

Agjencia Kombëtare e Arsimit, Formimit Profesional dhe Kualifikimeve
Sektori i Skeletkurrikulave dhe Standardeve të Trajnimit të Mësuesve të AFP

MATERIAL MËSIMOR

Në mbështetje të mësuesve të drejtimit mësimor

ELEKTROTEKNIK

Niveli I i AP

NR. 8

Ky material mësimor i referohet:

- **Lëndës profesionale: “Elektronikë”, kl.10 – 72 orë (L-12-475-18).**

Përgatiti:

Luçiana Toti

Tiranë, 2018

Tema mësimore nr.1: Hyrje në elektronikë

1.1. Madhësitë analoge dhe dixhitale

Qarqet elektronike ndahen në dy kategori: *analoge* dhe *dixhitale* (numerike).

➡ *Elektronika analoge* përfshin sistemet, ku informacioni paraqitet me një madhësi që merr vlera të vijueshme në kohë.

Sistemet analoge punojnë me sinjale analoge. Ato paraqesin ndryshimin e një madhësie elektrike, e cila i korrespondon ndryshimeve të një fenomeni fizik.

Shumica e madhësive të matshme në natyrë janë në formë analoge si: temperatura, koha, presioni (trysnia), ndryshimi i intensitetit të dritës, rrjedhja e lëngut, rrjedhja e rrymës në qark, ndryshimet e tensionit, tingulli i zërit, distanca. P.sh., temperatura e ajrit ndryshon në mënyrë të vazhdueshme, pra temperatura nga 77°F në 78°F shkon në mënyrë të vijueshme dhe jo menjëherë. Grafikisht kjo do të shprehej si në figurën 1.1.

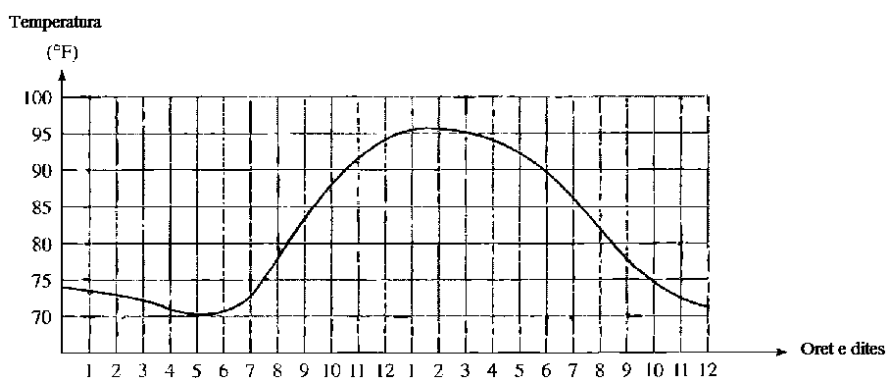


Figura 1.1. Paraqitja grafike e një vale analoge (temperatura në funksion të kohës)

Si madhësi analoge mund të përmendim një valë zanore, e cila, kur kapet (*picked up*) nga një mikrofoni, kthehet në një sinjal të vogël analog të quajtur sinjal audio. Ky sinjal ndryshon vazhdimisht në amplitudë dhe në frekuencë dhe jepet në hyrje të një amplifikatori linear, siç është treguar në figurën 1.2. Në dalje të amplifikatorit marrim një sinjal me amplitudë disa herë më të madhe, i cili hyn në altoparlant. Altoparlanti e kthen sinjalin e amplifikuar në valë zanore, me volum shumë më të lartë se vala zanore që u mor nga mikrofoni.

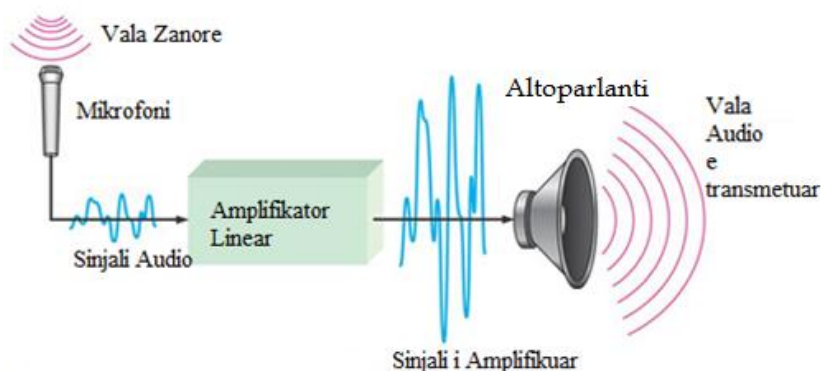


Figura 1.2. Një sistem i thjeshtë audio

➤ *Elektronika dixhitale* (numerike) përfshin sistemet numerike, ku informacioni paraqitet me anë të një madhësie që mund të marrë vetëm dy vlera.

Sistemet dixhitale (numerike) punojnë me sinjale dixhitale dhe ndahen në kombinatorore dhe sekuenciale. *Sistemet kombinatorore* janë sisteme pa kujtesë si, p.sh., një mbledhës. *Sistemet sekuenciale* janë sisteme me kujtesë si, p.sh., numëruesit. Në të gjithë kompjuterat ka qarqe kombinatorore dhe sekuenciale. Paraqitja grafike e një sinjali dixhital tregohet në figurën 1.3.



Figura 1.3. Paraqitja grafike e një sinjali dixhital

Të dhënat dixhitale mund të përpunohen dhe të transmetohen në mënyrë më efektive dhe të besueshme se të dhënat analoge. Gjithashtu, të dhënat dixhitale kanë përparësi kur ato duhet të ruhen. Kështu, muzika, kur transformohet në formë dixhitale, mund të ruhet në mënyrë më kompakte se në formë analoge si dhe të riprodhohet me saktësi dhe qartësi më të madhe se kur ajo është në formë analoge. Zhurmat (luhatjet e padëshiruara të tensionit) ndikojnë më pak në të dhënat dixhitale se në ato analoge.

Tema mësimore nr.2: Dioda gjysëm përçuese.

Elementi i parë që do të përshkruajmë është dioda. Ky është elementi më i thjeshtë gjysmëpërcjellës, por luan një rol shumë të rëndësishëm në sistemet elektronike. Ajo do të gjendet që nga zbatimet më të thjeshta e deri tek ato më të ndërlikuara.

2.1 Dioda ideale

Termi “ideal” do të përdoret shpesh në këtë tekst dhe do t’i referohet çdo elementi ose sistemi që ka karakteristika ideale - të përsosura në çdo drejtim. Dioda ideale është element me dy dalje me simbol si në figurën 2.1 a) dhe karakteristikë voltampere si në figurën 2.1 b).

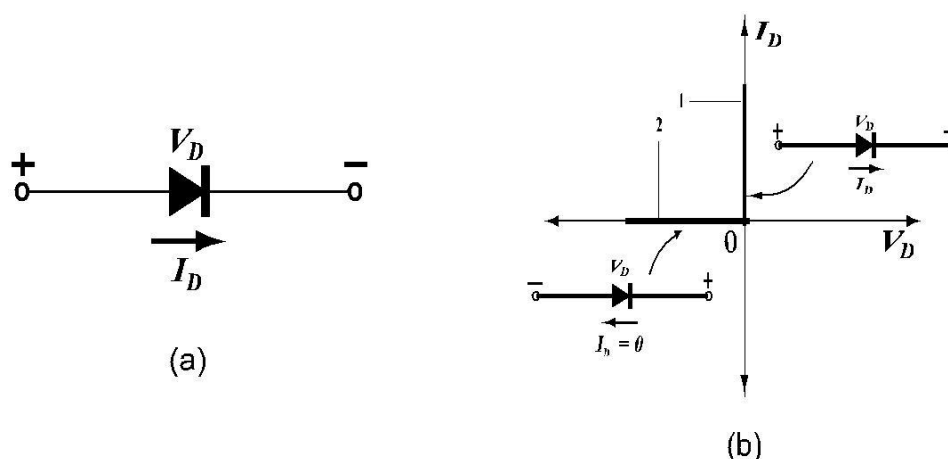


Figura 2.1. Karakteristika e diodës ideale dhe simboli i saj

Në një diodë ideale kalon rrymë vetëm në një kah, në atë të përcaktuar nga shigjeta në simbol, kur tensioni i zbatuar në diodë ka polaritetin e treguar në figurën 2.1 a) . Kur tensioni që zbatohet në diodë do të ketë polaritet të kundërt, atëherë në të nuk kalon rrymë, pra $I_D = 0$. Karakteristika e paraqitur në figurën 2.1 b) quhet karakteristika volt-ampër e diodës, sepse ajo tregon lidhjen midis tensionit të zbatuar në diodë (V_D) dhe rrymës që kalon në të (I_D). Në këtë tekst, në pjesën më të madhe të karakteristikave, boshti i ordinatave (boshti y) do të shërbejë si boshti i rrymës dhe boshti i abshisave (boshti x) si boshti i tensionit. Karakteristika e diodës ideale (fig.2.1 b) përbëhet nga dy zona: zona 1 që i përket kuadrantit të parë të boshteve dhe zona 2 që i përket kuadrantit të tretë

Në kuadrantin e parë, dioda është në kushtet e polarizimit të drejtë dhe ka karakteristikën e paraqitur në zonën 1 ku $V_D = 0$ dhe I_D ka vlerë maksimale, pra dioda zëvendësohet me një qark të lidhur në të shkurtër. Në kuadrantin e tretë, dioda është e polarizuar në të kundërt dhe ka karakteristikën e paraqitur në zonën 2 ku V_D ka vlerë maksimale dhe $I_D = 0$, pra, dioda paraqitet si një qark i hapur. Si përfundim, mund të nxjerrim se *dioda ideale ka karakteristikat e një çelësi që përcjell rrymë vetëm në një kah.*

Një parametër i rëndësishëm i diodës është rezistenca e saj në pikën ose regjimin e punës. Në regjimin e përcjellshmërisë drejtimi i rrymës në diodë dhe polariteti i tensionit në diodë është si në kuadrantin e parë në figurën 2.1 b) dhe vlera e rezistencës së drejtë R_F përcaktohet nga ligji i Ohmit si më poshtë:

$$R_F = \frac{V_F}{I_F} = \frac{0V}{2,3, mA, \dots, \text{ose cdo vlerë pozitive}} = 0\Omega$$

ku V_F është tensioni i drejtë në diodë dhe I_F është rryma e drejtë që kalon në diodë.

Dioda ideale, si rrjedhim, është një qark i shkurtër në regjimin e përcjellshmërisë. Nëse konsiderojmë që në diodë është zbatuar tension i kundërt (kuadranti i tretë në figurën 2.1 b), vlera e rezistencës së kundërt përcaktohet nga ligji i Ohmit si më poshtë:

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{-5, -20, \text{ose cfaredo potenciali i kundërt}}{0mA} = \infty\Omega$$

ku V_R është tensioni i kundërt në diodë dhe I_R është rryma e kundërt në diodë.

Dioda ideale, si rrjedhim, është një qark i hapur në regjimin e jopërcjellshmërisë. Në figurën 2.2 tregohet gjendja e përcjellshmërisë dhe e jopërcjellshmërisë së diodës ideale.

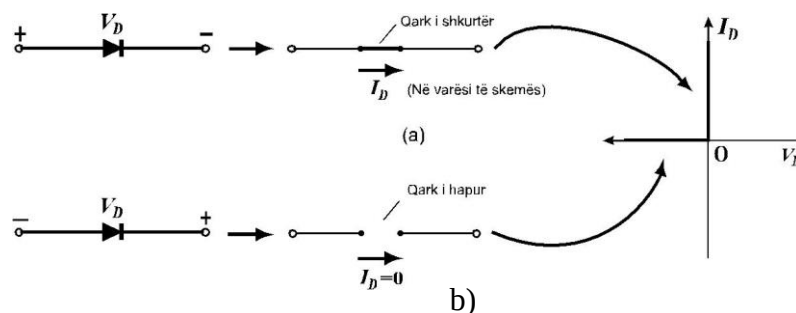


Figura 2.2 a) Gjendja e përcjellshmërisë dhe b) e jopërcjellshmërisë e diodës ideale në varësi të tensionit të zbatuar

Në përgjithësi është e thjeshtë të përcaktojmë regjimin e përcjellshmërisë e të jopërcjellshmërisë, duke vënë re kahun e rrymës në varësi të tensionit të zbatuar. Kahu i rrymës konvencionale është konsideruar kahu i kundërt me atë të rrjedhjes së elektroneve (figura 2.3).

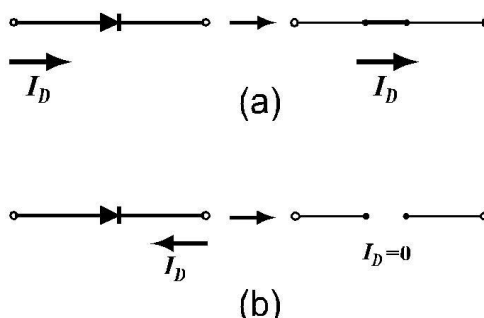


Figura 2.3. a) Gjendja e përcjellshmërisë, b) gjendja e jopërcjellshmërisë së diodës ideale e përcaktuar nga kahu i rrymës konvencionale në varësi të lidhjes së diodës në qark

2.2. Materialet gjysmëpërcjellëse

Përcjellës është një material që lejon një lëvizje të madhe të ngarkesave (pra ka nivel të lartë përcjellshmërie) kur në të zbatohet një burim tensioni me amplitudë të caktuar. *Izolues* është një material që ka nivel të ulët përcjellshmërie kur në të zbatohet një burim tensioni. *Një gjysmëpërcjellës*, si rrjedhim, është një material që ka një nivel përcjellshmërie diku midis ekstremeve të një izolatori dhe një përcjellësi. Rezistenca e një materiali është në përpjesëtim të zhdrejtë me përcjellshmërinë tij. Sa më i lartë është niveli i përcjellshmërisë, aq më i ulët është niveli i rezistencës. Rezistenca specifike (ρ) përdoret shpesh për krahasimin e nivelit të rezistencave të materialeve. Rezistenca specifike e një materiali matet me $\Omega \times \text{cm}$ ose $\Omega \times \text{m}$. Kjo tabelë na ndihmon për të krahasuar nivelin e rezistencave specifike të materialeve të mëposhtme.

Tabela 2.1

Përcjellës	Gjysmëpërcjellës	Izolator
$\rho=10^{-6} \Omega \times \text{cm}$ (bakri)	$\rho=50 \Omega \times \text{cm}$ (germaniumi) $\rho=50 \times 10^3 \Omega \times \text{cm}$ (silici)	$\rho=10^{12} \Omega \times \text{cm}$ (mika)

Në tabelën 2.1 janë dhënë vlerat e tre kategorive të gjera materialesh. Duket qartë që silici e germaniumi janë materiale gjysmëpërcjellëse. Ato janë dy materiale që kanë marrë përdorim të gjerë në zhvillimin e elementeve gjysmëpërcjellëse. Një fakt i rëndësishëm është niveli shumë i lartë i pastërtisë me të cilin ato mund të prodhohen. Nëse në një pjesë shumë të vogël materialesh prej silici futet një numër i caktuar atomeesh të tjera (tipat e tyre do t'i përmendim më poshtë), karakteristikat e materialit mund të ndryshojnë. Këto veti i gëzon *Ge* dhe *Si*, prandaj ato kanë marrë përdorim të gjerë. Karakteristikat e tyre ndryshojnë veçanërisht nën ndikimin e dritës ose nxehtësisë, kështu që elementet gjysmëpërcjellëse përdoren edhe në ndërtimin e elementeve të ndjeshme ndaj dritës ose nxehtësisë. Atomët e të dy materialeve (*Ge* ose *Si*) formojnë një model shumë të përcaktuar me natyrë periodike (pra që përsëritin vetveten). Një model i kompletuar është quajtur kristal. Kristali është një strukturë tredimensionale si në figurën 2.4.

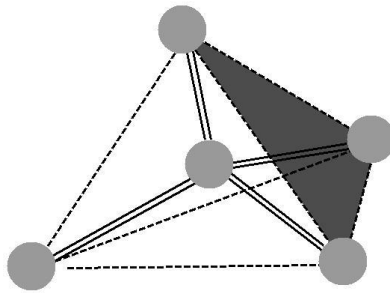


Figura 2.4. Struktura e një kristali *Ge* ose *Si*

Modeli i Bohrit për dy gjysmëpërcjellësit më të përdorshëm është treguar në figurën 2.5

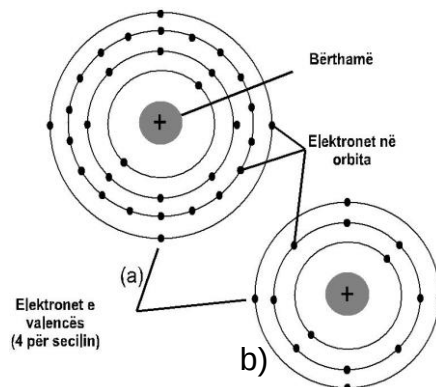


Figura 2.5. Modeli i Bohrit për a) *Ge* dhe b) *Si*

Atomi i *Ge* ka 32 elektrone të shpërndara nëpër orbita, ndërsa atomi i *Si* ka 14 elektrone të shpërndara nëpër orbita. Siç shihet *Ge* dhe *Si* janë atome katërvalente, sepse kanë secili nga katër elektrone valence. Në kristalin e pastër të *Ge* apo *Si*, 4 elektronet e valencës së çdo atomi lidhen me elektronet e valencës së 4 atomeve të tjera, duke formuar një lidhje kovalente si në figurën 2.6. Në kushte normale një kristal i tillë nuk përcjell rrymë, sepse elektronet janë të lidhura në çifte dhe nuk mund të lëvizin. Elektronet e valencës me energji kinetike të mjaftueshme, për arsye të ndryshme, mund të thyjnë lidhjen kovalente dhe të dalin në gjendje “të lirë”. P.sh., nëse futen atomet e elementeve kimike me 3 ose 5 elektrone valence (si papastërti), prishet lidhja kovalente dhe krijohet mundësia e përcjelljes së rrymës. Lidhja kovalente mund të ndikohet edhe nga efekti i energjisë diellore në formën e fotoneve ose energjisë termike të mjedisit rrethues.

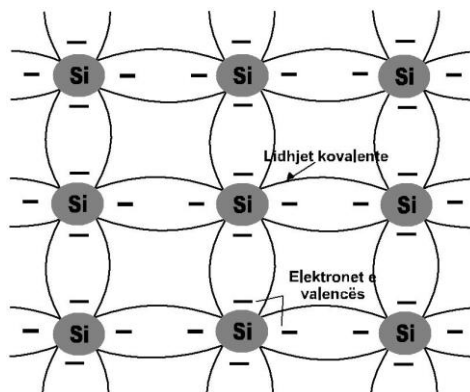


Figura 2.6. Lidhja kovalente e atomeve të silicit

Në temperaturën e dhomës ndodhen afërsisht $1,5 \times 10^{10}$ mbartës të lirë në një cm^3 brenda materialit të *Si*, ndërsa te *Ge*, brenda të njëjtës sipërfaqe ndodhen $2,5 \times 10^{13}$ mbartës të lirë në një cm^3 . Raporti i numrit të elektroneve të lira të *Ge* ndaj atij të *Si* është rreth 10^3 më i madh e kjo tregon se *Ge* është përcjellës më i mirë në temperaturën e dhomës. Rritja e temperaturës

së një gjysmëpërcjellësi mund të sjellë një rritje reale të numrit të elektroneve të lira në material. Me rritjen e numrit të elektroneve të lira, do të rritet niveli i përcjellshmërisë e për pasojë, do të ulet vlera e rezistencës. Materialet gjysmëpërcjellëse, si *Ge* e *Si*, në të cilat zvogëlohet rezistenca me rritjen e temperaturës, thuhet se kanë koeficient negativ temperature. Rezistenca e shumicës së përcjellësve rritet me rritjen e temperaturës; ata kanë koeficient pozitiv temperature.

Gjysmëpërcjellësit e tipit *p* dhe *n*

Karakteristikat e materialeve gjysmëpërcjellëse mund të ndryshojnë duke shtuar atome të jashtme (papastërti) brenda materialit relativisht të pastër. Këto papastërti, megjithëse janë në raportin 1 me 10 milionë, ndryshojnë vetitë e materialit gjysmëpërcjellës. Ekzistojnë dy tipa materialesh me rëndësi të jashtëzakonshme në prodhimin e pajisjeve gjysmëpërcjellëse: tip *n* dhe tip *p*. Secili prej tyre do të përshkruhet me imtësi.

Gjysmëpërcjellësi tip *n*

Të dy tipat e materialeve janë formuar nga shtimi i një numri të paracaktuar të atomeve të papastërti brenda një materiali bazë *Si* apo *Ge*. Tipi *n* është krijuar nga futja e atomeve pesëvalente (me pesë elektrone valence), të tilla si *antimoni*, *arseniku* dhe *fosfori*, në një kristal të pastër silici apo germaniumi. Në figurën 2.7, në një element bazë *Si* është përdorur antimoni si papastërti. Siç shihet, ndodhet një elektron i pestë i atomit të papastërt, i cili është i pashoqëruar me lidhje kovalente të posaçme. Ky elektron i mbetur, i liru nga atomi mëmë, është relativisht i lirë për të lëvizuar brenda materialit të ri tip-*n*.

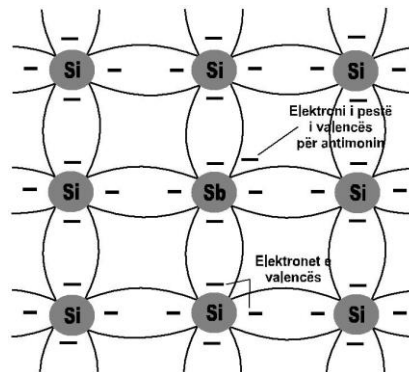


Figura 2.7. Materiali tip *n*

Atomi i futur si papastërti ka dhuruar një elektron të lirë në strukturë. *Atomët me pesë elektrone valence të futura si papastërti janë quajtur atome dhuruese.* Materiali i tipit *n* është elektrikisht neutral, sepse numri i protoneve me ngarkesë pozitive në bërthamë është i barabartë me numrin e elektroneve në strukturë.

Gjysmëpërcjellësi tip *p*

Materiali tip *p* është formuar nga vendosja e atomeve 3-valente brenda një kristali të pastër të *Si* ose të *Ge*. Elementet më të përdorura për këtë qëllim janë *bori*, *galiumi*, *indiumi*. Efekti i njërit prej këtyre elementeve, borit, në elementin bazë *Si*, është treguar në figurën 2.8:

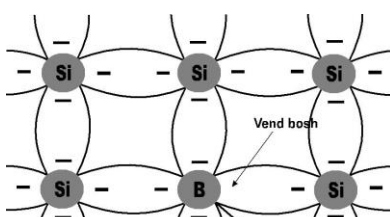


Figura 2.8. Atome bori si papastërti në materialin tip *p*

Siç shihet, ndodhet një numër i pamjaftueshëm elektronesh për të plotësuar lidhjen kovalente të strukturës së re. Vendi bosh është quajtur vrimë. Në vendin bosh mund të futet pa vështirësi një elektron i lirë. *Atomi me tre elektrone valence i vendosur brenda kristalit të pastër është quajtur atom marrës.* Materiali i tipit *p* është elektrikisht neutral, për të njëjtën arsye siç u tha më lart.

Mbartës me shumicë e pakicë

Në një material tip n (fig.2.9 a) elektroni është quajtur mbartës me shumicë, ndërsa vrima është mbartëse me pakicë. Në një material tip p (fig.2.9 b) vrima është mbartëse me shumicë dhe elektroni është mbartës me pakicë. Kur elektroni i pestë i një atomi dhurues lë atomin mëmë, atomi i mbetur ka ngarkesë pozitive dhe shenja pozitive brenda rrethit përfaqëson jonin dhurues. Për arsye të ngjashme, shenja negative brenda rrethit përfaqëson jonin marrës.

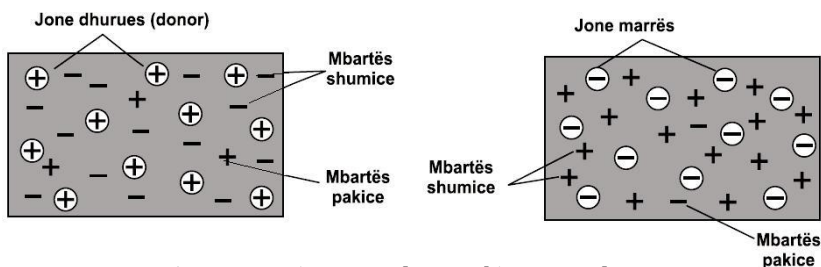


Figura 2.9 a) Material tip *n*; b) Material tip *p*

2.3. Diodat gjysmëpërcjellëse

Diodat gjysmëpërcjellëse janë formuar nga bashkimi i dy shtresave gjysmëpërcjellëse të tipave të ndryshëm (por me të njëjtën bazë *Si* ose *Ge*) si në figurën 2.10. Sapo dy shtresat gjysmëpërcjellëse bashkohen, elektronet dhe vrimat në zonën e bashkimit fillojnë të kombinohen. *Zona ku shfaqen jonet pozitive e negative quhet barrierë potenciale ose shtresë e kundërt, në përshtatje me shenjëën e kundërt të mbartësve me shumicë me ato të joneve në këtë zonë.* Dioda është një element me dy dalje: anoda dhe katoda. Një diodë mund të ndodhet në këto gjendje (në varësi të tensionit të zbatuar): e papolarizuar ($V_D = 0$), e polarizuar në të drejtë ($V_D > 0$) dhe e polarizuar në të kundërt ($V_D < 0$).

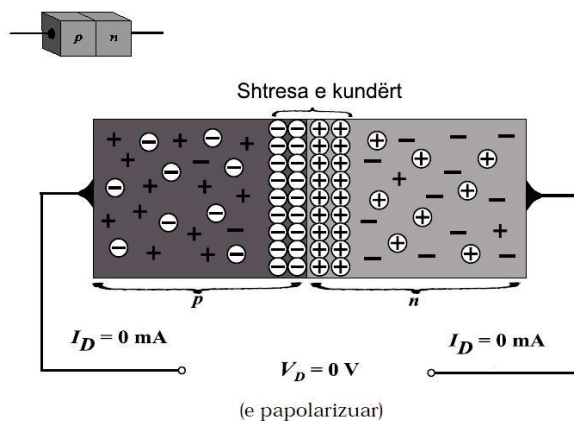


Figura 2.10. Bashkimi i dy shtresave *p* dhe *n*

Dioda e papolarizuar nga jashtë ($V_D = 0V$)

Dioda quhet e papolarizuar kur në të nuk zbatohet tension, pra $V_D = 0V$ (fig. 2.10). Elektronet e lira në shtresën gjysmëpërcjellëse tip n me energji kinetike të mjaftueshme, mund të kalojnë bashkimin e dy shtresave duke krijuar një jon pozitiv atje ku largohen, pra në shtresën n. Kur ky elektron hyn në shtresën p dhe bie në një vrimë atomi bëhet jon negativ. Sa herë që një elektron kalon bashkimin krijohet një çift jonesh (fig. 2.12). Numri i mbartësve të shumicës është shumë i madh në shtresën tip n, por një numër i vogël me energji kinetike të mjaftueshme kalojnë përmes shtresës së kundërt brenda materialit tip p.

Në një diodë gjysmëpërcjellëse, kur nuk zbatohet tension në të, rryma në çdo kah është zero. Simboli i një diode, vlera e V_D -së dhe I_D -së janë treguar në figurën 2.11.

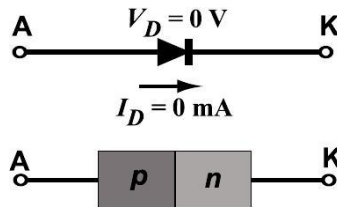


Figura 2.11. Dioda gjysmëpërcjellëse e papolarizuar

Dioda në kushtet e polarizimit të kundërt ($V_D < 0$)

Nëse një burim tensioni i jashtëm është lidhur me diodën, në mënyrë të tillë që poli pozitiv i burimit të lidhet me shtresën tip n dhe poli negativ i burimit të lidhet me shtresën tip p, siç tregohet në figurën 2.14, themi që dioda është polarizuar në të kundërt. Numri i joneve pozitive që marrin pjesë në shtresën e kundërt të materialit tip n do të rritet për shkak të numrit të madh të elektroneve të lira të tërhequra nga poli pozitiv i burimit të tensionit të zbatuar. Për të njëjtën arsye, numri i joneve negative që marrin pjesë në shtresën e kundërt të materialit tip p do të rritet. Për pasojë, shtresa e kundërt është zgjeruar krahasuar me rastin e mëparshëm. Shtresa e kundërt do të kthehet në një pengesë më të madhe për mbartësit e shumicës dhe zvogëlon lëvizjen e tyre deri në zero. Numri i mbartësve të pakicës (*minoritarë*) në shtresën e kundërt nuk do të ndryshojë dhe vektori i lëvizjes së tyre do të jetë si në figurën 2.12.

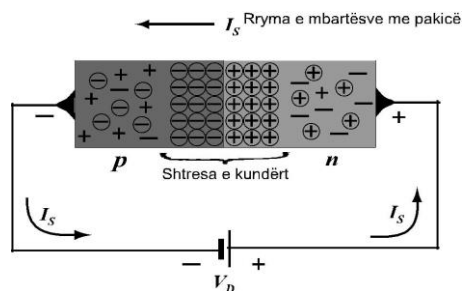


Figura 2.12. Polarizimi i kundërt i diodës

Rryma që lind në kushtet e polarizimit të kundërt është quajtur rryma e kundërt e ngopjes dhe shënohet me I_s . Rryma e polarizimit të kundërt është e vogël, nuk i kalon disa mikroamper, përveç rasteve të elementeve me fuqi të lartë. Termi “ngopje” vjen nga fakti që vlera e saj arrin shumë shpejt në nivelin maksimal dhe nuk ndryshon edhe pse tensioni i kundërt në diodë mund të rritet, siç tregohet edhe në karakteristikën e diodës në figurën 2.16 për ($V_D < 0$). Në figurën 2.13 është treguar një diodë gjysmëpërcjellëse në kushtet e polarizimit të kundërt. Vini re që drejtimi i kalimit të rrymës I_s është i kundërt me atë të shigjetës në simbol.

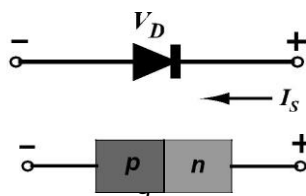


Figura 2.13. Një diodë gjysmëpërcjellëse në kushtet e polarizimit të kundërt

Dioda në kushtet e polarizimit të drejtë ($V_D > 0$)

Në kushtet e polarizimit të drejtë poli pozitiv i burimit është lidhur me shtresën tip p dhe poli negativ i burimit është lidhur me shtresën tip n , siç tregohet në figurën 2.14

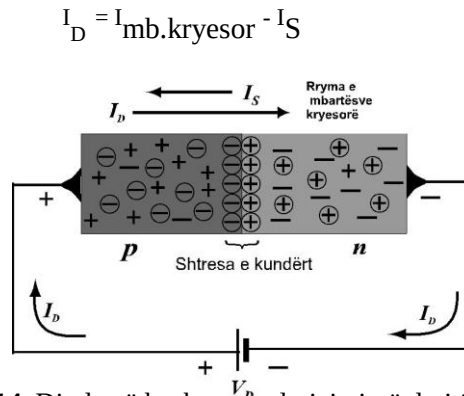


Figura 2.14. Dioda në kushtet e polarizimit të drejtë

Nëse dioda polarizohet në të drejtë, tensioni i burimit V_D do të detyrojë elektronet në shtresën tip n dhe vrimat në shtresën tip p të rikombinohen me jonet afër kufirit dhe do të zvogëlojë gjerësinë e barrierës potenciale (shtresës së kundërt) si në figurën 2.14. Numri i mbartësve të pakicës, pra i elektroneve nga shtresa tip p drejt shtresës tip n (ose e vrimave nga shtresa tip n drejt shtresës tip p) nuk ka ndryshuar në vlerë, por zvogëlimi i gjerësisë së shtresës së kundërt ka rritur numrin e mbartësve të shumicës që kalojnë bashkimin. Një elektron i shtresës tip n tani duhet të kalojë një pengesë më të vogël drejt shtresës tip p (te bashkimi) dhe tërhiqet fort nga poli pozitiv i burimit. Sa më e madhe të jetë vlera e tensionit të drejtë të zbatuar në diodë, aq më e vogël është gjerësia e barrierës potenciale (shtresës së kundërt), pra aq më i madh është numri i elektroneve që mund të kalojnë bashkimin. Për pasojë rritet në mënyrë eksponenciale rryma për regjimin e polarizimit në të drejtë, si në figurën 2.16. Vini re që boshti vertikal është shkallëzuar në miliamper (ose në amper), ndërsa boshti horizontal është shkallëzuar rreth 1 V. Tensioni i polarizimit në të drejtë të diodës është më i vogël se 1 V. Në figurën 2.15 është treguar kushti i polarizimit në të drejtë të një diode gjysmëpërcjellëse. Kahu i kalimit të rrymës në diodë është i njëjtë me atë të shigjetës në simbol.

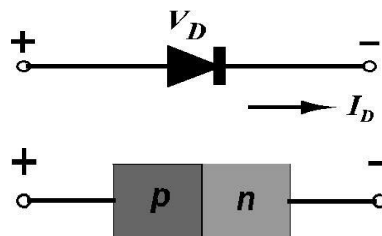


Figura 2.15. Polarizimi në të drejtë i një diode gjysmëpërcjellëse

Karakteristika kryesore e një diode gjysmëpërcjellëse $I_D = f(V_D)$ përcaktohet nga ekuacioni i mëposhtëm:

$$I_D = I_S e^{kV_D/T_k} - I_S \quad \text{ose} \quad I_D = I_S (e^{kV_D/T_k} - 1)$$

ku I_s = rryma e kundërt e ngopjes, $k = 11,600/\eta$ ku $\eta = 1$ për *Ge* dhe $\eta = 2$ për *Si* për rryma në diodë poshtë gjurit të lakores dhe $\eta = 1$ për *Ge* dhe *Si* për nivele më të larta të rrymës në diodë.

$$T_K = T_C + 273^\circ$$

T_C - është temperatura në $^\circ\text{C}$. Karakteristika e plotë e diodës është ndërtuar në figurën 2.16.

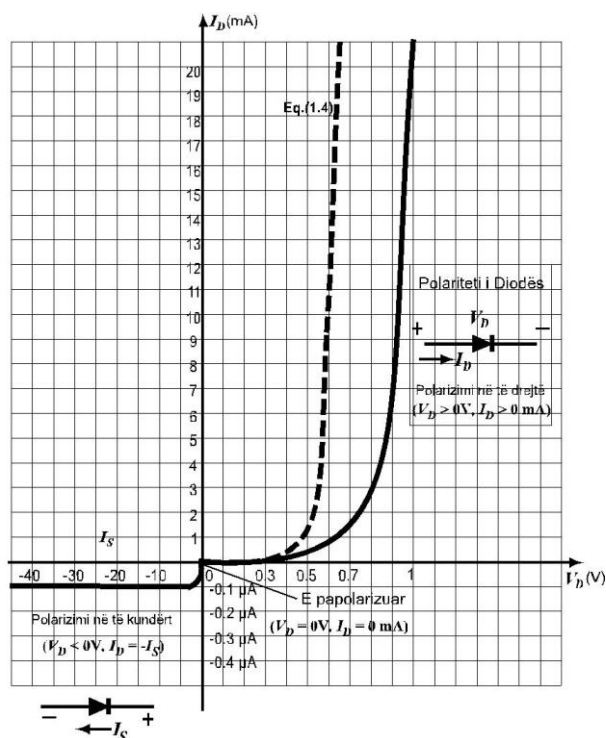


Figura 2.16. Karakteristikat e diodës gjysmëpërcjellëse të silicit

Për vlera pozitive të V_D , I_D do të ndryshojë sipas ligjit $y = e^x$ dhe karakteristika që shpreh këtë varësi është në kuadrantin e parë. Për diodën e papolarizuar $V_D = 0\text{ V}$ dhe rryma $I_D = 0\text{ mA}$. Për vlera negative të V_D , $I_D = -I_s$. Karakteristika që shpreh varësinë midis tyre është në kuadrantin e tretë. Shihet që pjesa negative e boshtit vertikal është shkallëzuar në μA , ndërsa pjesa negative e boshtit horizontal është shkallëzuar në dhjetëra V.

Regjimi zener

Në figurën 2.17 është treguar karakteristika e diodës për vlera shumë të mëdha të tensionit të kundërt. Nëse tensioni i kundërt në diodë rritet sa $V_{shpimit}$, do të rritet ndjeshëm rryma e kundërt e ngopjes. Ky është një proces jonizimi dhe elektronet e valencës kanë energji kinetike të mjaftueshme për të lënë atomin mëmë dhe për pasojë rryma rritet si “ortek”. Dioda hyn në zonën e *shpimit* dhe ajo del jashtë përdorimit.

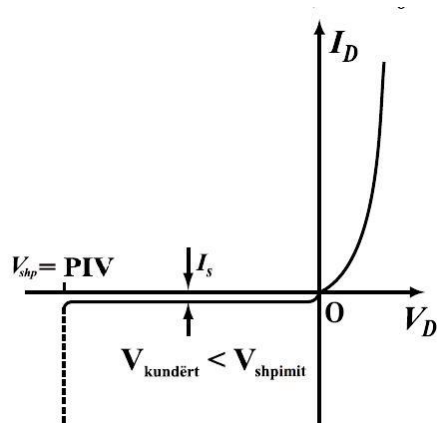


Figura 2.17. Karakteristika e diodës për vlera të mëdha të tensionit të kundërt

Vlera maksimale e tensionit të kundërt (PIV ose $V_{shpimit}$) që mund të zbatohet në diodë është një madhësi e rëndësishme në zgjedhjen e diodës dhe duhet që $V_{kundërt}$ i zbatuar në diodë të jetë më i vogël se $V_{shpimit}$.

Nëse vlera maksimale e tensionit të kundërt në pajisje është më e madhe se PIV i një diode, atëherë mund të lidhen disa dioda në seri me karakteristika të njëjta për të mbajtur këtë tension. Diodat mund të lidhen në paralel, për të rritur mundësinë e mbajtjes së rrymave më të mëdha se rryma maksimale e lejuar në një diodë.

Përparësitë e diodave prej Si ndaj atyre të Ge

Diodat e Si e kanë, në përgjithësi, tensionin e kundërt maksimal dhe kufijtë e rrymës më të mëdha se ato të diodave prej Ge (fig.2.18). Gjithashtu kufijtë e temperaturës janë më të gjerë. Kufijtë e tensionit të kundërt maksimal për diodat e Si shkojnë deri në 1000 V, ndërsa për diodat e Ge deri në 400 V. Diodat e Si mund të përdoren deri në 200°C, ndërsa ato të Ge deri në 100°C. E metë e diodave prej Si është tensioni i hapjes së tyre (0.7 V) më i madh se në diodat e Ge (0.3 V).

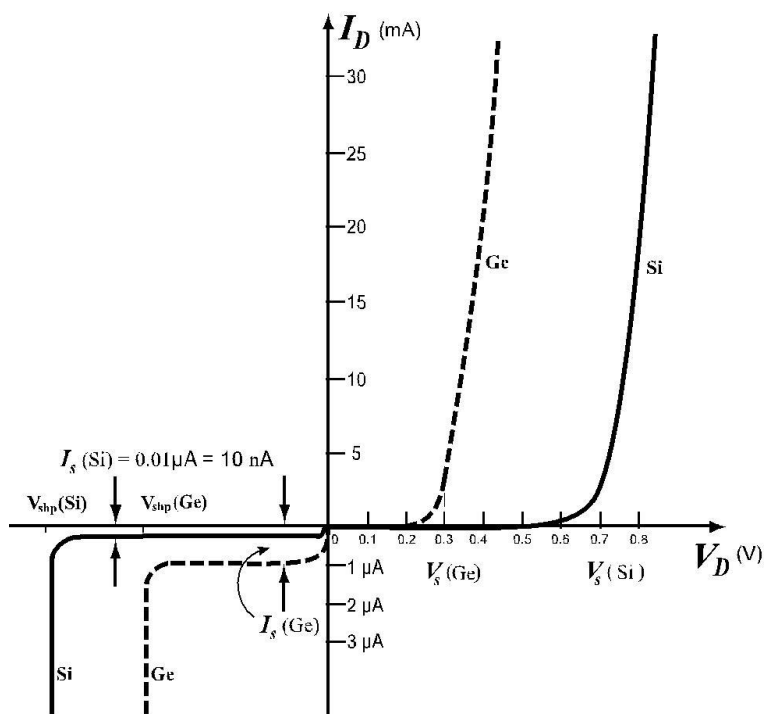


Figura 2.18. Karakteristika volt-ampere e diodave të Si dhe të Ge

V i hapjes së diodës (ose tensioni *threshold*) V_T është $V_T = 0.7 \text{ V}$ (Si) dhe $V_T = 0.3 \text{ V}$ (Ge)

Efekti i temperaturës

Rryma e kundërt e ngopjes I_S do të dyfishohet nëse temperatura rritet me 10°C . Nëse I_S është $1 \mu\text{A}$ në 25°C , në 100°C I_S është afërsisht $100 \mu\text{A}$ ose 0.1 mA .

Rryma I_S për diodat e Si janë shumë më të vogla se në diodat e Ge. Rritja e temperaturës shkakton zvogëlimin e tensionit të hapjes të diodës së polarizuar në të drejtë (fig. 2.19). Duhet pasur parasysh që të mos kalohen kufijtë e fuqisë maksimale dhe kufijtë e rrymës maksimale të dhëna nga katalogu, pasi, në rast të kundërt, dioda del jashtë përdorimi.

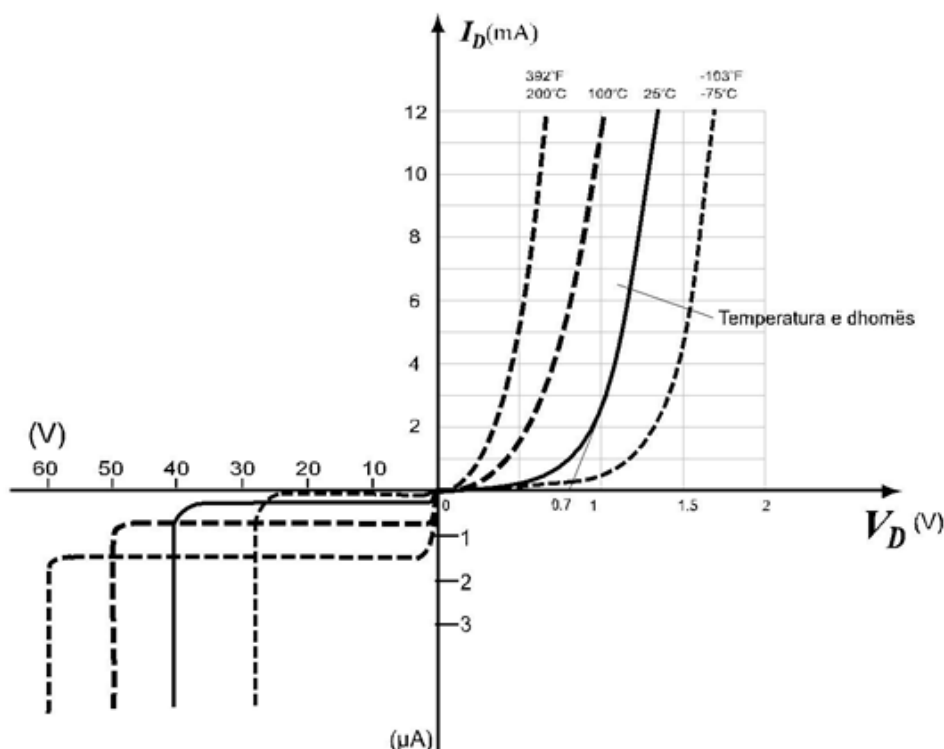


Figura 2.19. Ndryshimet e karakteristikës me ndryshimin e temperaturës

Kur dioda polarizohet në të kundërt, tensioni i shpimit rritet me rritjen e temperaturës, por njëkohësisht vihet re edhe një rritje e padëshiruar e rrymës së kundërt të ngopjes.

2.4 Rezistenca statike dhe dinamike e diodës

Dioda mund të punojë në pika të ndryshme të karakteristikës së saj, ndaj ajo shfaq rezistenca në vlera të ndryshme, sepse karakteristika është jolineare.

Rezistenca statike ose rezistenca për rrymën e vazhduar

Nëse zbatojmë një tension të vazhduar në qarkun ku lidhet një diodë gjysmëpërcjellëse, dioda punon në një pikë të caktuar të karakteristikës, e cila nuk ndryshon me kalimin e kohës. Rezistenca e diodës në pikën e punës mund të gjendet thjeshtë nga vlerat korresponduese të V_D dhe I_D , siç tregohet në figurën 2.19 dhe quhet *rezistencë statike*.

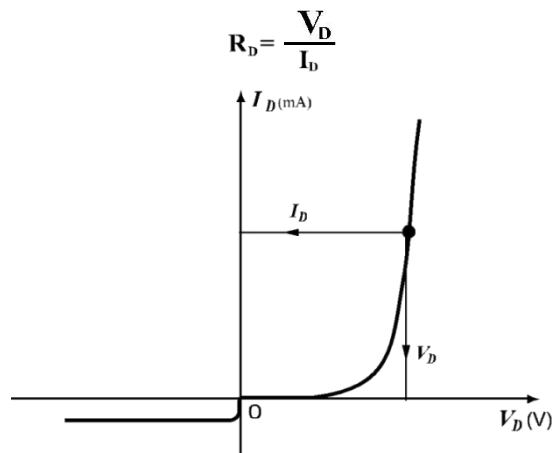


Figura 2.19. Përcaktimi i rezistencës statike të diodës

Rezistenca e rrymës së vazhduar ose rezistenca statike e diodës të gjuri ose poshtë tij është me madhe se rezistenca e marrë në pjesën sipër gjurit të karakteristikës. Rezistenca e diodës në kushtet e polarizimit të kundërt është mjaft e madhe.

Sa më e vogël të jetë vlera e rrymës në diodë, aq më e madhe është vlera e rezistencës në të.

Rezistenca dinamike ose rezistenca për rrymën alternative

Nëse në një qark me diodë zbatohet një tension i vazhduar (i pandryshuar), ajo punon në një pikë pune që quhet pika e qetësisë **Q**. Le të mendojmë se qarku me diodë është lidhur me një burim sinjali sinusoidal. Në këtë rast pika e punës lëviz poshtë e lart përgjatë karakteristikës si në figurën 2.20 në varësi të amplitudës së tensionit sinusoidal.

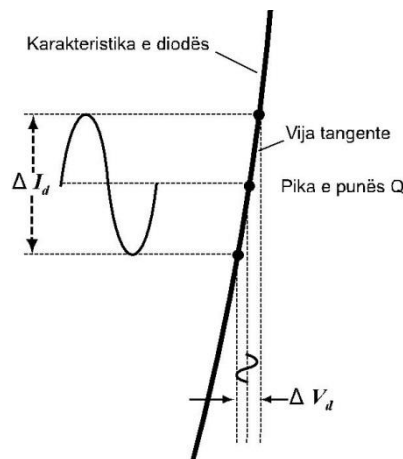


Figura 2.20. Ndryshimi i tensionit dhe rrymës rreth pikës Q

Në vijën e drejtë të vizatuar tangjent me karakteristikën në pikën **Q**, përcaktojmë ndryshimin e tensionit e të rrymës, dhe këto vlera mund të përdoren për të përcaktuar *rezistencën dinamike* për këtë zonë të karakteristikës, si në figurën 2.21.

$$r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I_d}$$

ku është një ndryshim sasior i fundme.

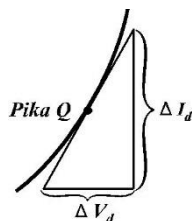


Figura 2.21. Përcaktimi i rezistencës dinamike në një pikë

Për pjerrësi të ndryshme, sa më e vogël të jetë vlera e V_D për I_D të njëjta, aq më e vogël është rezistenca. Sa më poshtë të ndodhet pika Q, aq më e madhe është rezisteca e diodës për rrymën alternative ose rezistenca dinamike. Matematikisht:

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I_D}$$

Tema mësimore nr.3: Skema të thjeshta me dioda në qarqet e rrymës së vazhduar dhe alternative

Konceptet e mësuara në këtë temë do të jenë të nevojshme për tamat në vijim. Për shembull, diodat përdoren shpesh në përshkrimin e ndërtimit të transistorëve, në analizat për rrymë alternative dhe për rrymë të vazhduar të transistorit. Analiza e skemave elektronike bëhet përmes procesit të përafrimit. Rezultatet e fituara nga karakteristikat e vërteta mund të jenë disi të ndryshme nga ato të fituara nga një seri përafrimesh. (Kini parasysh se edhe vetë karakteristikat e marra nga katalogu me ato të vetë elementit mund të ndryshojnë pak.) Gjithashtu elementet e ndryshme të qarkut mund të mos kenë vlerë të barabartë me atë që shënojnë. Jo gjithnjë një rezistencë që shënon $100\ \Omega$ ka vlerë $100\ \Omega$ dhe tensioni 10 V mund të jetë 10 V . Rezistenca e ngarkesës e lidhur në skemë ka një rol të rëndësishëm në pikën ose zonën e punës së elementit. Lind pyetja: Si mund të gjejmë me saktësi vlerën e tensionit e rrymës në diodë?

3.1. Analiza e linjës së ngarkesës

Nëse e analizojmë problemin në mënyrë grafike, për skemën ku është lidhur dioda, duhet të ndërtojmë një vijë të drejtë të quajtur linja e ngarkesës. Pikëprerja e linjës së ngarkesës me karakteristikën volt-ampere të diodës do të përcaktojë pikën e punës së diodës, Q. Një analizë e tillë quhet analiza e linjës së ngarkesës. Le të ndërtojmë linjën e ngarkesës së rrymës së vazhduar për qarkun e figurës 3.1 a). Në figurën 3.1 a) skema ushqehet nga tensioni i zbatuar (E) dhe në qark kalon rrymë në drejtimin orar. Fakti që drejtimi i rrymës dhe drejtimi i shigjetës në simbolin e diodës përputhen, do të thotë se dioda është polarizuar në të drejtë dhe shërben si “çelës i kyçur”. Për këtë polaritet të tensionit në diodë, karakteristika ndodhet në kuadrantin e parë të figurës 3.1 b).

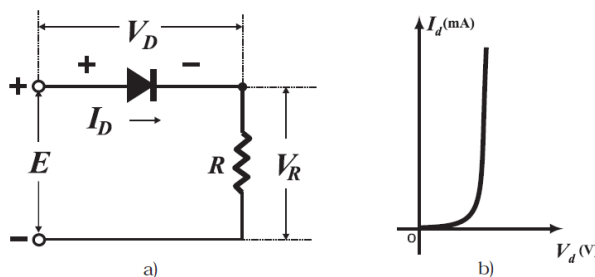


Figura 3.1. a) Skema, b) karakteristika volt-ampere e diodës

Duke aplikuar ligjin e Kirkofit për tensionet për qarkun në seri të figura 3.1 a), do të kemi:

$$E - V_D - V_R = 0$$

$$E = V_D + I_D R$$

Ky është ekuacioni i një vije të drejtë. Për ndërtimin e saj mjafton të gjejmë koordinatat e dy pikave të saj, 1 dhe 2, respektivisht në boshtin vertikal pika 1 dhe në atë horizontal pika (2) si në figurën 3.2. Për gjetjen e koordinatave të pikës (1) mendojmë $V_D=0V$ në ekuacionin (3.1) dhe e zgjidhim barazimin për gjetjen e I_D . Vlera e I_D ndodhet në boshtin vertikal. Me $V_D=0V$, ekuacioni (2.1) shndërrohet:

$$I_D = \frac{E}{R} \quad \text{për } V_D=0$$

Për gjetjen e koordinatave të pikës (2) konsiderojmë $I_D = 0$ dhe nga barazimi (3.1) do të gjejmë:

$$V_D = E \quad \text{për } I_D = 0.$$

Vija e drejtë që bashkon këto dy pika është linja (vija) e ngarkesës, siç tregohet në figurën 3.2. Ndryshimi i vlerës së rezistencës së ngarkesës do të ndryshojë pikëprerjen në boshtin vertikal. Rezultati është ndryshimi i pjerrësisë së linjës së ngarkesës dhe i pikëprerjes midis linjës së ngarkesës dhe karakteristikës së diodës. Siç e thamë më lart, pikëprerja e linjës së ngarkesës me karakteristikën e diodës përcakton koordinatat e pikës së punës. Nga pika Q, duke u ulur me një vijë vertikale pingul mbi boshtin horizontal, ne përcaktojmë tensionin e diodës V_{DQ} , kurse duke hequr një vijë horizontale, pingul mbi boshtin vertikal, përcaktojmë vlerën e rrymës I_{DQ} . Rryma I_{DQ} është në fakt rryma që kalon në të gjithë skemën e figurës 2.1 a). Pika e punës quhet zakonisht pika e qetësisë (shkurt “Q”). Zgjidhja e përfutur nga pikëprerja e dy kurbave është e njëjtë me atë të përfutur nga zgjidhja matematikore e barazimit (2.1) dhe (1.4).

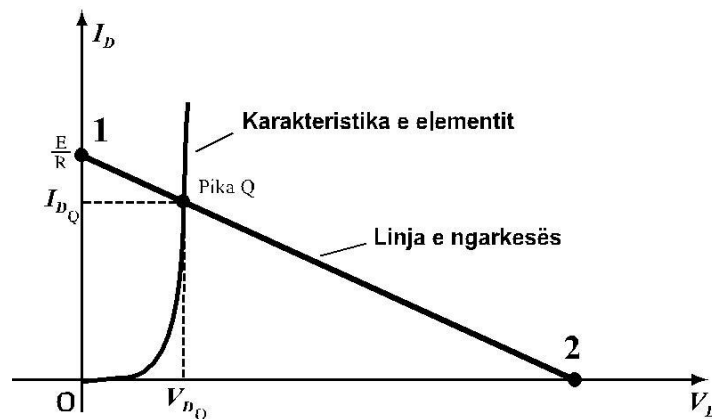


Figura 3.2. Vizatimi i linjës së ngarkesës dhe gjetja e pikës së punës

3.2. Drejtuesit me një diodë

Në figurën 3.3 është treguar skema e drejtuesit me një gjysmëvalë dhe forma e sinjalit në hyrje. Në hyrje të skemës zbatohet tensioni sinusoidal:

$$v_i = V_m \sin \omega t,$$

ku v_i është vlera e çastit e tensionit,

V_m është vlera maksimale (pik) ose amplituda e tensionit,

ω është frekuenca këndore, $\omega = 2 \pi f$.

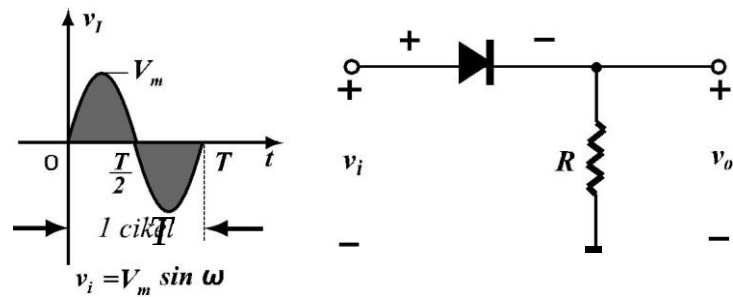


Figura 3.3. a) Sinjali në hyrje të skemës drejtuese, b) Skema e drejtuesit me një gjysmëvalë

Në gjysmëvalën pozitive të tensionit, dioda është polarizuar në të drejtë për vlera çasti më të mëdha se tensioni i hapjes së diodës (afërsisht 0.7 V për diodat e Si dhe 0.3 V për diodat e Ge) si në figurën 3.4 a). Gjatë kësaj kohe në rezistencën e ngarkesës kalon rrymë dhe tensioni në dalje ka formën e treguar në figurën 3.4 b). Për thjeshtësi studimi, ne do të konsiderojmë diodën ideale, sepse vlera maksimale e tensionit në sekondar është shumë më e madhe se tensioni i hapjes së diodës.

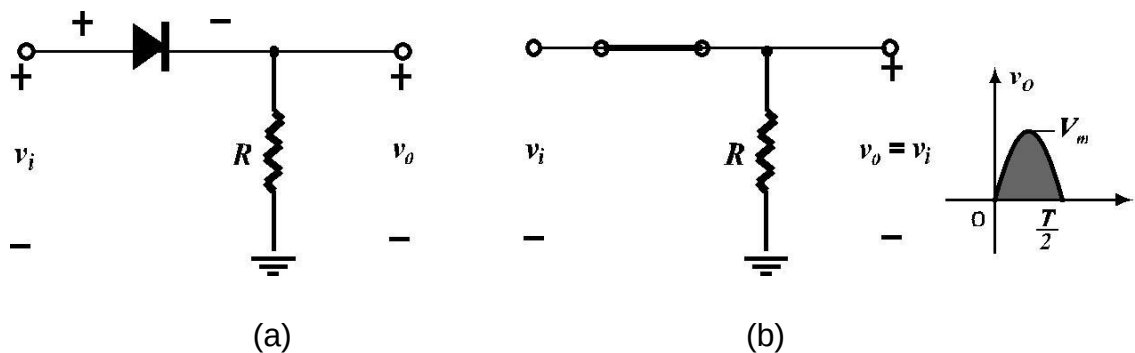


Figura 3.4. Dioda në gjendje përcjellëse (0 - $T/2$)

Në figurën 3.5 tregohet rasti kur në hyrje të skemës është zbatuar gjysmëvala negative e tensionit e cila e polarizon në të kundërt diodën dhe ajo nuk përcjell rrymë. Për rrjedhojë, tensioni në dalje në rezistencën R do të jetë zero gjatë gjysmës së dytë të periodës.

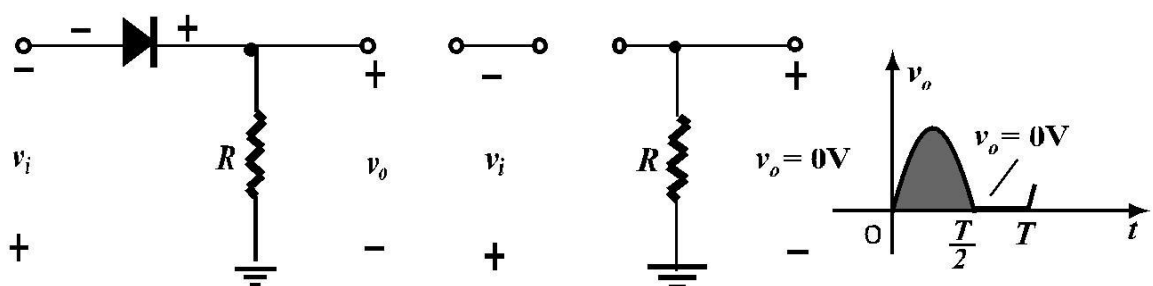


Figura 3.5. Dioda në gjendje jopërcjellëse ($T/2$ - T)

Vini re se si tensioni në dalje ndryshoi nga alternativ në pulsant. Rryma në ngarkesë është gjithnjë në të njëjtin drejtim dhe ky proces është quajtur drejtim. Vlera mesatare e drejtuar e sinjalit në dalje (V_{dc}) është:

$$V_{dc} = V_{mes} = \frac{V_{max}}{\pi} = 0.318 V_{max}$$

Nëse merret në konsideratë rënia e tensionit në diodë:

$$V_{dc} = 0.318 (V_{max} - V_D)$$

ku V_T është tensioni i hapjes së diodës.

Sinjali në hyrje dhe në dalje të skemës me një gjysëmvalë (me një diodë) tregohet në figurën 3.6.

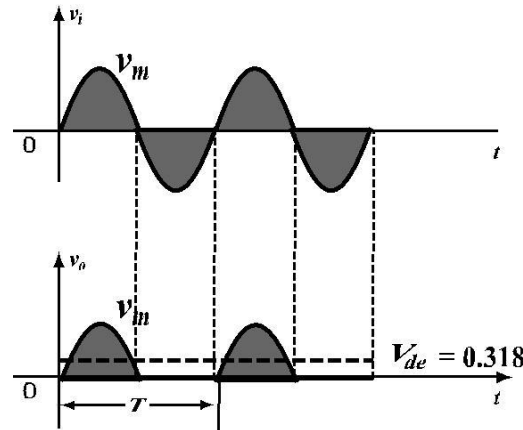


Figura 3.6. Sinjali në hyrje dhe në dalje të skemës me një gjysëmvalë

Nëse vlera e rezistencës së ngarkesës dihet, mund të gjendet *vlera mesatare e rrymës* që kalon në të, pra dhe vlera mesatare e drejtuar e rrymës në diodë. Kjo vlerë duhet të jetë gjithnjë më e vogël se vlera kufi e rrymës që jepet në katalog për një diodë të caktuar. Kur dioda është polarizuar në të kundërt, tensioni në ngarkesë është 0 dhe tensioni i zbatuar bie në diodën e polarizuar në të kundërt. Ky tension duhet të jetë më i vogël se *tensioni kufi ose maksimal i kundërt* (PIV–Peak Inverse Voltage) që jepet në katalog.

$$PIV \geq V_{max}.$$

3.3. Drejtuesit me dy gjysmëvalë (me dy dioda)

Në figurën 3.7 a) është treguar drejtuesi me dy gjysmëvalë, i cili ka në ndërtimin e tij një transformator, sekondari i të cilit është me pikë mesi.

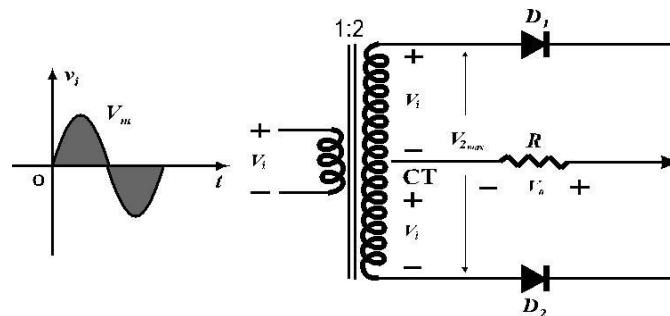


Figura 3.7 a) Drejtuesi me dy gjysmëvalë

Gjatë gjysmëvalës pozitive të tensionit në sekondar, si në figurën 3.7 b), dioda e sipërme D_1 është polarizuar në të drejtë, ndërsa dioda e poshtme D_2 është polarizuar në të kundërt. Rryma kalon nëpër diodën D_1 , rezistencën e ngarkesës dhe gjysmëmbështjellën e sipërme.

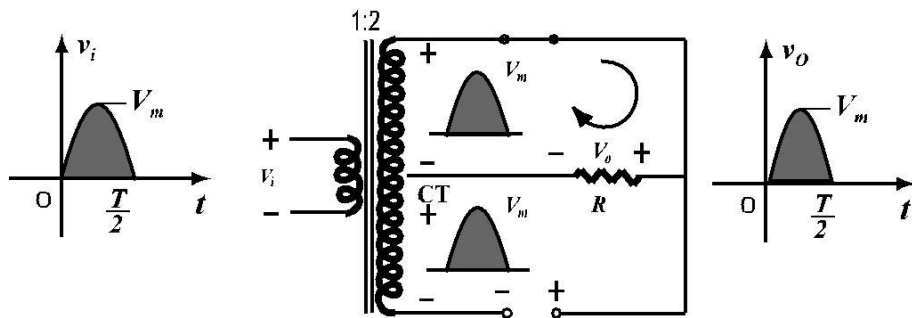


Figura 3.7 b) Rruga e kalimit të rrymës në kohën $(0-T/2)$

Gjatë gjysmëvalës negative, si në figurën 3.7 c), rryma kalon nëpër diodën D_2 , rezistencën e ngarkesës dhe gjysmëmbështjellën e poshtme. Vini re që tensioni në ngarkesë ka të njëjtin polaritet si në figurën 3.7 b), sepse rryma kalon nëpër rezistencën e ngarkesës në të njëjtin kah, pavarësisht se cila diodë përcjell. Kjo është arsyeja që tensioni në ngarkesë është sinjal i drejtuar me dy gjysmëvalë.

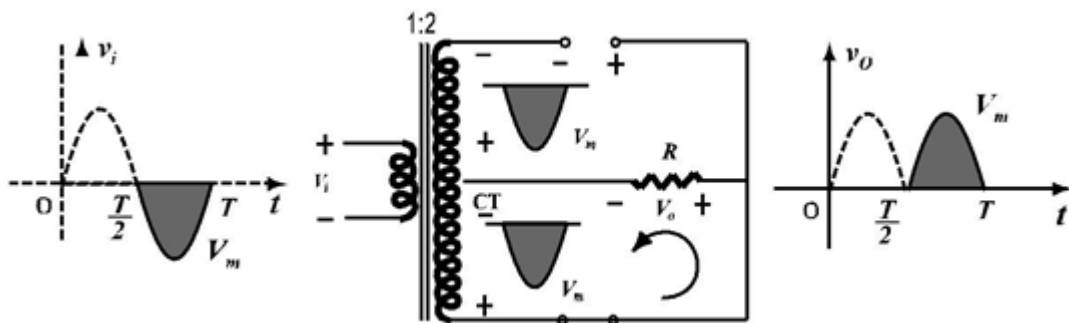


Figura 3.7 c) Rruga e kalimit të rrymës në kohën $(T/2-T)$

Meqenëse sekondari i transformatorit ka pikë mesi, çdo diodë punon vetëm për një gjysmëvalë. Duke menduar diodat ideale, vlera maksimale e tensionit të drejtuar në dalje është:

$$V_{D_{max}} = 0.5 V_{2_{max}} = V_{max}$$

ku $V_{2_{max}}$ është vlera maksimale e tensionit në sekondarin e transformatorit.

Vlera mesatare e sinjalit në dalje është sa dyfishi i sinjalit në dalje të drejtuesit me një gjysmëvalë.

$$V_{dc} = 0.636 V_{D_{max}}$$

Çdo diodë përcjell vetëm për një gjysmë periode, prandaj vlera maksimale e rrymës në diodë (e dhënë nga katalogu) duhet të jetë më e madhe se gjysma e rrymës së drejtuar në ngarkesë. Në skemën drejtuese me një gjysmëvalë, frekuenca e sinjalit në dalje është e njëjtë me frekuencën e sinjalit në hyrje. Në drejtuesin me dy gjysmëvalë frekuenca e sinjalit në dalje

është sa dyfishi i frekuencës së sinjalit në hyrje, sepse gjatë një periode të sinjalit në hyrje kemi dy gjysmëvalë të tensionit në dalje, pra tensioni pulson 2 herë më shumë se në skemën e drejtuesit me një gjysmëvalë. Çdo diodë në drejtuesin me dy gjysmëvalë (ose me valë të plotë) duhet të ketë një vlerën kufi të tensionit të kundërt (e cila gjendet në katalog) më të madhe se $2V_{\max}$.

$$PIV \geq 2V_{\max}$$

3.4. Drejtuesit urë-Grec (Graetz)

Këta drejtues janë më të përdorshëm nga skemat e studiuara deri tani, sepse vlera mesatare e tensionit në dalje është më e madhe se ajo e drejtuesit me dy dioda për të njëjtën vlerë tensioni në sekondar. Në figurën 3.8 a) është treguar skema e drejtuesit urë.

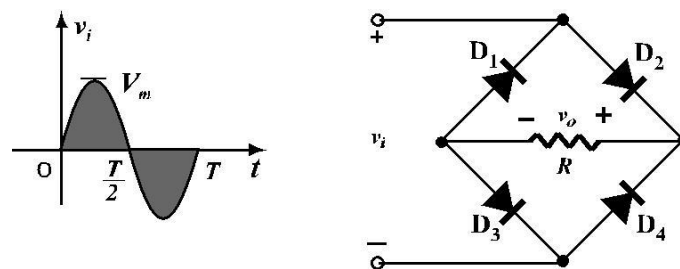


Figura 3.8 a) Drejtuesi urë

Gjatë gjysmëvalës pozitive të tensionit në sekondar, figura 3.8 b), diodat D_2 e D_3 janë polarizuar në të drejtë dhe tensioni në rezistencën e ngarkesës ka polaritetin e treguar në figurën 3.8 b).

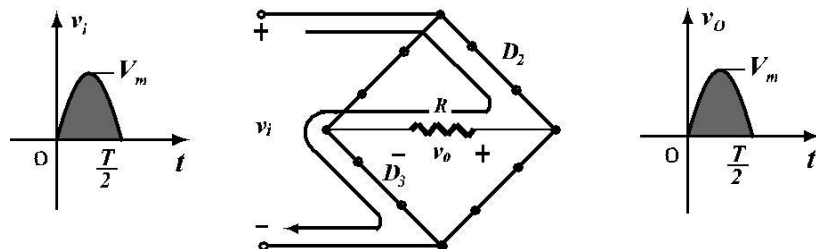


Figura 3.8 b) Rruga e kalimit të rrymës në kohën $(0-T/2)$

Gjatë gjysmëvalës negative të tensionit në sekondar, diodat D_1 e D_4 janë polarizuar në të drejtë dhe tensioni në ngarkesë ka polaritetin e treguar në figurën 3.8 c).

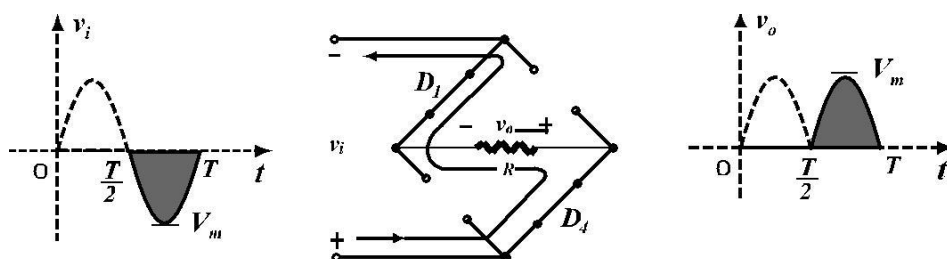


Figura 3.8 c) Rruga e kalimit të rrymës në kohën $(T/2 \text{ deri } T)$

Në çdo gjysmëvalë tensioni në ngarkesë ka të njëjtin polaritet, sepse rryma në ngarkesë kalon në të njëjtin kah, pavarësisht se cila diodë është duke përcjellë. Ja pse tensioni në dalje është sinjal i drejtuar me valë të plotë, si në figurën 3.8 d). Pra, në rezistencë kalon rrymë gjatë gjithë periodës.

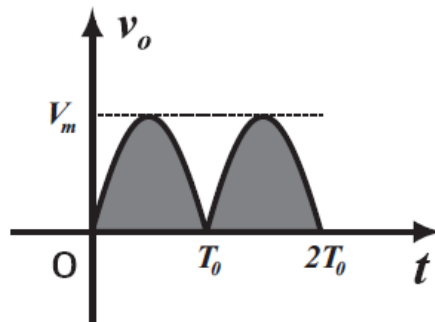


Figura 3.8 d) Tensioni në ngarkesë

Tensioni maksimal në dalje është:

$$V_{Dmax} = V_{max}$$

Vini re që në skemën urë të drejtuesit vlera maksimale e tensionit në rezistencën e ngarkesës është sa vlera maksimale e tensionit në hyrje, ndërsa në drejtuesin me dy dioda vlera maksimale e tensionit në rezistencën e ngarkesës është e barabartë me gjysmën e vlerës maksimale të tensionit në sekondar dhe kjo e bën më të vështirë e të kushtueshme prodhimin e skemës. *Vlera mesatare e tensionit* është:

$$V_{dc} = 0.636 V_{Dmax}$$

Tensioni i kundërt maksimal në çdo diodë duhet të jetë më i vogël se vlera e kufi e këtij tensioni në katalog: $PIV \geq V_{max}$. Meqë në rezistencën e ngarkesës kalon rrymë gjatë gjithë periodës së sinjalit në hyrje, T_0 është sa gjysma e T_i . Për këtë arsye *frekuenca e sinjalit në dalje* është sa dyfishi i frekuencës së sinjalit në hyrje.

3.5. Diodat e lidhura në seri ose në paralel

Skemat e marra në shqyrtim janë ushqyer me burim tensioni të vazhduar. Dioda është në gjendje përcjellëse kur rryma që kalon në skemë përpunohet me drejtimin e shigjetës në simbolin saj dhe tensioni i hapjes V_T është afërsisht 0.7 V për diodat e silicit dhe 0.3 V për diodat e germaniumit (fig. 3.9).

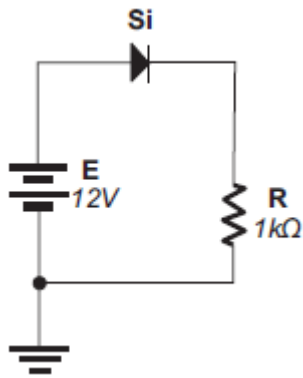


Figura 3.9 Dioda në regjim përcjellëse

Kur dioda është e polarizuar në të kundërt, kahu i rrymës është i kundërt me drejtimin e shigjetës në simbolin e diodës dhe rryma ka vlerë të papërfillshme.

Në diodat lidhen *në seri* në të njëjtin drejtim, si në skemën e figurës 3.10 ato janë gjendje përcjellëse. Diodat mund të ekuivalentohen me dy burime tensioni të vazhduar, secili me tension sa vlera e hapjes së diodave. Meqë diodat janë prej silici, ato e kanë tensionin e hapjes 0, 7 V. Qarku ku janë .lidhur diodat është qark seri, d.m.th. që rryma është e njëjtë në çdo element të qarkut.

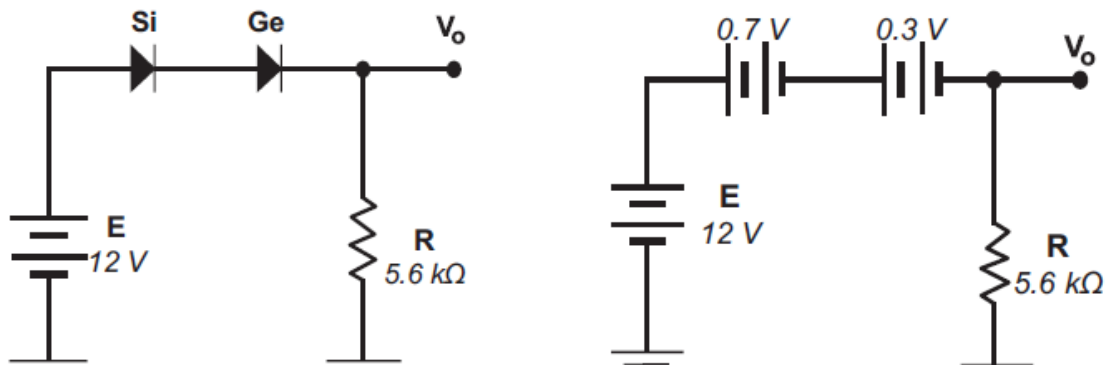


Figura 3.10 Diodat e lidhura në seri në të njëjtin drejtim

Në diodat lidhen seri në drejtime të kundërta, si në skemën e figurës 3.11 ato janë gjendje jopërcjellëse, pasi:

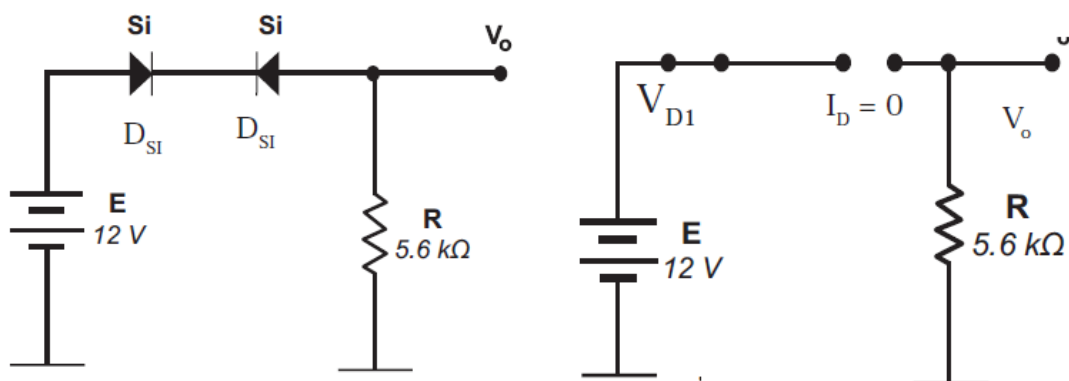


Figura 3.11 Diodat e lidhura në seri në drejtime të kundërta

Në praktikë arsya kryesore që diodat lidhen në seri është për të përballuar vlerën e tensionit të kundërt maksimal të zbatuar në qark, vlerë e cila nuk mund të përballohet nga një diodë e vetme.

Nëse dy ose më shumë dioda duhet të lidhen *në paralel*, nëse rryma që kalon në qark është më e madhe se vlera e rymës së lejuar të secilës prej diodave. Kur diodat lidhen në paralel, rryma e përgjithshme në qark degëzohet dhe në çdo degë kalon rrymë më e vogël se vlera maksimale e lejuar e rrymës, që do të nxirrte jashtë përdorimi një diodë.

3.6. Shumëfishuesit e tensionit

Skemat e shumëfishimit të tensionit janë përdorur për të kthyer një tension maksimal relativisht të ulët në sekondarin e transformatorit në një tension maksimal dy, tre, katër ose shumë herë më të madh në dalje.

Dyfishuesit e tensionit

Në figurën 3.12 është treguar një prej tipeve të dyfishuesve të tensionit me një gjysmëvalë. Gjatë gjysmëvalës (gjysmëperiodës) pozitive të tensionit në transformator (sekondar), dioda D_1 përcjell, ndërsa D_2 nuk përcjell; kondensatori C_1 ngarkohet me tension deri në vlerën e tensionit maksimal (V_m) dhe me polaritetin e treguar në figurë. Dioda D_1 është idealisht si një qark i lidhur në të shkurtër në këtë gjysmëperiodë. Gjatë gjysmëperiodës negative të tensionit në sekondar, dioda D_1 nuk përcjell, ndërsa dioda D_2 përcjell duke ngarkuar kondensatorin C_2 . Dioda D_2 vepron si një qark i shkurtër gjatë gjysmëperiodës negative dhe D_1 si qark i hapur.

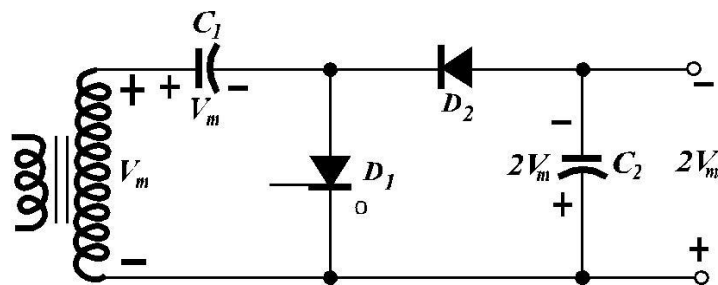
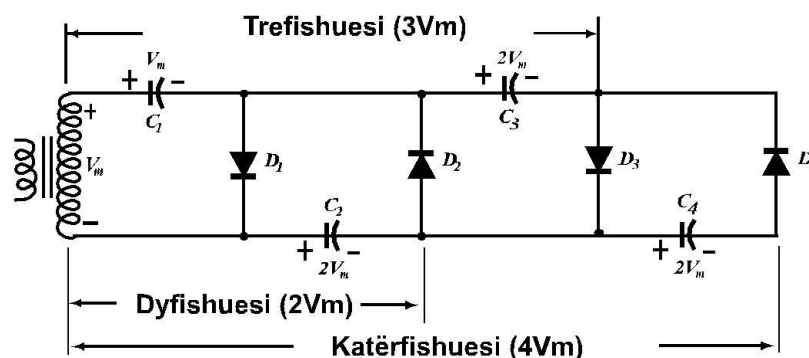


Figura 3.12. Dyfishuesi i tensionit me një gjysmëvalë

Në dalje të dyfishuesit mund të lidhet një rezistencë ngarkese. Tensioni në C_2 bie gjatë gjysmëvalës pozitive (kondensatori C_2 shkarkohet nëpër rezistencën e ngarkesës), por kondensatori C_2 ngarkohet deri në $2 V_m$ gjatë gjysmëvalës negative. Sa më e madhe të jetë vlera e rezistencës së ngarkesës, aq më tepër tensioni në dalje i afrohet $2 V_m$. PIV (tensioni i kundërt maksimal) për çdo diodë duhet të jetë më i madh se $2V_m$.

Trefishuesi dhe katërfishuesi i tensionit

Në figurën 3.13 tregohet një shumëfishues tensioni të cilit i janë shtuar dy kondensatorë dhe dy dioda për të marrë tre- dhe katërfishin e tensionit maksimal në sekondar.



3.7 Prerësit (Clippers)

Ekziston një numër shumë i madh qarqesh të cilat quhen prerëse. Këto qarqe kanë vetinë që të presin një pjesë të sinjalit në hyrje, pa e shtrembëruar pjesën e mbetur të sinjalit. Qarqet prerëse më të thjeshta janë të ndërtuara vetëm nga një rezistencë e një diodë. Këto skema janë skemat e drejtimit. Duke vënë re drejtimin e diodës në qark kundrejt ndryshimit të sinjalit në hyrje, mund të përcaktojmë thjesht cila gjysmëvalë do të pritët, ajo negative apo ajo pozitive. Prerësit ndahen në dy grupe themelore: në prerës në seri dhe prerës në paralel. Mënyra e vendosjes së diodës kundrejt rezistencës së ngarkesës do të përcaktojë edhe llojin e prerësit. Prerësit në seri dhe në paralel nuk kanë kufizime për sa i përket sinjalit në hyrje. Ai mund të jetë i formave të ndryshme alternative, siç tregohet edhe në figurën 3.14 a) dhe b). Prerësit do t'i studiojmë me kushtin që diodat janë ideale.

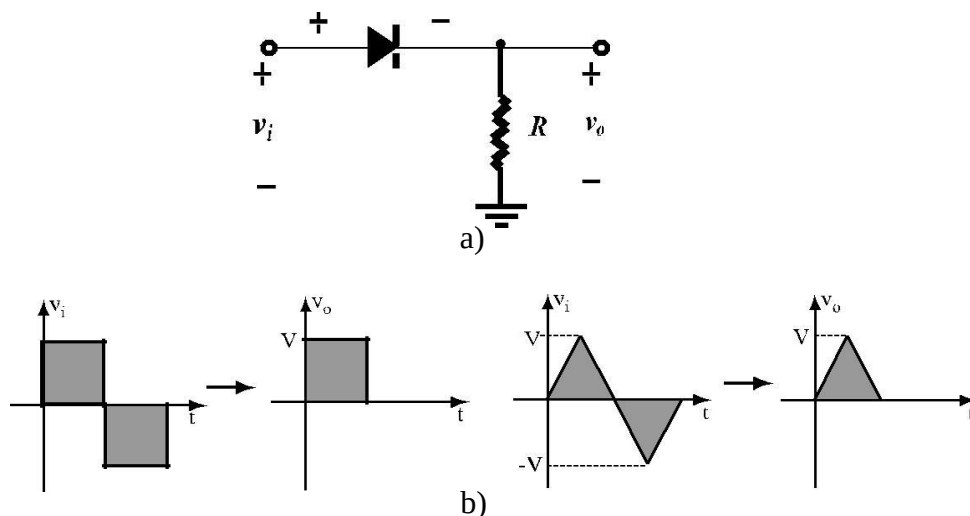


Figura 3.14 a) Skema e një prerësi seri, b) Forma të ndryshme sinjalesh alternative

Shtimi i një burimi dc në qarkun e një prerësi do të bëjë të mundur zhvendosjen e sinjalit kundrejt boshtit të ordinatave. Nuk ka një procedurë fikse për analizimin e këtyre qarqeve. Ato duhen studiuar duke marrë veç gjysmëvalën pozitive dhe veç gjysmëvalën negative.

Në figurën 3.15 tregohet skema e një prerësi me burim sinjali dhe burim tensioni të vazhduar në qark.

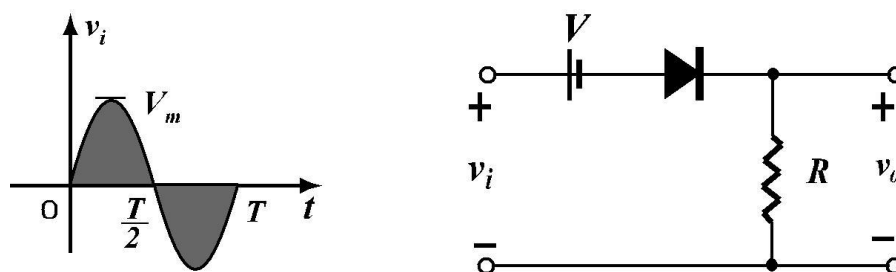


Figura 3.15. Prerës seri me një burim tensioni të vazhduar (dc)

Gjatë gjysmëvalës pozitive, për $v_i < V$, dioda është në gjendjen “off”, ndërsa për $v_i > V$, dioda shkon në gjendjen “on”. Tensioni në dalje ndjek ndryshimet e tensionit në hyrje, si në figurën 3.16. Gjatë gjysmëvalës negative, dioda është në gjendje “off” (si qark i hapur) dhe $v_o = 0$. Përfundimisht, forma e sinjalit në hyrje e në dalje të skemës tregohet në figurën 3.16. Në këtë rast tensioni v_o është i ndryshëm nga zero për më pak se $1/2T$.

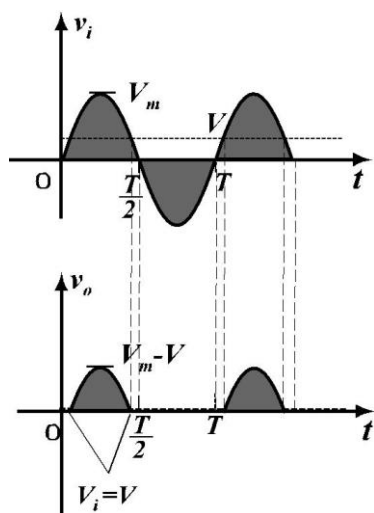
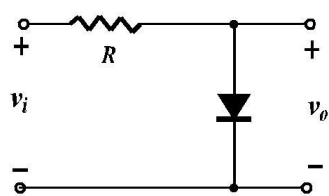


Figura 3.16. Format e sinjalit në hyrje e në dalje

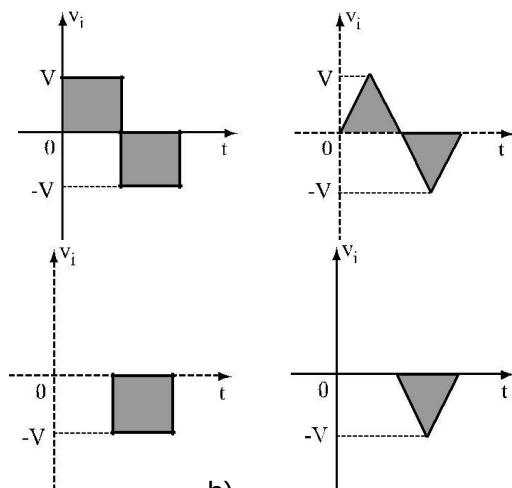
Hapat që ndiqen në përgjithësi janë:

- ✓ Arsyetojmë në lidhje me pozicionin dhe gjendjen e diodës, pra kur ajo është në gjendje pune e kur nuk është në gjendje pune.
- ✓ Përcaktojmë tensionin, i cili do të shkaktojë ndryshimin e gjendjes së diodës. Për një diodë ideale, ndryshimi midis gjendjeve do të ndodhë në pikën me koordinata $V_D = 0V$ dhe $I_D = 0A$ të karakteristikës (në origjinë).

Skema e figurës 3.17 është skema më e thjeshtë e një prerësi në paralel, ku dioda ndodhet në paralel me bornat e daljes. Analiza e skemave në paralel është e ngjashme me ato të skemave në seri.



a)



b)

Figura 3.17

a) Prerës paralel,

b) Format e sinjaleve në dalje të prerësit në paralel të figurës 3.18 a) për sinjale të ndryshme në hyrje.

Tema mësimore nr.4: Tipe të tjerë diodash.

Në këtë temë mësimi do të studiohen tipe të ndryshme diodash, të cilat përdoren më shpesh në praktikë, si: dioda zener, dioda emetuese e dritës, fotodioda, dioda tunnel, dioda me kapacitet variabël (varikap), dioda Shotky.

4.1. Diodat Zener

Dioda zener shërben si element stabilizues i tensionit, pra mban tensionin konstant ndaj dy faktorëve:

- Ndryshimeve të tensionit në hyrje të skemës brenda një diapazoni të caktuar vlerash
- Ndryshimeve të rezistencës së ngarkesës në dalje të skemës brenda një diapazoni të caktuar vlerash

Karakteristika në figurën 4.1 a) tregon që në regjimin zener ajo zbret në mënyrë vertikale për tensionin e kundërt të shënuar V_{shp} ose V_Z . Rryma që kalon në diodë në këtë rast është në drejtim të kundërt me atë të diodës së polarizuar në të drejtë. Diodat që shfrytëzojnë këtë pjesë të karakteristikës janë dioda zener dhe e kanë simbolin si në figurën 4.1 b).

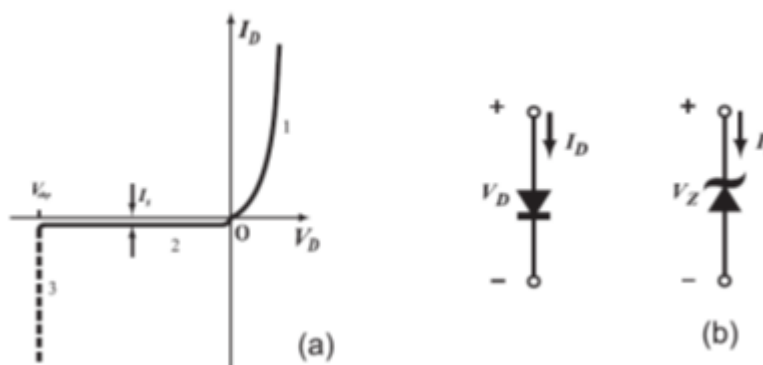


Figura 4.1. Karakteristika Volt-Ampere e diodës së zakonshme dhe simboli i diodës zener

Dioda punon në regjimin zener kur ajo duhet polarizohet në të kundërt, pra (+) i burimit të tensionit lidhet me katodën dhe (-) me anodën. Diodat zener mund të kenë tension zener nga 1.8 V deri në 200 V me fuqi maksimale nga 0.25 W deri në 50 W. Për shkak të tensioneve e rrymave më të larta, silici është më i preferuar për prodhimin diodës zener. Qarku ekuivalent i diodës zener përfshin një rezistencë të vogël dinamike dhe një bateri me tension të barabartë me V_Z , siç është treguar më poshtë në figurën 4.2 a). Në përgjithësi rezistencat e jashtme janë shumë më të mëdha se rezistenca e diodës zener dhe qarku ekuivalent është ai i treguar në figurën 4.2 b).

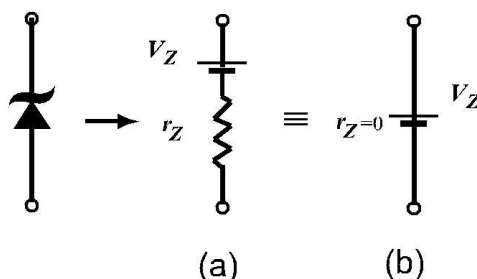


Figura 4.2. Qarku ekuivalent i diodës zener a) i plotë, b) i përafërt

Në figurën e mëposhtme (4.3) jepet karakteristika e një diode zener, ku V_Z nominale është vlera mesatare tipike e tensionit të diodës. I_{Z-T} është vlera e rrymës së përcaktuar për $\frac{1}{4}$ e fuqisë dhe Z_{ZT} është vlera e rezistencës dinamike për këtë nivel.

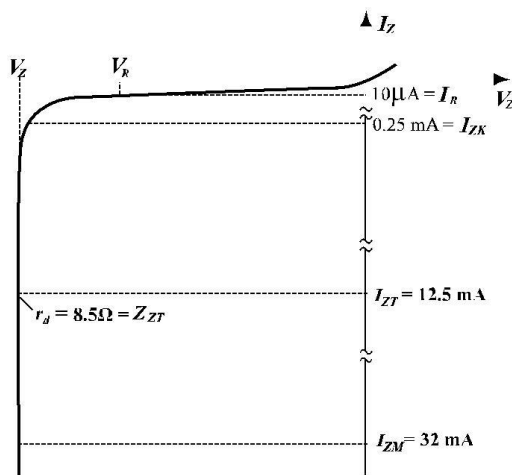


Figura 4.3. Karakteristika e diodës zener

Më poshtë tregohen (në figurë figurën 4.4) përcaktimi i daljeve të diodës zener dhe pamja e jashtme e disa prej tyre.

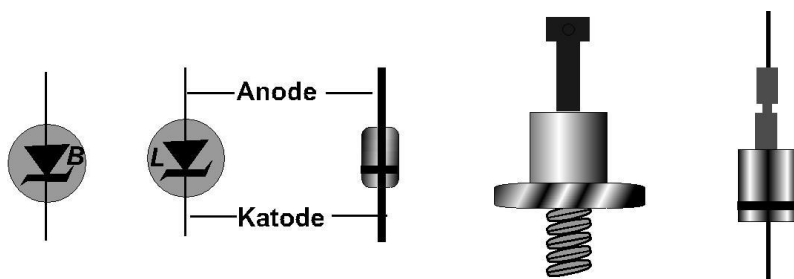


Figura 4.4 Përcaktimi i daljeve të diodës zener dhe pamja e jashtme e disa prej tyre

Qarku më i thjeshtë me diodë zener jepet në figurën 4.5.

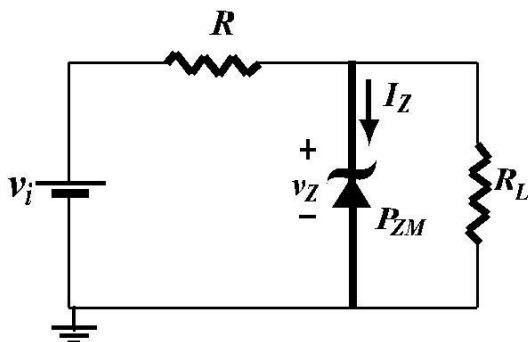


Figura 4.5. Një rregullator zener

Nëse $V \geq V_Z$, dioda zener është në gjendjen “on” dhe ajo ekuivalentohet me burim tensioni të vazhduar me vlerë sa V_Z ; nëse $V < V_Z$, dioda zener është në gjendjen “off” dhe ekuivalentohet me qark të hapur. Tensioni në elementet e lidhura në paralel është i njëjtë, pra: $V_L = V_Z$. Për të përcaktuar rrymën në diodën zener, zbatohet ligji i parë i Kirchhoffit: $I_R = I_Z + I_L$, nga ku: $I_Z = I_R - I_L$. Fuqia e harxhuar nga dioda zener përcaktohet: $P_Z = V_Z I_Z$.

Kjo vlerë e fuqisë duhet të jetë më e vogël se P_{ZM} e caktuar në katalog për elementin e dhënë. Diodat zener përdoren më shpesh në rregullatorë tensioni ose për të dhënë *një tension referimi*.

4.2. Diodat dritëdhënëse (LED)

LED janë dioda speciale që emetojnë dritë kur lidhen në një qark. Ato janë përdorur shpesh si një llambë pilot në zbatimet elektronike për të treguar kur qarku është në punë ose jo. Në një diodë të polarizuar në të drejtë, elektronet e lira kalojnë bashkimin e bien brenda vrimave. Nëse këto elektrone bien nga një nivel energjetik më i lartë në një nivel energjetik më të ulët, ato rrezatojnë energji. Në diodat e zakonshme Si ose Ge, pjesa më e madhe e kësaj energjie shkon në formën e ngrohtësisë. Në materiale të tjera si *galium arsenik fosfor (GaAsP)* ose *galium fosfor (GaP)*, numri i fotoneve të dritës është i mjaftueshëm për të krijuar një burim drite të dukshëm. Në diodat emetuese të dritës, kjo energji rrezatohet si dritë. Pjesa më e rëndësishme e një LED-i është një çip gjysmëpërcjellës që vendoset në qendër të llambës. Çipi ka dy shtresa: shtresa *p* ka kryesisht ngarkesa elektrike pozitive, ndërsa shtresa *n* ka kryesisht ngarkesa elektrike negative. Kur një tension i mjaftueshëm është zbatuar në diodë, elektronet mund të lëvizin lehtë vetëm në një drejtim në bashkimin e shtresave *p* dhe *n*, pra fillon të kalojë rrymë, sepse elektronet e shtresës *n* kanë energjinë e mjaftueshme për të lëvizur drejt shtresës *p*. Kur një elektron lëviz e bie mbi një ngarkesë pozitive, të dy ngarkesat rikombinohen, pra kur një elektron takon një vrimë, ajo bie në një nivel më të ulët energjie dhe lëshon energji në formën e fotonit. Sa herë një elektron rikombinohet me një ngarkesë pozitive, energjia potenciale elektrike shndërrohet në energji elektromagnetike. Duke përdorur kombinimin e elementeve kimike galium, arsenik dhe fosfor, mund të ndërtojmë LED-e, që rrezatojnë në ngjyrë të kuqe, jeshile, të verdhë, blu, portokalli ose infra të kuqe (të padukshme). Le të shohim se si duhet lidhur LED në një qark (fig. 4.5). Dalja e katodës (ku lidhet minusi) e një LED-i është treguar në dy mënyra:

1. ana e rrafshët e diodës (fig. 4.5 a),
2. më e shkurtër nga dy daljet e zgjatura poshtë diodës (fig. 4.5 b).

Në figurën 4.5 a) janë treguar pamje të ndryshme të LED, ndërsa në figurën 4.5 b) simboli i LED. Dalja e katodës së LED-it duhet lidhur gjithnjë me terminalin negativ të një baterie. Tensioni i punës së një diode emetuese të dritës (LED) është rreth vlerave 1.5 V deri në 3 V, ndërsa rryma që rrjedh nga 10 deri në 50 miliamper. Tensionet dhe rrymat mbi këto vlera mund të shkrijnë çipin e LED. Një skemë e thjeshtë me LED, si dhe display me 7 segmente me LED tregohet në figurën 4.5 c).

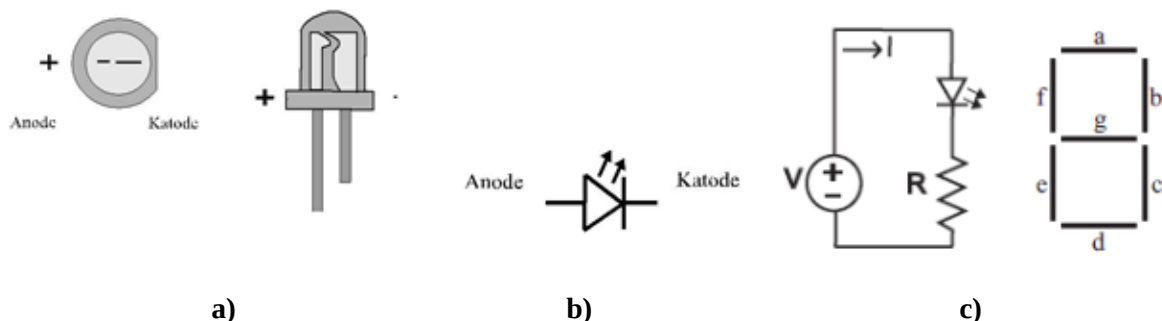


Figura 4.5. a) Pamje të ndryshme të LED; **b)** Simboli i LED; **c)** skemë e thjeshtë me LED, si dhe display me 7 segmente me LED

Një *display* me shtatë segmente përmban shtatë LED-e. Çdo LED është quajtur një segment. Në figurën 4.5 c) është treguar një segment i një display me 7 segmente ku dioda është lidhur në seri me një rezistencë që përdoret për të kufizuar vlerën e rrymës. Disa nga përdorimet e LED në jetën e përditshme janë: ndriçimet arkitekturore, indikatorët (tregues gjendjeje) në

mjaft pajisje, sinjalet e trafikut dhe ato rrugore, ndriçuesit e dorës, telekomandat (komandimi në largësi) në saje të LED me infra të kuqe, fibrat optike për komunikacion, për dritat e pemës së Krishtlindjes, fototerapia me LED kundër akneve ka rezultuar efektive në zhdukjen e akneve për një periudhë 3-mujore etj. Fillimisht, le të konsiderojmë se tensioni i zbatuar në hyrje është i pandryshueshëm, po ashtu edhe vlera e rezistencës. Fillimisht përcaktohet gjendja e diodës zener duke llogaritur tensionin në bornat e saj përmes një qarku të hapur.

4.3. Fotodioda

Me kalimin e viteve, është rritur së tepërmi interesi për pajisjet elektronike të ndjeshme ndaj dritës. Dega përkatëse që studion këto pajisje dhe mundohet të rrisë rendimentin e tyre quhet optoelektronika. Burimet e dritës janë një burim i veçantë energjie. Kjo energji transferohet nëpërmjet grimcave të quajtura fotone, të cilat kanë një nivel të lidhur drejtpërdrejt me frekuencën valës shëtitëse të dritës (f) dhe përcaktohet me formulën e mëposhtme:

$$W = h \cdot f.$$

Energjia shprehet në xhaul, (h) është konstantja e Plankut që është e barabartë me 6.624×10^{-34} xhaul/sekondë, f është frekuenca e valës së dritës që matet me Hz. Nga ana tjetër, frekuenca është gjithashtu e lidhur me gjatësinë e valës (largesa e dy kreshtave të një vale).

Lambda (λ) është gjatësia e valës e $\lambda = \frac{v}{f}$ metra, v është shpejtësia e dritës ($v = 3 \times 10^8$ m/s) dhe f është frekuenca e valës shëtitëse në Hz. Gjatësia e valës normalisht matet në Angstrom ($\text{\AA}$) ose në mikrometër, ku:

$$1\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m dhe } 1 \text{ mikrometër} = 10^{-6} \text{ m.}$$

Gjatësia e valës së dritës rënëse varet nga lloji i materialit që përdoret për ndërtimin e elementeve optoelektronike. Fotodioda është një element gjysmëpërcjellës me bashkim p - n . Simboli dhe një skemë e thjeshtë me fotodiodë (figura 4.6) tregohet më poshtë:

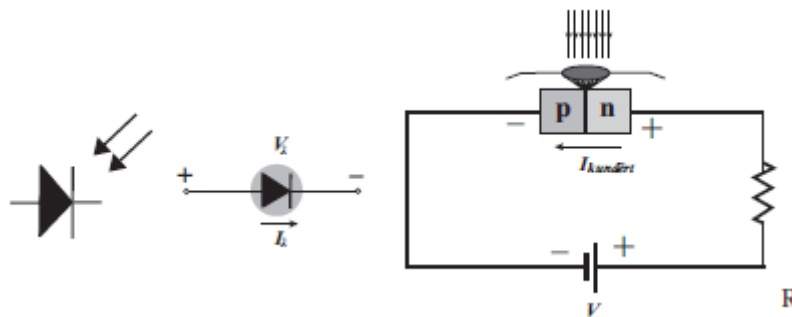


Figura 4.6 Simboli dhe një skemë e thjeshtë me fotodiodë

Pra, siç duket dhe nga skema, fotodioda lidhet në të kundërt me baterinë. Kur nuk aplikojmë dritë, rryma që do të ekzistojë është rrymë shumë e vogël dhe quhet rryma e errët. Kujtojmë nga mësimet e para se rryma e kundërt e saturimit ka vlerë disa mikroamper dhe ajo krijohet nga lëvizja e mbartësve minoritarë në shtresën n dhe p . Kur rrezet e dritës, me një gjatësi vale të caktuar (frekuencë të caktuar), bien mbi kalimin p - n të fotodiodës, atëherë energjinë e tyre e transferojnë në strukturën atomike. Për rrjedhojë rriten shumë mbartësit minoritarë, që krijojnë rrymën e punës në fotodiodë. Numri i elektroneve të lira është në përpjesëtim të drejtë me intensitetin e dritës që bie. Intensiteti i dritës është i lidhur me fluksin e ndriçimit që bie mbi një sipërfaqe. Fluksi i ndriçimit matet me *lumens* (lm) ose *vat*:

$$1 \text{ lm} = 1.496 \times 10^{-10} \text{ W.}$$

Intensiteti i ndriçimit matet në përgjithësi me *fotokandela (fc)* ose W/m_2 :

$$1 \text{ fc} = 1.609 \times 10^{-9} \text{ W/m}_2$$

Meqenëse koha e ndryshimit të gjendjes së këtij elementi është shumë e vogël, deri në nanosekonda, këtë element mund ta përdorim në numërues me shpejtësi të lartë, sistemet e alarmit etj. Rryma e kundërt do të jetë me vlerë të konsiderueshme aq kohë sa të vazhdojë të bjerë rrezja e dritës. Në qoftë se rrezja ndërpritet, rryma e kundërt bie në nivelin e rrymës së errët dhe vë në punë sinjalizuesin e alarmit. Një tjetër përdorim është ai i numërimit të objekteve mbi një rrip lëvizës. Me lëvizjen përpara të çdo objekti, sa herë pritët rrezja e dritës mbi fotodiodë, rryma bie në nivelin e rrymës së errët dhe numëruesi rrit me një numrin. Zbatime të tjera mund të jenë: në aparatit fotografik me autofokusim, në pajisje sigurie si detektorët e tymit, rrezet X në aeroporte dhe në alarmet e automjeteve dhe të banesave, në industri në skanerat e bar kodeve, në enkodera, në sensorë pozicioni si dhe në fotokopjues etj. Më poshtë tregohen skema të ndryshme praktike me fotodioda (fig. 4.7).

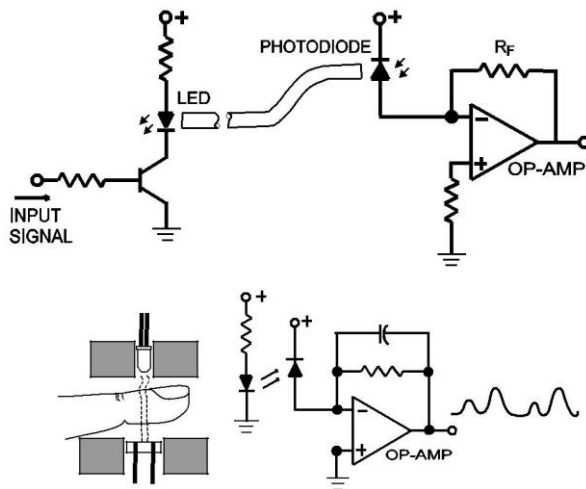


Figura 4.7

4.4. Diodat Shotki (SCHOTTKY)

Një diodë e zakonshme në frekuencat e ulëta mund të ndryshojë lehtë gjendjen nga e polarizuar në të drejtë në të polarizuar në të kundërt. Nëse frekuenca rritet, dioda arrin një gjendje ku nuk mund të kalojë shpejt në gjysmëciklin ku ajo polarizohet në të kundërt. Koha që i duhet diodës së polarizuar në të drejtë për t'u shkyçur (kur polarizohet në të kundërt gjatë gjysmëvalës negative) është quajtur koha e kthimit të kundërt (*reverse recovery time*) t_{rr} . Koha e kthimit të kundërt është shumë e shkurtër në diodat e sinjaleve të vogla dhe nuk vihet re në frekuencat poshtë 10 MHz. Në frekuenca më të mëdha ajo duhet marrë në konsideratë, sepse bëhet e krahasueshme në periodën e sinjalit ($T=1/f$). Në një skemë drejtuese me një gjysmëvalë, sinjali në dalje është pulsant në frekuencat e ulëta, ndërsa në frekuencat e larta sinjali në dalje është i deformuar. Kur frekuenca bëhet e rendit MHz, sinjali në dalje është i deformuar, sepse koha e kthimit të kundërt bëhet pjesë e periodës. Për të zgjidhur këtë problem, në vend të diodës së zakonshme përdorim diodën Shotki, e cila nga njëra anë e bashkimit është ndërtuar nga një pjesë metali, si: *ar, argjend, platin* etj., ndërsa nga ana tjetër nga një shtesë tjetër gjysmëpërcjellëse silici (kryesisht tipi *n*), figura 4.8 a).

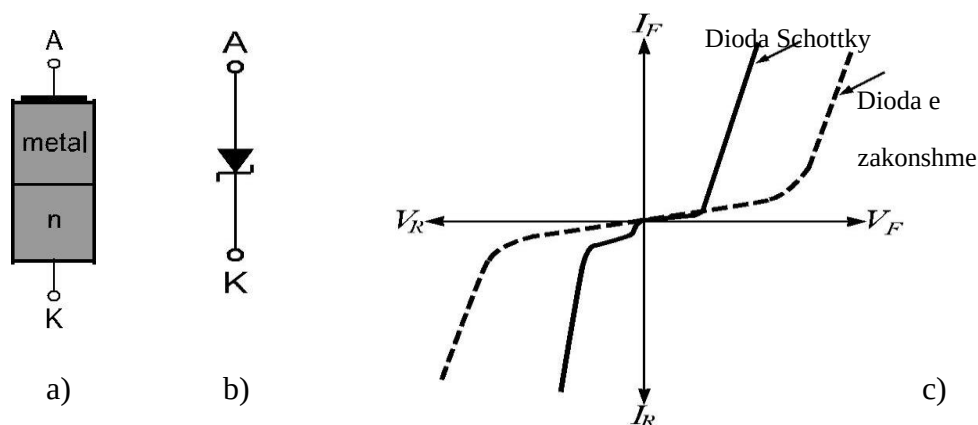


Figura 4.8. a). Skema strukturore, b) simboli, c) karakteristika e diodës Shotki dhe një diodë e zakonshme

Kur dioda është polarizuar në të drejtë, elektronet e lira në shtresën n kanë energjinë e mjaftueshme për të kaluar në orbita (nivele energjie) më të larta. Elektronet e lira mund të kalojnë bashkimin p - n dhe të hyjnë në metal duke prodhuar një rrymë mjaft të madhe. Metali nuk ka vrima dhe koha e kthimit të kundërt është e papërfillshme. Më poshtë tregohet një skemë drejtuese me diodë Shotki si dhe forma e sinjalit në dalje në frekuencën 100 MHz (figura 4.9); V_i -- tensioni në hyrje, V_o -- tensioni në dalje.

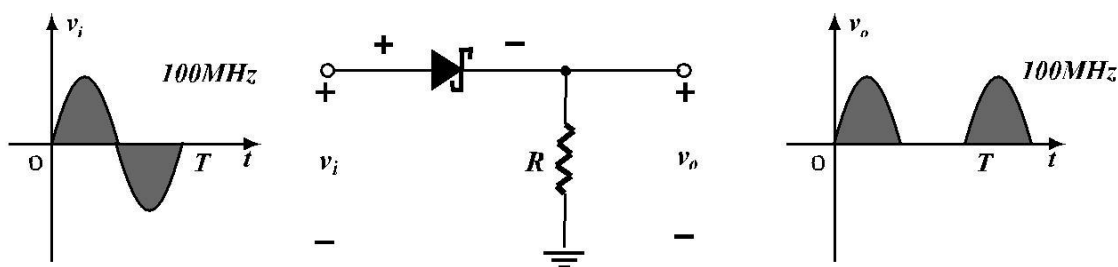


Figura 4.9. Skemë drejtuese me diodë Shotki si dhe forma e sinjalit në hyrje dhe në dalje

Dioda Shotki kyçet e shkyçet më shpejt se diodat e zakonshme. Ato përdoren në qarqet dixhitale kompjuterike. Shpejtësia e kompjuterave varet nga shpejtësia e diodave dhe transistorëve me të cilët ata kyçen e shkyçen. Dioda Shotki e ka tensionin e hapjes rreth 0.25 V, pra më të vogël se një diodë e zakonshme. Për këtë arsye dioda Shotki mund të përdoret në burimet e fuqisë me tensione të vogla në hyrje.

4.5. Dioda Varikap (Dioda me kapacitet variabël)

Dioda varikap përdoret gjerësisht në qarqet televizive, në marrësit FM dhe pajisje të tjera komunikacioni. Simboli i saj jepet në figurën 4.10 a). Kur një diodë e sinjaleve të vogla polarizohet në të kundërt, ka një rezistencë të kundërt të rendit $M\Omega$, pra në frekuencat e ulëta dioda sillet si një qark i hapur, ndërsa në frekuencat e larta kjo rezistencë duhet marrë në konsideratë. Kur dioda polarizohet në të kundërt, dy shtresat “ p ” dhe “ n ” shihen si pllakat e një kondensatori, ndërsa zona e kundërt si një dielektrik midis pllakave të një kondensatori. Ky kapacitet që shfaq dioda quhet kapacitet kalimtar (C_T). Sa më i madh është tensioni i kundërt i zbatuar në diodë, aq më e gjerë është shtresa e kundërt dhe aq më i vogël është kapaciteti kalimtar. Pra, kapaciteti është funksion i tensionit të kundërt që zbatohet në të. Në figurën 4.10 b) është treguar skema ekuivalente e një diode varikap të polarizuar në të kundërt. Një rezistencë e kundërt e madhe, R_R , është në paralel me kapacitetin kalimtar (C_T). Në frekuencat e ulëta kapaciteti kalimtar (C_T) është shumë i vogël dhe dioda sillet si qark i hapur

(R_R është e madhe). Në frekuencat e larta kapaciteti i kontrolluar nga tensioni ka efekt mbizotërues. Në figurën 4.10 c) shihet si ndryshon kapaciteti kalimtar (C_T) në varësi të tensionit të kundërt të zbatuar në të.

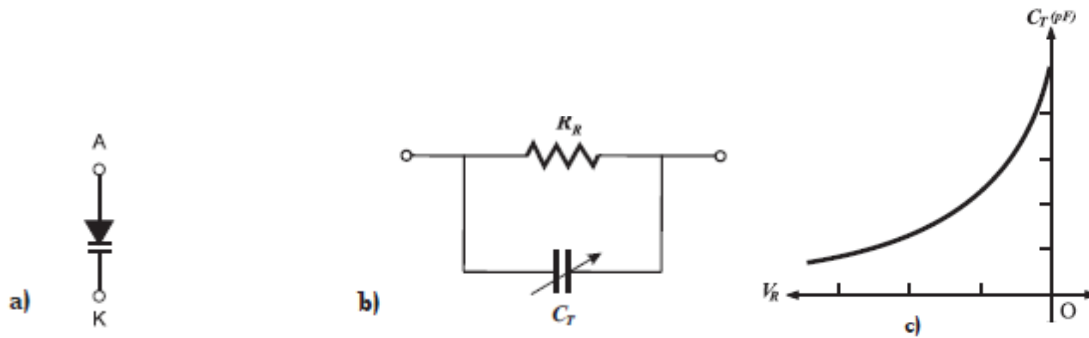


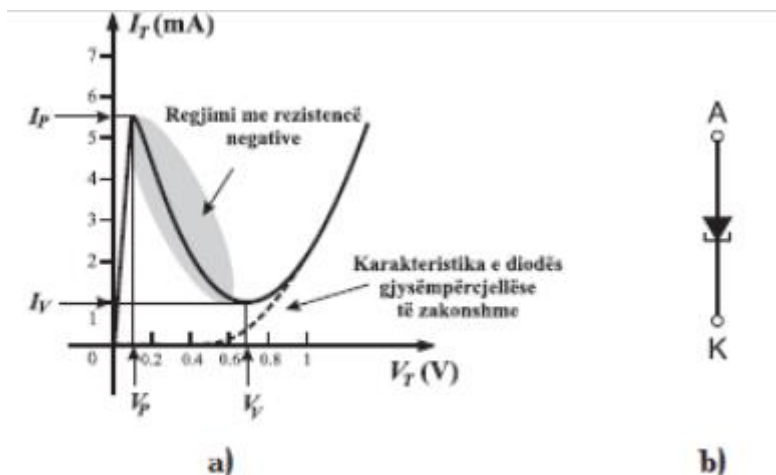
Figura 4.10 a) Simboli i diodës varikap, b) Skema ekuivalente e diodës varikap, c) Karakteristika e kapacitetit kalimtar në varësi të tensionit të kundërt

Diodat e silicit shfaqin kapacitet të kontrolluar nga tensioni, prandaj ato kanë zëvendësuar kondensatorët akordues mekanikë në mjaft zbatime, si: në marrësit televiziv, në radiot e automobilave etj. Nëse një diodë varikap lidhet në paralel me një bobinë, ne mund të kemi një kontur rezonues me frekuencën e akordimit:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4.7. Dioda Tunnel

Dioda tunel (*tunnel*) ka këtë veçori: nëse polarizohet në të drejtë, menjëherë në të kalon rrymë që arrin vlerën maksimale I_P , kur tensioni në diodë është V_P . Më pas, me rritjen e tensionit, rryma zvogëlohet në vlerën minimale I_V për tensionin V_V . Zona midis këtyre vlerave quhet *zona me rezistencë negative* (sepse rritja e tensionit në diodë zvogëlon rrymën në diodë), si në figurën 4.11.



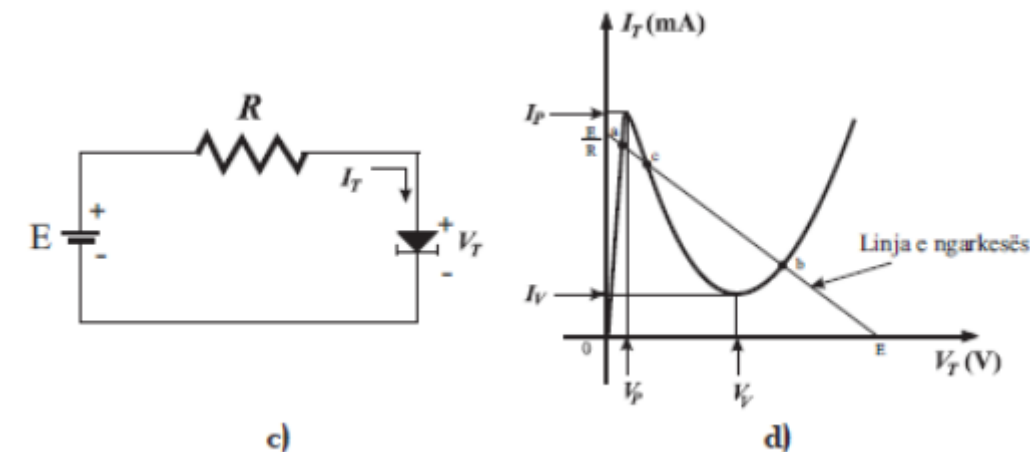


Figura 4.11 a) Karakteristika e diodës tunnel dhe krahasimi i karakteristikës së saj me atë të një diode të zakonshme, b) simboli, c) një skemë e thjeshtë me diodë tunnel, d) përcaktimi i pikës së punës së diodës

Zona me rezistencë negative është zona më e përdorshme në punën e këtyre diodave sidomos në qarqet oshiluese me frekuencë të lartë. Për skemën e figurës 4.11 c), ndërtojmë linjën e ngarkesës në figurën 4.11 d) dhe vëmë re që pikat a) e b) janë pika pune të qëndrueshme (ndodhen në zonat me rezistencë pozitive). Pika e punës c) është pikë pune jo e qëndrueshme. Një ndryshim i lehtë i vlerës së tensionit në diodë shkakton lëvizjen e pikës së punës Q drejt pikës a) ose b).

Tema mësimore nr.5: Transistorët dypolarë

Në 23 dhjetor 1947, industria e elektronikës kaloi në një etapë të re të zhvillimit të saj. Walter H.Brattain dhe John Bardenn eksperimentuan transistorin e parë si element amplifikues. Të mirat e këtij elementi me tri dalje ishin: më i vogël e më i lehtë në peshë, nuk kishte humbje fuqie që kthehej në nxehtësi, pra kishte rendiment më të lartë në punë (meqë fuqia e konsumuar në vetë transistorin ishte e vogël). Transistori mund të punonte me tensione më të vogla. Të gjithë amplifikuesit (elementet që rritin tensionin, rrymën dhe fuqinë) kanë të paktën tri dalje. Transistorët i ndajmë në transistorë dypolarë (BJT-Bipolar Junction Transistor) dhe transistorë njëpolarë (FET-Field-Effect Transistor). Në këtë temë mësimore do të studiojmë transistorët dypolarë. Quhen të tillë, sepse rryma që kalon në ta krijohet nga bashkëveprimi i dy lloj bartësish: bartësit e shumicës dhe bartësit e pakicës. Në fillim u ndërtua transistori prej germaniumi që kishte një temperaturë pune relativisht të ulët ($75-90^{\circ}\text{C}$). Më vonë u ndërtua transistori prej silici me temperaturë pune që shkon deri në 200°C .

5.1 Njohuri të përgjithshme

Transistori dypolar ndërtohet nga 3 shtresa (zona) gjysmëpërcjellëse me përcjellshmëri të ndryshme (të tipit p dhe të tipit n) të vendosura në mënyrë të alternuar. Në figurën 5.1 a) dhe b) tregohet ndërtimi strukturor dhe simbolet përkatëse të dy tipave të tranzistorëve. Në figurën 5.1 a), b) dhe c) tregohet skematikisht ndërtimi transistorit tip $p-n-p$ dhe i transistorit tip $n-p-n$ si dhe simbolet e tyre.

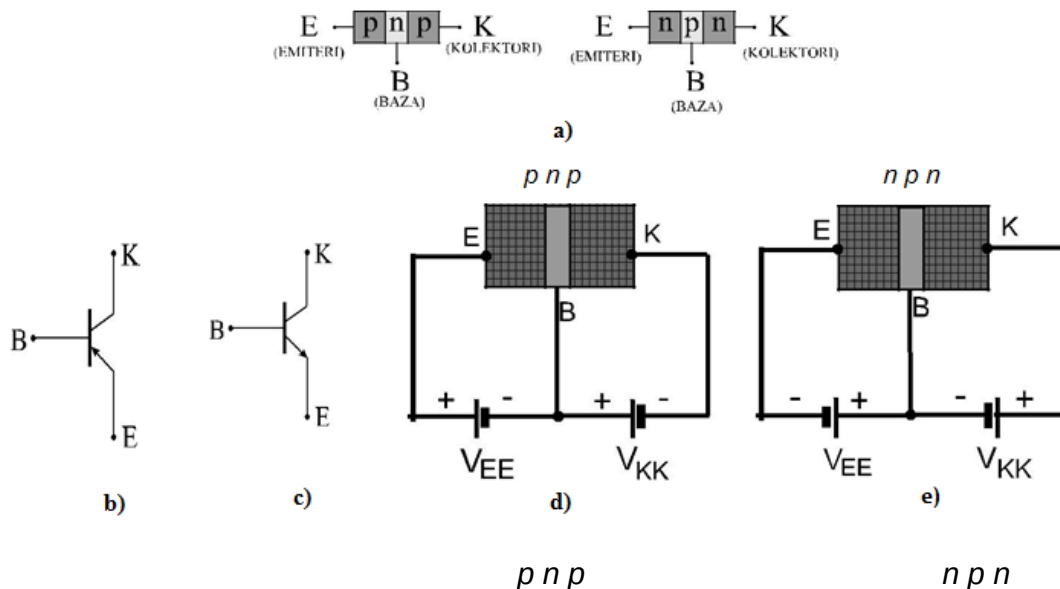


Figura 5.1 a) ndërtimi transistorit tip $p-n-p$ dhe $n-p-n$; b) dhe c) simbolet e tyre, d) dhe e) ushqimi i kalimeve $p-n$ të transistorëve

Secila zonë lidhet me një dalje që emërtohen E (emiter), B (bazë), K (kolektor). Emiteri është zona që jep (emeton) mbartës të ngarkesave dhe ka përqendrimin më të madh të mbartësve. Baza është zona e mesit, shumë e ngushtë (disa mikron) dhe luan rol komunikues. Kolektori është zona që mbledh mbartësit. Baza gjithmonë ka përcjellshmëri të ndryshme nga E dhe K. Tipi i transistorit në simbol përcaktohet nga kahu i shigjetës së vendosur në emiter. Kur shigjeta drejtohet drejt bazës, transistori është i tipit “ $p-n-p$ ” dhe kur shigjeta del jashtë, transistori është i tipit “ $n-p-n$ ”. Kahu i shigjetës tregon dhe kahun e rrymës në emiter I_E . Në figurën 5.1 d) dhe e) është treguar ushqimi me tension të vazhduar i dy tipave të tranzistorëve. Ushqimi me tension të vazhduar i transistorëve është i nevojshëm për të vendosur regjimin e saktë të punës së një amplifikatori të rrymës alternative. Transistori dypolar ka dy kalime $p-n$:

1. kalimi emiter bazë (E-B),
2. kalimi bazë kolektor (B-K).

Pra, transistori, në mënyrë të thjeshtuar, mund të studiohet i përbërë nga dy dioda të lidhura në kahe të kundërta si në figurën 5.2 më poshtë.

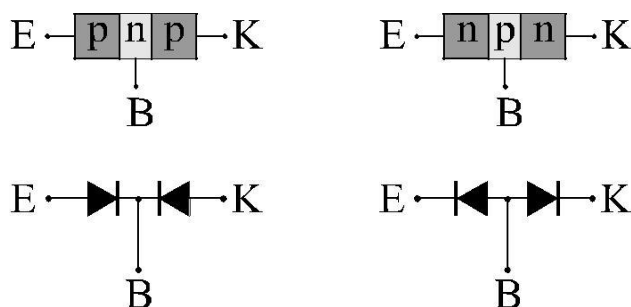


Figura 5.2. Skema ekuivalente e transistorit tip $p-n-p$ dhe tip $n-p-n$

5.2. Parimi i punës së transistorit

Do të shqyrtojmë punën e transistorit tip $p-n-p$ (parimi i punës është i njëjtë dhe për atë të tipit $n-p-n$). Në figurën 5.3 a), b), c) është treguar një transistor tip $p-n-p$ në tri gjendje të ndryshme. Në figurën 5.3 a) tregohet transistori i papolarizuar (i palidhur me burimin e ushqimit).

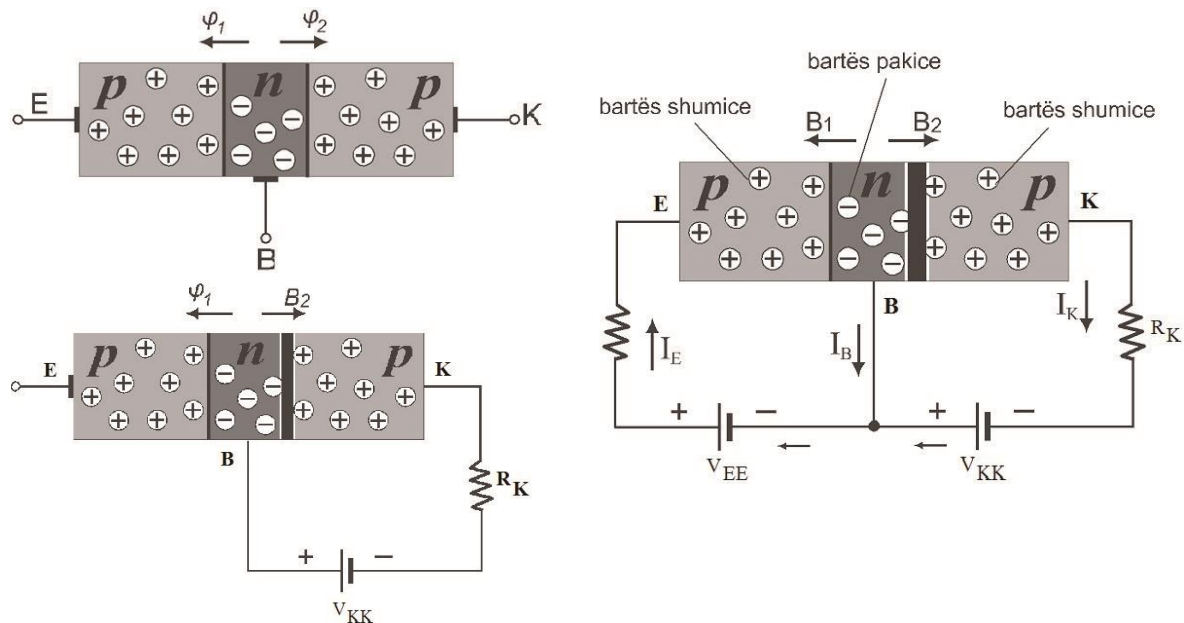


Figura 5.3 a), b), c)

Vektorët ϕ_1 dhe ϕ_2 janë vektorët e barrierave potenciale të të dy kalimeve p-n kur ato janë të paushqyer (të papolarizuar). Në figurën 5.3 b) tregohet transistori ku kalimi E-B është i paushqyer, kurse kalimi B-K është ushqyer në të kundërt. Pra, barriera potenciale e kalimit B-K është rritur ($B_2 > \phi_2$) për shkak të lidhjes në të kundërt të burimit V_{KK} . Kjo barriera pengon lëvizjen e mbartësve të shumicës (kryesorë, maxhoritarë) që në këtë rast janë vrimat, prandaj rryma e kolektorit do të krijohet nga lëvizja e bartësve jokryesorë, që janë elektronet, dhe ka vlerë të vogël I_{KB} që quhet rryma e kundërt e kolektorit (rryma termike).

Në figurën 5.3 c) tregohet rasti kur janë polarizuar të dy kalimet p-n. Kalimi E-B është i polarizuar (ushqyer) në të drejtë dhe kalimi B-K është polarizuar (ushqyer) në të kundërt. Në këtë rast barriera potenciale në kalimin E-B është zvogëluar më shumë, $B_1 < \phi_1$, kurse barriera potenciale e kalimit B-K është rritur, $B_2 > \phi_2$, si në figurën 5.3 b). Gjatë shpjegimit bëhet fjalë për lëvizjen e vrimave, por në fakt lëvizin elektronet në drejtim të kundërt me atë të lëvizjes së vrimave. Në këtë rast vrimat e emiterit (që janë mbartës shumice) do të kalojnë me lehtësi barrierën B_1 dhe futen në bazë. Këtu vrimat janë mbartës pakice. Një pjesë e vogël e vrimave futen në bazë dhe vazhdojnë rrugën e tyre në drejtim të minusit të burimit V_{EE} duke krijuar rrymën e bazës I_B . Pjesa më e madhe e vrimave futen në kolektor. Lëvizja e këtyre vrimave krijon rrymën e kolektorit I_K . Për pikën T të figurës 3.3(c) shkruajmë ligjin e parë të Kirkofit:

$$I_E = I_B + I_K$$

$$I_B \ll I_E \text{ dhe } I_B \ll I_K .$$

Pra, I_E është afërsisht sa I_K , por asnjëherë $I_E = I_K$, sepse pa rrymë bazë nuk ka rrymë kolektori. I_E dhe I_K janë rryma të rendit mA, kurse I_B është e rendit μA , siç është paraqitur në figurën 5.4.

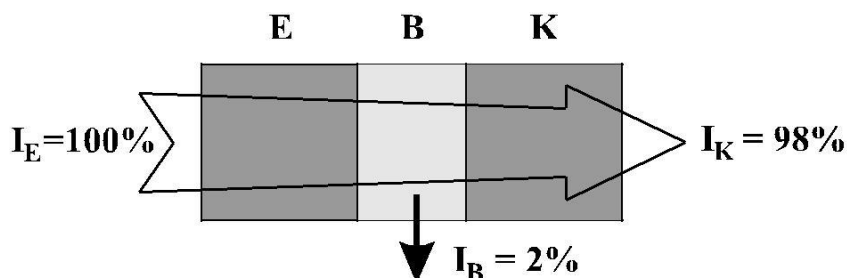


Figura 5.4. Krahasimi i rrymave

Kur transistori punon në regjim përforcimi (si amplifikator), kalimi E-B polarizohet në të drejtë dhe kalimi B-K në të kundërt. Tensioni në diodën e kolektorit duhet të jetë më i vogël se tensioni i shpimit të transistorit.

5.3 Mënyrat e lidhjes së transistorit në skemë në regjim aktiv

Në skema të ndryshme përforcimi transistori lidhet në mënyrë të tillë që një prej daljeve të tij (elektrodave të tij), emiteri, baza apo kolektori të jetë e përbashkët për përbërësen alternative si në qarkun e hyrjes dhe në atë të daljes. Pra, do të kemi tri mënyra të lidhjes së transistorit në skemë dhe ato quhen:

1. Skema me emiter të përbashkët ose skema me emiter të tokëzuar.
 2. Skema me bazë të përbashkët ose me bazë të tokëzuar.
 3. Skema me kolektor të përbashkët ose me kolektor të tokëzuar.
- Secila nga këto skema ka veçantitë e veta, prandaj ato studiohen në veçanti.

Skema me bazë të përbashkët

Në figurën 5.5 tregohet mënyra e lidhjes së një skeme me bazë të përbashkët me transistor tip 'p'. Në këtë skemë: Hyrja është midis emiterit dhe bazës.

Rryma e hyrjes = I_E

Tensioni i hyrjes = V_{BE} .

Dalja e skemës merret midis bazës dhe kolektorit, pra:

Rryma e daljes = I_K .

Tensioni i daljes = V_{BK}

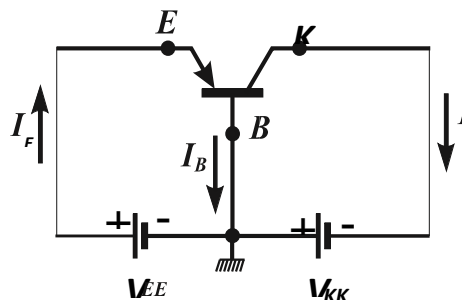


Figura 5.5. Mënyra e lidhjes së transistorit në skemën me bazë të përbashkët

Për të përshkruar sjelljen e këtij elementi me tre terminale (dalje) dhe me dy kalime p-n në skemat e amplifikatorëve me bazë të përbashkët, nevojiten dy karakteristika: njëra për madhësitë e hyrjes, ndërsa tjetra për madhësitë e daljes. Karakteristikat e hyrjes tregojnë varësinë e rrymës së hyrjes I_E nga tensioni i hyrjes V_{BE} për vlera të ndryshme të tensionit në dalje V_{KB} (brenda një karakteristike vlera e V_{KB} mbahet konstante).

Karakteristikat e daljes do të jenë varësia e rrymës së daljes I_C nga tensioni në dalje V_{KB} për vlera të ndryshme të rrymës në hyrje I_K (brenda një karakteristike vlera e I_E mbahet konstante (fig.5.6 c).

Në çdo karakteristikë të hyrjes, për një vlerë fikse të V_{KB} , me rritjen e tensionit bazë-emiter vëmë re rritjen e rrymës së emiterit dhe karakteristika i ngjan shumë asaj të diodës (fig. 5.6 a). Në fakt, ndryshimi i vlerës së V_{KB} ka ndikim të vogël (fig. 5.6 b). Nga kjo karakteristikë mund të arrijmë në përfundimin se që një transistor të jetë në gjendjen “on”, duhet $V_{BE} = 0.7$ V për transistorët e silicit. Karakteristika e daljes ose e kolektorit ka tri zona kryesore: atë aktive, të prerjes (shkyçjes) dhe të ngopjes (fig. 5.6 c). Në karakteristikat e daljes te figura 5.6 c) pjesa horizontale i përket zonës aktive ku transistori punon në regjim përforcimi. Në zonën aktive kalimi bazë-emiter polarizohet në të drejtë, ndërsa ai kolektor-bazë në të kundërt. Në pjesën e poshtme të zonës aktive, ku rryma e emiterit është zero, kemi zonën e shkyçjes ku $I_K = I_{KBO}$. Rryma I_{KBO} është aq e vogël (në mikroamper) në vlerë numerike, krahasuar me vlerat nën shkallën vertikale të I_K , saqë duket sikur vlera e saj është zero.

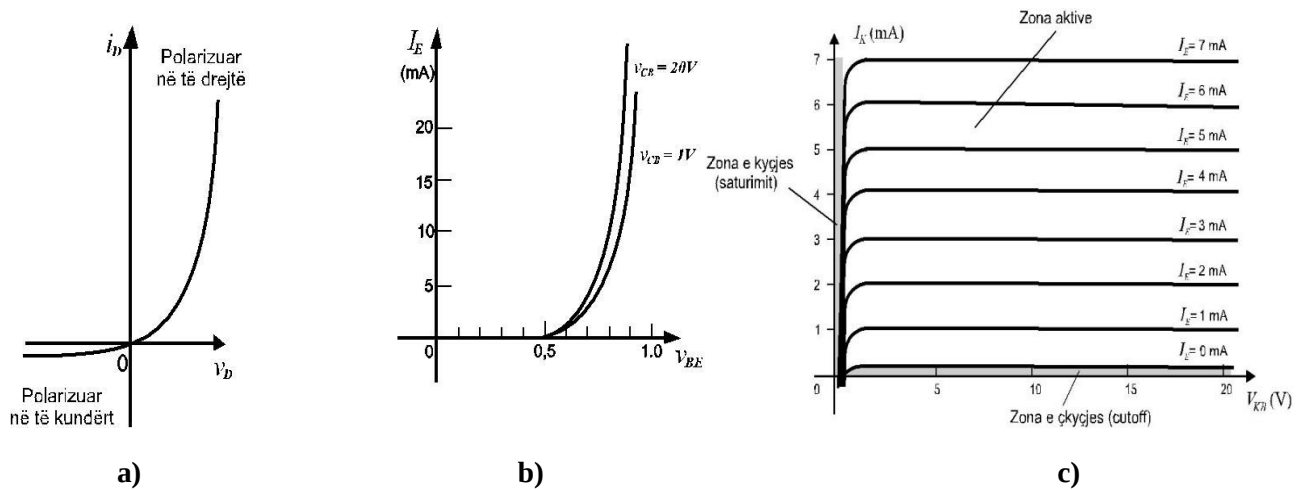


Figura 5.6. Karakteristikat e a) diodës; b) e hyrjes; c) e daljes për transistorin në skemën me bazë të përbashkët

Si pasojë e përmirësimit të teknikave të ndërtimit, niveli I_{KBO} për transistorët në përdorim masiv (veçanërisht me material gjysmëpërcjellës silici) për fuqitë e vogla dhe të mesme është aq i ulët, sa mund të mos e marrim në konsideratë. Për transistorët me fuqi të mëdha, I_{KBO} do të jetë përsëri në rendin mikroamper. Por I_{KBO} , ashtu si I_S për diodën, është një madhësi e ndjeshme ndaj temperaturës. Në temperatura të larta I_{KBO} mund të bëhet një faktor i rëndësishëm për vetë faktin se në këto kushte rryma ndryshon me vlera të mëdha (në formë orteku). Me rritjen e I_E rritet I_K dhe rritja e vlerës së tyre është pak a shumë e njëjtë. Në zonën e shkyçjes (*cutoff*) kalimi bazë-emiter dhe kalimi kolektor-bazë polarizohen në të kundërt. Zona e ngopjes (*saturation*) është pjesa në të majtë të karakteristikës. Vihet re një ndryshim i menjëhershëm i karakteristikës kur vlera e V_{KB} i afrohet zeros. Në këtë zonë kalimi bazë-emiter dhe kalimi kolektor-bazë polarizohen në të drejtë. Transistori gjendet në zonën e ngopjes dhe të shkyçjes kur punon në regjim çelës.

Koeficienti α

Raporti i rrymave të vazhduara I_K me I_E jepet me një madhësi që quhet α , ku I_K dhe I_E janë vlerat e rrymave në pikën e punës.

$$\alpha_{dc} = \frac{I_K}{I_E}$$

Vlerat e madhësisë α ndodhen midis 0.9 - 0.998. Shpesh α e konsiderojmë $\alpha = 1$. Pra, $I_E = I_K$. Kur skema punon me sinjal alternativ, pika e punës lëviz në karakteristikë dhe do të kemi α_{ac} që përcaktohet:

$$\alpha_{ac} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \right|_{V_{KB} = \text{konstante}}$$

Në shumicën e rasteve, vlerat e α_{ac} me α_{dc} janë të përafërta dhe shpesh përdorim vlerën e njërës edhe për tjetrën.

5.4. Puna amplifikuese e transistorit

Për të studiuar punën amplifikuese të transistorit, le t'i referohemi skemës së figurës 5.7.

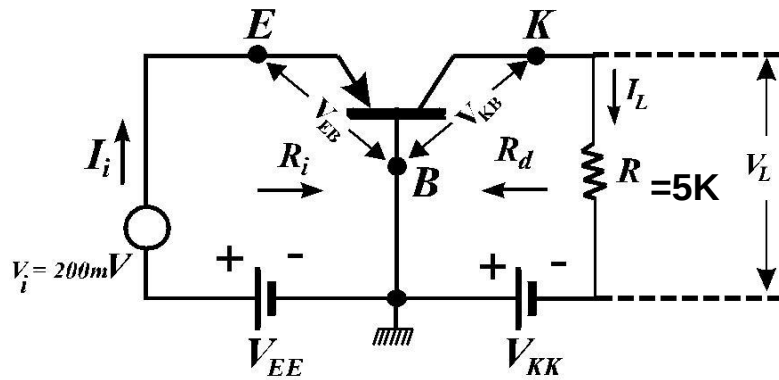


Figura 5.7

Për skemën me bazë të përbashkët, rezistenca në hyrje për rrymën alternative (ac) mund të përcaktohet nga karakteristikat e figurës 5.6 b). Kjo rezistencë del mjaft e vogël dhe varion nga $10\ \Omega$ deri $100\ \Omega$. Rezistenca e daljes është mjaft e madhe ($50\ K\Omega$ deri në $1\ M\Omega$) dhe mund të përcaktohet nga karakteristika e daljes (fig. 5.6 c). Ky ndryshim në vlerat e rezistencave ka lidhje me faktin si janë polarizuar kalimet $p-n$ të transistorit.

Për skemën e dhënë të përforcuesit të tensionit me bazë të përbashkët në figurën 5.7, le të përcaktojmë koeficientin e përforcimit të tensionit A_v .

Koeficienti i përforcimit të tensionit tregon sa herë më e madhe është vlera e tensionit në dalje kundrejt asaj në hyrje.

$$A_v = \frac{V_L}{V_i}$$

Vlerat tipike të koeficientit të amplifikimit të tensionit për skemën me bazë të përbashkët variojnë nga 50 deri në 300. Amplifikimi i rrymës është gjithnjë më i vogël se 1. Amplifikimi i tensionit në transistor ndodh nga transferimi i rrymave nga qarku me rezistencë më të vogël në qarkun me rezistencë më të madhe, nga ku merr edhe emrin transistor (transfer + resistor).

5.5 Skema me emiter të përbashkët

Skemat me tranzistor tip $p-n-p$ dhe $n-p-n$ janë treguar në figurën 5.9. Këto lidhje janë quajtur skema me emiter të përbashkët, sepse emiteri bën pjesë edhe në qarkun e hyrjes, edhe në qarkun e daljes. Në këto skema: hyrja është midis bazës dhe emiterit; rryma e hyrjes është I_B dhe tensioni i hyrjes është V_{BE} . Dalja e skemës është midis emiterit dhe kolektorit. Rryma e daljes është I_K . Tensioni i daljes është V_{KE} .

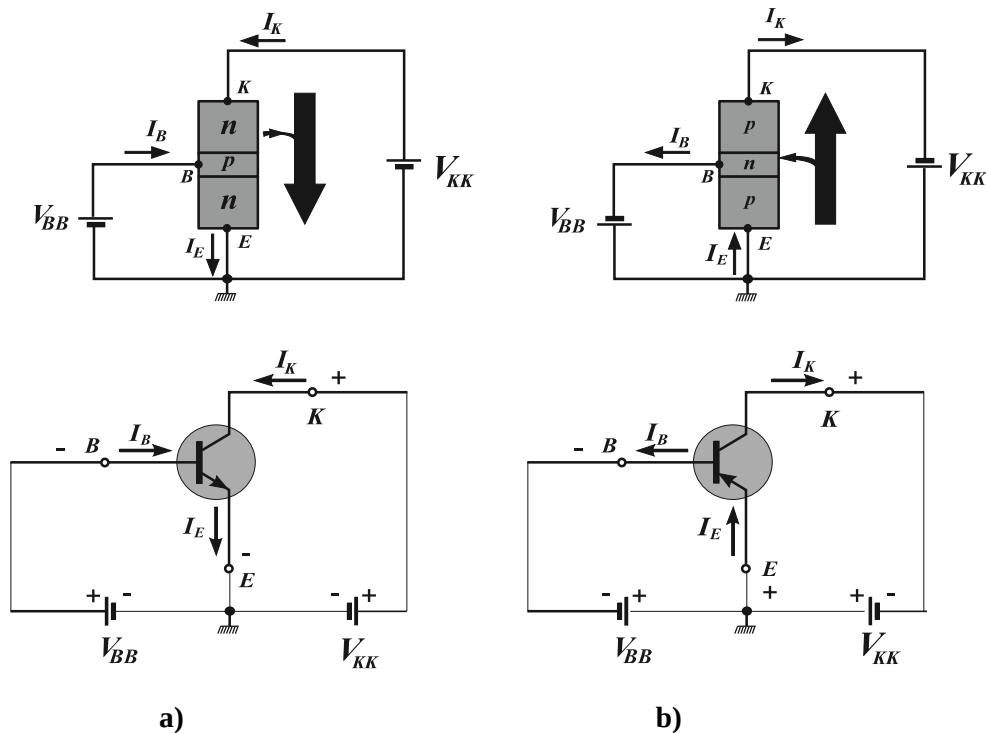


Figura 5.9. Mënyra e polarizimit të transistorëve a) *n-p-n*, b) *p-n-p* në skemat me emiter të përbashkët

Në figurën e mëposhtme 5.10 janë treguar karakteristikat e qarkut të hyrjes dhe karakteristikat e qarkut të daljes. I_{KEO} është rryma që kalon në transistor për rrymën e bazës zero. Rrymat e bazës, emiterit dhe kolektorit janë treguar në drejtimin konvencional të rrymave. Skema e lidhjes së transistorit ka ndryshuar, por marrëdhëniet midis rrymave nuk ndryshojnë. Pra:

$$I_E = I_K + I_B \quad \text{dhe} \quad I_K = \alpha I_E$$

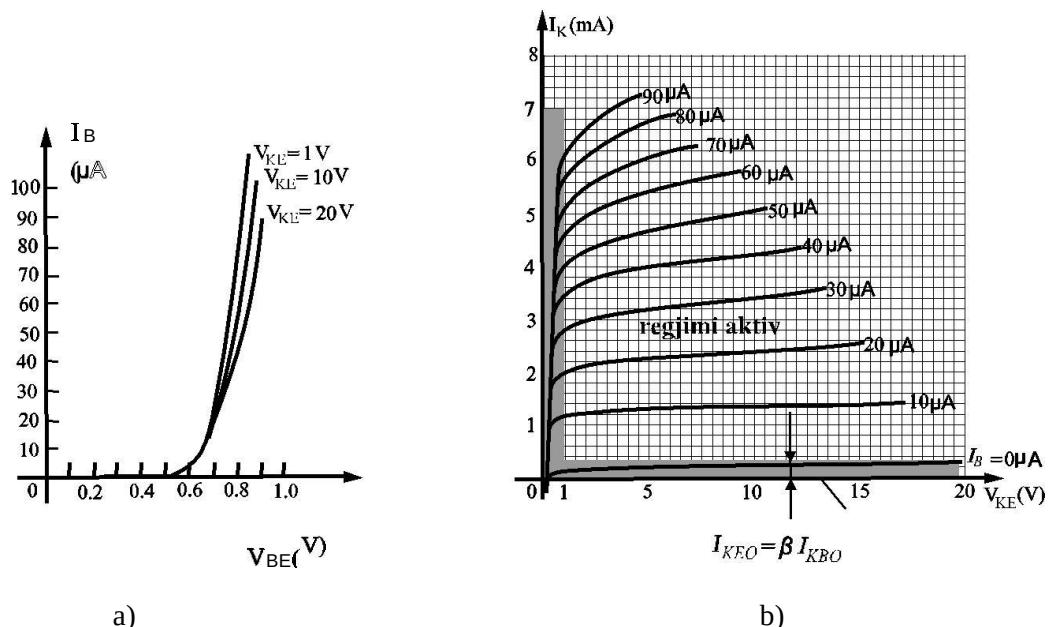


Figura 5.10. Karakteristikat e një transistori silici në skemën me emiter të përbashkët: a) karakteristika e bazës, b) karakteristika e kolektorit

Për skemën me emiter të përbashkët karakteristikat e hyrjes shprehin varësinë e $(I_B) = f(V_{BE})$ për vlera të ndryshme të tensionit në dalje (V_{KE}). Karakteristikat e daljes shprehin varësinë e rrymës së daljes $(I_K) = f(V_{KE})$ për një diapazon vlerash të rrymës të hyrjes (I_B).

Regjimi aktiv në skemën me emiter të përbashkët është pjesa e sipërme djathtas e karakteristikës së daljes, që ka linearitet më të lartë dhe karakteristikat për I_B të ndryshme janë afërsisht të drejta dhe me hapësira të njëjta. Në amplifikatorin me emiter të përbashkët, kur

transistori punon në regjim aktiv, kalimi bazë-emiter është polarizuar në të drejtë, ndërsa kalimi bazë-kolektor është i polarizuar në të kundërt. Në regjimin e shkyçjes së tranzistorit (*cutoff*) I_K nuk është zero kur I_B është zero, por ka vlerën e I_{KEO} . Të dy kalimet polarizohen në të kundërt. Në regjim ngopjeje (*saturimi*) të dy kalimet polarizohen në të drejtë. Kur tranzistori punon si çelës në qarqet logjike të një kompjuteri, pikat e punës së tij janë njëra në regjimin e shkyçjes ose në regjimin e ngopjes.

Beta (β)

Koeficienti β për rrymat e vazhduara jepet nga ekuacioni i mëposhtëm:

$$\beta_{dc} = \frac{I_K}{I_B}$$

ku I_B dhe I_K janë vlerat e rrymave në një pikë të caktuar të karakteristikave.

Zakonisht β ndryshon nga 50 deri në 400. Në të dhënat specifike të transistorit, β_{dc} është shënuar zakonisht me h_{FE} (që nënkupton koeficientin e amplifikimit të rrymave të vazhduara në skemat me emiter të përbashkët). Për rrymat alternative β_{ac} është përcaktuar si më poshtë:

$$\beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{V_{KE} = \text{konstante}}$$

Në skemën me emiter të përbashkët I_K është rryma e daljes, ndërsa I_B është rryma e hyrjes. Në të dhënat specifike të transistorit β_{ac} është zakonisht shënuar me h_{fe} . Pra, për këtë pamje të karakteristikës, β_{ac} dhe β_{dc} do të rezultojnë të njëjta në çdo pikë të karakteristikave. Në këtë rast është konsideruar $I_{KEO} = 0 \mu A$. Duke përdorur ekuacionin e rrymave në transistor dhe njohuritë e marra për koeficientet β dhe α kemi:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

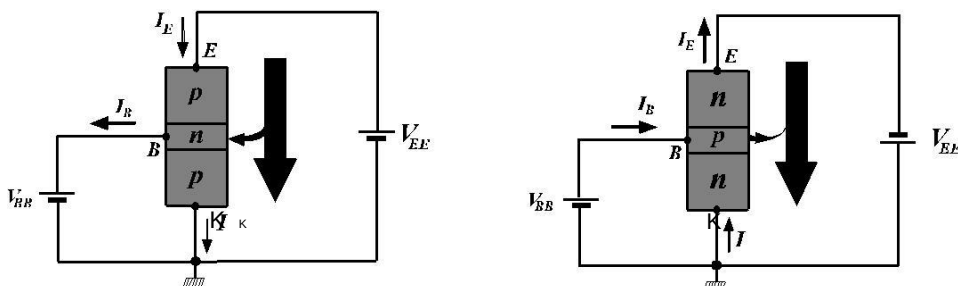
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

β është një parametër shumë i rëndësishëm, pasi lidh rrymën në qarkun hyrjes me atë në qarkun e daljes. Kështu që: $I_C = \beta I_B$

5.6. Skema me kolektor të përbashkët

Kjo është mënyra e tretë dhe e fundit e lidhjes së transistorit. Në figurën 5.13 është treguar mënyra e polarizimit dhe kahu i kalimit të rrymave në skemën me kolektor të përbashkët për transistorin tip *p-n-p* dhe *n-p-n*. Këto skema përdoren kryesisht për përshtatje rezistencash, për shkak të rezistencës në hyrje të lartë dhe rezistencës në dalje të ulët, një veti që u mungon skemave me bazë të përbashkët e atyre me emiter të përbashkët.

Në skemat me kolektor të përbashkët, rryma e hyrjes është I_B dhe ajo e daljes është I_E . Tensioni i hyrjes është V_{BK} dhe ai i daljes është V_{KE} .



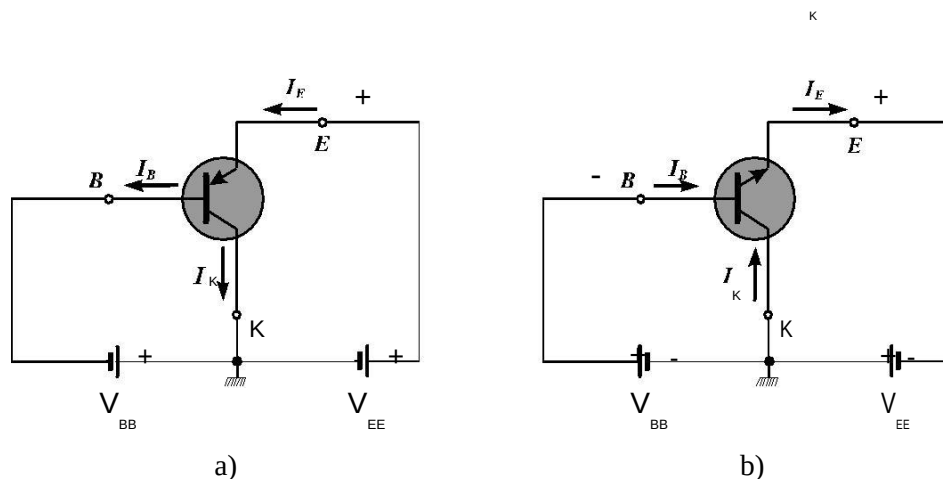


Figura 5.13. Mënyra e polarizimit dhe kahu i kalimit të rrymave në skemën me kolektor të përbashkët për transistorin a) tip *p-n-p* ; b) tip *n-p-n*

Në skemën me kolektor të përbashkët, rezistenca e ngarkerkesës lidhet ndërmjet emiterit dhe tokës që lidhet me kolektorin (fig. 5.14).

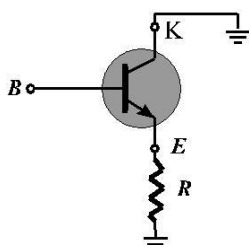


Figura 5.14. Skema me kolektor të përbashkët e përdorur për përshtatje rezistencash

Për qëllime praktike, karakteristikat e daljes të skemës me kolektor të përbashkët janë të njëjta me ato të skemës me emiter të përbashkët. Për skemën me kolektor të përbashkët karakteristikat e daljes janë varësia e I_E kundrejt V_{KE} për vlera të ndryshme të I_B (përveç faktit që ndryshon shenja e V_{KE}). Rryma në qarkun e hyrjes është e njëjtë si për karakteristikat e skemës me kolektor të përbashkët dhe me emiter të përbashkët (I_B).

Tema mësimore nr.6: Skemat bazë me tranzistorë dypolar.

Projektimi dhe analizat e punës së një amplifikatori përfshijnë dy komponentë: analiza për rrymën e vazhduar dhe analiza për rrymën alternative. Sipas teoremës së superpozimit, analiza për rrymën e vazhduar zhvillohet e ndarë nga ajo e rrymave alternative. Hapat e zbatimit të teoremës së superpozimit janë:

- ✦ Burimet e rrymës alternative mendohen (thjeshtohen) në zero. Të gjithë kondensatorët shihen si qark i hapur. Skema e rivizituar është skema ekuivalente për rrymat e vazhduara. Kështu, ne mund të llogaritim vlerat e tensioneve të vazhduara dhe të rrymave të vazhduara që na interesojnë.
- ✦ Burimet e rrymës së vazhduar mendohen (thjeshtohen) në zero. Të gjithë kondensatorët shihen si qark i shkurtër. Skema e rivizituar është skema ekuivalente për rrymat alternative. Kështu, ne mund të llogaritim vlerat e tensioneve alternative dhe të rrymave alternative që na interesojnë.
- ✦ Rryma totale në çdo degë të skemës është sa shuma e rrymave të vazhduara e alternative që kalojnë në këtë degë. Tensioni total në çdo degë të skemës është sa shuma e tensioneve të vazhduara e alternative përgjatë kësaj dege.

Gjatë kësaj teme mësimore, për mënyra të ndryshme polarizimi, do të përcaktojmë vlerat e tensioneve të vazhduara dhe të rrymave të vazhduara që na interesojnë. Për këtë duhet të

gjejmë pikën e punës Q të transistorit (e cila duhet të ndodhet brenda zonës së lejuar të punës së transistorit) dhe të studiojmë stabilitetin e punës së skemës (sa e ndjeshme është skema nga ndryshimet e temperaturës). Duhet të kujtojmë që:

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$I_K = \beta I_B$$

Në përgjithësi, madhësia e parë që përcaktohet është I_B . Pra, gjatë këtij kapitulli, do të përcaktojmë vlerat e rrymave e tensioneve të vazhduara në skemat me BJT, që të mund të studiojmë më pas punën e amplifikatorëve me BJT.

6.1 Zona e lejuar e punës së transistorit

Për çdo transistor ka një zonë pune në karakteristikat e tij që siguron se kufijtë maksimalë të punës së transistorit nuk kalohen (shkelen) dhe deformimet janë minimale. Të gjithë kufijtë e punës jepen në të dhënat specifike të transistorit në katalog. Për transistorin me karakteristika në figurën e mëposhtme (6.1), $I_{K\text{maks}} = 50 \text{ mA}$ dhe $V_{KE\text{maks}} = 20 \text{ V}$.

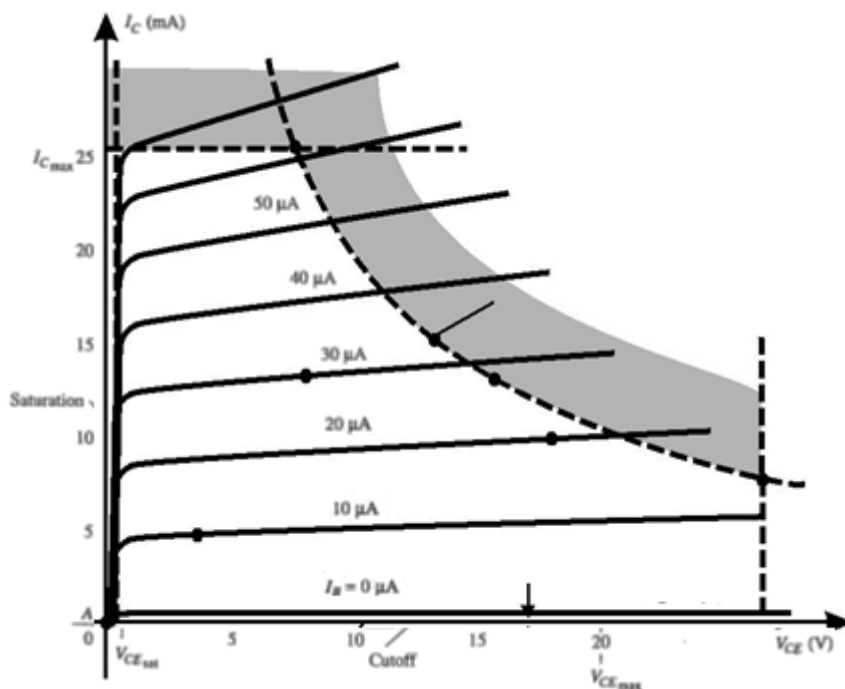


Figura 6.1

Vlera maksimale e fuqisë së harxhuar përcaktohet:

$$P_{K\text{maks}} = V_{KE} I_K$$

Duke zëvendësuar,

$$P_{K\text{maks}} = V_{KE} I_K = 300 \text{ mW}.$$

Nëse marrim $I_K = 50 \text{ mA}$, V_{KE} do të jetë:

$$V_{KE} = 300 \text{ mW} / 50 \text{ mA} = 6 \text{ V}$$

Nëse marrim $V_{KE} = 20 \text{ V}$, I_K do të jetë:

$$I_K = 300 \text{ mW} / 20\text{V} = 15 \text{ mA}$$

Për vlera të tjera të I_K gjejmë vlerat korresponduese të V_{KE} . Sa më shumë pika të gjejmë, aq më e saktë është forma e lakores. Puna e transistorit brenda zonës së treguar në figurën e mësipërme siguron deformime minimale të sinjalit në dalje dhe vlerat e tensionit e rrymës nuk do të shkatërrojnë elementin. Pra, duhet të sigurojmë në çdo çast që $V_{KE} I_K$ është më i vogël se vlera kufi e fuqisë.

$$\begin{aligned} I_{KEO} &\leq I_K \leq I_{Kmaks} \\ V_{KEEng} &\leq V_{KE} \leq V_{KEmaks} \\ V_{KE} I_K &\leq P_{Kmaks} \end{aligned}$$

Për transistorin me bazë të përbashkët:

$$P_{Kmaks} = V_{KB} I_K$$

Për transistorët që përdoren në regjim amplifikimi, vlera e tensionit dhe e rrymës së vazhduar përcaktohen nga pika e punës në karakteristikë, e cila ndodhet në atë zonë pune ku bëhet amplifikimi i sinjalit në hyrje të skemës. Ajo është një pikë e pandryshuar në karakteristikë dhe quhet *pika e qetësisë* Q . Pika e qetësisë duhet të ndodhet brenda zonës së vijëzuar. Kur BJT punon jashtë kufijve maksimalë, shkurtohet jetëgjatësia e tij ose ai del jashtë përdorimi. Lind pyetja: Ku është më mirë të ndodhet pika e punës?

Një BJT që punon në zonën lineare ose aktive duhet polarizuar në këtë mënyrë:

- kalimi bazë-emiter duhet polarizuar në të drejtë me tension 0.6 V - 0.7 V;
- kalimi bazë-kolektor duhet polarizuar në të kundërt.

Një BJT që punon në zonën e shkyçjes duhet polarizuar në këtë mënyrë:

- kalimi bazë-emiter duhet polarizuar në të kundërt,
- kalimi bazë-kolektor duhet polarizuar në të kundërt.

Një BJT që punon në zonën e ngopjes duhet polarizuar në këtë mënyrë:

- kalimi bazë-emiter duhet polarizuar në të drejtë,
- kalimi bazë-kolektor duhet polarizuar në të drejtë.

6.2. Skema me polarizim fiks

Në skemën e figurës 6.2 përdoret një transistor $n-p-n$, por ekuacionet dhe llogaritjet janë njëjloj edhe për transistorët $p-n-p$ vetëm duke i ndryshuar drejtimet e rrymave dhe polaritetet e tensionit.

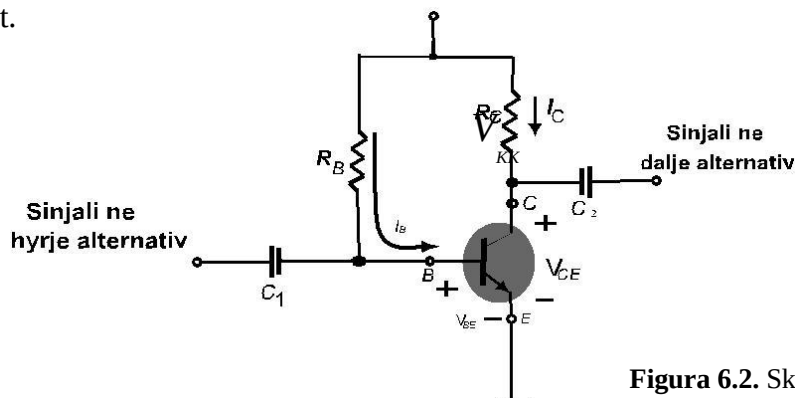


Figura 6.2. Skema me polarizim fiks

Në analizën e skemës për rrymën e vazhduar, kondensatorët ekuivalen të hapur. Tensioni V_{KK} ushqen me tension të vazhduar qarkun e hyrjes dhe të daljes. V_{KK} është e lidhur drejtpërdrejt me R_B dhe R_K (fig. 6.2). Skema ekuivalente dc ndërtohet duke konsideruar kondensatorët si qark i hapur. Duke pasur parasysh qarkun bazë-emiter në figurën 6.4, shkruajmë ekuacionin nga ligji i dytë i Kirkoftit në drejtim orar për skemën.

$$+V_{KK} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{KK} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B R_B = V_{KK} - V_{BE}$$

Duke zgjidhur ekuacionin për rrymën I_B , dolëm në rezultatin e mëposhtëm:

$$I_B = \frac{V_{KK} - V_{BE}}{R_B}$$

Tensioni V_{KK} dhe tensioni në kalimin bazë-emiter (V_{BE}) janë konstantë, kështu që zgjedhja e rezistencës së bazës, R_B , përcakton nivelin e rrymës së bazës për pikën e punës. Madhësia e rrymës së kolektorit varet drejtpërdrejt nga I_B , sepse:

$$I_K = \beta I_B$$

Vlerat e tensioneve janë:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K R_K$$

Kjo do të thotë se tensioni kolektor-emiter në një transistor në skemën me polarizim fiks është sa tensioni i burimit minus rënien e tensionit përmes R_K . Nga ana tjetër,

$$V_{KE} = V_K - V_E$$

ku V_{KE} është tensioni kolektor-emiter dhe V_K dhe V_E janë tensione nga kolektori dhe emiteri respektivisht me tokën. Por meqenëse $V_E = 0$, kemi:

$$V_{KE} = V_K$$

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$V_{BE} = V_B.$$

Për një transistor që punon në zonën e saturimit, rryma ka vlerën maksimale. Rryma e ngopjes (saturimit) për skemën me polarizim fiks është:

$$I_{K_{ng}} = \frac{V_{KK}}{R_K}$$

Për të përcaktuar pikën e punës përdorim ekuacionin:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K R_K$$

që quhet ekuacioni i linjës së ngarkesës, i cili lidh ndryshoret I_K dhe V_{KE} në këtë mënyrë:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K R_K.$$

Kjo vijë quhet vija e ngarkesës (mbasi përcaktohet në funksion të vlerës së rezistencës së ngarkesës R_K). Ajo është vijë e drejtë që kalon nëpër dy pika. Për të gjetur vlerat ekstreme të saj, njëherë marrim $I_K = 0$ dhe gjejmë $V_{KE} = V_{KK}$. Pika e dytë i referohet $V_{KE} = 0$ dhe përcaktojmë I_K . Duke ditur I_B , përcaktohet Q-point si në figurën 6.3.

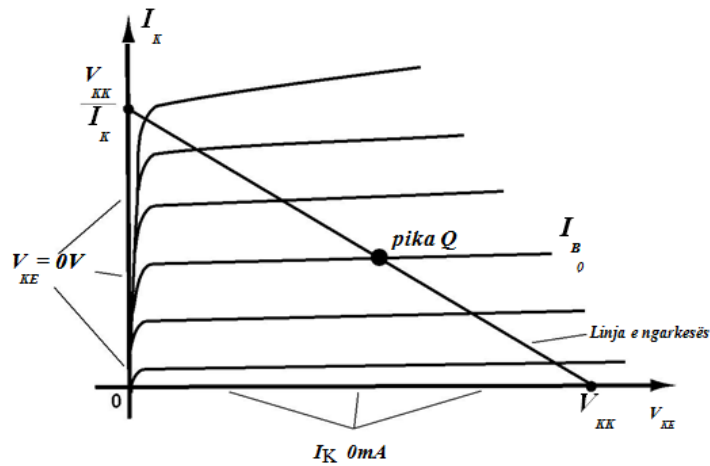


Figura 6.3. Vija (linja) e ngarkesës në skemën me polarizim fik

Nëse vlera e I_B ndryshon për shkak të ndryshimit të R_B , pika e punës do të lëvizë poshtë e lart përgjatë linjës së ngarkesës. Nëse vlera e V_{KK} ose R_K ndryshon, linja e ngarkesës do të zhvendoset.

6.3. Skema e polarizimit me rezistencë në emiter

Polarizimi i transistorit në skemën e mëposhtme përmban një rezistencë në emiter për të përmirësuar nivelin e stabilitetit kundrejt skemës me polarizim fik (fig. 6.4).

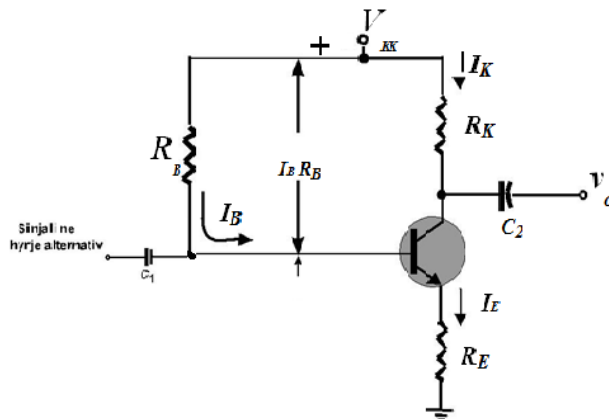


Figura 6.4. Skema e polarizimit me rezistencë në emiter

Duke shkruar ligjin e dytë të Kirkofit për qarkun bazë-emiter në drejtimin e rrotullimit të akrepave të orës, në ekuacionin e mëposhtëm do të rezultojë:

$$+V_{KK} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0.$$

Duke kujtuar që:

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

dhe, duke zëvendësuar I_E në ekuacion, do të rezultojë:

$$+V_{KK} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta + 1) I_B R_E = 0$$

nga ku:

$$I_B = \frac{V_{KK} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

Vëmë re që për skemën me polarizim fiks, vëmë re se ndryshimi qëndron në futjen e faktorit $(\beta + 1)R_E$. Tensioni në bazë në lidhje me tokën (fig. 6.11) është:

$$V_B = V_{KK} - I_B R_B$$

ose

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

Duke shkruar ligjin e dytë të Kirkoftit për qarkun kolektor-emiter, në drejtim e rrotullimit të akrepave të orës do të dilte:

$$+ I_E R_E + V_{KE} + I_K R_K - V_{KK} = 0.$$

Duke zëvendësuar $I_E \approx I_K$, rrjedh që:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K (R_K + R_E).$$

Tensioni në emiter kundrejt tokës është:

$$V_E = I_E R_E.$$

Tensioni nga kolektori në tokë, V_K , përcaktohet:

$$V_{KE} = V_K - V_E$$

ose

$$V_K = V_{KE} + V_E,$$

$$V_K = V_{KK} - I_K R_K.$$

Shtimi i rezistencës në emiter për polarizimin e një transistori BJT sjell stabilitet më të lartë, që do të thotë rrymat dhe tensionet e polarizimit mbeten afërsisht sa vlerat e caktuara nga qarku edhe pse kushtet e jashtme si temperatura dhe koeficienti β mund të ndryshojnë.

Rryma maksimale e kolektorit për skemën me emiter të stabilizuar mund të përcaktohet duke menduar si të lidhur në të shkurtër emiterin me kolektorin. Në këtë rast rryma që kalon në kolektor është:

$$I_{K_{ng}} = \frac{V_{KK}}{R_K + R_E}$$

Ekuacioni i linjës së ngarkesës i përcaktuar nga qarku kolektor-emiter është:

$$V_{KK} = I_K R_K + V_{KE} + I_E R_E$$

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K (R_K + R_E).$$

Për të përcaktuar koordinatat e pikës së parë të linjës së ngarkesës marrim $I_K = 0$ mA. Si rrjedhim:

$$V_{KE} = V_{KK}$$

Për të përcaktuar koordinatat e pikës së dytë të linjës së ngarkesës, marrim $V_{KE} = 0V$. Si rrjedhim:

$$I_{Kng} = \frac{V_{KK}}{R_K + R_E}$$

Duke ditur ku ndodhen këto dy pika, i bashkojmë me një vijë të drejtë (linja e ngarkesës është gjithnjë një vijë e drejtë) dhe pikëprerja me karakteristikën që i korrespondon vlerës së I_B jep pikën e punës Q. Vlera të ndryshme të I_B sigurisht do të lëvizin pikën Q të punës përgjatë vijës së linjës së ngarkesës, figura 6.5.

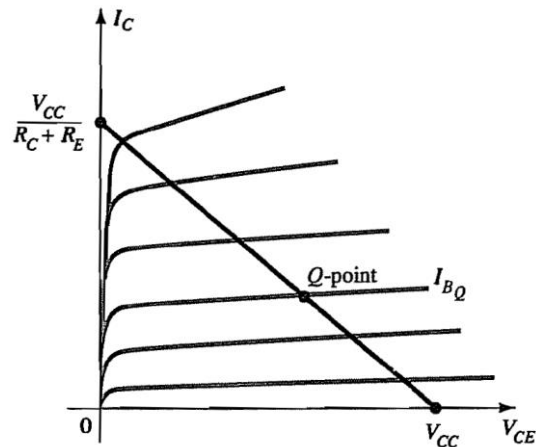


Figura 6.5. Ndërtimi i linjës së ngarkesës dhe përcaktimi i pikës së punës

6.4 Skemat me pjesëtues tensioni

Në skemat që kemi studiuar deri tani, rryma I_{KQ} dhe tensioni V_{KEQ} ishin funksione të koeficientit të amplifikimit të rrymës (β) të transistorit. Meqenëse (β) është e ndjeshme nga ndryshimi i temperaturave, veçanërisht në transistorët prej silici, është mirë të përdorim një skemë që është pak e varur ose e pavarur nga (β) e transistorit. Mënyra më e përdorshme e polarizimit të transistorit në qarqet lineare është ajo me pjesëtues tensioni. Emri “*pjesëtues tensioni*” vjen nga pjesëtuesi i tensionit R_1 dhe R_2 që lidhet nga ana e bazës së transistorit. Tensioni në R_2 polarizon në të drejtë kalimin bazë-emiter. Në figurën 6.6 tregohet një skemë e tillë.

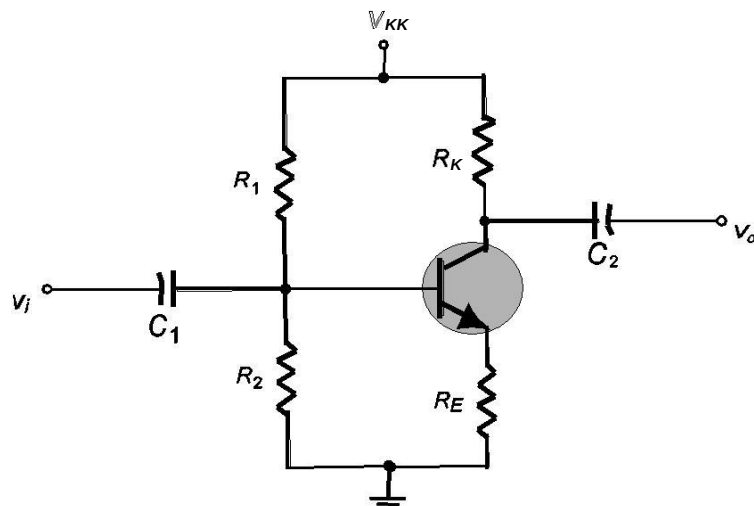


Figura 6.6. Skema e polarizimit me pjesëtues tensioni

Në qoftë se analizojmë saktësisht skemën, ndjeshmëria ndaj ndryshimeve të (β) është shumë e vogël. Pra, nëse parametrat e qarkut zgjidhen saktë, vlera e I_{KQ} dhe V_{KEQ} janë plotësisht të pavarura nga β . Këtë e siguron vendosja e rezistencës R_E që krijon një lidhje të kundërt. Pika e punës Q është treguar qartë në figurën 6.7.

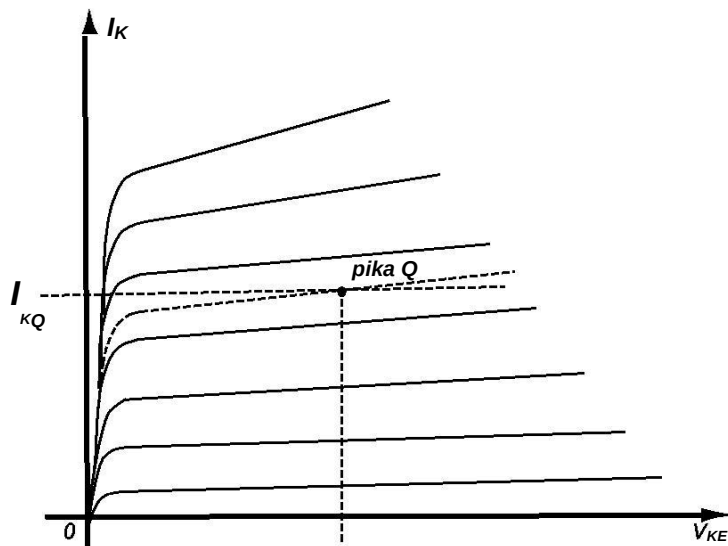


Figura 6.7. Përcaktimi i pikës Q në skemën me pjesëtues tensioni

Vlera e I_{BQ} do të ndryshonte me ndryshimin e β , por pika e punës Q , me koordinata I_{KQ} dhe V_{KEQ} , do të mbetet fikse nëse parametrat e qarkut janë zgjedhur saktë. Analizën e skemave me pjesëtues tensioni mund ta bëjmë me dy metoda:

1. Metoda ekzakte mund të zbatohet në çdo skemë me pjesëtues tensioni.
2. Metoda e përafërimit zbatohet vetëm në qoftë se kënaqen disa kushte specifike.

Analiza ekzakte

Skema nga ana e hyrjes për skemën me pjesëtues tensioni për analizën dc është si në figurën 6.8.

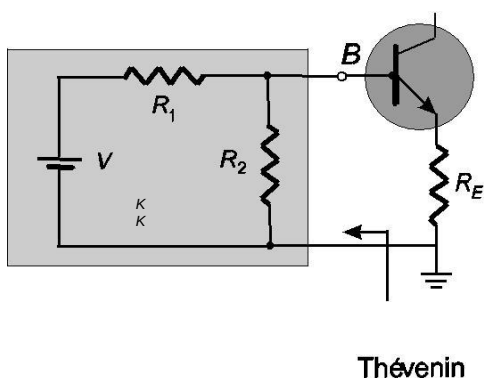


Figura 6.8. Qarku i hyrjes për skemën me pjesëtues tensioni.

Bëjmë analizën e qarkut të hyrjes duke u bazuar në teoremën e Teveninit. Burimi i tensionit është zëvendësuar me një qark të shkurtër dhe rezistenca e Tveninit është:

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Tensioni i Teveninit, për qarkun e hapur është:

$$E_{TH} = I R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{KK}$$

Në figurën 6.9 a) dhe b) është treguar skema ekuivalente e Teveninit.

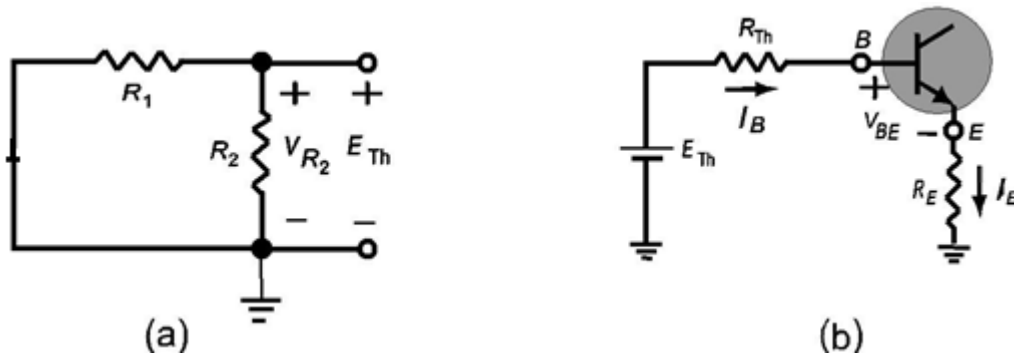


Figura 6.9 a) Përcaktimi i E_{TH} ; b) Skema ekuivalente e Teveninit

I_{BQ} mund të llogaritet duke përdorur ligjin e Kircokofit:

$$E_{TH} - I_B R_{TH} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

dhe gjejmë I_B :

$$I_B = \frac{E_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) R_E}$$

Duke ditur që $I_E \approx I_K$, atëherë ekuacioni për V_{KE} do të jetë i njëjtë me ekuacionin me skemë me emiter të stabilizuar:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K (R_K + R_E)$$

Gjatë analizës së përafërt duhet të plotësohet kushti që:

$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

Nëse mendojmë që rryma e bazës, I_B , është afërsisht zero krahasuar me vlerën e I_1 dhe I_2 , atëherë R_1 dhe R_2 mund të konsiderohen si elemente në seri. Tensioni në R_2 është tensioni i bazës kundrejt tokës dhe përcaktohet:

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{KK}$$

Vlera e V_E mund të llogaritet:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

Tensioni kolektor–emiter është përaktuar:

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K R_K - I_E R_E$$

$$V_{KEQ} = V_{KK} - I_K(R_K + R_E).$$

Pra, duket qartë që I_{KQ} dhe V_{KEQ} janë të pavarura nga vlera e β .

6.5. Skema e polarizimit me lidhje të kundërt në kolektor

Një skemë me cilësi të mira është edhe skema ku përfshihet një lidhje e kundërt nga kolektori në bazë, siç tregohet në figurën 6.10. Megjithatë pika e punës Q nuk është plotësisht e pavarur nga β ose ndryshimi i temperaturës, por është më e pavarur se në skemën me polarizim fiks apo atë të polarizimit me rezistencë në emiter.

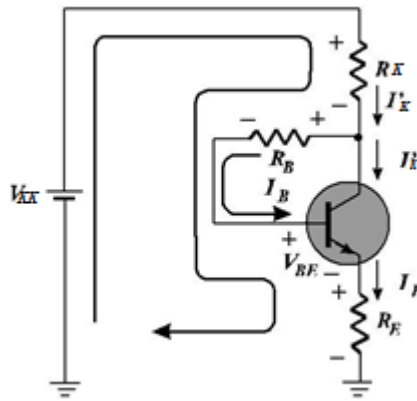


Figura 6.10. a) Skema e polarizimit me lidhje të kundërt tensioni

Duke zbatuar ligjin e tensioneve të Kirkofit në drejtimin e rrotullimit të akrepave të orës, për qarkun bazë-qarkun bazë-emiter (figura 6.10) kemi:

$$V_{KK} - I'_K R_K - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

Vini re që rryma në R_K nuk është I_K , por I'_K (ku $I'_K = I_K + I_B$). Meqë I_B ka vlera shumë të vogla, I'_K është afërsisht sa I_K . Duke zëvendësuar $I'_K = I_K = \beta I_B$ dhe I_E afërsisht I_C do kemi:

$$V_{KK} - \beta I_B R_K - I_B R_B - V_{BE} - \beta I_B R_E = 0$$

$$V_{KK} - V_{BE} - \beta I_B (R_K + R_E) - I_B R_B = 0$$

$$V_{KK} - V_{BE} = I_B (R_B + \beta(R_K + R_E)).$$

Nga ku:

$$I_B = \frac{V_{KK} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_E + R_K)}.$$

Sa më i madh të jetë produkti $\beta (R_K + R_E)$ nga R_B , aq më pak e ndjeshme është I_{KQ} ndaj ndryshimeve të β . Duke zbatuar ligjin e dytë të Kirkofit në drejtimin e rrotullimit të akrepave të orës për qarkun kolektor-emiter, rezulton që:

$$I_E R_E + V_{KE} + I_K R_K - V_{KK} = 0.$$

Meqë $I_K \sim I_E$ dhe $I_E \sim I_K$, kemi:

$$I_K (R_K + R_E) + V_{KE} - V_{KK} = 0$$

dhe

$$V_{KE} = V_{KK} - I_K (R_K + R_E).$$

e cila është e njëjtë me përcaktimin e V_{KE} në skemat e tjera. Qarku i daljes kolektor–emiter në skemën me pjesëtues tensioni është i njëjtë në pamje me atë në skemën me polarizim në emiter. Rryma e ngopjes ose e saturimit (për V_{KE} të barabartë me zero) është:

$$I_{Kng} = I_{max} = \frac{V_{KK}}{R_{KE} + R}$$

Meqë në pamje qarku i daljes është i njëjtë me atë të skemës me polarizim në emiter, edhe linja e ngarkesës do të ndërpritet në të njëjtën mënyrë me karakteristikat. Linja e ngarkesës do të ketë këto pika ekstreme:

$$I_{Kng} = I_{max} = \frac{V_{KK}}{R_K + R_E} \quad \text{për } V_{KE} = 0$$

$$V_{KE} = V_{KK} \quad \text{për } I_K = 0 \text{ mA.}$$

6.6 Transistori në rolin e çelësit

Transistori përdoret jo vetëm për të amplifikuar sinjalet, por edhe në rolin e çelësit në skemat e kompjuterave apo të kontrollit; në qarqet logjike luan rolin e një invertuesi. Në figurën 6.11 është treguar transistori në rolin e çelësit. Vini re! Tensioni në dalje V_K është i kundërt me tensionin e zbatuar në bazë apo në terminalet e hyrjes.

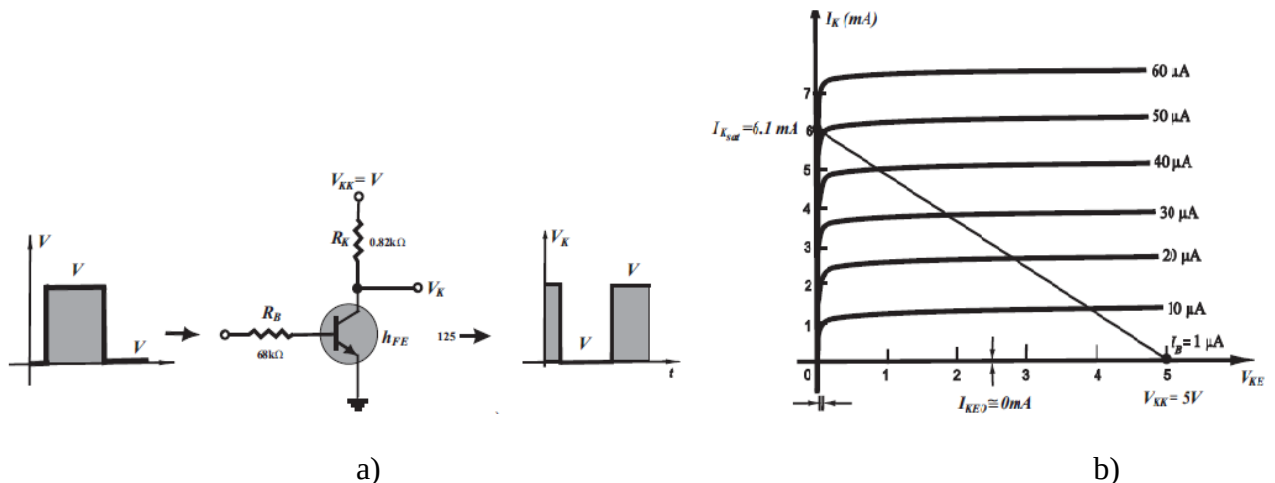


Figura 6.11 a) Transistori si çelë, b) Linja e ngarkesës

Për $V_i = 5 \text{ V}$, transistori është në gjendjen e çelësit të kyçur dhe në të kalon rryma e ngopjes, rezistenca e brendshme e tij është shumë e vogël dhe konsiderohet afërsisht 0Ω , tensioni në dalje është $V_0 = 0 \text{ V}$. Për $V_i = 0 \text{ V}$, transistori është në gjendjen e çelësit të çkyçur dhe në të nuk kalon rrymë, rezistenca e brendshme e tij është shumë e madhe dhe konsiderohet afërsisht ∞ , tensioni në dalje është $V_0 = 5 \text{ V}$.

6.7 . Transistori p-n-p

Në të gjitha analizat e bëra deri tani për skema të ndryshme është përdorur transistori n-p-n, duke lënë të kuptohet që analiza është e njëjtë edhe për skemat me transistor p-n-p. Në skemat me transistor p-n-p (figura 6.12), *drejtimet e rrymave janë të kundërta si dhe polariteti i tensioneve në pika të ndryshme të skemave është i kundërt*, pra V_{BE} dhe V_{KE} janë madhësi negative. Skema e figurës 6.12 është skemë e polarizuar me rezistencë shtesë, pra tensioni V_{KE} është:

$$V_{KE} = -V_{KK} + I_K (R_K + R_E)$$

V_{KE} pritët të ketë vlera negative.

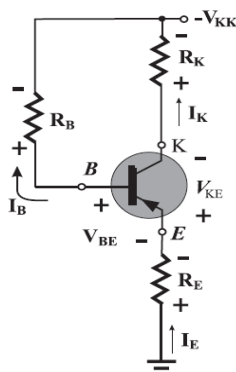


Figura 6.12 Skema me transistor të tipit p-n-p

Tema mësimore nr.7: Transistorët njëpolar

Transistori me efekt fushe (FET) është një element me tre terminale (dalje): burimin, portën, derdhjen. Disa nga veçoritë kryesore të FET dhe transistorëve dypolarë (BJT) të studiuar deri tani janë treguar më poshtë:

- ✦ FET kanë rezistencë shumë më të madhe në hyrje (e rendit $M\Omega$) se BJT.
- ✦ Te BJT rryma në kolektor kontrollohet nga rryma në bazë, ndërsa te FET rryma në kalimin derdhje-burim (*drain-source*) kontrollohet nga V_{GS} (portë-burim). Për këtë arsye BJT quhen elemente të kontrolluara nga rryma, ndërsa FET quhen elemente të kontrolluara nga tensioni.

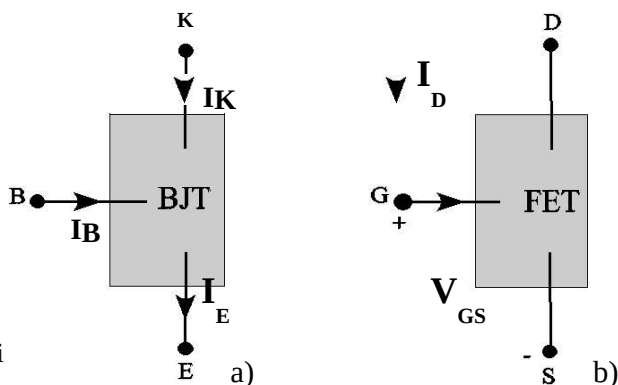


Figura 7.1 a) BJT i komanduar nga rryma,
b) FET i komanduar nga tensioni

- ✦ BJT janë transistorë dypolarë me 2 kalime p-n (transistori që studiuam në kapitujt e mëparshëm), ndërsa FET janë njëpolarë. Në parimin e punës së FET merr pjesë vetëm një tip ngarkese (ose vrimat, ose elektronet), ndërsa në parimin e punës së BJT marrin pjesë dhe

bashkëveprojnë vrimat dhe elektronet.

- ✦ Te FET fusha elektrike do të kontrollojë gjerësinë e kanalit ku do të kalojnë ngarkesat.
- ✦ FET janë më pak të ndjeshëm ndaj ndryshimeve të temperaturës krahasuar me BJT.
- ✦ FET janë më të vegjël, gjë që i bën të marrin pjesë më mirë në qarqet e integruara (IC). Ato kanë një disavantazh: koeficienti i amplifikimit të tensionit është shumë më i vogël në skemat amplifikuese me FET se me BJT. FET mund të ndërtohen me kanal “n” ose me kanal “p”.

Në to kalon vetëm një rrymë, rryma derdhje-burim, I_D . Në portë nuk kalon rrymë, pra $I_G = 0$.

Ata ndahen në dy tipa: **JFET** (*junction field-effect transistor*) dhe **MOSFET** (*metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*). Fillimisht do të studiojmë JFET.

Në figurën e mëposhtme (7.2) janë treguar simbolet e JFET me kanal “n” dhe “p”. Daljet e JFET janë D-derdhje (drain), S-burim (source), G-porta (gate).

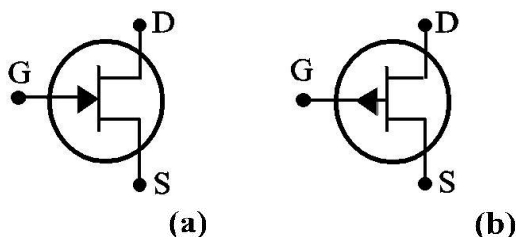


Figura 7.2. Simboli i JFET (a) me kanal n; (b) me kanal p

7.1. Ndërtimi dhe karakteristikat e JFET

Siç shihet në figurën 7.3, kanali ndodhet midis dy shtresave gjysmëpërcjellëse të tipit “p”. Në krye të kanalit tip “n” është lidhur një kontakt ohmik me terminalin derdhje (D), ndërsa në fundin e poshtëm të së njëjtës shtrese është lidhur një kontakt ohmik me terminalin burim (*source*), S. Të dyja shtresat tip “p” janë lidhur së bashku me terminalin e portës (*gate*), G. Nëse kalimi p-n është i papolarizuar, ai sillet si një diodë e papolarizuar.

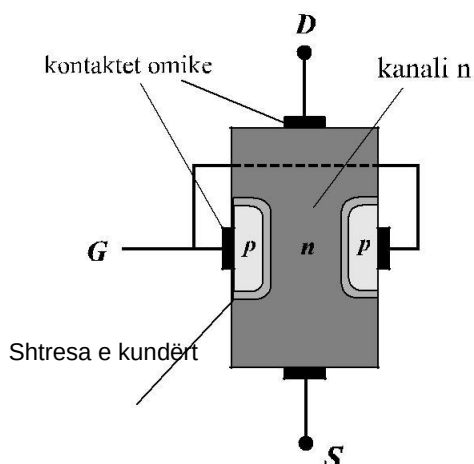


Figura 7.3. Ndërtimi i JFET

Nëse $V_{GS} = 0$ (d.m.th. porta dhe burim i kanë të njëjtin potencial) dhe V_{DS} ka vlera pozitive, karakteristika do të ketë pamje si në figurën 7.4 dhe quhet karakteristika e daljes (derdhjes): $I_D = f(V_{DS})$ për $V_{GS} = 0$.

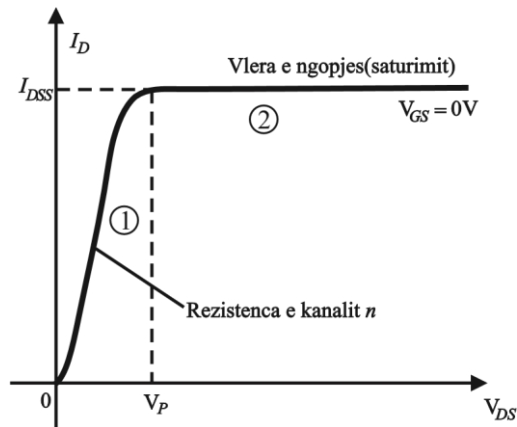


Figura 7.4. Karakteristika e FET m e $V_{GS} = 0$ dhe $V_{DS} > 0$

Me rritjen e tensionit V_{DS} nga 0 në disa volt do të rritet rryma I_D (pjesa e parë e karakteristikës). Nëse V_{DS} i afrohet vlerës V_P aty ku mbaron zona 1 e karakteristikës, shtresa e kundërt do të zgjerohet deri në “mbylljen” e kanalit, si në figurën 7.4, por realisht ekziston një kanal mjaft i ngushtë e rryma ka dendësi shumë të lartë. Rryma në këtë rast ka vlerën e rrymës së ngopjes I_{DSS} (fig. 7.4). Pra, për $V_{DS} = V_P$, kemi $I_D = I_{DSS}$.

7.2. Karakteristika e transferimit

Karakteristika e transferimit jep lidhjen që ekziston mes një madhësie në qarkun e hyrjes, tensionit në kalimin portë-burim (tensioni *gate-source*, V_{GS}) dhe një madhësie në qarkun e daljes, rrymës së derdhjes (rrymës në *drain*, I_D). Marrëdhënia midis tyre jepet nëpërmjet ekuacionit Shoklei (*Shockley*):

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \quad (7.1)$$

V_P dhe I_{DSS} janë dy madhësi që jepen në katalog dhe për një JFET të caktuar janë konstante, ndërsa V_{GS} është madhësia elektrike që kontrollon vlerën e rrymës I_D në transistor.

Karakteristika e transferimit ndërtohet duke u nisur nga ekuacioni Shoklei dhe nuk varet nga skema në të cilën është lidhur elementi. Për të ndërtuar karakteristikën e transferimit, gjejmë fillimisht dy pikat ekstreme.

Kur $V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS}$; Kur

$V_{GS} = V_P \Rightarrow I_D = 0$.

Për vlera të ndryshme të V_{GS} zëvendësojmë në ekuacion dhe gjejmë vlerat korresponduese të I_D e kështu ndërtojmë disa pika midis dy pikave ekstreme (V_P dhe I_{DSS}). Duke i bashkuar ato, ne kemi ndërtuar karakteristikën e transferimit (fig. 7.5). Gjithashtu karakteristika e transferimit mund të ndërtohet edhe nga karakteristikat e daljes së transistorit. Duke përdorur karakteristikat e daljes së transistorit, ne mund të transferojmë vlerat e rrymës së saturimit për V_{GS} korresponduese dhe të ndërtojmë karakteristikën e transferimit, siç tregohet në figurën 7.5 a) e b).

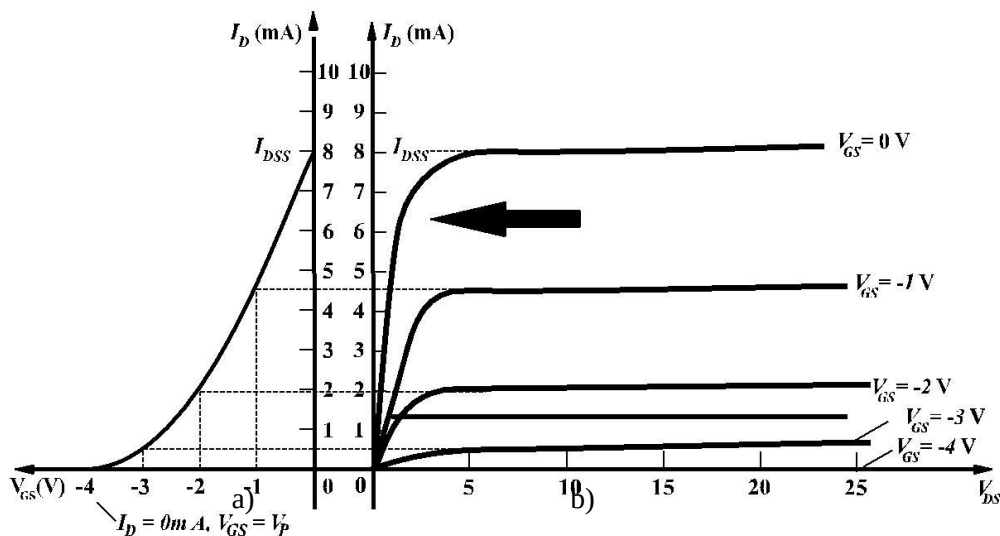


Figura 7.5. Ndërtimi i karakteristikës së transferimit nga karakteristikat e daljes

Mënyra praktike e ndërtimit të karakteristikës së transferimit

Për të vizatuar karakteristikën e transferimit, duhen të paktën katër pika. Sipas ekuacionit Shoklei:

Kur $V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS}$; Kur

$V_{GS} = V_P \Rightarrow I_D = 0$;

Kur $V_{GS} = V_P/2 \Rightarrow I_D = I_{DSS}/4$; Kur

$I_D = I_{DSS}/2 \Rightarrow V_{GS} = 0.3V_P$.

Sipas kësaj metode është ndërtuar karakteristika e transferimit e JFET me $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ dhe $V_P = -6 \text{ V}$ (fig. 7.6).

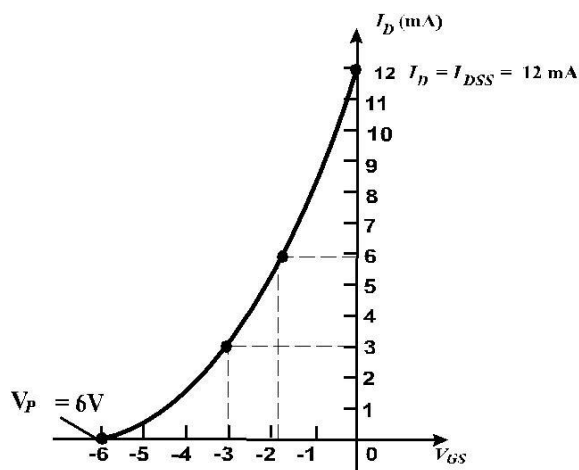


Figura 7.6. Karakteristika e transferimit e JFET me kanal n me $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ dhe $V_P = -6 \text{ V}$

JFET me kanal p

Karakteristika e transferimit për JFET me kanal p do të jetë e njëjtë me karakteristikën e JFET me kanal n . I vetmi ndryshim do të jetë që vlera e V_P dhe V_{GS} do të jenë pozitive, si në figurën 7.7 për një JFET me kanal p .

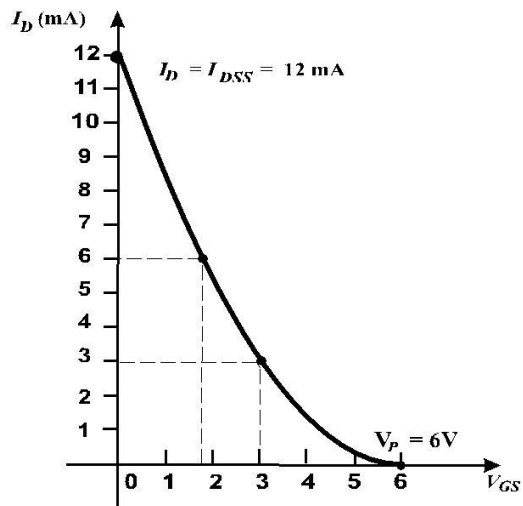


Figura 7.7. Karakteristika e transferimit JFET

me kanal p me $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ dhe $V_P = -6 \text{ V}$.

7.3. Fuqia e konsumuar nga FET

Në një katalog shënohen të gjitha karakteristikat e një elementi (në rastin tonë një transistor) që ne dëshirojmë. Këto të dhëna jepen nga prodhues të ndryshëm. Në katalog mund të gjejmë:

- fushën e përdorimit të tyre, si: amplifikator, oshilator etj.;
- vlerat e madhësive elektrike, si: tensionin maksimal të drejtë, tensionin maksimal të kundërt, rrymën maksimale, fuqinë si edhe temperaturat minimale dhe maksimale të përdorimit të transistorëve (nëse këto vlera nuk kihen parasysh elementi del jashtë përdorimi) etj.;
- përbërjen e një transistori si, p.sh., silici ose germaniumi;
- të dhënat mekanike që kanë të bëjnë me përmasat e një transistori.

Fuqia e një transistori në temperaturën 25°C (në temperaturën e dhomës) mund të llogaritet me formulën:

$$P_D = V_{DS} I_D \quad (7.2)$$

Siç u tha më lart, $V_P = V_{GS(\text{off})}$, vlerat e së cilës luhaten nga -0.5 V në -6.0 V për një JFET me kanal n . Zona normale e punës së JFET ka formën e treguar në figurën 7.8.

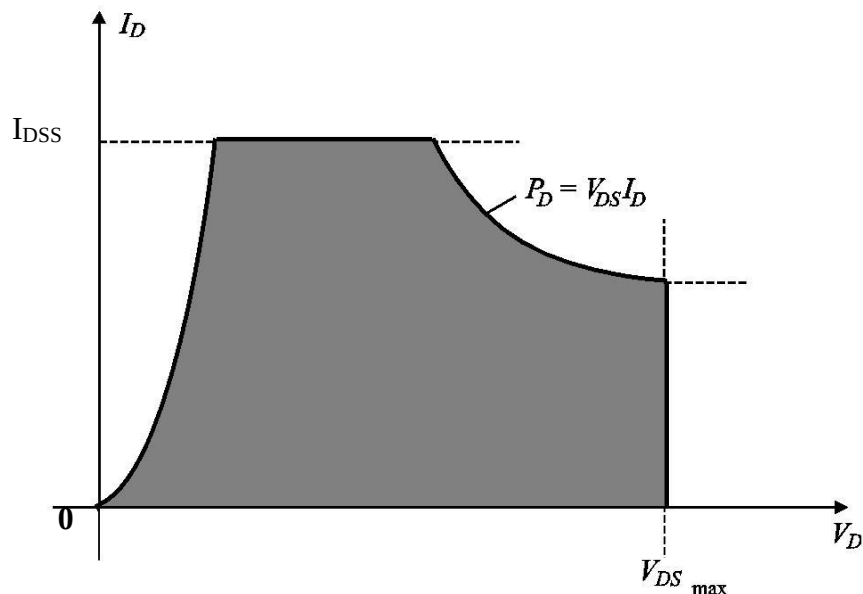


Figura 7.8. Zona normale e punës në regjimin linear

Nga karakteristikat dhe të dhënat në katalog për një element përcaktohet regjimi i punës në karakteristikat e daljes për projektimin e amplifikatorëve linearë si në figurën 7.8. Regjimi ohmik përcakton vlerat minimale të V_{DS} për vlera të ndryshme të V_{GS} . V_{DSMAX} tregon vlerat maksimale të tensionit derdhje-burim. Rryma e saturimit I_{DSS} është rryma maksimale e derdhjes, ndërsa fuqia maksimale tregohet nëpërmjet një vije të lakuar si në figurë.

7.4. MOSFET të tipit me varfërim (D-MOSFET)

Si u tha në fillim të kapitullit, **FET** janë transistorë të kontrolluar nga tensioni. FET-et i kemi 2 llojesh: **JFET** dhe **MOSFET**. MOSFET (*metal-oxide-semiconductor-field-effect*), sipas karakteristikave të tyre, ndahen në 2 lloje: MOSFET me pasurim (*enhancement-type MOSFET*) dhe MOSFET me varfërim (*Depletion-type MOSFET*). Të parët shënohen shpesh E-MOSFET, ndërsa të dytët D-MOSFET. Secilin nga këto 2 tranzistorë MOSFET i kemi me kanal p dhe n . MOSFET të tipit me varfërim kanë karakteristika të ngjashme me të JFET, por ato mund të punojnë edhe për V_{GS} me polaritet të kundërt me të parët.

Ndërtimi

Le të shohim ndërtimin e MOSFET me varfërim (me pakicë) me kanal n (D -MOSFET).

Një shtresë materiali tip p me bazë silici është shtresa mbi të cilën do të vendoset konstrukti i transistorit dhe është bazamenti i tij (*substrate*). Transistori MOSFET me varfërim ka në përgjithësi tri elektroda (dalje): derdhja (*drain*, D), (*source*, S), portë (*gate*, G). Ka raste kur nga shtresa p del një këmbë e veçantë (e katërta) e MOSFET-it, e cila shënohet SS. Bazamenti (SS) lidhet me burimin (S) e MOSFET-it, në përgjithësi. Shohim që derdhja dhe burimi me anë të kontakteve metalike lidhen me shtresat e tipit n , midis të cilave ndodhet kanali tip n . Gate nuk lidhet me kontakt metalik me kanalin n , por me anë të një shtrese dioksidi-silici, SiO_2 , e cila luan rolin e një dielektriku. Kjo bën që midis këmbës G dhe kanalit tip n të mos ketë lidhje elektrike (figura 7.9).

Për këtë arsye transistorët MOSFET kanë rezistencë të madhe në hyrje. Rryma që kalon në portë është 0. Ndonjëherë ky element gjendet në literaturë me emrin FET me portë të izoluar ose IGFET.

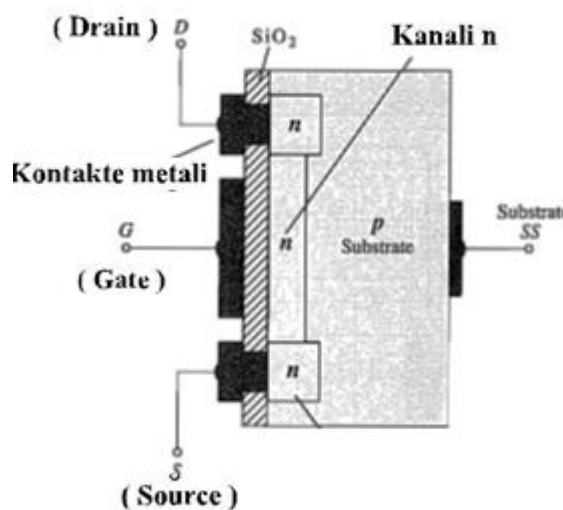


Figura 7.9. MOSFET me varfërim (D-MOSFET) me kanal n

Karakteristikat dhe parimi i punës

Në këtë figurë kemi ushqyer transistorin me tension V_{DD} . Në këtë rast V_{GS} është 0 V, si në figurën 7.10. Për shkak të potencialit pozitiv në derdhje ndodh një tërheqje e elektroneve nëpërmjet kanalit n . Kjo bën që rryma të jetë I_{DSS} në analogji me parimin e punës së JFET (kjo rrymë jepet në katalog). Rryma që kalon në këtë transistor kontrollohet nga potenciali në portë. Diferenca potenciale portë-burim kontrollon gjerësinë e kanalit.

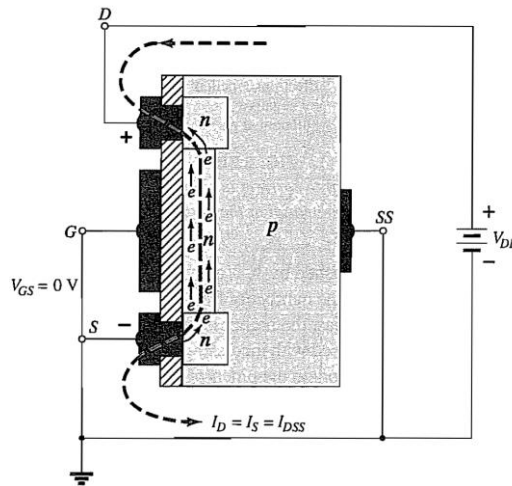


Figura 7.10. MOSFET me varfërim (DMOSFET) me kanal n me $V_{GS} = 0$

Kur V_{GS} është më i vogël se 0 V, p.sh., -1 V, -2 V, -3 V etj., tensioni negativ në portë shtyn elektronet drejt shtresës p dhe ndodh rikombinimi mes elektroneve e vrimave, duke bërë të mundur zvogëlimin e elektroneve të lira në kanal. Sa më i madh të jetë tensioni i kundërt në portë, aq më i madh është niveli i rikombinimit dhe aq më i vogël do të jetë numri i elektroneve të lira në kanal n . Kjo bën që rryma të zvogëlohet kur $V_{GS} = V_P$ (ky tension jepet në katalog), $I_D = 0$. V_P është tensioni i kundërt më i madh. Kur V_{GS} është më i madh se 0 V, pra tensioni portë-burim të polarizojë në të drejtë kalimin portë-burim, porta është ngarkuar pozitivisht dhe tërheq elektrone nga shtresa p duke u bashkuar me elektronet e lira të cilat së bashku bëjnë rritjen e rrymës në vlera më të mëdha se I_{DSS} . Për këtë arsye zona me V_{GS} pozitive, në karakteristikën e transferimit, është quajtur zona me pasurim, ndërsa zona për V_{GS} negative është quajtur zona me varfërim. Lidhja mes I_D dhe vlerave të V_{GS} (pozitive, negative e zero) bëhet me anë të ekuacionit Shockley.

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

Në figurën e mëposhtme 7.11 jepet karakteristika e transferimit që tregon I_D në funksion të V_{GS} si dhe varësinë e I_D në funksion të V_{DS} .

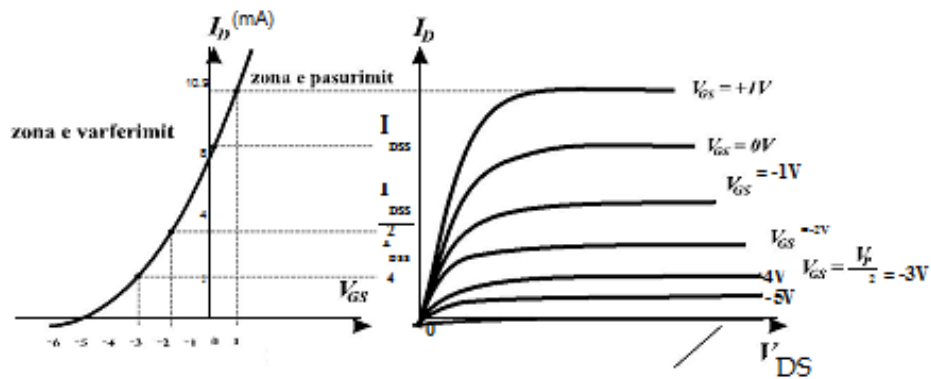


Figura 7.11. Karakteristika e transferimit I_D në funksion të V_{GS} dhe grafiku I_D në funksion të V_{DS}

D-MOSFET me kanal p

Ndërtimi i transistorit D-MOSFET me kanal p është i kundërt me pamjen e atij me kanal n . Emërtimet e këmbëve janë po njësoj, por ndryshojnë polaritetet dhe drejtimi i rrymës. V_{GS} do të marrë vlera pozitive dhe negative, ndërsa V_{DS} negative si në figurën e mëposhtme (7.12).

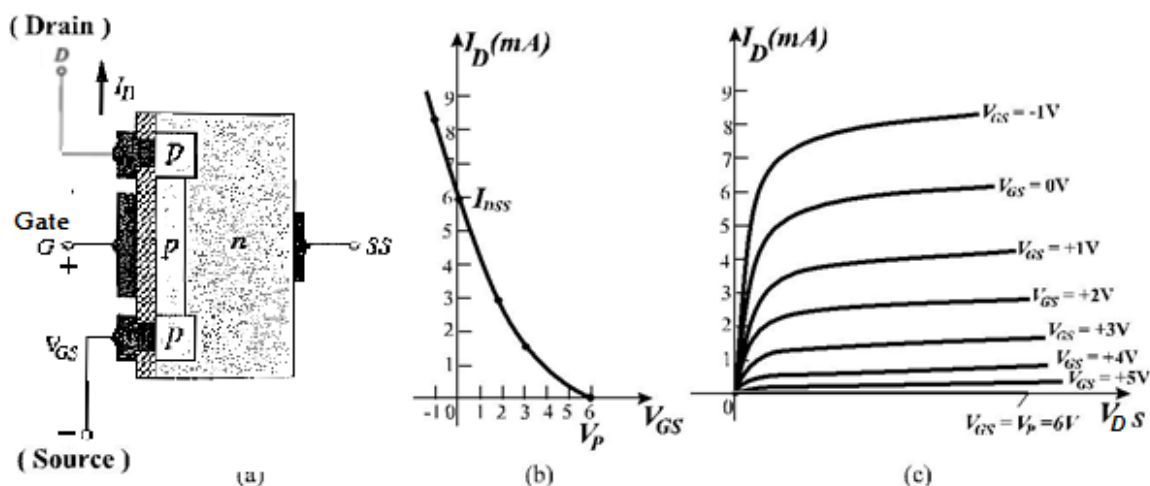


Figura 7.12. a) Ndërtimi i transistorit D-MOSFET me kanal-p

b) Karakteristikat e D-MOSFET me kanal-p me $I_{DSS} = 6 \text{ mA}$ dhe $V_p = +6V$

Në figurat e mëposhtme (7.13) janë paraqitur simbolet e D-MOSFET.

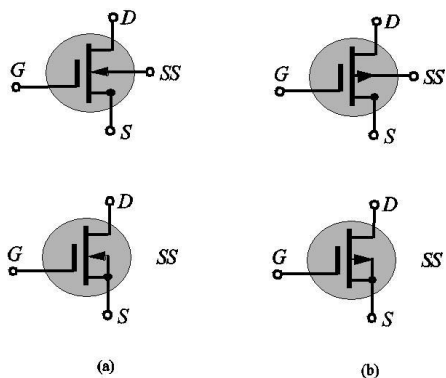


Figura 7.13. a) D-MOSFET me kanal n ,

b) D-MOSFET me kanal p

7.5. MOSFET me pasurim (E-MOSFET)

Megjithëse ka disa ngjashmëri në ndërtim dhe mënyrën e punës midis MOSFET me varfërim dhe atij me pasurim, karakteristika e MOSFET me pasurim është e ndryshme nga ato të para deri tani. Linja e transferimit nuk përcaktohet nga ekuacioni Shoklei dhe rryma në derdhje është zero derisa tensioni portë-burim të arrijë një vlerë të caktuar. Në veçanti, kontrolli i rrymës në një MOSFET me pasurim me kanal- n ndikohet nga tensioni pozitiv portë-burim, ndryshe nga MOSFET dhe JFET kanal- n që komandoheshin nga tensioni portë-burim negativ.

Ndërtimi bazë

Ndërtimi i një MOSFET me pasurim kanal- n shihet në figurën 7.14. Një shtresë materiali gjysmëpërcjellës tip p me bazë silici, si te MOSFET me varfërim, shërben si bazament për transistorin. Derdhja (D) dhe burimi (S) me anë të kontakteve metalike lidhen me shtresat e tipit n , midis të cilave nuk ndodhet kanal. Ky është dallimi kryesor midis MOSFET me pasurim dhe atij me varfërim. Shtresa SiO_2 është përsëri e pranishme, për të siguruar izolimin e kontaktit metalik të portës (G) me shtresën midis derdhjes (D) dhe burimit (S). Si përfundim, ndërtimi i një MOSFET me pasurim është i ngjashëm me atë me varfërim, përveç mungesës së një kanali midis derdhjes (D) dhe burimit (S) kur nuk ka tension nga jashtë.

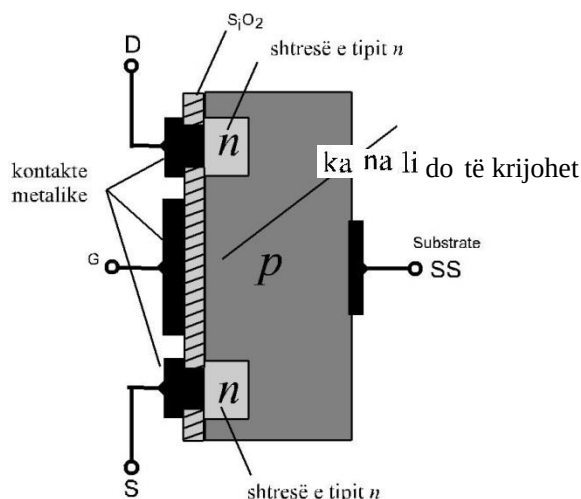


Figura 7.14. MOSFET me pasurim me kanal n

Karakteristikat dhe parimi i punës

Kur $V_{GS} = 0$, mungesa e kanalit n , në të cilin kalojnë elektronet, bën që të mos kalojë asnjë elektron nga S në D, pra rryma $I_D = 0$, ndryshe nga JFET dhe D-MOSFET ku $I_D = I_{DSS}$. Në figurën 7.15 kemi marrë vlera të $V_{GS} > 0$ dhe $V_{DS} > 0$, pra derdhja dhe porta (G) kanë potencial pozitiv në lidhje me burimin (S). Sa më shumë rritet V_{GS} , aq më shumë rritet përqendrimi i elektroneve pranë shtresës SiO_2 . Kur vlera e V_{GS} bëhet sa një tension “gjuri” (tensioni *threshold*, $V_{GS(Th)}$), fillon rrjedhja e elektroneve nga (S) drejt (D), pra në transistor kalon rrymë. Vlera e $V_{GS(Th)}$ jepet në katalog. Në qoftë se rritim tensionin pozitiv në portën (G) përtej vlerave të V_{TH} , do të rritet rryma që kalon nga derdhja në burim, pra vlera e rrymës në këtë transistor kontrollohet nga tensioni portë-burim. Ekziston një vlerë tensioni e zbatuar në portë që nuk duhet kaluar, siç mund të themi se ekziston një vlerë e rrymës së kalimit derdhje-burim që nuk mund të kapërcehet. Këto vlera jepen në katalog. Meqenëse kanali nuk ekziston për $V_{GS} = 0$, por krijohet për $V_{GS} > 0$, ky transistor merr emrin MOSFET me pasurim.

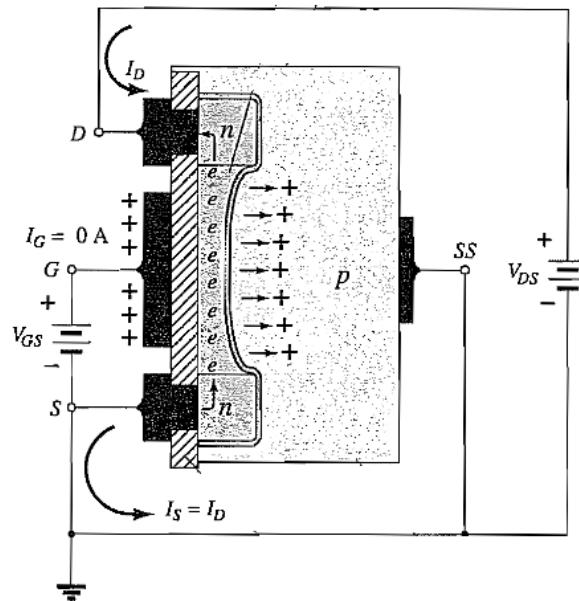


Figura 7.15. Krijimi i kanalit në MOSFET me pasurim

Në karakteristikën e derdhjes (fig. 7.16) vëmë re që për V_{GS} më të vogla se $V_{GS(Th)}$, rryma e derdhjes (daljes) është 0 mA. $V_{GS(Th)}$ mund ta shkruajmë thjesht V_T .

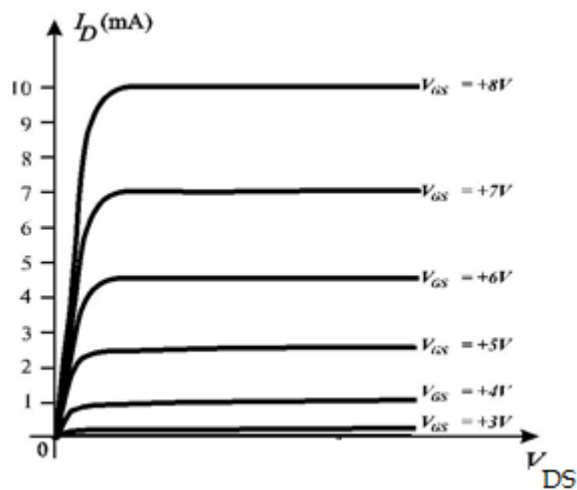


Figura 7.16. Karakteristika e derdhjes të MOSFET me pasurim me kanal tip n

Për V_{GS} më të mëdha se $V_{GS(Th)}$, rryma e derdhjes rritet jolinearisht kundrejt tensionit portë-burim, nëpërmjet ekuacionit

$$I_D = k (V_{GS} - V_T)^2,$$

ku k është një konstante që është funksion i ndërtimit të elementit. Në katalog jepen vlerat e $I_{D(on)}$ dhe $V_{GS(on)}$ që tregojnë vlerat e rrymës dhe tensionit në një pikë të karakteristikës së elementit. Që këtu mund të përcaktojmë vlerën e k -së.

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_T)^2}$$

Pasi gjejmë vlerën e k -së, për vlera të ndryshme të V_{GS} , përcaktojmë vlerat e I_D dhe këto pika i hedhim në grafikun e karakteristikës së transferimit, si në figurën 7.17 a). Në figurën 7.17 b)

tregohet edhe mënyra e ndërtimit të karakteristikës së transferimit nëpërmjet karakteristikës së derdhjes. Vëmë re që për V_{DS} më të vogla se vlera e $V_{GS(Th)}$, vlera e rrymës rritet pothuajse linearisht. Kur $V_{DS} > V_{GS(Th)}$, rryma derdhjes arrin nivelin e saturimit (ngopjes) për vlera të ndryshme të V_{GS} .

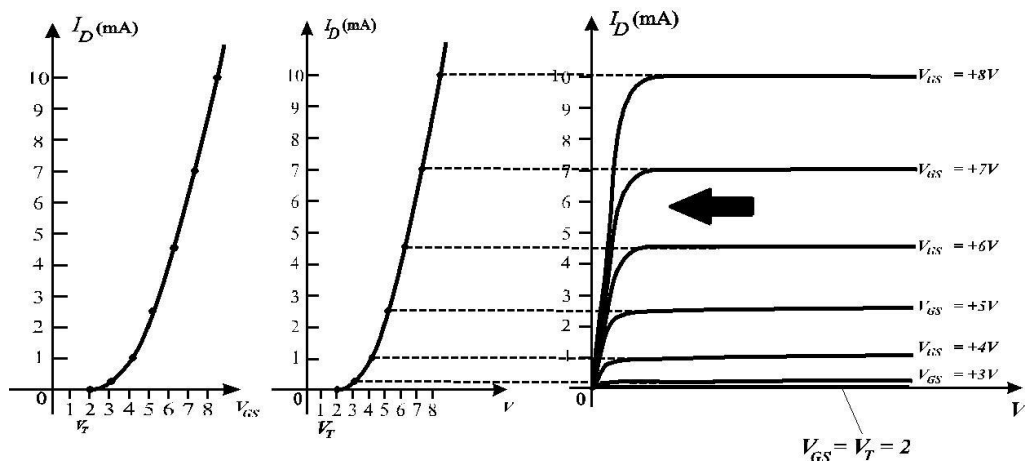


Figura 7.17 a) Karakteristika e transferimit, b) Karakteristika e transferimit e ndërtuar nga karakteristika e derdhjes (daljes) së MOSFET me pasurim me kanal tip n

E-MOSFET me kanal p

Ndërtimi i E-MOSFET me kanal p , siç shihet në figurën 7.18 a) është i kundërt me E-MOSFET me kanal n . Në këtë tip MOSFET, bazamenti është shtresë e tipit n , ndërsa shtresat që lidhen me derdhjen (*drain*, D) dhe burimin (*source*, S) janë të tipit p . Terminalet (këmbët) kanë të njëjtin emërtim, por polaritetet e tensionit dhe drejtimi i rrymës janë të kundërta. Karakteristika e transferimit do të jetë pasqyrimi rreth boshtit të I_D të karakteristikës së transferimit për E-MOSFET me kanal n (fig. 7.18 b). Në figurën 7.18 c) janë treguar karakteristikat e derdhjes, nga ku shihet qartë që me rritjen e vlerave negative të V_{GS} rritet vlera e I_D .

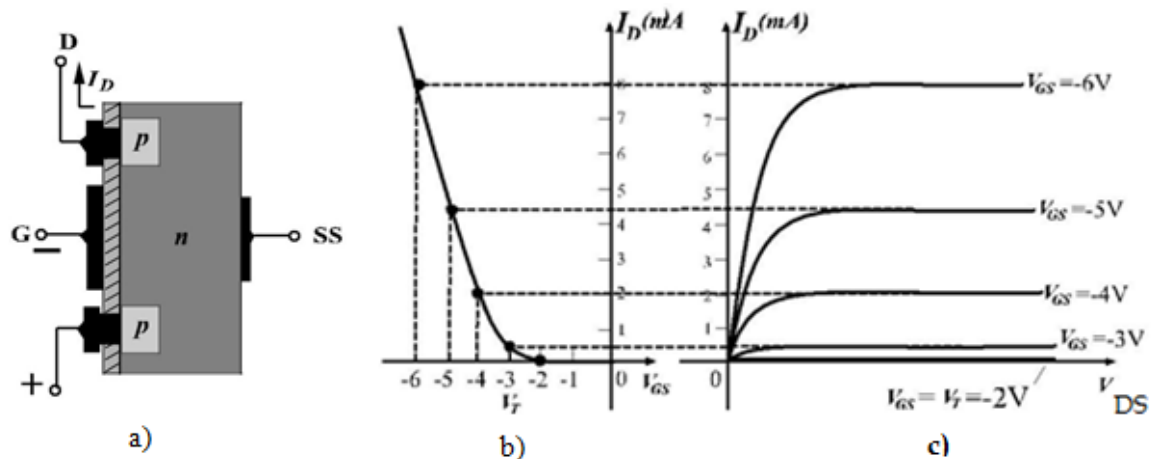


Fig. 7.18.a) Ndërtimi i E-MOSFET me kanal p ; b) Karakteristika e transferimit për E-MOSFET me kanal p ; c) Karakteristika e derdhjes (daljes)

Në figurën 7.19 janë treguar simbolet e E-MOSFET me kanal n dhe me kanal p

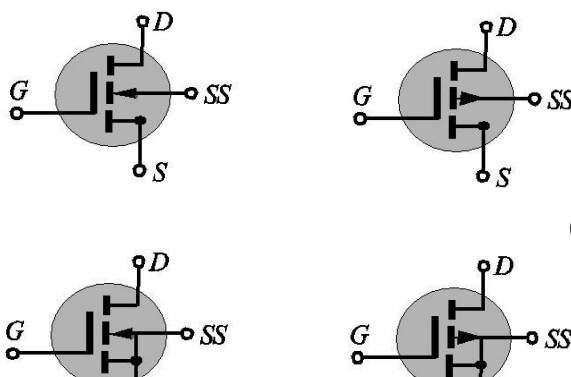


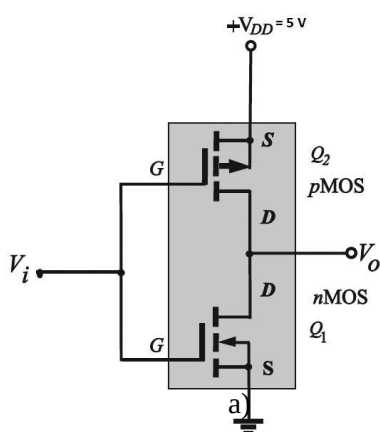
Figura 7.19

- a) Simbolet e E-MOSFET me kanal n
b) Simbolet e E-MOSFET me kanal p

a) b)

7.6. Qarqet CMOS

Qarqet CMOS janë qarqe dixhitale logjike mjaft të përdorshme në praktikë. Ato janë të ndërtuara me transistorë MOSFET të të njëjtit lloj, por të tipave të kundërt (E-MOSFET me kanal n dhe E-MOSFET me kanal p të vendosura mbi të njëjtin bazament), si n , si në figurën 7.20 a).



V_i	V_{GS1}	V_{GS2}	V_o
0	0	-5 V	5 V
5 V	5 V	0	0

b)

Figura 7.20 a) Invertuesi CMOS, b) Tabela përmbledhëse e punës së CMOS

Ky qark me MOSFET quhet CMOS (*Complementary MOSFET*). Hyrja e qarkut ndodhet në portat e dy transistorëve të lidhura në një pikë, ndërsa dalja merret nga derdhjet e lidhura në një pikë. Përpara se të studiojmë efektin e qarkut CMOS, kujtoni edhe njëherë karakteristikat e transferimit të transistorëve MOSFET me pasurim me kanal p e n . Nëse në hyrje do të kemi një tension prej 0 V, atëherë $V_{GS1} = 0$ V dhe Q_1 është në gjendjen “off”, pra rezistenca derdhje - burim është shumë e madhe. $V_{GS2} = -5$ V dhe transistori i Q_2 është në gjendjen “on”. Midis derdhjes dhe burimit të Q_2 rezistenca është shumë e vogël. Pra, po ta shihnim si pjesëtues tensioni, do të arrinim në përfundimin se V_o është afërsisht 5 V. Dalja inverton gjendjen e hyrjes. Pra, për $V_i = 0$ V, $V_o = 5$ V. Nëse në hyrje do të kemi një tension prej 5 V, atëherë $V_{GS1} = V_i = 5$ V dhe Q_1 është në gjendjen “on”. Rezistenca derdhje - burim është shumë e vogël. Pra, $V_{GS2} = 0$ dhe transistori i Q_2 është në gjendjen “off”. V_o është afërsisht 0 V. Dalja inverton gjendjen e hyrjes. Pra, për $V_i = 5$ V, $V_o = 0$ V. Tabela përmbledhëse e punës së CMOS tregohet në figurën 7.20 b).

Si përfundim, **CMOS është qark invertues**.

Fuqia që harxhon CMOS është shumë e vogël, sepse transistorët janë në rolin e çelësave. Ata kanë rezistencë të madhe në hyrje dhe shpejtësinë e komutimit (kyçje-shkyçje) shumë të lartë.

Tema mësimore nr. 8: Skemat bazë me tranzistorë njëpolar.

Për transistorët me efekt fushe, marrëdhëniet midis madhësive të hyrjes e të daljes janë jolineare dhe kjo vihet re edhe në karakteristikën e transferimit të një FET. Lidhja grafike që ekziston mes I_D e V_{GS} është më e përdorur dhe, në këtë kapitull, studimi bëhet mbi këtë lidhje e jo mbi atë matematikore. Si në skemat me BJT edhe në ato me FET madhësia e rrymës në dalje ndikon në madhësinë e tensionit në dalje. Gjatë analizës DC për të gjithë përforcuesit me FET duhet të kihet parasysh këto marrëdhënie:

$$I_G = 0 \text{ A}$$

$$I_D = I_S.$$

Kujtojmë që për JFET dhe MOSFET me varfërim (D-MOSFET), marrëdhënia mes qarkut të hyrjes e të daljes jepet me ekuacionin Shokley:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

Për MOSFET me pasurim (E-MOSFET), marrëdhënia mes qarkut të hyrjes e të daljes jepet me ekuacionin:

$$I_D = k (V_{GS} - V_T)^2.$$

Është e rëndësishme të theksohet që këto ekuacione shprehin lidhjen mes madhësive elektrike vetëm për elementin, pavarësisht se në cilën lloj skemë është lidhur ai. Nga skema ku lidhet elementi përcaktohet sa është konkretisht vlera e rrymës dhe e tensionit, duke u bazuar në gjetjen e pikës së punës.

8.1. Skema me polarizim fiks

Skema me polarizim fiks është skema më e thjeshtë e polarizimit të JFET me kanal n (fig. 8.1). Në këtë skemë tensioni i polarizimit të transistorit është fiks sa vlera e tensionit të burimit të vendosur në qarkun e hyrjes V_{GG} . Le të bëjmë analizën e skemës për rrymën e vazhduar:

$$I_G = 0 \text{ A}$$

dhe

$$V_{RG} = I_G R_G = (0 \text{ A}) R_G = 0 \text{ V}.$$

Vlera e tensionit në R_G lejon zëvendësimin e R_G me një qark të shkurtër ekuivalent (fig. 8.2) i rivizatuar pikërisht për analizën DC.

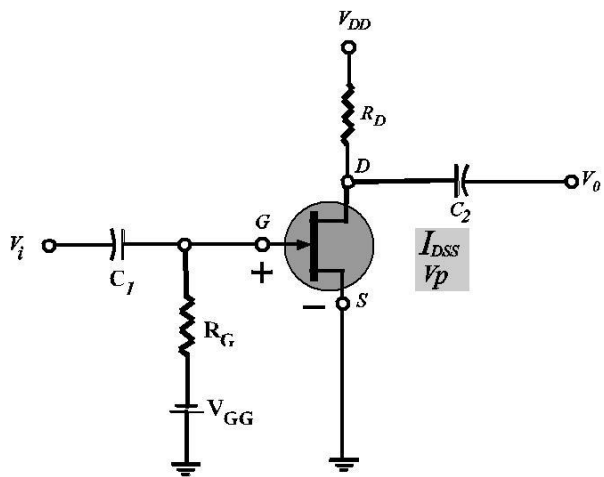


Figura 8.1. Skema me polarizim fiks

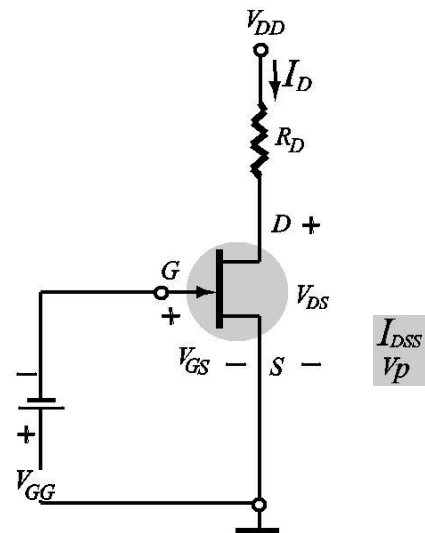


Figura 8.2. Qarku për analizën DC

Duke zbatuar ligjin e Kirkofit për tensionet në drejtimin e rotullimit të akrepave të orës, në qarkun e dhënë në figurën 8.2 kemi:

$$-V_{GG} - V_{GS} = 0$$

dhe

$$V_{GS} = -V_{GG}$$

Linja e ngarkesës do të jetë një vijë e drejtë vertikale në pikën $V_{GS} = -V_{GG}$. Nga pikëprerja e këtyre dy vijave, mund të përcaktojmë vendndodhjen e pikës së punës ose të qetësisë, pra, I_{DQ} dhe V_{GSQ} , si në figurën 8.3.

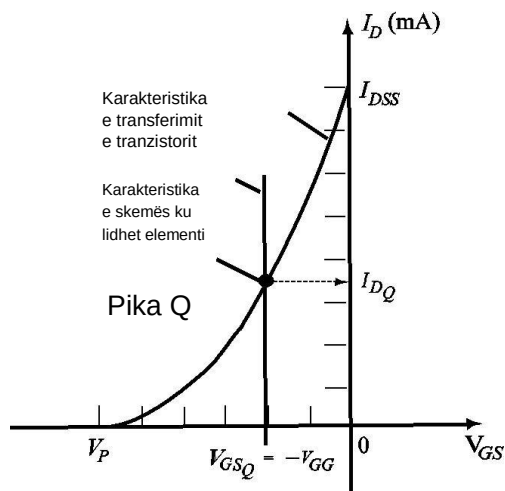


Figura 8.3. Përcaktimi i pikës së punës

Këto vlera, I_{DQ} dhe V_{GSQ} , do jenë ato që matin aparatet matëse. Të dyja mënyrat e zgjidhjes (grafike e matematike) duhet të arrijnë në vlera pothuajse të njëjta të I_{DQ} dhe V_{GSQ} . Tensioni *drain-source* (dalje-burim) mund të përcaktohet duke zbatuar ligjin e dytë të Krikofit në qarkun e daljes së figurës 8.1 dhe del si më poshtë:

$$+V_{DS} + I_D R_D - V_{DD} = 0$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_S = 0 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S$$

ose

$$V_D = V_{DS} + V_S = V_{DS} + 0 \text{ V}$$

nga ku, për skemën me polarizim fiks,

$$V_D = V_{DS}.$$

Gjithashtu

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

ose

$$V_G = V_{GS} + V_S = V_{GS} + 0$$

nga ku, për skemën me polarizim fiks,

$$V_G = V_{GS}$$

8.2. Skema me vetëpolarizim

Skema me vetëpolarizim nuk ka nevojë për dy burime ushqimi të vazhduar. Tensioni i

kontrollit portë-burim tani përcaktohet nga tensioni në rezistencën R_S që lidhet me burimin (source) si në figurën 8.4.

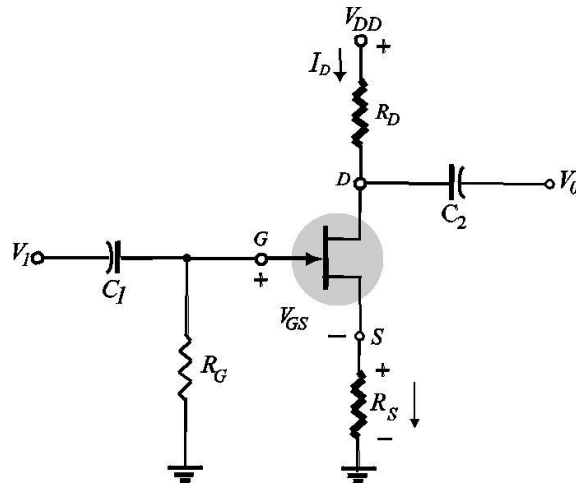


Figura 8.4. Skema me vetëpolarizim

Për analizën dc të qarkut, kondensatorët mund të zëvendësohen me qark të hapur dhe rezistenca R_G mund të zëvendësohet nga një qark i shkurtër, përderisa $I_G = 0A$. Rryma që kalon në rezistencën R_S është rryma që kalon në burim, por $I_S = I_D$. Për konturin e mbyllur në figurën 8.4, gjejmë që: $-V_{GS} - V_{RS} = 0$ ose $V_{GS} = -I_D R_S$ (*).

Me ekuacionin (*) mund të ndërtohet linja e ngarkesës (një vijë e drejtë) në të njëjtin sistem boshtesh me karakteristikën e transferimit. Konsiderojmë $I_D = 0$ dhe marrim që $V_{GS} = -I_D R_S = (0)R_S = 0$ V. Pika e dytë përcaktohet duke marrë një vlerë të caktuar të V_{GS} ose I_D dhe vlera korresponduese e madhësisë tjetër të zgjidhet duke përdorur ekuacionin (*) me një vlerë të dhënë të R_S . Kështu, me anë të dy pikave, mund të ndërtojmë vijën e ngarkesës. P.sh., marrim

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$$

Atëherë:

$$V_{GS} = -I_D R_S = \frac{I_{DSS}}{2} * R_S.$$

Ndërtojmë linjën e ngarkesës. Pikëprerja e karakteristikës së transferimit me linjën e ngarkesës na përcakton pikën e punës Q si në figurën 8.5.

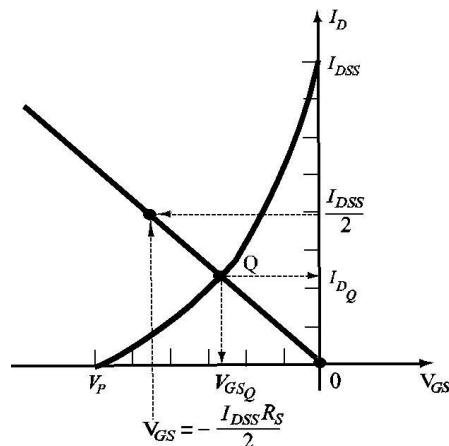


Figura 8.5. Vizatimi i linjës së ngarkesës

Pasi përcaktojmë I_{DQ} dhe V_{GSQ} , mund të gjejmë madhësitë e tjera. Për gjetjen e V_{DS} mund të zbatohet ligji i Kirkoft në qarkun e daljes:

$$V_{RS} + V_{DS} + V_{RD} - V_{DD} = 0$$

nga ku
$$V_{DS} = V_{DD} - V_{RS} - V_{RD} = V_{DD} - I_S R_S - I_D R_D.$$

Por
$$I_D = I_S$$

dhe
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_S + R_D).$$

Në vazhdim:

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_G = 0 \text{ V}$$

dhe
$$V_D = V_{DS} + V_S = V_{DD} - V_{RD}.$$

8.3. Skema me pjesëtues tensioni

Skema e polarizimit me pjesëtues tensioni, e studiuar në amplifikatorët me transistorë dypolarë, përdoret edhe në amplifikatorët me transistorë njëpolarë siç është treguar në figurën 8.6.

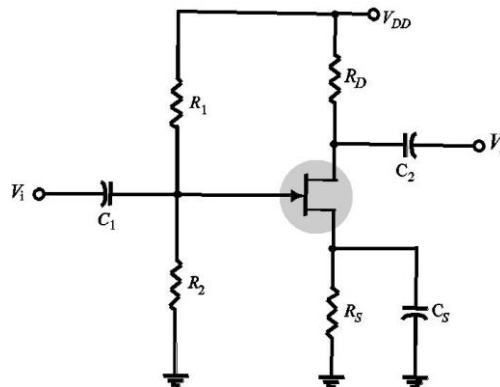


Figura 8.6. Skema me pjesëtues tensioni

M.q.s. $I_G = 0$, nga ligji i Kirkoft për rrymat kemi që $I_{R1} = I_{R2}$, dhe mund të përdorim qarkun ekuivalent seri në të majtë të figurës 8.10 për të gjetur vlerën e V_G . Tensioni V_G , i barabartë me tensionin në rezistencën R_2 , mund të gjendet duke përdorur barazimin e mëposhtëm:

$$V_G = \frac{V_{DD} R_2}{R_1 + R_2}.$$

Duke zbatuar ligjin e Kirkoft për tensionet në drejtimin e rrotullimit të akrepave të orës për qarkun e hyrjes:

$$V_G - V_{GS} - V_{RS} = 0$$

dhe

$$V_{GS} = V_G - V_{RS}.$$

Duke zëvendësuar $V_{RS} = I_S R_S = I_D R_S$, kemi:

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S. \quad (**)$$

Ekuacioni i mësipërm është ekuacion i një vije (linjë së ngarkesës), që nuk kalon nga origjina. Zgjedhim $I_D = 0$ mA dhe përcaktojmë V_{GS} si më poshtë:

$$V_{GS} = V_G - (0 \text{ mA}) R_S.$$

Pra:

$$V_{GS} = V_G, \text{ për } I_D = 0 \text{ mA}.$$

Për të përcaktuar pikën tjetër, konsiderojmë $V_{GS} = 0$ V dhe nga ekuacioni (**) gjejmë I_D :

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

$$0 \text{ V} = V_G - I_D R_S$$

dhe
$$I_D = \frac{V_G}{R_S}, \text{ për } V_{GS} = 0 \text{ V}.$$

Dy pikat e përcaktuara më sipër bëjnë të mundur ndërtimin e linjës së ngarkesës. pikëprerja e linjës së ngarkesës me karakteristikën e transferimit përcakton pikën e punës dhe vlerat e I_{DQ} dhe V_{GSQ} përkatëse (figura 8.7).

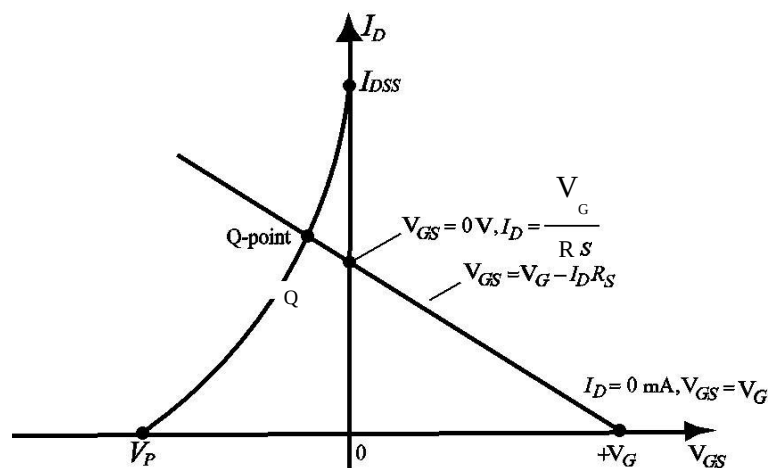


Figura 8.7 Karakteristika e transferimit dhe pika e punës

Për qarkun e daljes:

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

Për qarkun e hyrjes:

$$I_{R1} = I_{R2} \text{ dhe } V_G = \frac{V_{DD} R_2}{R_1 + R_2}$$

MOSFET i tipit me varfërim (D-MOSFET)

Karakteristika e transferimit e JFET dhe e D-MOSFET është e ngjashme. Ndryshimi kryesor midis skemave me JFET dhe atyre me MOSFET të tipit me varfërim (*depletion type*) qëndron në faktin që në karakteristikën e transferimit të D-MOSFET, pika e punës mund të gjendet edhe për vlera pozitive të V_{GS} . Në këtë rast vlera e I_D kuptohet që do të jetë më e madhe se vlera e I_{DSS} .

8.4. MOSFET i tipit me pasurim (E-MOSFET)

Karakteristika e transferimit e MOSFET me pasurim (figura 8.8) është shumë e ndryshme nga ajo e JFET e D-MOSFET dhe kjo çon në një zgjidhje grafike shumë të ndryshme nga ajo e parë deri tani.

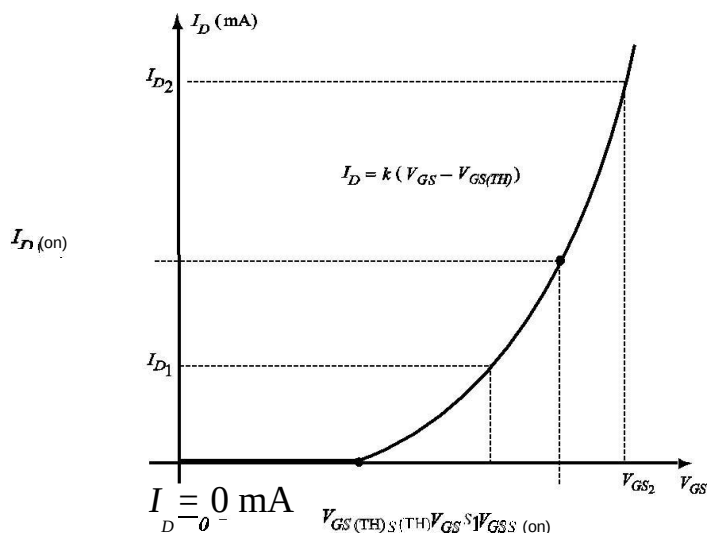


Figura 8.8. Karakteristika e transferimit e MOSFET me pasurim me kanal n

Kujtojmë që karakteristika e transferimit e MOSFET me pasurim ndërtohet duke u bazuar në ekuacionin

$$I_D = k (V_{GS} - V_{GS(TH)})^2.$$

Nëse nuk dimë vlerën e k -së, duhet t'u referohemi të dhënave të treguara në katalog, si: $V_{GS(TH)}$, $I_{D(on)}$ dhe $V_{GS(on)}$. Duke zëvendësuar në ekuacionin e mësipërm madhësitë e gjetura në katalog, gjejmë k -në siç tregohet më poshtë:

$$I_{D(on)} = k (V_{GS(on)} - V_{GS(TH)})^2$$

nga ku

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_{GS(TH)})^2}$$

Pasi gjendet vlera e k -së, duke i dhënë vlera V_{GS} , gjenden vlerat e I_D . Kuptohet që vlerat e

V_{GS} do jenë më të mëdha se vlera e $V_{GS(TH)}$.

Mënyra e polarizimit me lidhje të kundërt

Një nga mënyrat më të përdorshme për polarizimin e këtyre transistorëve është ajo me lidhje të kundërt. Skema e polarizimit me lidhje të kundërt dhe skema ekuivalente DC e saj tregohen në figurën 8.14. Transistori polarizohet (ushqehet) me tension në vlerë të konsiderueshme që vjen nga derdhja (*drain*, dalja) e transistorit. Meqë $I_{(G)} = 0$ dhe $V_{RG} = 0$, atëherë:

$$V_D = V_G$$

dhe

$$V_{DS} = V_{GS}.$$

Por

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

nga ku

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D.$$

Ky është njëkohësisht edhe ekuacioni i një vije të drejtë ose i linjës së ngarkesës.

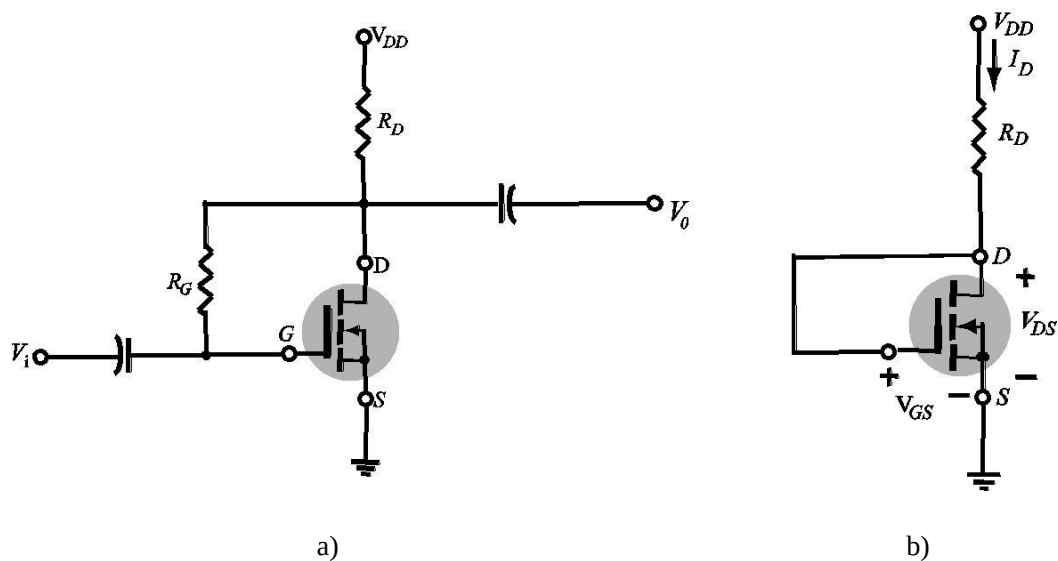


Figura 8.14 a) Skema e polarizimit me lidhje të kundërt, b) Skema ekuivalente për rrymat e vazhduara

Duke marrë $I_D = 0$ mA, kemi:

$$V_{GS} = V_{DD}.$$

Duke zëvendësuar $V_{GS} = 0$ V, kemi:

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D}.$$

-Vendosim madhësitë e përcaktuara më lart në boshte dhe i bashkojmë me një vijë të drejtë,

që është linja e ngarkesës. Pikëprerja e karakteristikës së transferimit me linjën e ngarkesës përcakton pikën e punës Q (figura 8.15).

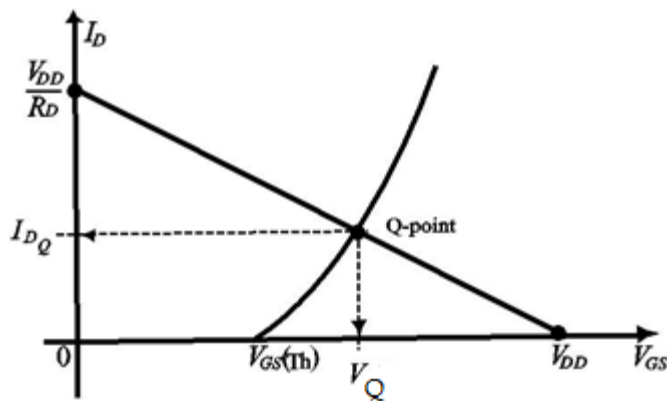


Figura 8.15. Përcaktimi i pikës së punës për skemën me lidhje të kundërt

Mënyra e polarizimit me pjesëtues tensioni

Një mënyrë tjetër e polarizimit të E-MOSFET është ajo e polarizimit me pjesëtues tensioni, si në figurën 8.16. Duke kujtuar që $I_G = 0$ mA, mund të arsyetohet si në rastet e tjera me këtë mënyrë polarizimi.

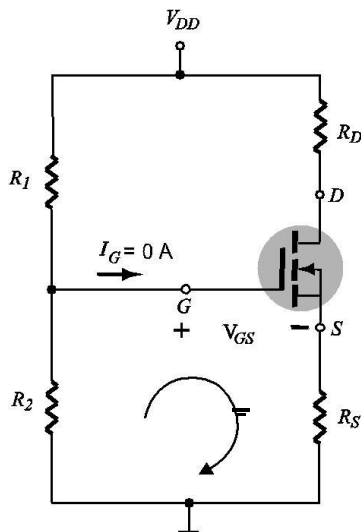


Figura 8.16. Skema me pjesëtues tensioni

Siç e kemi parë më sipër,

$$V_G = \frac{V_{DD} R_2}{R_1 + R_2} = V_{R2}.$$

Duke zbatuar ligjin e Kirkofit për tensionet në drejtim të rrotullimit të akrepave të orës për qarkun e hyrjes në figurën 8.16, do të dalë që:

$$V_G - V_{GS} - V_{RS} = 0$$

dhe

$$V_{GS} = V_G - V_{RS}.$$

Duke zëvendësuar $V_{RS} = I_S R_S = I_D R_S$, kemi:

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

Për qarkun e daljes:

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

Tema mësimore nr. 9: Elementët shumë shtresorë.

Në familjen e elementeve katërshtresore hyjnë: drejtues silici të kontrolluar ose SCR, (Silicon-controlled rectifier në gjuhën angleze), çelës silici të kontrolluar ose SCS, (silicon-controlled switch), çelës që shkyçet nga porta ose GTO (gate turn-off switch), SCR e ndjeshme ndaj dritës ose LASCR (light-active SCR), transistor me një kalim ose UJT (unijunction transistor), transistori i programueshëm ose PUT (programmable transistor). Në këtë temë mësimore do të studiohen disa prej këtyre elementeve.

9.1. Drejtues i kontrolluar silici (SCR)

Zbatimi kryesor i tyre është kontrolli i vlerave të mëdha të rrymës në motorë, në ngrohës, në sistemet e ndriçimit, në burimet e fuqisë të rregullueshme; si çelës statikë, në invertues, në qarqet mbrojtës, në ngarkuesit e baterive, etj. Parimi i punës së SCR është ndryshe nga ai i diodës gjysmëpërcjellëse, për shkak të daljes së tyre të tretë, portës (gate), e cila komandon ndryshimin e gjendjes së elementit. Simboli i një SCR dhe struktura gjysmëpërcjellëse katërshtresore është treguar në figurën 9.1.

Siç shihet anoda duhet të jetë më pozitive se sa katoda si dhe të jepet një impuls me amplitudë të caktuar në portë, I_{GT} , që SCR të kyçet.

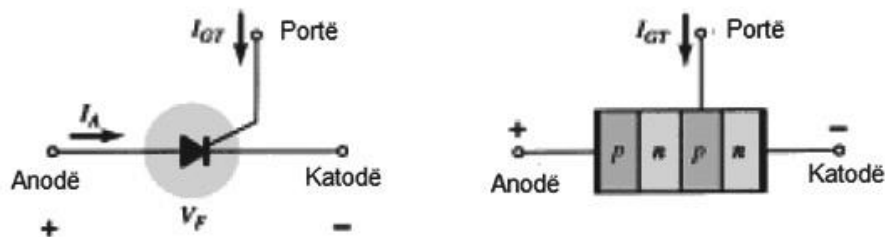


Figura 9.1. (a) Simboli i SCR, (b) ndërtimi

Për të kyçur këtë “çelës” duhet të përdoren këto mënyra:

- Polarizohet në të drejtë dhe jepet një impuls trigerimit në portën, i cili polarizon në të drejtë kalimin B-E të transistorit Q_2 .
- duke zbatuar një tension të madh burimi mes anodës dhe katodës që quhet tension “breakover”.

Për të shkyçur tiristorin mund të përdoren:

- zvogëlimi i rrymës së ngarkesës deri në zero, e cila mund të realizohet duke çuar vlerën e tensionit të burimit drejt zeros.
- teknikat e detyruara të komutimit, që detyrojnë rrymën të kalojë në drejtim të kundërt me atë të përcjellshmërisë së drejtë.

Karakteristika volt-amper e një SCR tregohet në figurën 9.2 për vlera të ndryshme të rrymës së portës.

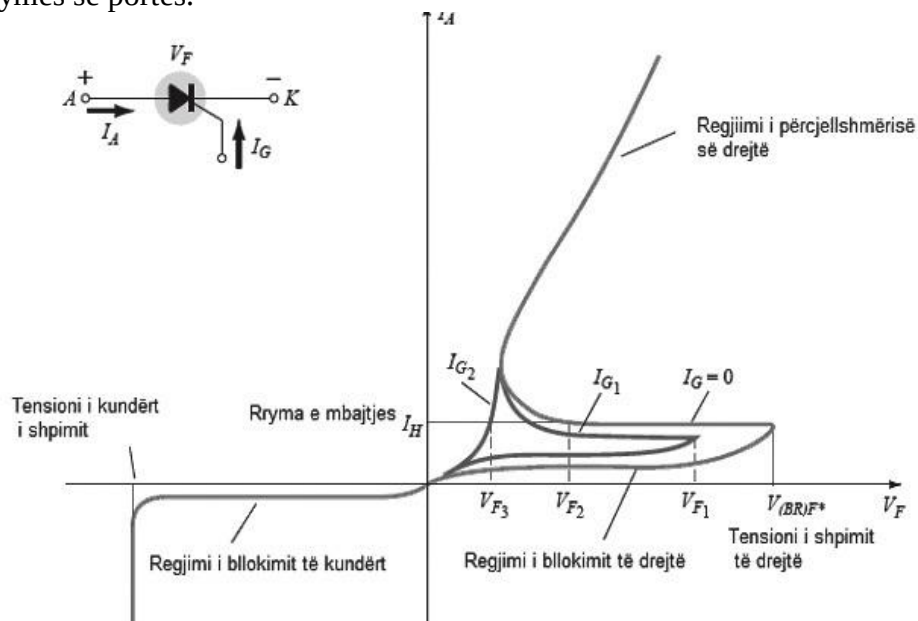


Fig. 9.2. Karakteristika volt-amper e një SCR

Vëmë re që:

- Tensioni i drejtë i shpimit është tensioni mbi të cilin SCR hyn në regjim përcjellshmërie.
- Rryma e mbajtjes është vlera e rrymës nën të cilën SCR kalon nga regjimi i bllokimit të drejtë në regjimin e përcjellshmërisë.
- Tensioni i bllokimit të drejtë dhe të kundërt janë regjime korresponduese ku SCR sillet si qark i hapur.
- Tensioni i kundërt i shpimit është i njëjtë me tensionin në regjimin zener të diodës gjysmëpërcjellëse.
- Tipa të ndryshëm të këtyre drejtuesve janë treguar në figurën 9.6.

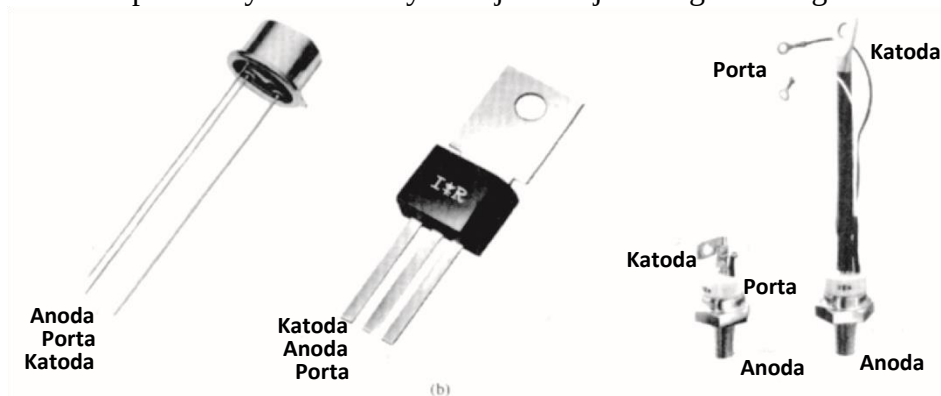


Fig.9.2. Tipa të ndryshëm të SCR

9.2 Çelës i kontrolluar silici (SCS)

Ndërtimi, simboli dhe skema ekuivalente tregohen në figurën 9.3:

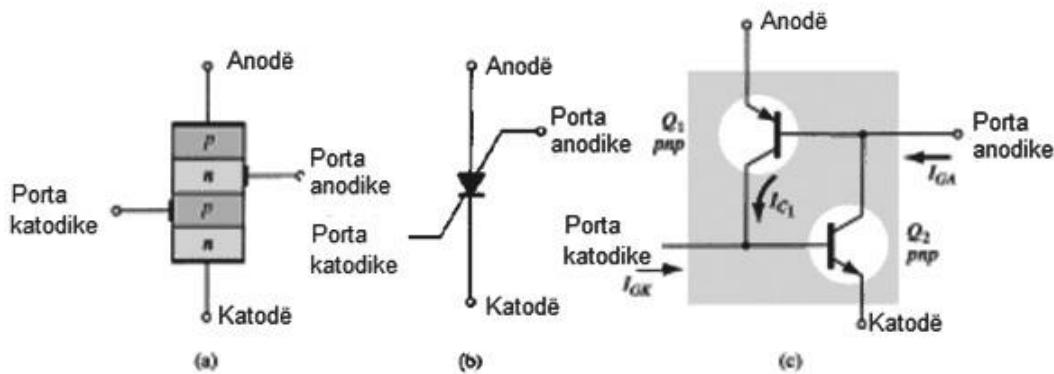


Fig. 9.3. (a) Ndërtimi, (b) simboli dhe (c) skema ekuivalente e SCS

Siç shihet SCS ka katër këmbë, pra edhe një portë anodike në ndryshim nga SCR.. Sa më e madhe të jetë rryma e portës anodike, aq më i vogël është tensioni i nevojshëm anodë-katodë për të kyçur elementin. Për të kyçur elementin në portën anodike duhet zbatuar një impuls negativ, i cili polarizon në të drejtë kalimin bazë emiter të transistorit Q_1 , rritjen e rrymës së kolektorit të Q_1 , rritjen e rrymës së bazës së Q_2 , e kështu vazhdon procesi i rigjenerimit deri në kyçjen e SCS. Një impuls pozitiv në portën anodike do të polarizonte në të kundërt kalimin bazë emiter të transistorit Q_1 , e kështu sipas vetisë rigjeneruese të përmendur më lart, procesi do të vazhdonte deri në shkyçjen e Q_1 e Q_2 . Rryma e portës anodike është më e madhe në vlerë se rryma e portës katodike. Për të trigeruar elementin (për të ndryshuar gjendjen e tij), rryma e portës anodike është 1.5 mA, ndërsa rryma e nevojshme e portës katodike është 1 μ A. Kjo vlerë e vogël rryme mund të sillte ndryshimin e rremë të gjendjes së elementit. Tre nga mënyrat kryesore të shkyçjes së SCS janë treguar në figurën 9.4:

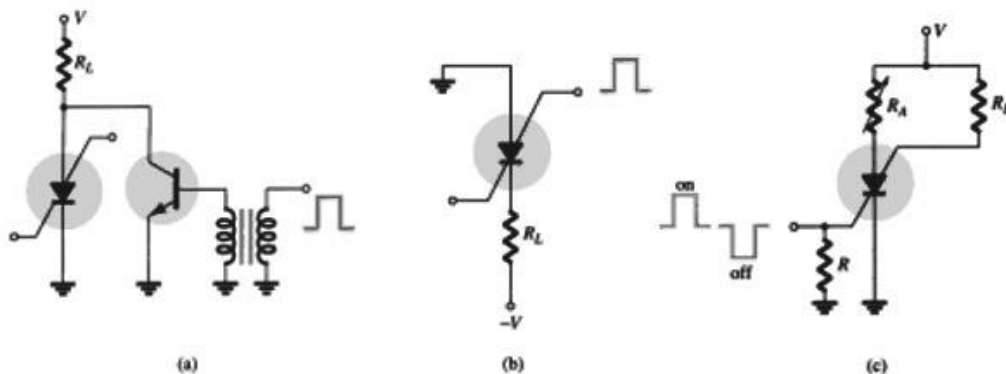


Fig.9.4. Mënyrat e shkyçjes të SCS

Në figurën 9.4 (a) një impuls pozitiv e kyç transistorin, rezistenca e tij është e vogël mes kolektorit dhe emiterit. Kjo bën që rryma e anodës e ngarkesës të ndahet në dy degë dhe rryma e SCS bëhet më e vogël se rryma e mbajtes, SCS shkyçet. Në figurën 9.4 (b) një impuls pozitiv në portën anodike sjell shkyçjen e SCS, siç u tha më sipër. Në figurën 9.4 (c) SCS mund të kyçet ose shkyçet për vlera të caktuara të rrymës në portën katodike. SCS shkyçet, kur R_A ka vlerën maksimale, vlera e saj është kritike për këtë mënyrë pune. Tek SCS koha e shkyçjes është (1-10) μ s, ndërsa te SCR koha e shkyçjes është (5-30) μ s.

SCS punon me fuqi të vogla, rryma dhe tensione të vogla. Vlera maksimale e rrymës në anodë shkon nga (100-300) mA dhe fuqia maksimale e harxhuar (100-500) mW.

Pamja e jashtme e një SCS dhe përcaktimi i këmbëve të saj tregohen në figurën 9.5.

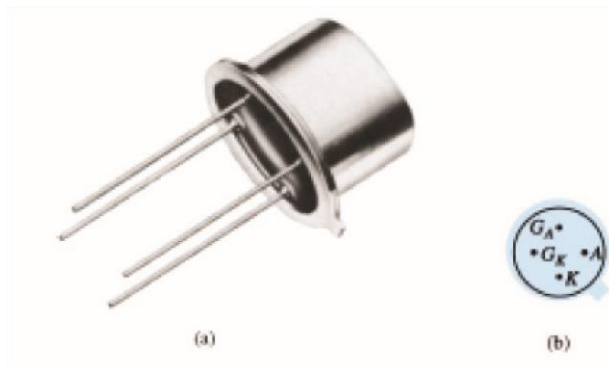


Fig. 9.5. (a) Pamja e jashtme, (b) përcaktimi i këmbëve të SCS

9.3. FOTO-SCR ose LASCR (LIGHT- ACTIVATED SCR)

Ky është një element i ndjeshëm (aktiv) ndaj dritës. Shigjetat në simbol tregojnë që drita e ardhur kalon përmes një dritare dhe godet mbi një shtresë gjysmëpërcjellëse silici.

Kur drita është e mjaftueshme, elektronet e valencës kthehen në elektrone të lira, procesi i rigjenerimit fillon dhe foto-SCR mbyllet. Pasi një impuls drite ka kyçur foto-SCR, ky element qëndron i kyçur edhe pse drita zhduket.

Simbolet e një LASCR tregohen në figurën 9.6.

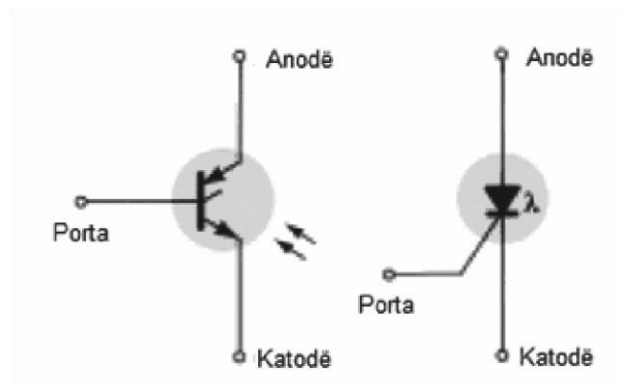


Fig. 9.6. Simbolet e një LASCR

LASCR mund të pëdoret në praktikë për të ndërtuar portat logjike “AND” dhe “OR” , si në figurën 9.7. Në figurën 9.7 (a) tregohet skema logjike e portës AND (EDHE) me LASCR. Vetëm kur drita bie në LASCR1 dhe LASCR2 në ngarkesë kalon rrymë. Në figurën 9.7(b) tregohet skema logjike e portës OR (OSE) me LASCR. Mjafton që energjia e dritës të bjerë mbi LASCR 1 ose mbi LASCR 2 dhe në ngarkesë kalon rrymë.

LASCR janë shumë të ndjeshme ndaj dritës, kur porta është qark i hapur.

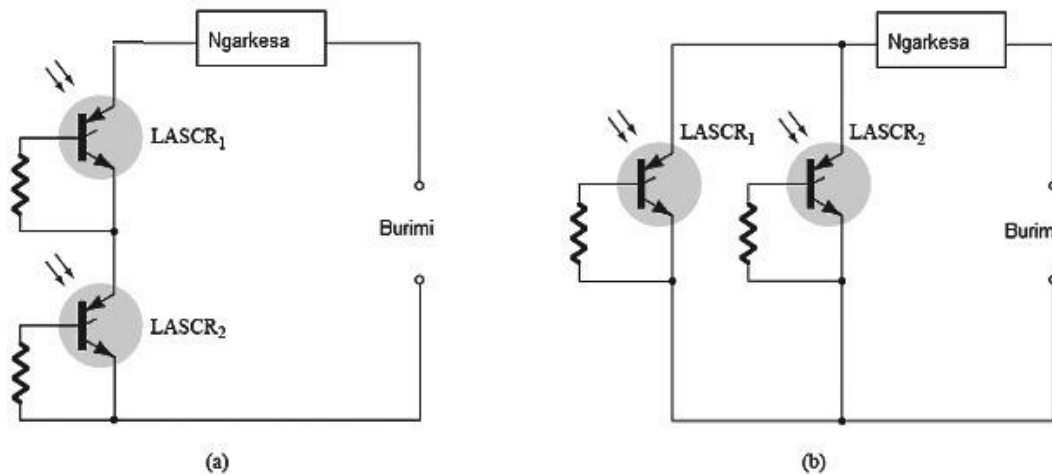


Fig. 9.7. (a) porta logjike AND (EDHE) me LASCR;
(b) porta logjike OR (OSE) me LASCR

9.4. Tiristori i bllokueshëm nga porta (GTO)

Tiristori i bllokueshëm nga porta ose GTO (GATE TURN-OFF SWITCH) ka tre këmbë si SCR. Po ashtu skema ekuivalente dhe karakteristika janë të ngjashme me ato të SCR ose SCS. Në figurën 9.8 tregohet ndërtimi dhe simboli i GTO.

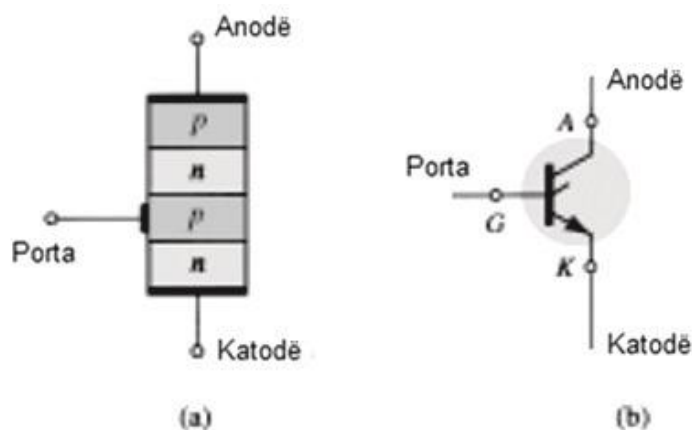


Fig. 9.8. (a) ndërtimi, (b) simboli i GTO

GTO është element që kyçet dhe shkyçet duke zbatuar një impuls në portën katodike. Rrymat që kalojnë në SCR dhe në GTO janë të përafërta, ndërsa rryma e trigerimit në portë (rryma që duhet të kalojë në kalimin portë-katodë për të ndryshuar gjendjen e GTO) është më e madhe në GTO se në SCR. Rryma e trigerimit në SCR është $30\mu\text{A}$, ndërsa rryma e trigerimit të GTO është 20mA . Rryma maksimale (vlerë rms) dhe fuqia maksimale në GTO janë 3A dhe 20W . Avantazh tjetër i GTO është koha më e vogël e shkyçjes ($1\mu\text{s}$) kundrejt asaj të SCR ($30\mu\text{s}$), ndërsa koha e kyçjes së SCR dhe GTO është pothuajse e njëjtë ($1\mu\text{s}$). Fakti që koha e kyçjes dhe e shkyçjes janë pothuajse të njëjta, lejon që GTO të përdoret në zbatimet e skemave që punojnë me shpejtësi të madhe. Pamja e jashtme e një GTO tregohet në figurën 9.9:



Fig. 9.9. Pamja e jashtme e një GTO

9.5. Dioda SHOCKLEY

Dioda Shockley është diodë katërshtesore me dy këmbë. Ndërtimi, simboli dhe karakteristika e tij jepen në figurën 9.10. Siç shihet, karakteristika e kësaj diode është e njëjtë me atë të SCR me $I_G = 0$. Për tensione më të madha se V_{BR} , dioda Shockley sillet si çelës i kyçur.

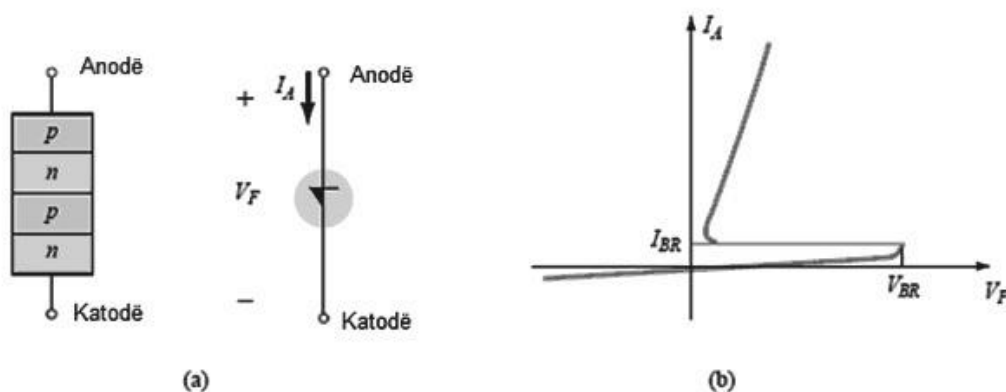


Fig. 9.10. (a) Ndërtimi, simboli; (b) karakteristika e diodës Shockley

Një nga zbatimet e këtij elementi, në qarkun ku lidhet një SCR, tregohet në figurën 9.11. Kur skema ushqehet me tension, kondensatori fillon të ngarkohet. Sapo tensioni në kondensator bëhet më i madh se tensioni V_{BR} i diodës Shockley, ajo kyçet, po ashtu dhe SCR.

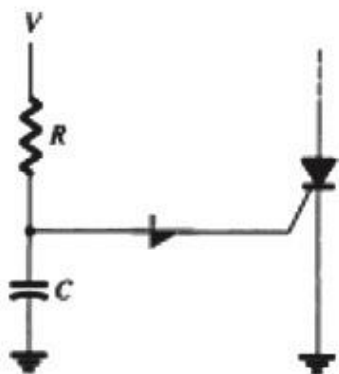


Fig. 9.11. Dioda Shockley shërben si çelës për trigerimin e një SCR

9.6. Diaku dhe Triaku

Të gjitha elementet e para deri tani kanë qenë njëdrejtimëshe, pra rryma ka kaluar vetëm në një drejtim. Diaku është element dydrejtimësh, pra rryma mund të kalojë në të dy drejtimet. Këmbët e diakut emërtohen si "Anoda 1" dhe "Anoda 2", pasi secila prej këmbëve mund të jetë anodë. Karakteristika, simbolet, ndërtimi dhe skema ekuivalente tregohen në figurën 9.12. Qarku ekuivalent i një diaku është një çift diodash katërshtresore në antiparalel. Diaku nuk përcjell rrymë deri sa tensioni arrin vlerën e *tensionit breakover* në secilin prej drejtimeve.

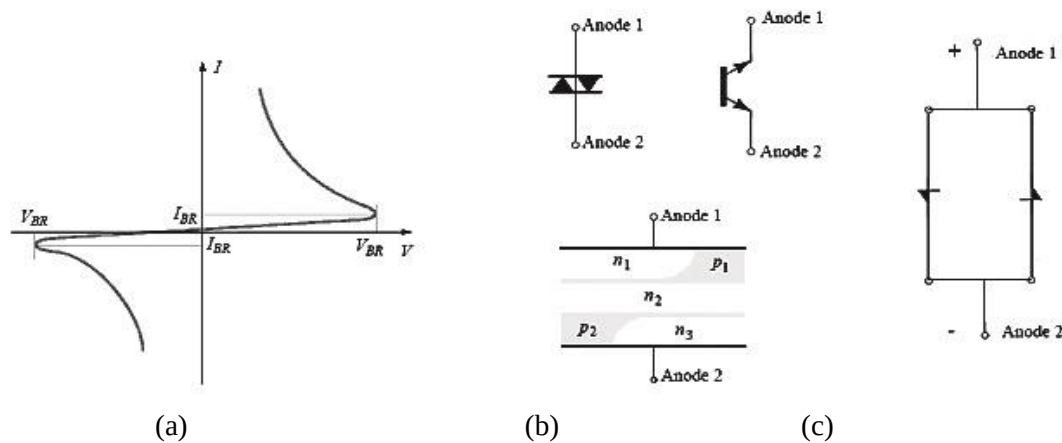
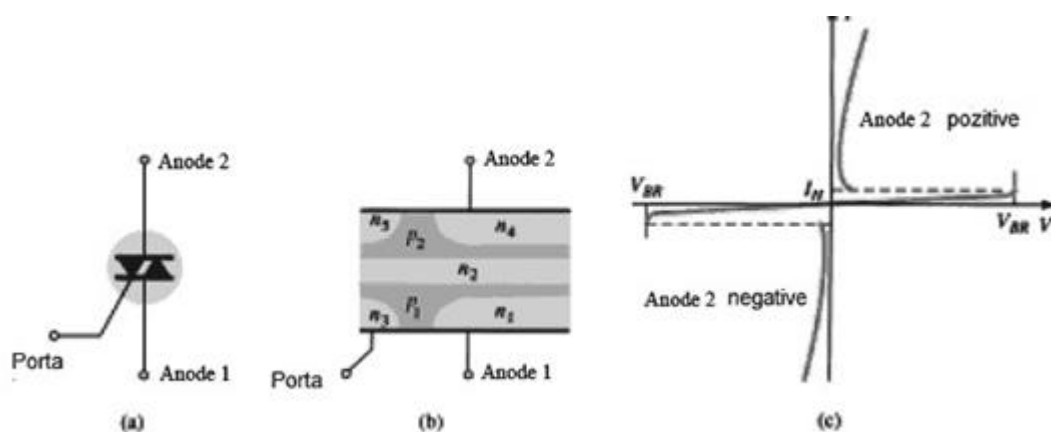


Fig. 9.12. (a) Karakteristika; (b) simbolet dhe ndërtimi; (c) skema ekuivalente e diakut

P.sh. nëse tensioni ka polaritetin e treguar në figurë 9.12 (c) dioda e majtë përcjell kur tensioni arrin vlerën e *tensionit breakover*. Kur polariteti i tensionit ndryshon, dioda në të djathtë përcjell, kur tensioni arrin vlerën e *tensionit breakover*. Kur diaku përcjell, e vetmja mënyrë e shkycjes së tij, është zvogëlimi i vlerës së rrymës deri në zero.

Triaku

Triaku është një diak me portë, i cila shërben për të kontrolluar kushtet e kyçjes së triakut në çdo drejtim. Simboli, ndërtimi, karakteristika dhe pamja e jashtme e triakut tregohen në figurën 9.13:



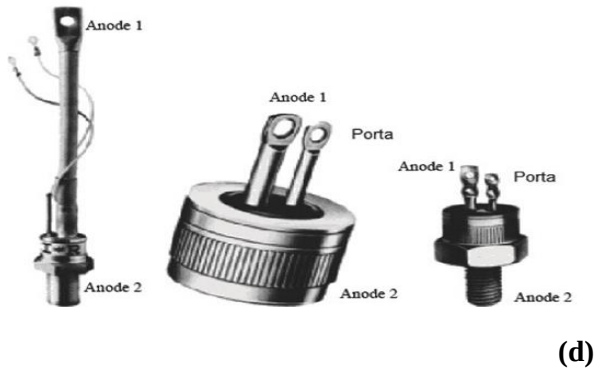


Fig. 9.13. (a) Simboli; (b) ndërtimi; (c) karakteristika; (d) pamja e jashtme e triakut

Një nga zbatimet kryesore të triakut paraqitet në figurën 9.14. Triaku është lidhur në seri me ngarkesën. Gjatë valës pozitive të sinjalit në hyrje, kondensatori fillon të ngarkohet. Kur tensioni në kondensator bëhet sa tensioni breakover i diakut, ai “ngacmon” portën e SCR me tensionin e duhur dhe në ngarkesë kalon rrymë. Avantazhi i kësaj skeme është se skema mund të punojë njëloj edhe për valën negative të sinjalit në hyrje, sepse diaku dhe triaku janë element dydrejtimësh. Në figurën 9.14 tregohet edhe forma e rrymës në ngarkesë. Nga ndryshimi i vlerës së R , këndi i përcjellshmërisë mund të ndryshojë.

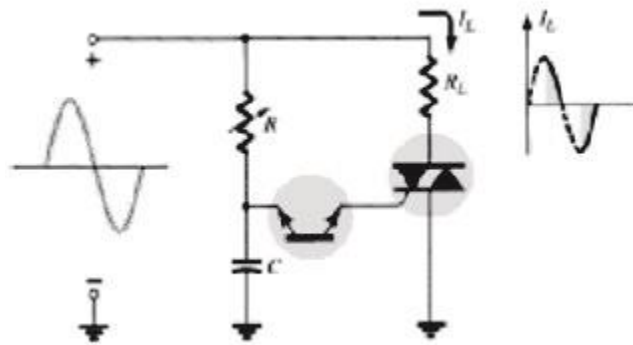


Fig. 9.14. Një zbatim i triakut

9.7. Transistori me një kalim, UJT

Transistori me një kalim (ose unijunction transistor, UJT) ka tre këmbë, të cilat emërtohen emiter (E), baza e poshtme (B_1) dhe baza e sipërme (B_2). Skema më e thjeshtë e ndërtimit të tij tregohet në figurën 9.15.

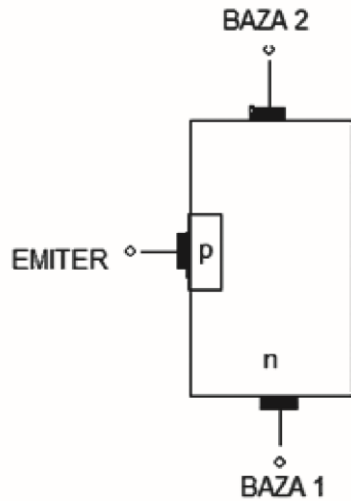


Fig. 9.15. Ndërtimi i një UJT

Në shtresën gjysmëpërcjellëse p përqendrimi i ngarkesave pozitive është shumë i madh, ndërsa në shtresën n përqendrimi i ngarkesave negative është shumë i vogël. Për këtë arsye rezistenca mes dy bazave është shumë e madhe kur emiteri është qark i hapur. Skema ekuivalente e UJT është e thjeshtë, si në figurën 9.16. Ajo përbëhet nga 2 rezistenca (njëra me vlerë konstante, tjetra me vlerë të ndryshueshme) dhe një diodë. Rezistenca R_{B1} është rezistencë e ndryshueshme, se vlera e saj ndryshon në varësi të I_E . Rezistencën mes bazave e shënojmë R_{BB} . Kur $I_E = 0$, R_{BB} merr vlera nga (4-10) k Ω .

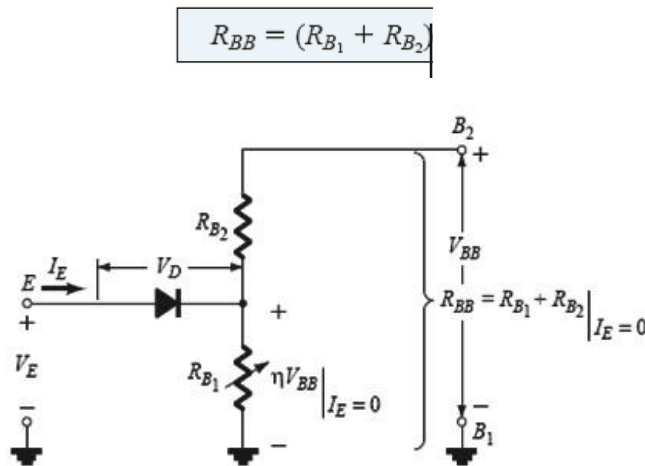


Fig. 9.16. Skema ekuivalente e UJT

Vlera e tensionit në R_{B1} , për $I_E = 0$, përcaktohet:

$$V_{R_{B1}} = \frac{R_{B1} V_{BB}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta V_{BB} \Big|_{I_E=0}$$

Ku η është raporti *stand-off* i brendshëm dhe llogaritet:

$$\eta = \frac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}} \Big|_{I_E=0} = \frac{R_{B_1}}{R_{BB}}$$

Nëse zbatojmë në emiter tension me vlerë 0.7 V më të madh se V_{RB1} , në diodë dhe nëpër R_{B1} do të kalojë rrymë, I_E . Tensioni për të cilin kalon rrymë në emiter është:

$$V_P = \eta V_{BB} + V_D$$

Karakteristika e UJT për $V_{BB} = 10 \text{ V}$ tregohet në figurën 9.17.

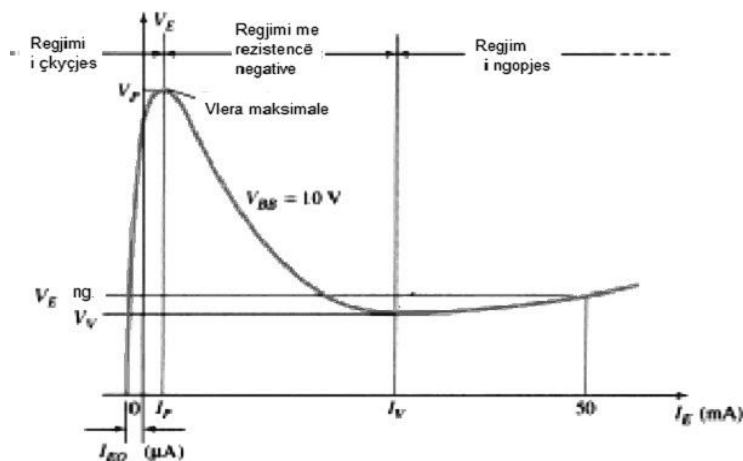


Fig. 9.17. Karakteristika e UJT për $V_{BB} = 10 \text{ V}$

Për I_E më të vogla se I_{EO} , UJT ndodhet në regjimin e shkycjes. Me rritjen e mëtejshme të I_E , tensioni në emiter bie. Në këtë zonë elementi ka *rezistencë negative* dhe kjo gjen zbatim në praktikë. Nëse rryma vazhdon të rritet, UJT kalon në regjim ngopjeje dhe karakteristika i afrohet karakteristikës së një diode. Tre madhësi të rëndësishme të punës së UJT janë: I_V , V_V , I_P .

9.8. FOTOTRANSISTORI

Fototransistori është një element i ndjeshëm ndaj dritës. Ndjeshmëria e tij ndaj dritës është më e madhe se te fotodiode, por edhe shpejtësia e kalimit nga një gjendje në tjetrën është më e madhe. Në një fototransistor drita kalon përmes një dritareje dhe godet kalimin bazë-kolektor. Qarku i bazës zakonisht lihet i hapur për të marrë ndjeshmëri maksimale ndaj dritës. Rryma e bazës “nxitet” nga efekti fotoelektrik. Nëse shënojmë me I_λ rrymën e bazës së fototransistorit, rryma e kolektorit është:

$$I_C = \beta I_\lambda$$

Karakteristika e kolektorit e një fototransistori I_λ tregohet në figurën 9.18. Me H është shënuar intensiteti i dritës. Duket qartë që me rritjen e intensitetit të dritës, rritet rryma e kolektorit.

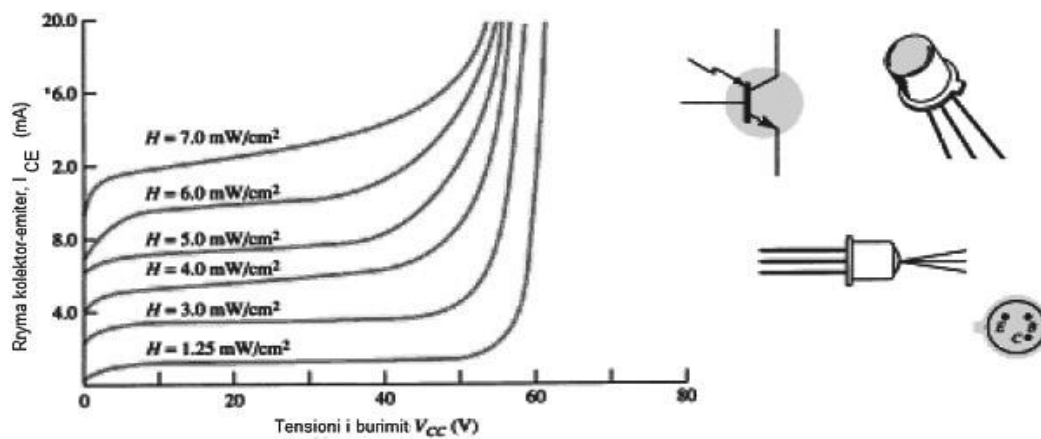


Fig. 9.18. Karakteristika e kolektorit, simboli dhe përcaktimi i këmbëve të tij

Fototransistori përdoret në qarqet e ndryshme elektronike si në kompjutera, televizorë, sistemet e numërimit, reletë elektronike, etj.

Tema mësimore nr.10: Lidhjet e kundërta, ndikimi i tyre në skemat elektronike

Në varësi të polaritetit me të cilin sinjali kthehet në hyrje, lidhja e kundërt mund të jetë pozitive ose negative. Lidhja e kundërt negative përdoret kryesisht në skemat e amplifikatorëve dhe sjell rënien e koeficientit të amplifikimit të tensionit. Lidhja e kundërt pozitive përdoret kryesisht në skemat e gjeneratorëve.

10.1. Veçoritë e skemave me lidhje të kundërt negative

Skema bllok e amplifikatorit me lidhje të kundërt negative tregohet më poshtë:

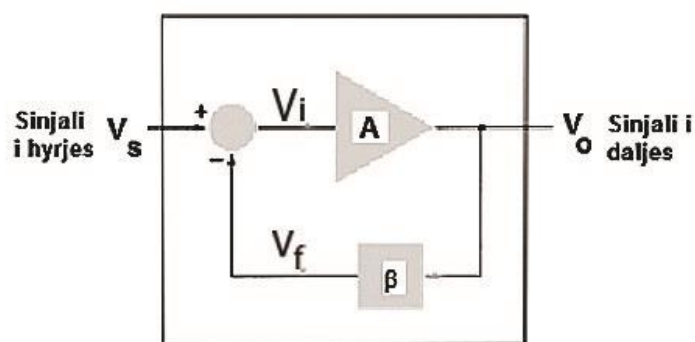


Fig. 10.1. Skema bllok e amplifikatorit me lidhje të kundërt negative

Sinjali i zbatuar në hyrje përzihet me sinjalin që vjen nga qarku i lidhjes së kundërt, V_f . Diferenca e këtyre dy sinjaleve jep sinjalin në hyrje të amplifikatorit. Një pjesë e sinjalit në dalje jepet në bllokun e lidhjes së kundërt me koeficient të lidhjes së kundërt β . Nëse sinjali që vjen nga blloku i lidhjes së kundërt është në fazë me sinjalin e hyrjes, skema është me

lidhje të kundërt pozitive. Nëse sinjali që vjen nga blloku i lidhjes së kundërt është në kundërfazë me sinjalin e hyrjes, skema është *me lidhje të kundërt negative*. Kjo skemë me lidhje të kundërt negative ka këto veçori:

- Rezistencë të madhe në hyrje.
- Koeficient amplifikim tensioni më të stabilizuar (të qendrueshëm).
- Përmirësohet karakteristika e frekuencës.
- Rezistencë të vogël në dalje.
- Zvogëlohen zhurmat.
- Regjim pune më linear etj.

Mënyrat bazë të realizimit të skemave me lidhje të kundërt negative janë:

- o Skemë me lidhje të kundërt seri të tensionit.
- o Skemë me lidhje të kundërt paralel të tensionit.
- o Skemë me lidhje të kundërt seri të rrymës.
- o Skemë me lidhje të kundërt paralel të rrymës.

Lidhjet e kundërta të tensionit tregojnë që një pjesë e tensionit nga dalja jepet në hyrje të qarkut të lidhjes së kundërt, ndërsa në skemat me lidhje të kundërt të rrymës, rryma e daljes kalon në qarkun e hyrjes së bllokut të lidhjes së kundërt. Në lidhjet e kundërta seri sinjali që vjen nga blloku i lidhjes së kundërt dhe sinjali i hyrjes janë në seri me njëri-tjetrin, ndërsa në ato në paralel sinjali që del nga blloku i lidhjes së kundërt është në paralel me burimin e rrymës në hyrje. Në lidhjet e kundërta seri rritet rezistenca e hyrjes, ndërsa rezistenca e daljes zvogëlohet. Në lidhjet e kundërta të tensionit rezistenca në dalje tenton të zvogëlohet, ndërsa në lidhjet e kundërta të rrymës rezistenca në dalje tenton të rritet. Në lidhjen kaskadë të amplifikatorëve është më mirë që rezistenca e hyrjes të jetë sa më e madhe, ndërsa rezistenca e daljes sa më e vogël. Këto veçori i gjejmë tek skema me lidhje të kundërt seri të tensionit. Skemat bllok për secilën prej lidhjeve tregohen më poshtë në figurën 10.2:

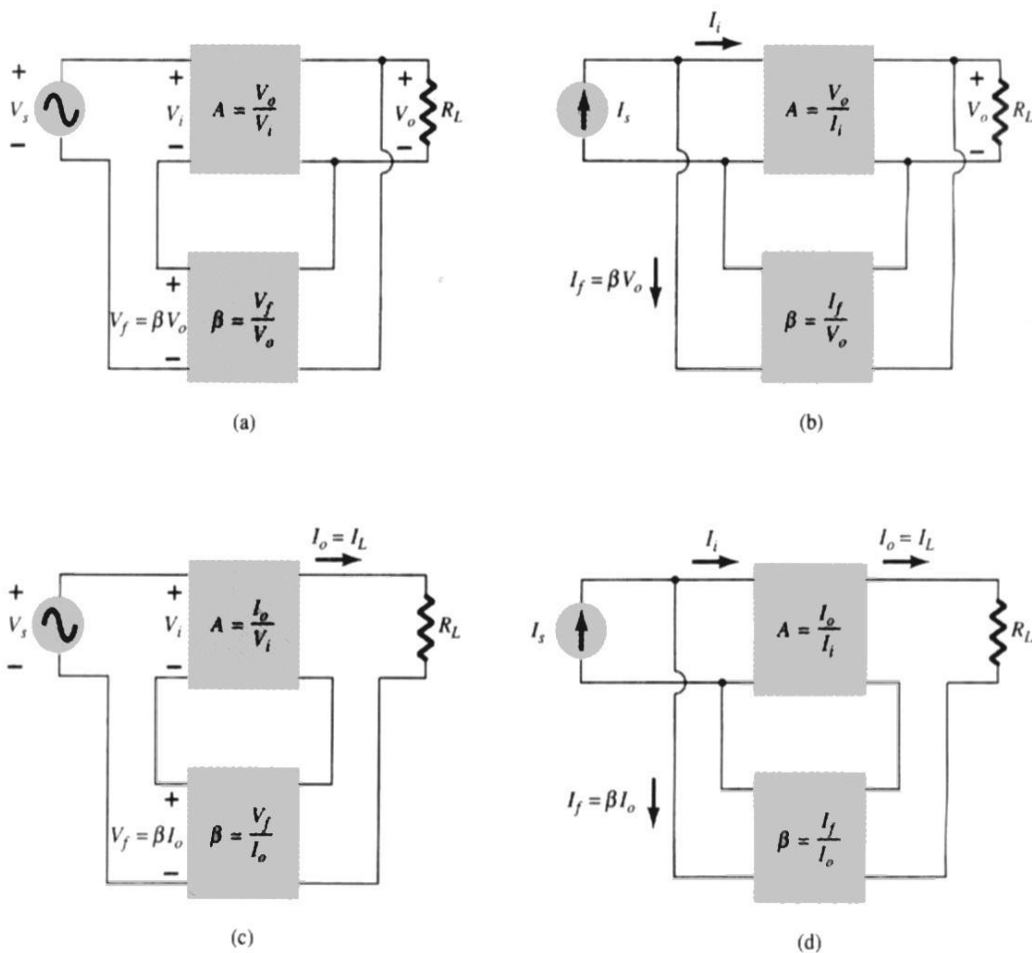


Fig. 10.2. Tipet e amplifikatorëve me lidhje të kundërt: (a) lidhje e kundërt seri e tensionit; (b) lidhje e kundërt në paralel e tensionit; (c) lidhje e kundërt seri e rrymës; (d) lidhje e kundërt në paralel e rrymës

Në skemat me lidhje të kundërt në seri ose në paralel të tensionit, koeficienti i amplifikimit të tensionit zvogëlohet me komponenten $(1 + \beta A)$, ku β është koeficienti i lidhjes së kundërt që tregon sa herë ndryshon madhësia elektrike (rrymë ose tension) në dalje të bllokut të lidhjes së kundërt kundrejt madhësisë elektrike në hyrje të bllokut të lidhjes së kundërt (rrymë ose tension qoftë ajo). Me A është shënuar koeficienti i amplifikimit në skemat pa lidhje të kundërt. Koeficienti i amplifikimit në skemën me lidhje të kundërt është:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Le të shohim të përmblendhura në një tabelë (tabela 1) koeficientin e amplifikimit të amplifikatorit pa lidhje të kundërt dhe koeficientin e amplifikimit të amplifikatorit me lidhje të kundërt.

Tabela 1

	L.K.tensioni seri	L.K.tensioni paralel	L.K.rryme seri	L.K.rryme paralel
Koefiçienti i amplifikimit pa lidhje të kundërt A	$\frac{V_o}{V_i}$	$\frac{V_o}{I_i}$	$\frac{I_o}{V_i}$	$\frac{I_o}{I_i}$
Koefiçienti i lidhjes së kundërt β	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$
Koefiçienti i amplifikimit me lidhje të kundërt A_f	$\frac{V_o}{V_i}$	$\frac{V_o}{I_i}$	$\frac{I_o}{V_i}$	$\frac{I_o}{I_i}$

Në skemat me lidhje të kundërt seri të tensionit, rezistenca e hyrjes rritet

(1+ βA) herë kundërt asaj në skemat pa lidhje të kundërt, ndërsa rezistenca e daljes zvogëlohet

(1+ βA) herë kundërt asaj në skemat pa lidhje të kundërt, pra:

$$Z_{if} = Z_i(1 + \beta A)$$

$$Z_{of} = \frac{V}{I} = \frac{Z_o}{1 + \beta A}$$

Dhe

Efekti i lidhjes së kundërt në rezistencën e hyrjes dhe daljes së amplifikatorëve tregohet në tabelën e mëposhtme (tabela 2):

Tabela 2

	L.K.tensioni seri	L.K.tensioni paralel	L.K.rryme seri	L.K.rryme paralel
Z_{if}	$Z_i(1 + \beta A)$	$\frac{Z_i}{1 + \beta A}$	$Z_i(1 + \beta A)$	$\frac{Z_i}{1 + \beta A}$
Z_{of}	$\frac{Z_o}{1 + \beta A}$	$\frac{Z_o}{1 + \beta A}$	$Z_o(1 + \beta A)$	$Z_o(1 + \beta A)$