос}$ сипатталатын диодты тура кернеуден керіге қосқан кезде болатын процестерден қысқа болады. Сонымен қатар, алғашқы кезде кері токтың шамасы I_k -ға дейін бірден өседі. Бұл базаның заряд тасымалдаушыларының интенсивті таралуы, әрі қарай кері қанығу тогына $I_0(T)$ (6.9 өрнегіндегі) тең болатын стационар мәніне дейін экспоненциалды азаюының салдарынан болады. Диодтан тура ток импульсын жіберген кезде бастапқы кезде кернеу шығарылуы (выброс) (сурет-6.10 б) байқалады. Ал бұл инжекцияланған тасушылар базада жинақталып, оның кедергісін төмендетпейінше үлкен кернеу түсуінің әсерінен болады. Бұл процесс тура кернеу орнығу уақыты $t_{уст}$ деп аталатын диод параметрімен сипатталады. Тура токты өшіргеннен кейін диодта шамасы инжекцияланған заряд тасушылардың санына тәуелді болатын $U_{ост}$ қалады. Қалдық кернеу тасушылардың рекомбинациясына байланысты азаяды.

$t_{вос}$ -ты азайту үшін шалаөткізгішті структураның көлемін азайтып, негізгі емес заряд тасушылардың рекомбинациясының жылдамдығын арттыру қажет. Бұлар импульсты диодтарды жасап шығару технологиясымен жүзеге асады: рекомбинация центрін ("қақпан") шығару үшін бастапқы материалға нейтрал қоспа қосу арқылы (көбіне алтын).

Импульсты диодтар бірнеше арнайы параметрлермен сипатталады:

- диодтың жалпы сыйымдылығы C_d (пикофардтың оннан бір бөлігіндей);
- максимал импульсты тура кернеу $U_{T \max}$ и ;
- максимал мүмкін болатын импульсті ток $I_{T \max}$ и ;
- тура кернеу орнау уақыты $t_{уст}$ - диодтан тура токтың өтуінің басталған кезі мен диодтағы тура кернеу орныққан мәнің 1,2-дей болатын кез арасындағы уақыт интервалы.
- диодтың кері қалпына келу уақыты $t_{вос}$ - токтың нөлдік деңгейден өту кезеңінен бастап кері токтың берілген мәнге жеткен кезге дейінгі диодтың берілген тура токтан берілген керу кернеуге ауысу уақыты.

$t_{вос}$ -ты азайту үшін импульсты диодтардың арнайы түрлерін қолданады:

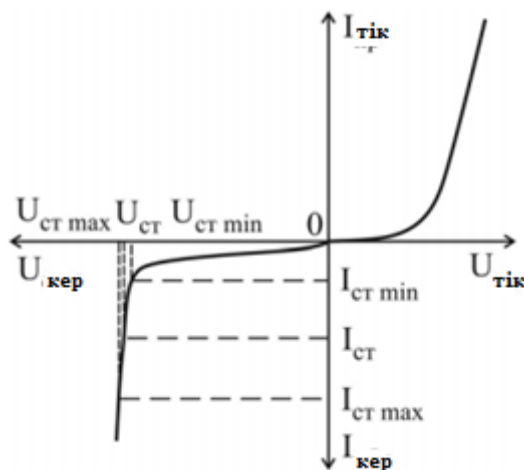
Шотки барьері бар диодтар (ДБШ), заряд жинақтаушы диодтар (ДНЗ). ДБШ-да өткел металдағы шығу жұмысы шалаөткізгіштегі шығу жұмысынан жоғары болатын түзеткіш металл-шалаөткізгіш байланысына негізделіп жасалған. Мұндай диодтарда зарядтардың базада жинақталуына және таралуына уақыт жұмсалмайды, олардың тез жұмыс жасайтындығы барьерлік сыйымдылықтың қайта зарядталу процесінің жылдамдығынан ғана тәуелді болады. Бұл диодтардағы инжекция бір бағытты болады, электрондарды шалаөткізгіштен олар жалғыз заряд тасушы болып табылатын металға инжекциялайды. Осы себепті негізгі емес заряд тасушылардың базада жинақталуы болмайды. ДБШ n-типті төменгі омды кремнийден жасалған пластина түрінде болады, оның үстіне электрөткізгіштігі бірдей болатын жоғары омды эпитаксиалды пленка жабылған. Пленканың бетіне вакуумдық шандату арқылы металл қабаты орнатылған. Жалпы, ДБШ-дың инерттілігі 0.01 пФ-тан кем болатын түзеткіш байланыстың (контакт) барьерлік сыйымдылығымен анықталады.

ДНЗ-да база ұзындығы бойынша бірдей емес легирленген болып жасалады. p-n-өткелге жақындаған сайын базадағы қоспаның концентрациясы азая түседі, сондықтан, егер базаның өткізгіштігі n-типті болса, базадағы негізгі тасушылардың - электрондардың концентрациясы да бірдей болмайды. Осының есебінен электрондар p-n-өткелге қарай диффузияланады, ал база түбінде донорлық қоспа атомдарының артық оң зарядтары, өткелге жақын жерде электрондардың артық заряды қалады. Осы зарядтардың арасында өткелге қарай бағытталған электр өрісі пайда болады. Осы өрістің әсерінен диодтың тура қосылуы кезінде базаға инжекцияланған кемтіктер өткелдің шекарасына жақын базада жинақталады. Диодты турадан кері бағытта қосқан кезде осы кемтіктер өткел ішіндегі өрістің әсерінен жылдам базадан эмиттерге өтеді және кері кедергінің қалпына келу уақыты азаяды. Осындай диодтарды жасау үшін меза- және эпитаксиалды технология қолданылады.

Жартылайөткізгішті стабилитрон - кернеу тұрақтандыруға арналған, бойынан берілген диапазонда ток өткен кезде кернеуі белгілі бір дәлдікпен сақталатын шалаөткізгішті диод. Стабилитрондардың жұмыс істеу принципі кері ығысу кезіндегі p-n-өткелдің бұзылуының (пробой) электрлік түрін

қолдануға негізделген. Стабилитрон ретінде жазықтық кремнийлік диодтар қолданылады.

6.11 суретте көрсетілгендей, ВАС-ның кері тармағында кернеу кері токқа аз ғана тәуелді болатын аумақ бар (р-п-өткелдің электрлік пробойы бар аумақ).



Сурет-6.11. Стабилитронның ВАС-ы

Стабилитрон тогының $I_{ст}$ $I_{ст\ мин}$ -ден $I_{ст\ max}$ -қа дейінгі аралықта өзгеруі кезінде стабилитрондағы кернеу $U_{ст\ мин}$ және $U_{ст\ max}$ аралығында онша өзгермейді. Осының әсерінен стабилитронның дифференциалдық кедергісі аз болады:

$$r_{ст} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}} = \frac{U_{ст\ max} - U_{ст\ min}}{I_{ст\ max} - I_{ст\ min}} \quad (6.19)$$

$U_{ст}$ тұрақтану (стабилизация) кернеуі, әдетте, стабилитрон тогының минимал және максимал мәндерінің арифметикалық ортасы ретінде анықталады:

$$I_{ст} = \frac{I_{ст\ min} + I_{ст\ max}}{2} \quad (6.20)$$

Электрлік пробой күшейе бастайтын кері кернеу мәні берілген материалдың қоспа концентрациясымен анықталатын меншікті кедергісінен біршама деңгейде тәуелді болады. Тұрақтану кернеуі 5 В-тан кем болатын стабилитронда туннельді пробой, 5-7 В болатын стабилитрондарда электрлік пробойдың 2 түрі де - туннельдік, лавиналық, ал 7 В-тан жоғары болатын стабилитрондарда лавиналық пробой басым болады. Температура өзгергенде, $U_{ст}$ тұрақтану кернеуі де өзгереді. Төменгі вольтты және жоғары вольтты стабилитрондардың температура өзгерген кездегі кернеу өзгеруінің таңбалары қарама-қарсы болады. Туннельді пробой кезінде температура артқан сайын, $U_{ст}$ төмендейді, ал лавиналық пробойда артады. Тұрақтану

кернеуі 5-7 В болатын стабилитрондарда температураның әсері аз болады, себебі өткелде пробойдың екі түрі де болады.

Стабилитрондардың негізгі параметрлері мыналар:

- тұрақтану кернеуі U_{CT} - берілген тұрақтану тогы өткен кездегі стабилитронның кернеу түсуі;
- тұрақтану режиміндегі стабилитронның минимал $I_{мин}$ және максимал токтары $I_{маx}$;
- тұрақтану кернеуінің температуралық коэффициенті - процентпен берілген тұрақтану кернеуінің салыстырмалы өзгерісінің осы өзгеріске алып келген температураға қатынасы:

$$TKH_{CT} = \frac{\Delta U_{CT}}{U_{CT} \Delta T} \cdot 100\%, \left(\frac{\%}{^{\circ}C}\right)$$

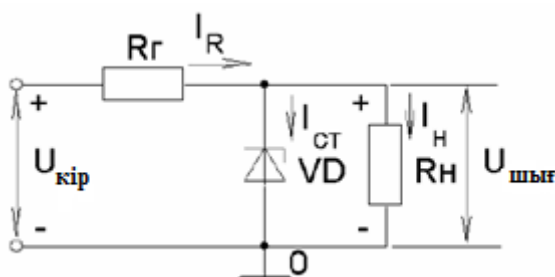
- пробой аймағында анықталатын стабилитронның дифференциалдық кедергісі r_{CT} .
- статикалық кедергі $R_0 = U_{CT}/I_{CT}$.

ВАС-тың тура тармағын қолдану арқылы 1 В-тан кем болатын кернеуді тұрақтандыруға арналған шалаөткізгіштік диодтар стабисторлар деп аталады. Стабисторларды жасау үшін жоғары концентрациялы кремний немесе селен қолданылады.

Тұрақты кернеуді тұрақтандыруға арналған құрылғы кернеудің параметрлік стабилизаторы деп атайды, себебі оның сипаттамаларының барлығы стабилитрон параметрлерімен анықталады. Мұндай стабилизатордың приципиалды схемасы сурет-6.12 көрсетілген. Жүктеме стабилитронға параллель жалғанған, ал ондағы кернеу белгілі бір дәлдікпен тұрақты болып қалады. Сөндіруші (гасящий) немесе балланттық резистормен R_{Γ} берілетін стабилитрон тогы $I_{CT\ min} \dots I_{CT\ max}$ аралығында жатуы керек. R_{Γ} резисторының қажетті кедергісі былай анықталады:

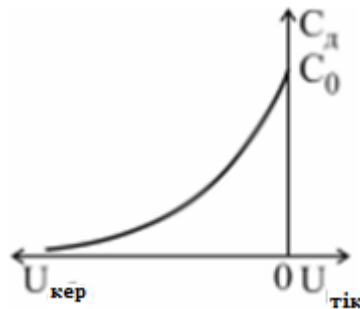
$$R_{\Gamma} = \frac{U_{к\text{іп}} - U_{ш\text{ығ}}}{I_{CT} + I_{H}}, \quad (6.21)$$

мұнда $U_{ш\text{ығ}} = U_{CT}$, бұл берілген схемаға Кирхгоф заңдарын қолдану арқылы алынған.



Сурет-6.12. Стабилизатордың приципиалды схемасы.

Варикап - жұмыс жасау принципі өткел сыйымдылығының кері кернеуден тәуелділігін қолдануға негізделген және электрлік басқаруға болатын сыйымдылығы бар элемент ретінде қолдануға арналған шалаөткізгішті диод. Олар өзгертпелі (подстроечный) немесе варикап және көбейткіштер (умножительный) немесе варактор болып бөлінеді. Варикаптар тербелмелі контурлардың резонанстық жиілігін өзгерту үшін қолданылады. Варакторлар жиілікті көбейту үшін қолданылады. Варикап сыйымдылығының кері кернеуден ((6.14) өрнекпен сипатталатын) тәуелділігінің графигі сурет-6.13 көрсетілген.



Сурет-6.13. Варикап сыйымдылығының кері кернеуден тәуелділігі

Варикаптардың негізгі арнайы параметрлеріне мыналар жатады:

- $U_{обр}$ берілген кері кернеу кезінде өлшеніп алынған номиналды сыйымдылық C_d ;

- сыйымдылық бойынша асып түсу (перекрытие) коэффициенті - кері кернеудің екі мәніндегі варикап сыйымдылықтарының қатынасы:

$$K_C = C_{d \max} / C_{d \min}.$$

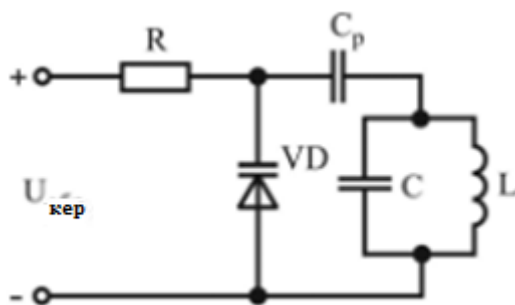
- шығындардың кедергісі $r_{п}$ - кристаллдың, контактылы байланыстың (контактное соединение), шығыстардың (вывод) қосынды активті кедергісі;

- төзімділік (добротность) $Q_v = X_C / r_{п}$ - берілген айнымалы сигнал жиілігіндегі варикаптың реактивті кедергісінің шығын кедергісіне қатынасы;

- сыйымдылықтың температуралық коэффициенті - процентпен берілген сыйымдылықтың салыстырмалы өзгерісінің сол өзгеріске себеп болған қоршаған орта температурасының абсолют өзгерісіне қатынасы:

$$\alpha_c = \frac{\Delta C}{C \Delta T} \cdot 100\% \left(\frac{\%}{^{\circ}C} \right)$$

Варикапты тербелмелі контурға қосу схемасы сурет-6.14 көрсетілген.



Сурет-6.14. Варикапты тербелмелі контурға қосу

Варикапқа кері кернеу R резистор арқылы беріледі. Бұл резистор варикаптың айнымалы ток бойынша қорек көзінің ішкі кіші кедергімен шунтталуының алдын алады. Бөлгіш конденсатор C_p варикаптың тұрақты ток бойынша котур индуктивтілігімен шунтталуының алдын алады.