

el. ing. i dipl. Natasha Bozhinovska

ELEKTRONIKA ANALOGE

për vitin **II**

profili arsimor
elektroteknik për elektronikë
dhe telekomunikacion

drejtimi i elektroteknikës

Shkup, 2013

Botues:

MINISTRIA E ARSIMIT DHE SHKENCËS
E REPUBLIKËS SË MAQEDONISË
Rr. Mito Haxhivasilev Jasmin, p.n.
Shkup

Recensentë:

Prof. e jasht. dr. Vesna Çeshelkoska,
Fakulteti teknik - Manastir

Tatjana Malenko, el. ing. i dipl,
Profesor në shkollën e mesme "Mihajlo Pupin" – Shkup

Petre Nikollovski, el. ing. i dipl,
Profesor në shkollën e mesme "Vllado Tasevski" – Shkup

Përkthyes: el. Ing. I dipl. Riza ETEMI

Lektore: Arjeta ÇAJLANI

Shtypi: Graficki centar dooel, Shkup

Tirazhi: 31

Со решение на Министерот за образование и наука на Република Македонија бр. 22-4329/1 од 29.07.2010 година се одобрува употребата на овој учебник.

Me vendim të Ministrit të Arsimit dhe Shkencës të Republikës së Maqedonisë numër 22-4329/1 të datës 29.07.2010, lejohet përdorimi i këtij libri.

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св.Климент Охридски" ,
Скопје

621.3.037.33(075.3)
004.387(075.3)

БОЖИНОВСКА, Наташа

Аналогна електроника за II година : образовен профил
електротехничар за електроника и телекомуникации : електротехничка
струка / Наташа Божиновска. - Скопје : Министерство за образование и
наука на Република Македонија, 2010. - 286 стр. : илустр. ; 30 см

ISBN 978-608-226-024-2

COBISS.MK-ID 84235786

PARATHËNIE

Libri **ELEKTRONIKA ANALOGE** për **vitin II** të drejtimit të elektroteknikës është rezultat i ndryshimeve në programet arsimore të shkollave të drejtimit të elektroteknikës për **profilin elektroteknik të elektronikës dhe telekomunikacionit**. Teksti është shkruar në përputhje me programin për lëndën ELEKTRONIKA ANALOGE për vitin II të përpunuar në vitin 2006. Gjatë përgatitjes së tekstit është përdorur doracaku "**Koncepti për libër për arsimin fillor dhe të mesëm**" botuar nga Byroja për zhvillimin e arsimit.

Për zotërim të suksesshëm të përmbajtjeve të lëndës kërkohen njohuri paraprake nga lëndët: fizikë, matematikë, elektroteknikë, materiale dhe elemente elektroteknike dhe vizatim teknik. Në përputhje me programi arsimor, teksti i librit është i ndarë në **8 njësi tematike**.

1. **Diodat gjysmëpërçuese**. Fillimisht janë dhënë bazat e fizikës së gjysmëpërçuesve, struktura kristalore e gjysmëpërçuesve, formimi i kalimit-PN dhe karakteristikat e tij, me theks të veçantë në gjysmëpërçuesin e silicit dhe llojet e ndryshme të diodave gjysmëpërçuese.

2. **Transistorët**. Në këtë kapitull shpjegohet krijimi i transistorëve njëpolarë dhe bipolarë duke përdorur kalimin-PN, karakteristikat dhe parametrat e tyre, metoda e polarizimit dhe roli i tyre si komutator.

3. **Përforcuesit (amplifikatorët)**. Pjesa më e madhe e përmbajtjes së librit i është përkushtuar rolit, ndarjes, parametrave dhe konfiguracioneve të amplifikatorëve me transistorë bipolarë dhe njëpolar dhe amplifikatorëve operacionalë.

4. **Qarqet e integruara**. Shfaqja e qarqeve të integruara fut dimensione të reja në zhvillimin e qarqeve elektronike. Në këtë kapitull janë sqaruar disa procedura në përgatitjen e qarqeve të integruara.

5. **Përforcuesit-amplifikatorët operacionalë**. Lëndë e analizës janë roli, ndarja, parametrat, lidhja e kundërt, konfiguracioni dhe zbatimi i amplifikatorëve operacionalë. Në këtë kapitull është bërë një analizë e veçantë e amplifikatorit operacional real $\mu A741$.

6. **Burimet e tensionit të vazhduar-DC**. Mënyra e punës së burimeve të energjisë është treguar përmes drejtimit të valës së plotë dhe gjysmëvalor të tensionit alternativ dhe stabilizimin e tensionit me theks të veçantë të stabilizatorëve të integruar.

7. **Tiristorët**. Tiristorët janë elemente komutuese-switching me zbatim të gjerë. Këtu është dhënë ndarja dhe karakteristikat e tyre.

8. **Elementet specifike elektronike**. Fotorezistencat, fotogjeneratorët, varistorët, ekranet me dioda LED dhe kristale të lëngëta janë elemente të veçanta elektronike të përpunuara në këtë kapitull.

Pas zhvillimit të përmbajtjeve mësimore, kemi përmbledhje të cilat nxjerrin në pah momentet më të rëndësishme të materialit të ekspozuar më parë.

Në fund të çdo njësie tematike janë dhënë pyetje për vlerësimin tematik të së njëjtës. Gjithashtu, në fund të librit janë dhënë shembuj të zgjidhur dhe detyra për zgjidhje. Në paraqitjen e përmbajtjeve janë përdorur operacione të thjeshtëzuara matematikore dhe një numër i madh i imazheve dhe prezantimeve grafike, të cilat duhet të mundësojnë mësimin më të lehtë të materialeve. Kujdes i kushtohet futjes graduale të definicioneve të reja, pyetje për verifikimin e njohurive dhe detyra, me çka kënaqen udhëzimet e nevojshme didaktike.

Autori shpreson se libri do t'u përgjigjet nevojave të mësimdhënësve të mësimin lëndor dhe nevojave të nxënësve për përfitimin dhe për konsolidimin e materialit. Do të doja t'u shpreh mirënjohjen time recensentëve për sugjerimet dhe propozimet në formësimin final të librit.

Dhe në fund, por jo për të fundit herë, do të doja të falënderoj babait tim Zoran Tasiq për ndihmën e tij të madhe dhe bujare në përgatitjen e këtij libri, i cili me përvojën e tij shumëvjeçare si profesor universitar dhe autor i disa punimeve shkencore dhe librave në fushën e elektronikës, dha një kontribut të madh për cilësinë dhe pamjen e këtij libri.

Autori

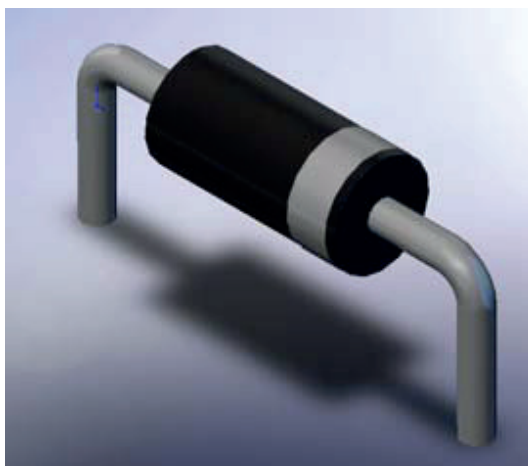
Dy fjalë nga përkthyesi

Duke pasur parasysh specifikën e lëndës **Elektronika analoge**, mungesën e literaturës në gjuhën shqipe të ne, jam munduar të jem sa më i saktë në përkthimin, gjegjësisht përshtatjen e termave shkencorë në gjuhën shqipe. Disa terma janë unifikuar me termat që përdoren në universitet shqiptarë, të cilat kanë drejtime të elektroteknikës, gjegjësisht elektronikës. Paraprakisht ju kërkoj ndjesë për ndonjë lëshim gjatë përkthimit. Shpresoj se përkthimi do të jetë i qartë dhe do të ndihmojë mësimdhënësit dhe nxënësit në përvetësimin e lëndës **Elektronika analoge**.

DIODAT GJYSËMPËRÇUESE

Duke studiuar përmbajtjet e kësaj teme ti do të mësosh "alfabetin" e elektronikës, do të fitosh njohuri themelore për diodat gjysmëpërçues dhe do të mund:

- të njohësh objektin e studimit të elektronikës analoge;
- të shpjegosh ndarjen e elektronikës;
- të përshkruash vetitë elektrike të materialeve gjysmëpërçues;
- të shpjegosh krijimin e një kalimi-PN;
- të sqarosh polarizimin e kalimit-PN;
- të njohësh parametrat dhe karakteristikat e diodës gjysmëpërçues;
- të dallosh llojet e diodave gjysmëpërçues;
- të sqarosh principin e punës të llojeve të ndryshme të diodave gjysmëpërçues;
- të analizosh karakteristikën volt-amper (tension-rrymë) të diodës;
- të njohësh zbatimin praktik të diodave gjysmëpërçues.



1.1. Lënda dhe ndarja e ELEKTRONIKËS

Termit "**elektronikë**" i janë dhënë tre kuptime themelore:

- Elektronika është shkencë e cila, si pjesë e fizikës, merret me lëvizjen e elektroneve në hapësirë boshe (gypa elektronik në vakum) dhe në materialet gjysmëpërçues.
- Si pjesë e elektroteknikës, elektronike merret me analizën, zhvillimin dhe prodhimin e elementeve, komponentëve, pajisjeve dhe sistemeve elektronike.
- Elektronika, si term, përdoret për të treguar pjesë të pajisjes, të prodhuar nga komponentë elektronikë.

Komponentë elektronike është bllok i ndërtuar i pandashëm i qarkut elektronik, i cili është vendosur në shtëpizën e tij, me të paktën dy dalje-sockets për lidhje me komponentët tjera elektronike. Me lidhjen e të paktën dy komponentëve elektronike fitohet **qark elektronik**. Të gjithë komponentët elektronik ndahen në aktiv dhe pasiv. **Komponentët aktive** kryejnë përforcim të sinjalit elektrik d.m.th. ndryshim i vogël i tensionit ose rrymës së hyrjes shkakton ndryshim të madh në tensionin e daljes. Në komponentë aktiv përfshihen: transistorët bipolar, fet-ët, mosfet-ët, përforcuesit-amplifikatorët operacional, mikroprocesorët, dhe të tjerë. **Komponentë pasiv** janë: rezistencat, bobinat, kondensatorët, diodat, varistorët, termistorët NTC, dhe PTC dhe rezistencat-VDR dhe të tjerët.

Pajisjet elektronike kanë zbatim shumë të madh, duke filluar nga pllakat kompjuterike deri tek sistemet instrumentale, nga pacemakeri elektronik deri tek komandimi elektronik me makina të ndryshme, nga antenat radio dhe TV deri tek sistemet komplekse të radarëve dhe shumë zbatime tjera. Tensioni ose rryma, e cila ndryshon në një mënyrë të caktuar me kalimin e kohës për të koduar apo për të bartur informacion quhet sinjal. Sinjali mund të jetë analog, në qoftë se ndryshon në vazhdimësi (kontinuitet) me kalimin e kohës (**figura 1.1a**), apo digjital nëse ndryshon mes dy niveleve diskrete (**figura 1.1b**), të shënuar si të lartë apo të ulët ose 1 dhe 0.

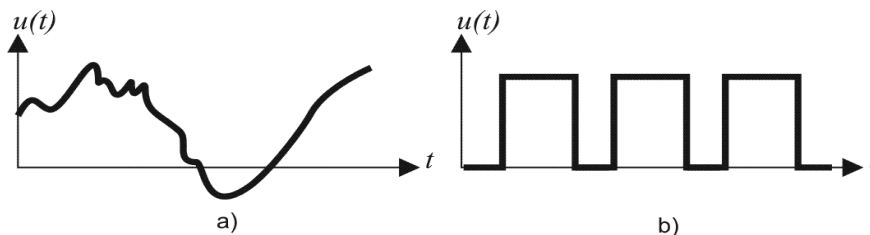


Figura 1.1: Grafiku i sinjalit analog dhe digjital.

Në sinjalin analog, amplituda e sinjalit $u(t)$ paraqet informacion në çdo moment të kohës. Për sinjalin digjital, informacioni shprehet përmes pranisë ose mungesës së impulsit.

Elektronika mund të ndahet, sipas llojit të sinjalit, në elektronikë analoge dhe digjitale.

Elektronika Analoge operon me sinjale të vazhdueshme, të cilët në çdo moment të kohës kanë amplitudë U_m me njëfarë vlere. **Elektronika Digjitale** operon me sinjale diskrete.

Qarqet elektronike mund të jenë: analog, digjital dhe hibrid. Në **qarqet analoge** punohet me sinjale analoge, në **digjitale** me sinjale digjitale, kurse në **hibridët** edhe me njërin edhe me tjetrin. Në qarqet hibride bëhet edhe kalimi nga sinjali analog në digjital dhe anasjelltas.

Në **qarqet analoge** përfshihen: amplifikatorët, oshilatorët, modulatorët, detektorët, përzierësit, filtrat dhe të tjerë. Në **qarqet digjitale** përfshihen: qarqet themelore logjike, rrejetat kombinatorike, mikroprocesorët, memoriet dhe të tjera, të gjitha të realizuara në teknologji të ndryshme: TTL, ECL, NMOS, PMOS, CMOS, etj.

Elektronike është e pranishme në shumë degë, si për shembull, në pajisjet llogaritëse (pjesa harduerike), automatikë (kontrollim dhe komandim me procese, robotikë), telekomunikacione, mikroelektronikë (qarqet e integruara), elektronikë energjetike, optoelektronika, elektronika mikrovalore etj.

Në tekst përdoret mënyra e mëposhtme për shënimin e tensionit dhe rrymës:

U, I - vlera konstante e vazhduar (DC);

$u(t)$, $i(t)$ – vlerat momentale të komponentëve të ndryshueshme në kohë;

Um, Im - amplituda ose vlera maksimale e tensionit ose rrymës së ndryshueshme sinusoidale.

1.2. Struktura atomike e materies

Atomi është elementi bazë i ndërtimit të të gjitha materialeve. Ai është i përbërë nga një bërthamë, në të cilën janë vendosur grimca më të vogla, **protonet** dhe **neutronet**, kurse rreth bërthamës sillen grimca tjera të quajtura **elektrone** (figura 1.2). Strukturën e atomit i pari e paraqiti fizikani danez **Niels Bohr**, qysh në vitin 1913.

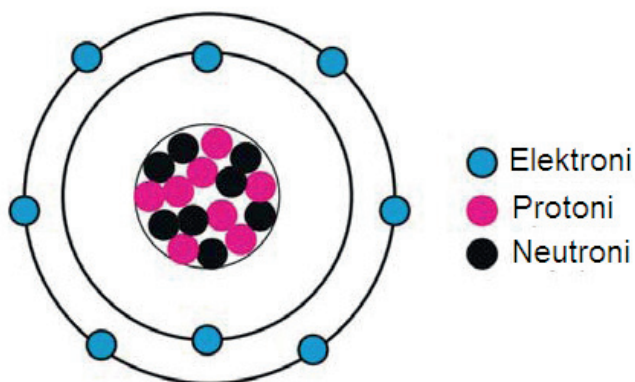


Figura 1.2: Struktura e atomit.

Çdo element në natyrë ka një strukturë të veçantë të atomeve të tij. Bërthama e atomit e përcakton masën e tij. Protonet e elektrizuara pozitivisht dhe neutronet me elektricitet neutrale kanë masë shumë më të madhe se elektronet e elektrizuar negativisht. Ata janë të lidhur fuqishëm me

bërthamën me forca të forta bërthamore dhe në kushte normale nuk mund të lirohen dhe të lëvizin jashtë bërthamës. Numri i protoneve në bërthamën e atomit përcakton strukturën kimike të materies, dhe me atë edhe llojin e materies. Me ndryshimin e numrit të protoneve ndryshohet lloji i atomit. Kështu, për shembull, atomi i **silicit** ka 14, kurse atomi i **germaniumit** ka 32 protonet. Neutronet kanë ndikim shumë më të vogël në natyrën kimike të materies nga protonet. Ata, gjithashtu, janë të lidhur fortë me bërthamën bazë dhe për të ndryshuar numrin e tyre është e nevojshme një energji shumë e madhe. Me nxjerrjen ose shtimin e neutroneve në bërthamë, atomit akoma do të mund të ruan të njëjtin identitet kimik, vetëm do të ndryshonte masa e tij. Një ndryshim i tillë mund të shkaktojë disa aktivitete të tjera bërthamore, siç është radioaktiviteti.

Elektronet janë bartës më të vegjël të ngarkesës elektrike me polaritet negativ, i cili është $e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$, aq sa kanë edhe protonet, vetëm me polaritet pozitiv. Numri i elektroneve në atom është i barabartë me numrin e protoneve dhe ata së bashku përcaktojnë sjelljen elektrike të atomit.

Elektronet janë të shpërndarë në nivele të ndryshme energjetike. Ndryshe nga protonet dhe neutronet, elektronet kanë dukshëm më shumë liri për të lëvizur rreth bërthamës së atomit. Një numër i elektroneve lëviz afër bërthamës dhe me të krijon një tërësi të pandashme. Një numër i vogël prej tyre, që quhen elektrone **valente**, janë të lidhur lehtë me bërthamën, dhe mund edhe ta lëshojnë atomin. Ata ndodhen në orbitën e fundit, më të largëta nga bërthama dhe nivelin më të lartë të energjisë. Për largimin e elektronit valent nga orbita e tij kërkohet shumë më pak energji. Nëse ndodh kjo, atomi nuk do të ndryshojë identitetin, vetëm që do të ndryshojë gjendja elektrike neutrale në të cilën ndodhet atomi. Nëse një elektron lëshon atomin, krijohet një **boshllëk-VRIMË** dhe atomi bëhet i ngarkuar pozitivisht (jon pozitiv). Kur në atom do të futet elektron shtesë, ai krijon tepriçë elektronesh në atom dhe atomi bëhet me ngarkesë negative (jon negativ).

Modeli i atomit të silicit dhe modeli i tij i thjeshtuar janë dhënë në **figurën 1.3**.

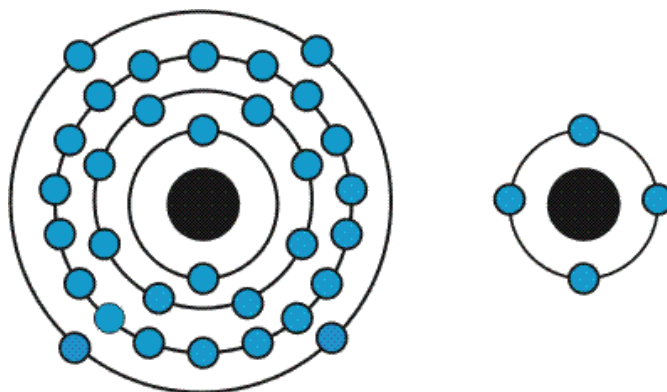


Figura 1.3: Atomi i silicit dhe modeli i tij i thjeshtuar.

Ai është i përbërë nga bërthama dhe nga të gjitha elektronet e lidhura fortë, përveç elektroneve valente, të gjithë të treguar me rreth më të madh në qendër dhe nga elektronet valente rreth bazës. Të gjitha efektet reciproke mes atomeve realizohen përmes elektroneve valente. Në **figurën 1.4**

tregohet lidhja mes dy atomeve të silicit. Pasi që atomi i silicit ka elektrone katërvalente, ai mund të lidhet me katër atome tjera të silicit dhe të gjithë do të jenë të larguar njëllonjëri prej tjetrit.

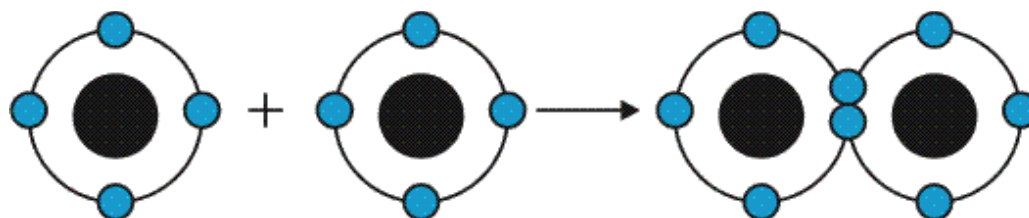


Figura 1.4: Lidhja valente mes atomeve të silicit.

MBAJ MEND!!!

- * Elektronika merret me analizën, zhvillimin dhe prodhimin e elementeve, komponentëve, pajisjeve dhe sistemeve elektronike.
- * Komponentët elektronik ndahen në aktivë dhe pasivë. Komponentët aktivë kryejnë përforcimin e sinjalit elektrik që d.t.th. ndryshim i vogël i tensionit ose rrymës së hyrjes shkakton ndryshim të madh në tensionin e daljes.
- * Sipas llojit të sinjalit i cili përpunohet, elektronika ndahet në analoge dhe digjitale.
- * Atomi, si element bazë i strukturës së të gjitha materieve, përbëhet nga bërthama me protone dhe neutrone dhe elektronet që lëvizin rreth bërthamës.
- * Elektroni është bartës më i vogël i ngarkesës elektrike me polarizim negativ.
- * Elektroni, i cili e lëshon atomin, bëhet elektron i lirë, dhe në vend të tij krijohet vrimë-zbrazëtitirë. Vrima është ekuivalente me elektronin me ngarkesën elektrike por me polaritet pozitiv.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino termin „ELEKTRONIKA,,?
2. Çka paraqet qarku elektronik?
3. Cilët janë komponentët aktivë elektronik?
4. Cilët janë komponentët pasivë elektronik?
5. Si ndahet elektronika?
6. Çfarë mund të jenë qarqet elektronike?
7. Vizato strukturën e atomit!
8. Sa është ngarkesa e elektronit dhe me çfarë polarizimi?
9. Cilat elektrone janë valente?
10. Cili atom quhet jon negativ?
11. Si fitohet joni pozitiv?

1.3. Materialet gjysmëpërçuese

Elektronet e llojeve të ndryshme të atomeve nuk kanë mundësi të barabarta që ti shkëpusin lidhjet valente dhe të bëhen elektrone të lira. Materiale të caktuara, siç janë metalet, kanë elektrone valente të lidhur shumë lirshëm. Për të gjeneruar elektrone të lirë në materiale të tilla është e mjaftueshme një sasi mjaft e vogël e energjisë së nxehtësisë, dritës ose ndonjë lloji tjetër. Për materiale të tilla është e mjaftueshme të ndodhen në një mjedis me temperaturë dhome, që të ndodh shkëputja e elektroneve valente dhe krijimi i elektroneve të lira. Elektronet e lira këtu lehtë lëvizin në mes të atomeve, kurse shkalla e lirisë së lëvizjes varet nga lloji i materialit.

Në lloje tjera të materialeve, të tilla si qelqi, elektronet valente janë të lidhur më fortë, krijohet një numër i vogël i elektroneve të lira, me liri të vogël të lëvizjes. Aftësia e lëvizjes së lirë të elektroneve të lira në material quhet përçueshmëri, kurse kundërshtimi i lëvizje quhet rezistencë. Materialet me numër të madh të elektroneve quhen **përçues**, kurse ata me pak ose pa elektrone të lira quhet **izolues**. Grupi i materialeve të cilat ndodhen mes përçuesve dhe izoluesve quhen **gjysmëpërçues**. Në këtë grup mund të numërohen germaniumi dhe silici. Gjysmëpërçuesit dallohen nga përçuesit dhe izolatorët sipas disa vetive.

Rezistenca specifike e përçuesve është shumë e vogël dhe ndodhet në kufijtë nga 10^{-6} deri në $10^{-5} \Omega\text{cm}$, tek izoluesit është jashtëzakonisht e madhe dhe është nga 10^6 deri në $10^8 \Omega\text{cm}$, kurse rezistenca specifike tek gjysmëpërçuesit sillet mes këtyre vlerave edhe atë nga 10^{-3} deri në $10^7 \Omega\text{cm}$.

Rezistenca e përçuesve rritet gradualisht me rritjen e temperaturës edhe atë në mënyrë lineare. Rezistenca e gjysmëpërçuesve bie në mënyrë eksponenciale kur rritet temperatura (**figura 1.5**).

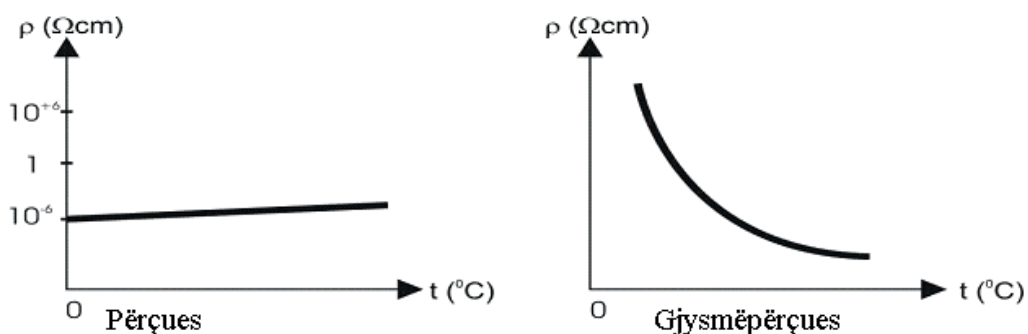


Figura 1.5: Ndryshimi i rezistencës me ndryshimin e temperaturës.

Me ndryshimin e ndriçimit, rezistenca e përçuesve nuk ndryshon, kurse rezistenca e gjysmëpërçuesve bie në mënyrë eksponenciale (**figura 1.6**).

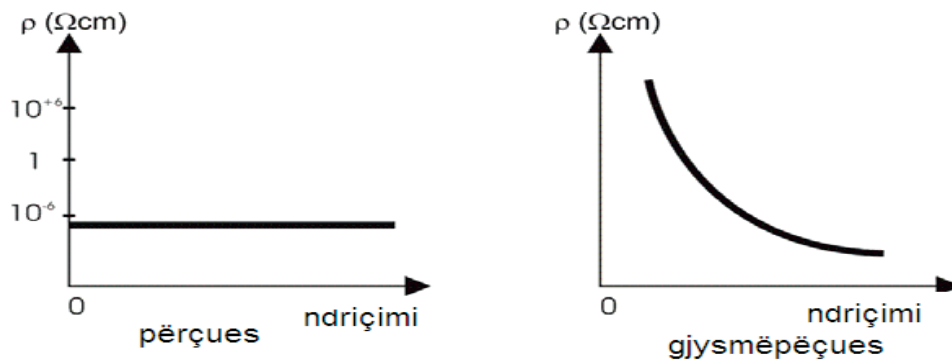


Figura 1.6: Ndryshimi i rezistencës me ndryshimin e ndriçimit.

1.3.1. Vetitë elektrike të materialeve gjysmëpërçuese

Nëse bëhet shpërndarje e vazhdueshme e atomeve sipas një modeli të rregullt tredimensional fitohet strukturë kristalore e materialit. Në një strukturë të tillë janë realizuar të gjitha lidhjet valente të mundshme të dy elektroneve. Në **figurën 1.7** tregohet modeli i një kristali të silicit.

Ajo ka formën e një kubi, kurse atomi themelor qëndron në qendër të kubit. Atomet tjera të lidhjeve valente të atomit qendror janë të shpërndarë në katër kulmet, ashtu që nuk prekin njëri-tjetrin. Tregimi i lidhjeve valente i më tepër atomeve në këtë mënyrë është shumë e komplikuar. Në vend të tregimit hapësinor, më e thjeshtë është shfaqja në një rrafsh, siç tregohet në **figurën 1.8**.

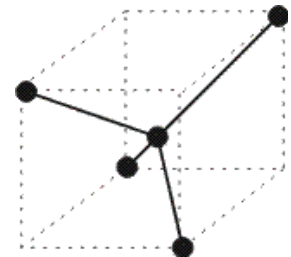


Figura 1.7: Modeli i kristalit të silicit.

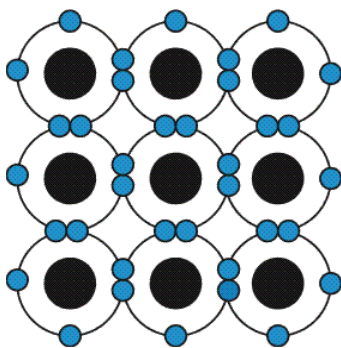


Figura 1.8: Lidhjet valente të numrit më të madh të atomeve.

Në këtë foto bërthamat e modeleve të thjeshtuara të atomeve janë treguar si më të mëdha, kurse elektronet valente si rrethe më të vogla. Lidhjet valente mes atomeve janë dhënë përmes dy elektroneve të lidhur mes veti. Kështu i paraqitur, kristali i silicit ose germaniumit është izolator ideal, në të nuk ka elektrone të lira. Por, kjo vlen vetëm në temperatura afër zeros absolute ($-273^{\circ}\text{C} = 0\text{K}$).

Në temperaturën e dhomës nga 18 deri në 20°C (300K) krijohen elektrone të lira dhe struktura kristalore nuk është më e përkryer. Struktura kristalore jo e përkryer është bazë për krijimin e materialeve gjysmëpërçuese.

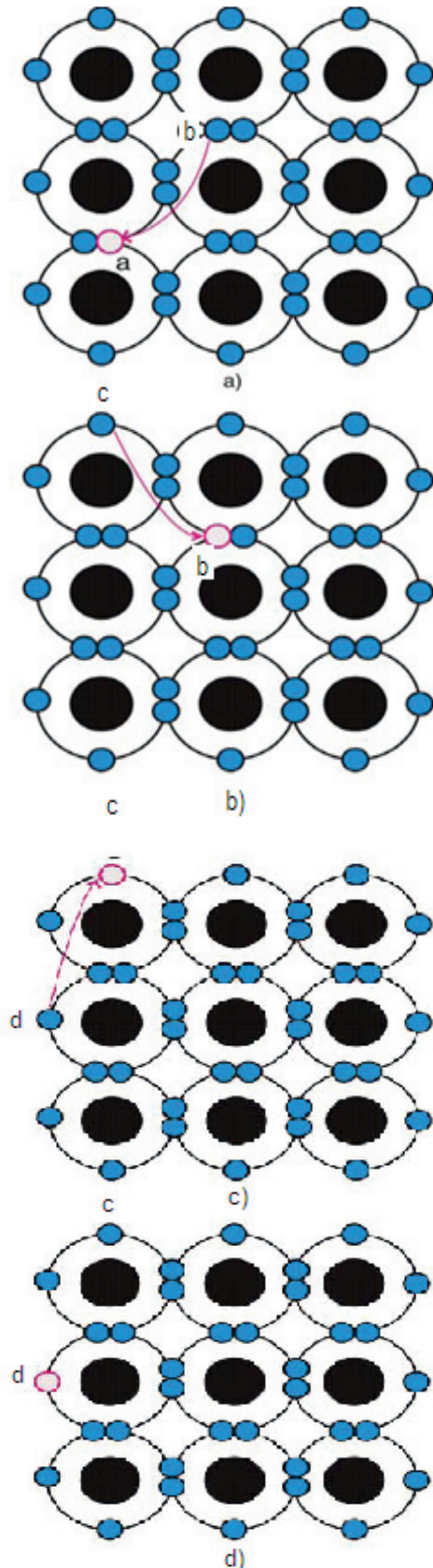


Figura 1.9: Lëvizja e vrimave.

Kjo mospërsosmëri mund të ketë: karakter strukturor, energjik ose kimik.

Mospërsosmëria strukturore u referohet atomeve të sipërfaqes së materialit, kur atomeve nuk mund ti realizojnë të gjitha lidhjet valente.

Mospërsosmëritë energjetike kryesisht janë për shkak të energjisë termike. Tashmë në temperaturën e dhomës, atomet në rrjetën kristalore fillojnë të dridhen, duke lëvizur në mënyrë alternative njëri kah tjetri. Gjatë kësaj mund të vijë deri tek ndërprerja e lidhjeve valente dhe krijimi i elektroneve të lira. Për shkëputjen e një elektroni nga vendi i tij është e nevojshme energji minimale prej $0,75\text{eV}$ $eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$ për germaniumin dhe $1,2\text{ eV}$ për silicin.

Elektronet e liruar pas një kohe të shkurtër gjejnë vend tjetër të boshatisur, duke ia dorëzuar energjinë e tij një elektroni tjetër. Në çdo moment në kristal ka një numër të caktuar të elektroneve të lira. Me lirimimin e elektronit lidhja përkatëse valente mbetet e paplotësuar dhe në atë vend paraqitet një ngarkesë pozitive. Çdo elektrone, duke e lëshuar atomin, pas vete len një ngarkesë pozitive. Në teknikën e gjysmëpërçuesve ajo quhet **boshllëk (vrimë)**. Edhe vrimat lëvizin ngjashëm sikurse elektronet. Kjo është e ilustruar në **figurën 1.9**.

Në pikën **a** (figura 1.9a) është krijuar një vrimë me prezencën e atomit trevalent kurse në pikën **b**, me shkëputjen e lidhjes valente lirohet elektron. Elektroni i lirë lëviz drejt vrimës në pikën **a** dhe e mbush, kurse në pikën **b** krijohet vrimë e re (figura 1.9b). Procesi i rivendosjes së lidhjes valente quhet **rikombinim**. Në të njëjtën mënyrë krijohet edhe një vrimë e re në pikën **c** (figura 1.9c) dhe më tutje në pikën **d** (figura 1.9d). Efekti përfundimtar është: vrima nga pika **a** është zhvendosur në pikën **d**. Nga kjo rrjedh se drejtimi i lëvizjes së vrimave është i kundërt me drejtimin e lëvizjes së elektroneve.

Me rritjen e temperaturës rritet numri i elektroneve të lira, por në të njëjtën masë edhe i vrimave. Përçueshmëria e gjysmëpërçuesve rritet, por kristali edhe më tutje mbetet neutral.

Mospërsosmëritë energjetike mund të ndodhin edhe nën ndikimin e energjisë së dritës, me çka ndodh efekti fotoelektrik. Nën efektin fotoelektrik nënkuptohet ndër-veprimi i fotoneve (kuantet e dritës) dhe elektroneve të atomit të gjysmëpërçuesit. Kur fotonet e dritës dhe elektroni bëjnë shkëmbimin e energjisë me të cilën disponojë, elektroni e ndryshon nivelin energjetik të tij. Nëse energjia, që ia jep fotoni elektronit është e mjaftueshme, elektroni do të largohet nga shtegu i tij dhe do të kalojë në një shteg me nivel energjetik më të lartë, ose do ta shkëput lidhjen valente dhe do të ngel i lirë. Proces i kundërt ndodh kur një elektroni kalon në shtegun me nivel energjetik më të ulët nëse kthehet në lidhjen valente. Një kalim i tillë shoqërohet me emetimin e një kuantit të energjisë së dritës - foton.

Gjysmëpërçuesit me këtë lloj të mospërsosmërisë quhen të papastërt (pa primesa), ndryshe nga të ata të pastër tek të cilët mospërsosmëria krijohet përmes rrugës kimike. Deri tek mospërsosmëria kimike arrihet kur në kristal futen numër i caktuar i primesave (papastërtive) kimike, të përfaqësuar nga dy grupe të elementeve atomet e të cilave integrohen në strukturën kristalore të gjysmëpërçuesit. Elementet nga njëri grup kanë atome me elektrone pesë valente dhe këto janë, fosfori, arseni dhe antimoni. Elementet nga grupi tjetër kanë atome me elektrone tre valente. Këtu përfshihen bori, alumini, galiumi dhe indiumi.

MBAJ MEND!!!

- * Lidhur me lëvizjen e elektroneve, materialet ndahen në përçues, izolator dhe gjysmëpërçues.
 - * Elemente bazë të gjysmëpërçuesve janë germaniumi dhe silici në strukturë kristalore.
 - * Materialet fitojnë karakteristika gjysmëpërçuese kur struktura kristalore bëhet jo e rregullt.
 - * Mospërsosmëria e strukturës kristalore mund të ketë natyrë strukturore, energjetike ose kimike.
 - * Gjysmëpërçuesit me Primesat- papastërti fitohen me futjen në atome të primesave kimike në strukturë kristalore të gjysmëpërçuesve.
-

1.3.2. Gjysmëpërçuesi i llojit-N

Atomi i fosforit (**figura 1.10**) është me elektrone pesë valente dhe ka dimensione të njëjta me dimensionet e atomit të silicit. Ai lehtë mund të integrohet në strukturën kristalore të silicit. Nëse shtohet atom fosfori në masën e shkrire të silicit, ai në një vend që do të zëvendësojë atomin e silicit dhe do të formojnë lidhje valente me atomet përreth. Gjatë kësaj, një elektron nga atomi i fosforit mbetet i tepërt. Ai nuk mund të hyjë në lidhjen valente, sepse të gjitha janë të mbushura. Elektroni është i lidhur lehtë në atomin e fosforit dhe në temperaturën e dhomës bëhet i lirë. Për lirimin e tij është e mjaftueshme energji prej 0,05 eV.

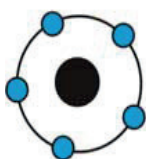


Figura 1.10: Atomi i fosforit.

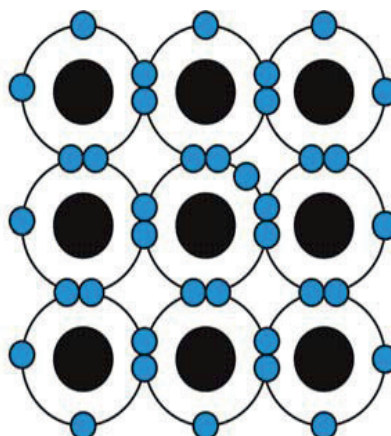


Figura: 1.11: Atomi i fosforit në rrjetën kristalore të germaniumit

Integrimi i atomit të fosforit në rrjetën kristalore të silicit është paraqitur në **figurën 1.11**.

Me futjen e atomeve pesë valente në rrjetën kristalore të germaniumit ose silicit fitohet **gjysmëpërçues i llojit N** (negativ), i cili ka tepërcë të elektroneve të lira dhe në të cilin përçueshmëria është rezultat i lëvizjes së lirë të elektroneve. Elektronet e lira në gjysmëpërçuesin e llojit N përfitojnë në dy mënyra: njëri, duke futur atome pesë valente të primesave kimike dhe të tjerët me shkëputje termike të lidhjeve valente mes atomeve. Atomt pesë valente "japin" elektrone të lira, dhe sipas gjuhës latine quhen **donorë**. Donorët kur lëshojnë elektron, mbeten **jone pozitive**, nuk janë të lëvizshëm dhe nuk marrin pjesë në krijimin e rrymës përbrenda gjysmëpërçuesit.

Me shkëputjen termike të lidhjeve valente, përkrah elektroneve të lira krijohen edhe vrime.

Përqendrimi i tyre është shumë më i ulët se përqendrimi i elektroneve. Prandaj, **elektronet janë bartës kryesor**, kurse **vrmat bartës dytësor** të ngarkesës elektrike. Pamja skematike e gjysmëpërçuesit të llojit N është dhënë në **figurën 1.12**.

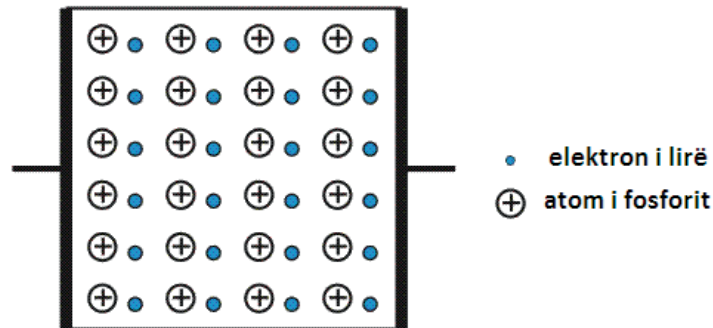


Figura 1.12: Pamja skematike e gjysmëpërçuesit të tipit N.

Elektronet e lira dhe vrira në gjysmëpërçues në temperaturë më të lartë se zero absolute janë në lëvizje të vazhdueshme kaotike, për shkak të energjisë së tyre termike. Pa marrë parasysh se çfarë është ndikimi i jashtëm, lëvizja e bartësve të ngarkesës nuk ka asnjë drejtim të caktuar.

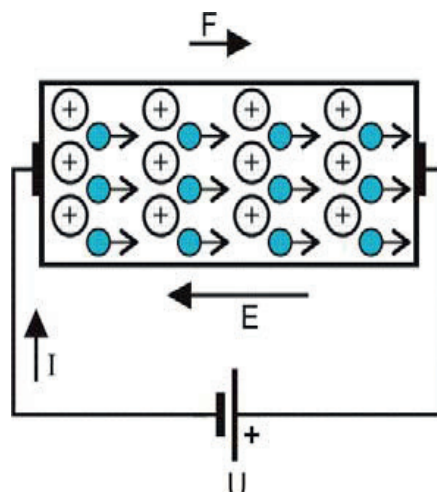


Figura 1.13: Gjysmëpërçuesi i tipit N në fushën elektrike.

Nëse e kyçim gjysmëpërçuesin në burimin e tensionit të vazhduar, si në **figurën 1.13**, në gjysmëpërçues do të krijohet fushë me intensitet E , e drejtuar nga lidhja pozitive kah ajo negative e burimit. Fuqia F , e cila paraqitet si rezultat i veprimit të fushës E , i drejton elektronet e lira në drejtim të kundërt nga drejtimi i fushës. Vrimat do të lëvizin në drejtim të fushës E . Kështu nëpër qark do të rrjedh rryma elektrike nga poli negativ kah ai pozitiv i burimit përmes gjysmëpërçuesit. Në të gjitha analizat e mëtejshme të situatave në gjysmëpërçues do të përdoret e ashtuquajtura **drejtimin elektronik i rrymës**, i cili përkon me drejtimin e lëvizjes së elektroneve.

Nëse ndryshohet polarizimi i burimit, ndryshohet drejtimi i fushës elektrike dhe elektronet e lira dhe vrimat do të lëvizin në drejtim të kundërt nga i mëparshmi, gjegjësisht ndryshohet edhe drejtimi i rrymës. Nuk ka asnjë arsye të veçantë që intensiteti i rrymës të mos jetë i njëjtë në të dy shembujt, që do të thotë se nuk ka ndonjë orientim.

1.3.3. Gjysmëpërçuesi i llojit P

Atomi i borit, i paraqitur në **figurën 1.14**, ka përmasa të njëjtat me atomin e silicit, që do të thotë se mund të integrohet në rrjetën e tyre kristalore.

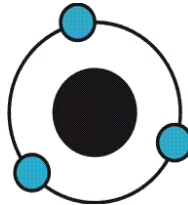


Figura 1.14: Atomi i borit.

Ai është tre valent dhe realizon lidhje trevalente me atomet përreth. Në përpjekje për të krijuar edhe lidhjen e katërt valente, ai "përvetëson" një elektron nga atomet fqinje, të liruar me shkëputje termike të lidhjeve valente. Në vendin e elektronit të "përvetësuar" **krijohet një vrimë (figura 1.15)**.

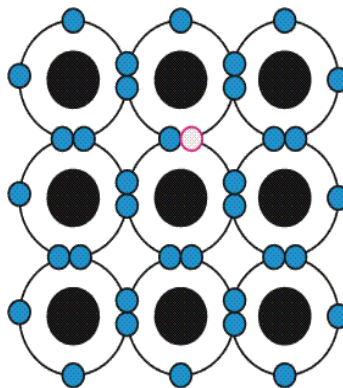


Figura 1.15: Atomi i borit në rrjetën kristalore të germaniumit.

Atomet e primesave trevalente të cilat „përvetësojnë” elektrone quhen **akceptor**, ata janë me ngarkesë elektrike negative dhe janë të palëvizshëm. Duke futur atome akceptorësh në strukturën kristalore të germaniumit apo silicit krijohen vrima si bartës kryesor të ngarkesave elektrike pozitive. Në këtë mënyrë fitohet **gjysmëpërçuesi i llojit P**, i paraqitur në **figurën 1.16**.

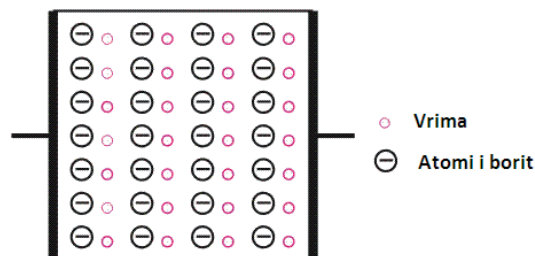


Figura 1.16: Pamja skematike e gjysmëpërçuesit të llojit-P.

Vrimat në këtë lloj gjysmëpërçuesi krijohen në dy mënyra: duke futur atome akceptor dhe shkëputje termike të lidhjeve valente. Si bartës dytësor këtu paraqiten elektronet e krijuara nga shkëputja termike e lidhjeve valente.

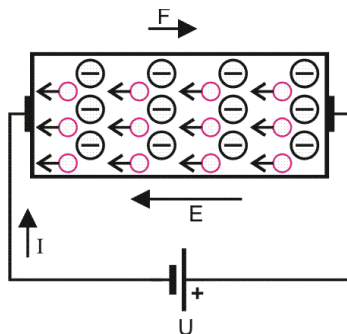


Figura 1.17: Gjysmëpërçuesi i tipit P në fushën elektrike.

Me ndihmën e **figurës 1.17** do të shohim se çfarë ndodh në gjysmëpërçuesin e llojit P nën ndikimin e fushës elektrike të jashtme. Me kyçje të burimit të tensionit të vazhduar në skajet e gjysmëpërçuesit, në të krijohet fushë elektrike me intensitet E dhe me drejtim nga poli pozitiv në atë negativ të burimit. Fuqia F , e cila është rezultat i fushës E , i drejton vrimat të lëvizin në drejtimin në të cilin vepron fusha elektrike, kurse elektronet në drejtimin e kundërt. Me lëvizje të tilla të drejtuara krijohet rrymë me intensitet I .

Lëvizja e vrimave, siç pamë me ndihmën e figurës 1.9, është e dukshme. Fizikisht zhvendosen elektronet valente, dhe efekti i asaj lëvizje është shfaqja e vrimës në një vend tjetër, që është ekuivalente me lëvizjen e vrimave. Në vendin e kontaktit të gjysmëpërçuesit me telin sjellës, vrimat tërheqin elektrone nga metali dhe rikombinohen, kurse në kontaktin e kundërt krijohet një vrimë e re me kalimin të numrit të tillë të elektroneve valente në kontaktin e metalit aq sa është numri i vrimave të rikombinuara. Duke e kthyer polaritetin e burimit ndryshohet drejtimi i fushës dhe vrimat lëvizin në drejtimin e kundërt nga i mëparshmi. Kjo do të thotë se edhe në gjysmëpërçuesin e llojit P nuk ka paraqitje të orientimit.

MBAJ MEND!!!

- * Gjysmëpërçuesi i llojit N ka tepriçë elektronesh të lira, të krijuar me procesin e futjes së primesave pesë valente. Për shkak të tepriçës së elektroneve të lira, bartës kryesor në gjysmëpërçuesin e llojit N janë elektronet kurse dytësor vrimat.
- * Gjysmëpërçuesi i llojit P ka tepriçë vrimash, të krijuar me procesin e futjes së primesave tre valente. Për shkak të tepriçës së vrimave, bartës kryesor në gjysmëpërçuesin e llojit P janë vrimat kurse dytësor elektronet.
- * Numri i bartësve kryesor është shumë më i madh se i bartësve dytësor dhe varet nga numri i atomeve të primesave të futura dhe temperatura e gjysmëpërçuesit.

1.4. Kalimi (bashkimi) - PN

Gjysmëpërçuesit e llojit N dhe P në formën e treguar nuk janë me përfitim të madh. Efekt shumë më interesant fitohet kur të dy llojet e gjysmëpërçuesve kombinohen mes veti në një kristal në më shumë mënyra. Sigurisht që bashkimi i zakonshëm fizik i të dy llojeve të kristaleve nuk është i mundshëm, por të shkrirë, në kristalin e pastër nga njëra anë shtohen akceptor, kurse në anën tjetër atome të donorëve. Në këtë mënyrë fitohet kristal i vetëm me bashkim (kalim)- PN. Ai në njërin anë ka bllok të gjysmëpërçuesit të llojit P, ndërsa në anën tjetër bllok të gjysmëpërçuesit të llojit N (**figura 1.18**). Vendi i bashkimit paraqet zonë me trashësi të vogël.

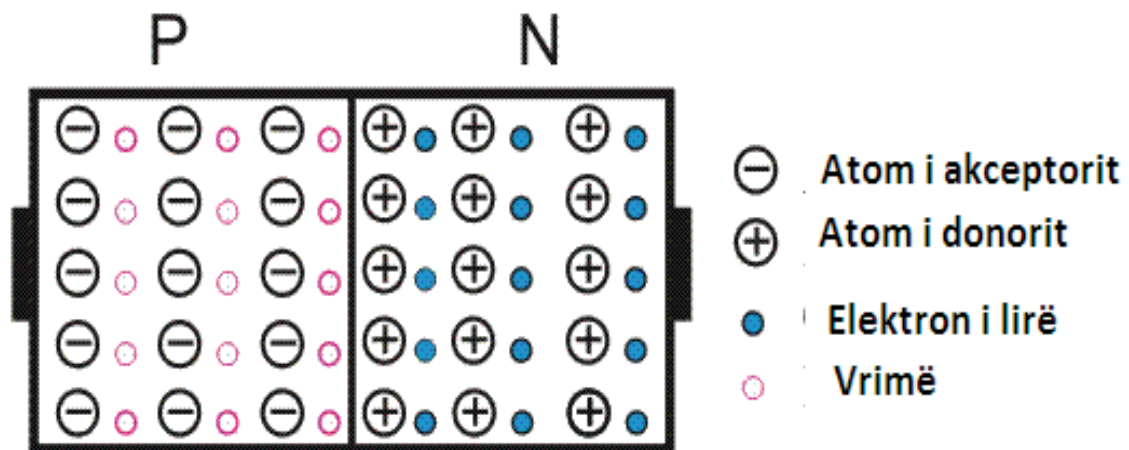


Figura 1.18: Kalimi -PN i përbërë nga dy kristale në momentin e krijimit.

- Në zonën N numri i elektroneve të lira është shumë më i madh se numri i vrimave, kurse në zonën P numri i vrimave është shumë më i madh se numri i elektroneve. Gjendja, e paraqitur në figurën 1.18, ekziston vetëm në momentin e krijimit në kalimit, pastaj ndryshon menjëherë. Përqendrimi i tillë i elektroneve dhe vrimave shkakton lëvizjen e elektroneve nga zona N dhe ata futen në zonën P. Vrimat nga zona P lëvizin në drejtim të kundërt kah zona N. Kjo lëvizje është difuze, çka nënkupton parimi fizik sipas të cilit grimcat nga zona me përqendrim më të lartë zhvendosen në zonën me përqendrim më të ulët deri në baraspeshimin e përqendrimit, pa marrë parasysh ndikimin nga jashtë.

Në të dy rajonet vjen deri te rikombinimi: elektronet e ardhura nga zona N rikombinohen me vrimat e zonës P dhe vrimat që vijnë nga zona P rikombinohen me elektronet e zonës N.

Elektronet nuk mund të depërtojnë thellë në zonën P. Ata shpejt rikombinohen dhe në zonën P pranë kalimit mbeten vetëm atomet e akceptorëve. E njëjta gjë ndodh edhe me vrimat, dhe në zonën N, pranë kalimit, ngelin vetëm atomet e donorëve. Atomet e akceptorëve dhe donorëve nuk mund të ndryshojnë pozicionin e tyre. Ata janë të palëvizshëm. Në zonën P, atomet negative të

akceptorëve formojnë ngarkesë hapësinore negative dhe përqendrimi i saj bie me largimin nga kalimi. Në zonën N, atomet e donorëve formojnë ngarkesë hapësinore pozitive dhe përqendrimi i saj bie me largimin nga kalimi.

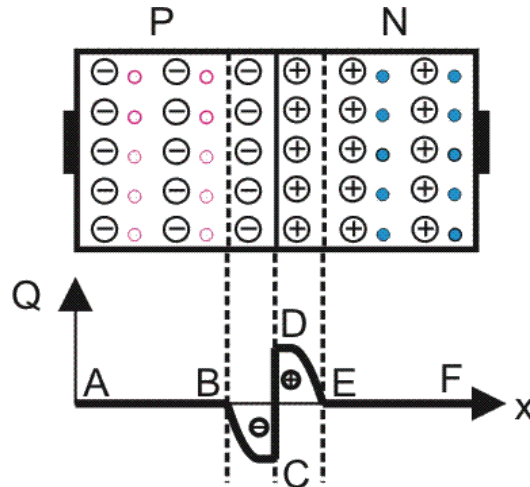


Figura 1.19: Shpërndarja e densitetit të ngarkesave.

Në **figurën 1.19** është dhënë diagramin i shpërndarjes së densitetit të ngarkesës Q përgjatë kalimit PN. Në pjesën e largët të zonës P nuk mund të depërtojnë elektronet e zonës N. Atje mbisundon baraspesha e ngarkesave elektrike sikurse në gjysmëpërçuesin standard të llojit P dhe ajo është pjesa AB e funksionit. Me afrimin kah kalimi rritet densiteti i ngarkesave negative. Një numër i caktuar i elektroneve, të ardhur nga zona N, rikombinohen me vrmat, dhe mbetet numër i njëjtë i atomeve akceptorë dhe ata e rrisin densitetin e ngarkesave negative (pjesa BC e funksionit). Në zonën paraprake, densiteti i ngarkesave negative është maksimal, sepse këtu më nuk ka vrma.

E njëjta gjë ndodh edhe në zonën N. Atje ekziston pjesa e baraspeshës (pjesa FE), pastaj rritje të densitetit të ngarkesave pozitive të përfaqësuara nga atomet e donorëve (pjesa DE) dhe përfundimisht densiteti maksimal i ngarkesave pozitive në pikën D.

Mes pikave C dhe D kemi një ndryshim shumë të madh nga densiteti maksimal negativ në densitetin maksimal pozitiv të ngarkesave. Në kalim paraqitet ndryshim potencial, e quajtur barrierë potenciale. Ajo i përcakton të dy karakteristikat e kalimit PN: fushën e brendshme elektrike E_1 dhe kapacitetin vetjak të kalimit.

1.4.1. Polarizimi i kalimit PN

Pas përfundimit të procesit të formimit të kalimit PN dhe përfundimit të lëvizjes difuzive të bartësve kryesor përmes kalimit, fitohet gjendja si në **figurën 1.20**.

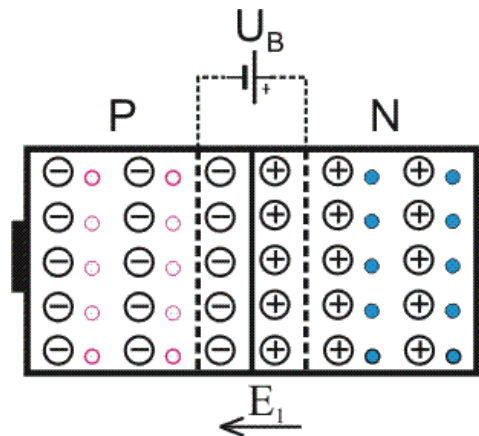


Figura 1.20: Barriera potenciale e kalimit PN.

Fusha e brendshme elektrike E_1 është e drejtuar nga zona N në zonën P të kalimit PN. Me veprimin e kësaj fushë ndërpritet lëvizja difuzive e bartësve kryesor nëpërmjet kalimit. Fusha vepron në atë mënyrë që i lëviz elektronet nga kalimi kah brendësia e zonës N, kurse vrimat kah brendësia e zonës P. Në vetë kalimin është formuar zona e pengimit- barrierës, në të cilën nuk ka bartës të lirë të ngarkesës, as nuk ekziston mundësia e kalimit të tyre nëpër zonë. Gjerësia e zonës së barrierës është rreth $1 \mu\text{m}$. Barriera potenciale mund të paraqitet me burim të paramenduar të tensionit të vazhduar U_B , siç shihet në figurën 1.20. Ekzistenca e barrierës potenciale e bën kalimin izolator. Në prani të fushës së brendshme elektrike kalimi fiton veti të kapacitetit. Kapaciteti i kalimit përcaktohet sipas:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \dots\dots\dots(1.1)$$

ku S paraqet sipërfaqen e kalimit, d gjerësinë e zonës së barrierës, kurse ε karakteristikën dielektrike.

Sa u takon bartësve dytësor, fusha e brendshme elektrike e mundëson kalimin e tyre përmes kalimit dhe formohet rryma e elektroneve dytësor dhe rryma e vrimave dytësore. Të dy rrymat kanë drejtime të kundërta, kështu që si rezultat përfundimtar fitohet se në kalim PN pa polarizim të jashtëm, në cilën do prerje tërthore të pllakës së kristalit, densiteti mesatar i rrymës është zero.

1.4.2. Kalimi –PN në fushën e jashtme elektrike

Nëse vendosim pika lidhëse metalike në skajet e kristal të kalimit PN dhe në to pika kyçet burim i tensionit të vazhduar, në brendësi të kristalit do të krijohet fushë elektrike E, të cilën më tutje do ta quajmë të jashtme. Nën ndikimin e saj, në kalimin PN do të ndodhin një sërë ndryshimesh, në varësi se si është i lidhur burimi.

Polarizimi i drejtë (direkt) i kalimit PN

Nëse lidhet poli pozitiv i burimit me kontaktin e zonës P, kurse poli negativ me kontaktin e zonës N (figura 1.21), fusha e jashtme elektrike E do të ketë drejtim të kundërt nga fushën e brendshme E_1 . Pasi që fusha e jashtme ka forcë më të madhe, fusha rezultante do të jetë e drejtuar nga zona P drejt zonës N.

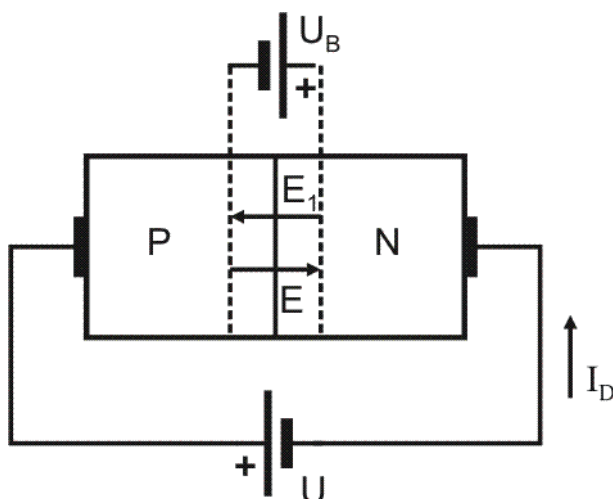


Figura 1.21: Kalimi PN i polarizuar në drejtim përçues

Nën ndikimin e fushës rezultante, vrmat nga zona P do të kalojnë në zonën N, kurse elektronet nga zona N kalojnë në zonën P. Barriera potenciale zvogëlohet ose humbet në varësi të madhësisë së tensionit të burimit dhe rrjedh rryma I_D . Kalimi PN bëhet i përçueshëm, gjegjësisht bëhet i polarizuar në drejtimin përçues.

Që kalimi PN të bëhet i përçueshëm, është e nevojshme që rryma I_D të ketë intensitet së paku prej $1 \mu\text{A}$. Tensioni, gjatë të cilit do të rrjedh kjo rrymë quhet tension i kyçjes dhe vlera e tij varet nga materiali i gjysmëpërçuesit. Për germaniumin ai është $0,3 \text{ V}$, kurse për silicin $0,7 \text{ V}$.

Polarizimi i kundërt (invers) i kalimit PN

Nëse ndryshohet polariteti i burimit, ndryshohet edhe drejtimi i fushës së jashtme E (figura 1.22) dhe drejtimi i saj përkon me drejtimin e fushës së brendshme E_1 . Tani barriera potenciale bëhet më e madhe, zona e pengesës më e gjerë, kështu që elektronet dhe vrmat do ta kenë më vështirë për ta kaluar.

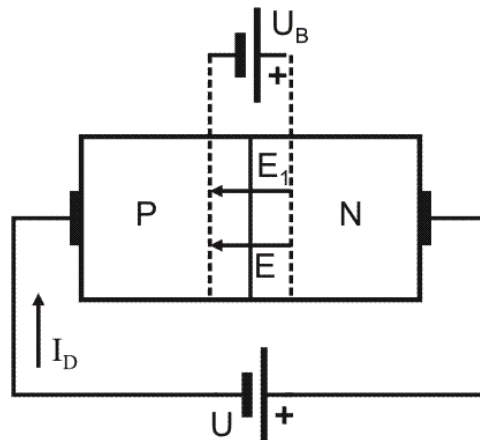


Figura 1.22:Kalimi PN i polarizuar në drejtimin jo përçues.

Në këtë gjendje, kalimi PN është i polarizuar në drejtimin jo përçues. Në kalimin PN me polarizim jo përçues, megjithatë, rrjedh një rrymë e vogël. Ajo është rrymë e bartësve dytësor të ngarkesave, vrimat në zonën N dhe elektronet në zonën P. Kjo rrymë ka vlerë shumë të vogël, sepse është i vogël numri i bartësve dytësor në krahasim me bartësit kryesor të ngarkesave. Ajo rritet me rritjen e temperaturës.

MBAJ MEND!!!

- * Në vendin e kalimit- bashkimit të gjysmëpërçuesve P dhe N krijohet zonë e pengesës, e boshatisur nga elektronet dhe vrimat e lira, barriera potenciale dhe fushë e brendshme elektrike.
- * Kalimi PN i polarizuar direkt-drejtë fitohet me kyçje të polt pozitiv të burimit në llojin P, kurse poli negativ në llojin N dhe ai përçon rrymë.
- * Kalim PN me polarizim të kundërt- invers fitohet me kyçje të polt pozitiv të burimit të furnizimit në N, kurse poli negativ në llojin P dhe ai nuk përçon rrymë.
- * Në kalimin me polarizim të kundërt rrjedh vetëm rryma e bartësve dytësor, ajo është rryma inverse – e kundërt e kalimit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si ndahen materialet?
2. Nga çka varen vetitë elektrike të materialeve?
3. Si sillen gjysmëpërçuesi në temperaturën e dhomës, dhe si në zero absolute?
4. Si krijohet vrima?
5. Cilët gjysmëpërçues janë gjysmëpërçues me primesa-papastërti?
6. Si fitohet gjysmëpërçuesi i tipit N?
7. Cilët atome quhen donorë?
8. Vizato gjysmëpërçues të llojit N të lidhur me burim të jashtëm dhe sqaro se çfarë ndodh!

9. Si fitohet gjysmëpërçues i llojit P?
10. Cilat atome quhen akceptor?
11. Vizato gjysmëpërçues të llojit P të lidhur me një burim të jashtëm dhe shpjegojë se çfarë ndodh!
12. Cilët bartës janë kryesor, dhe cilët dytësor në gjysmëpërçuesin e llojit N?
13. Cilët janë bartës kryesorë, dhe cilët dytësor në gjysmëpërçuesin e llojit P?
14. Çka parqet kalimi PN?
15. Si mund të polarizohet kalimi PN?

1.5. Diodat gjysmëpërçuese

Përfaqësuesi i parë dhe kryesor i kalimit PN në mesin e elementeve elektronike është dioda gjysmëpërçuese. Struktura dhe simboli elektrik i diodës janë dhënë në **figurën 1.23**.

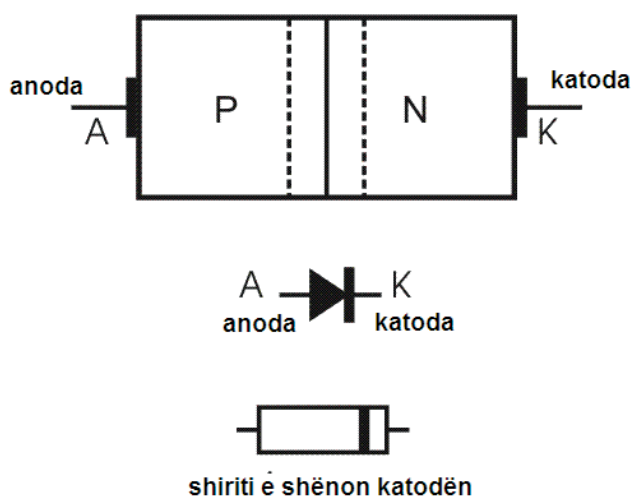


Figura 1.23: Struktura dhe simboli elektrik i diodës.

Metali lidhës i seksionit P është anodë dhe shënohet me **A**, kurse në seksionin N është katoda e shënuar me **K**. Karakteristika kryesore e diodës është e njëjtë si tek kalimi PN, që të lëshojë rrymën elektrike vetëm në një drejtim prej anoda drejt katodës.

Dioda është e polarizuar në drejtim përçues ose direkt, kur poli pozitiv i burimit të furnizimit është i lidhur me katodën, kurse negativ i burimit të furnizimit është i lidhur me anodën e diodës.

1.5.1. Karakteristika statike

Karakteristika statike e diodës (**figura 1.24**) më së miri e përshkruan situatën gjatë polarizimit të drejtë dhe të kundërt të diodës. Ajo është karakteristika rrymë-tension e cila e paraqet varësinë e rrymës së diodës nga tensioni i vazhduar në skajet e tij, gjatë një temperature konstante të ambientit.

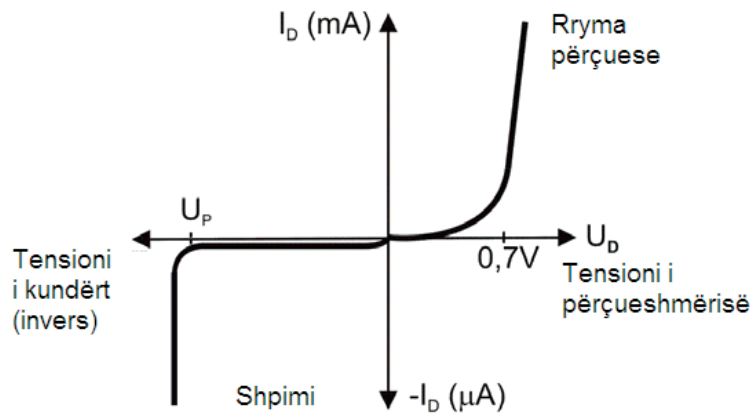


Figura 1.24: Karakteristika statike e diodës.

Karakteristika e diodës së polarizuar drejtë është treguar në kuadrantin e parë. Ajo mund ndahet në tre zona (**figura 1.25**).

Zona e parë, nga origjina e koordinatave deri në pikën A, është zonë e tensioneve shumë të vogla. Këtu bëhet fjalë për tensione prej disa dhjetëra mV, ku rryma arrin vlerën e disa dhjetëra mA. Afër origjinës së koordinatave ajo është një vijë e drejtë, pastaj transformohet në një parabolë.

Në zonën e dytë forma e karakteristikës më tepër i përgjigjet procesit të detektimit. Ajo shtrihet nga pika A deri në pikën e tensionit të kyçjes së diodës (B), i cili, të përsërisim, për germaniumin është 0,3V, kurse për silicin 0,7V.

Zona e tretë, nga pika B deri në pikën C, paraqet zonë të rrymave të mëdha. Këtu tensioni në skajet e diodës nuk ndryshon dukshëm në një brez të gjerë të ndryshimit të rrymës.

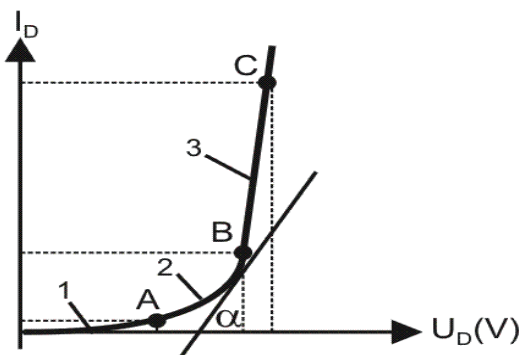


Figura 1.25: Karakteristikat e diodës së polarizuar në drejtim përçues

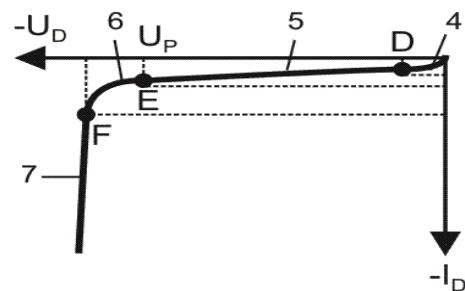


Figura 1.26: Karakteristika e diodës së polarizuar kundërt

Rezistenca e diodës ndryshon me ndryshimin e tensionit direkt, të prurë në diodë. Ajo është e përcaktuar nga tangjenta e këndit α që përfshin tangjenten e karakteristikës në atë pikë.

Karakteristika e diodës me polarizim të kundërt është treguar në kuadratin e tretë të sistemit koordinativ. Edhe ajo mund të ndahet në disa zona (**figura 1.26**).

Zona numër 4, nga 0 deri në pikën D, është identike me zonën numër 1, bashkimi i të dy zonave sillen në mënyrë simetrike dhe për këtë arsye në tensione të ulëta nuk ka paraqitje të drejtueshmërisë.

Në Zonën numër 5, nga pika D në pikën E, rryma inverse i afrohet një vlere konstante, e quajtur rrymë inverse e ngopjes. Rezistenca e diodës në këtë zonë është shumë e madhe, por kurrë nuk bëhet infinite (e pafundme).

Zona e 6-të, nga pika E në pikën F, është zona e lakimit të karakteristikës. Këtu për rritje të vogël të tensionit të kundërt, rryma inverse rritet shumë. Në diodat e silicit kjo zonë është shumë e ngushtë, kurse në diodat e germaniumit është më e gjerë. Vlera e tensionit të kundërt maksimal U_p ndodhet në fillimin e lakimit të karakteristikës.

Në Zonën 7 fillon shpimi i kalimit PN të diodës, me çka rryma e kundërt (inverse) zmadhohet shumë.

1.5.2. Shpimi i kalimit të diodës

Deri te shpimi vjen për shkaqe termike dhe elektrike. Shpimi termik ndodh kur priset baraspesha termike e kalimit PN. Gjatë intensitetit të madh të rrymës në rezistencën e brendshme të diodës krijohet nxehtësi, të cilën pllaka e kristalit e bart në mjedis. Temperatura më e madhe e lejueshme e punës varet nga materiali gjysmëpërçues nga i cili është i ndërtuar. Për germaniumin ajo shkon nga $+70$ deri në $+90$ °C, ndërsa për silicin nga $+120$ deri në $+150$ °C. Kur zhvillohen nxehtësia në pllakë, më e madhe nga ajo që mund ta bart në mjedis, pllaka nxehet dhe ajo mund të shkrihet, gjegjësisht dioda të shkatërrohet. Në lidhje me këtë, prodhuesi përshkruan intensitetin maksimal të rrymës, I_{max} , i cili gjatë punës nuk duhet të tejkalohet.

Shpimi elektrik mund të ketë efekt ortek dhe tunel apo efekt zener.

Efekt i ortek ndodh në kalime me gjerësi më të mëdha të shtresës së kontaktit. Në tensione të larta të kundërta në shtresën e kontaktit krijohet fushë e fortë elektrike, e cila elektroneve që lëvizin nëpër këtë shtresë u jep energji të madhe kinetike dhe nxitim. Kur kjo energji arrin një kufi të caktuar, vjen deri tek shkëputja e lidhjeve të reja valente, numri i elektroneve të lira zmadhohet dhe krijohet ortek i elektroneve të lira (ngjashëm si orteku i borës). Rryma e kundërt mund të arrijë vlerë të madhe dhe të vijë deri te shpimi i diodës. Që të mos vijë deri te dëmtimi, për secilin lloj të diodës prodhuesi e jep tensionin e kundërt të shpimit (U_p) i cili nuk duhet të tejkalohet.

Efekt i tunel ose zener mund të paraqitet edhe në dioda me një gjerësi të vogël të kalimit të barrierave dhe koncentrik të madh të primesave kimike. Me rritjen e tensionit të kundërt në kalim të tillë mbi vlerën e tensionit të kundërt të shpimit U_p , elektronet nën ndikimin e fushës së krijuar i shkëpusin lidhjet valente, rritet numri i elektroneve të lira dhe rryma e kundërt rritet shumë. Zvogëlohet rezistenca e brendshme e diodës dhe ai nuk lejon rritjen e mëtejshme të tensionit të kundërt. Ka ardhur deri te shpimi i kalimit, por jo edhe shkatërrimi i tij. Tensioni i kundërt ngelet i njëjtë.

Karakteristika rrymë-tension nga figura 1.24 i referohet diodës reale fizikisht.

Për analizën e qarqeve të shumta elektronike përdoret modeli i një diode ideale, e cila në drejtimin direkt ka rezistencë zero dhe është një përçues i përsosur, kurse në drejtimin e kundërt rryma e saj është zero dhe ka rezistencë infinite. Karakteristika e saj është dhënë në **figurën 1.27**. Dioda ideale vepron si një çelës i mbyllur, kur është e polarizuar drejtë, dhe si çelës i hapur, kur është me polarizim të kundërt.

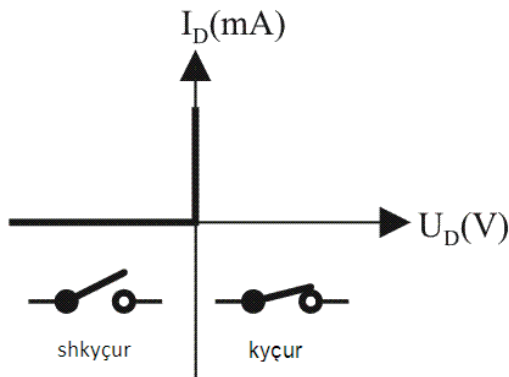


Figura 1.27: Karakteristikat e diodës ideale

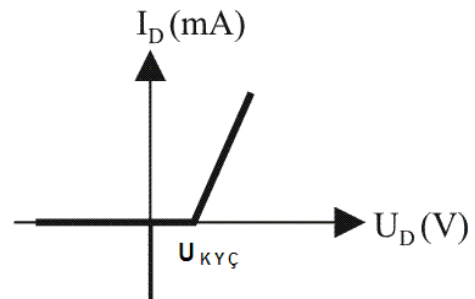


Figura 1.28: Karakteristikat e diodës pjesërisht lineare.

Modeli i tretë që është në përdorim është dioda pjesërisht lineare me çka thjeshtohen llogaritjet në qarkun me dioda. Karakteristika e sajë (**figura 1.28**) është e përbëhet nga dy linja: njëra fillon diku në pjesën inverse dhe mbaron në pikën e tensionit të kyçje së diodës ($U_{KYÇ}$), Kurse tjetra vazhdon nga ajo pikë në zonën e polarizimit direkt me kënd të caktuar. Me atë kënd është përcaktuar rezistenca e diodës në drejtimin e drejtë.

MBAJ MEND!!!

- * Dioda gjysmëpërçuese është element elektronik me kalim PN dhe me dy dalje: anodë dhe katodë.
- * Dioda është e polarizuar drejtë-direkt në qoftë se anoda është e lidhur me potencialin pozitiv, kurse katoda negativ, ose kur anoda është e lidhur në potencial më të lartë se katoda.

- * Dioda është me polarizim të kundërt, nëse katoda është e lidhur në potencial më të lartë se anoda.
- * Gjendja e diodës me polarizim të drejtë dhe të kundërt është dhënë me karakteristikën statike të saj.
- * Shpimi i diodës mund të ndodhë nga temperatura e lartë e kalimit.
- * Efekti Zener ndodh në polarizimin e kundërt me çka tensioni i kundërt mbetet konstant.
- * Efekti ortek ndodh kur tejkalohet tensioni i kundërt i lejuar i shpimit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino termin diodë gjysmëpërçuese?
2. Vizato simbolin e diodës gjysmëpërçuese dhe shënoje atë!
3. Shpjego polarizimin e diodës!
4. Defino karakteristikën statike të diodës!
5. Vizato karakteristikën statike të diodës!
6. Kur ndodh shpimi termik i diodës?
7. Si mund të jetë shpimi elektrik?
8. Sqaro konceptin diodë ideale dhe vizato karakteristikën statike të saj!

1.6. Llojet dhe zbatimi i diodave gjysmëpërçuese

Sot jemi në kontakt me shumë lloje të diodave, varësisht nga materiali me të cilin janë ndërtuar dhe nga qëllimi i tyre. Në zhvillimin e tyre, për gjysmëpërçuesit e parë është shfrytëzuar germaniumi si material gjysmëpërçues. Por, pastaj silic është dëshmuar më i mirë në aspektin e përpunimit, si dhe në aspektin e stabilitetit në temperaturë. Silic bëhet zgjedhja e parë në mesin e gjysmëpërçuesve, por mjaft janë të përfaqësuar disa përbërës të galiumit, siç është arsenid-galiumi. Sipas qëllimit dallojmë: drejtues, demodulues, kufizues, impulsiv, ndërprerës (komutator), kapacitiv, fotodioda, LED dhe të tjerë. Sipas konstruksionit dallojmë dy lloje, edhe atë dioda me kalim pikësor (pikë) dhe dioda me kalim sipërfaqësor.

1.6.1. Diodat me kalim pikë

Germaniumi, megjithatë, nuk është i mënjanuar plotësisht. Ai zbatohet për prodhimin e **diodës me kalim pikë**. Shkurtimisht në lidhje me përpunimin e tyre: germaniumi i pastër merret përmes ngrohjes graduale, kështu gjatë temperaturave të ndryshme largohen papastërtitë kimike. Pastrimi bëhet derisa rezistenca specifike e germaniumit nuk arrin disa dhjetëra Ωcm . Pastaj, derisa është në gjendje të lëngshme, shtohen primesa të elementeve pesë valente (arsen, antimon) në atë raport që një atom i primesës të jetë për një milion deri për një miliard atome të germaniumit. Me procesin e nxjerrjes fitohet strukturë kristalore e llojit N. Kristali pastaj pritët në pjesë të holla, të cilat pastaj edhe pas një pastrimi nga papastërtitë, të futura gjatë përpunimit, ngjitet në substrat-shtresë metalike. Kristali i përgatitur në këtë mënyrë vendoset në shtëpizë, vendoset tel në formë spirale nga volframi, platini ose ari, me trashësi rreth $6\ \mu\text{m}$ që ta prek pllakën kristalore (**figura 1.29**). Maja metalike ngjitet në pllakë përmes rrugës elektrike dhe dioda ngarkohet me intensitet normal të rrymës. Pastaj lëshohen impulse me rrymë 10 herë më të fortë nga maksimalja e lejuar. Në vendin e prekjes zhvillohet ngrohtësi dhe formohet krater në pllakë. Elektronet tërhiqen nga krateri dhe kështu formohet kalim PN.

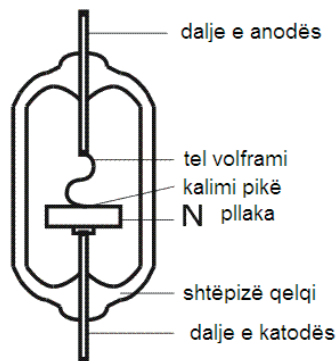


Figura 1.29: Konstrukcioni i diodës pikë.

Karakteristika rrymë-tension e diodës së germaniumit OA90 është dhënë në **figurën 1.30**. Duhet ti kushtohet vëmendje rangut të madhësisë së rrymës: në drejtimin direkt ajo është e dhënë në mA, kurse në inverse në μA .

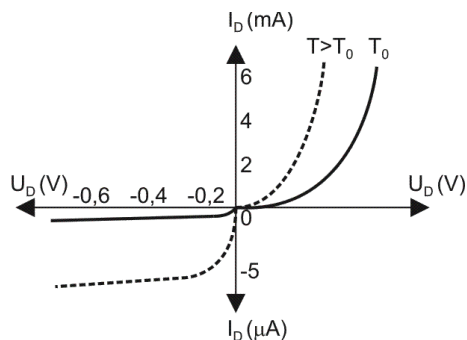


Figura 1.30: Karakteristika rrymë-tension e diodës së germaniumit OA90.

Tensioni i diodës së polarizuar direkt është 0,3 V, çka e bën diodën më efikase për sinjale të vogla me më pak humbje të energjisë, **veçanërisht për zbulimin e sinjaleve të moduluar në amplitudë dhe frekuencë, ose në qarqet logjike me nivel të ulët logjik**. Rezistenca e diodës me polarizim të dejtë , gjatë tensionit prej 1V sillet në kufijtë 50-200 Ω , kurse te dioda me polarizim të kundërt në tensionin prej -10 V sillet rreth 0,5-10 $M\Omega$.

Me sipërfaqe të vogël të kontaktit fitohet edhe kapacitetet vetjak i vogël. më i vogël se 1pF, që lejon që dioda të përdoret gjatë frekuencave të larta me shkallë të lartë të efektit të dobishëm. **Sot përdoren dioda me kalim pikë në radioteknikë për stadi detektuese.**

Dobësi e diodës OA90 është varësia e karakteristikës së saj nga temperatura dhe vlera më e madh e rrymës së kundërt në krahasim me diodat e silicit.

1.6.2. Diodat me kalim sipërfaqësor

Dioda me kalim sipërfaqësor përbëhet nga dy pllaka kristali, njëra e llojit P, dhe tjera e llojit N. Përmes kontakteve të metalit ata janë të lidhura me dalje të jashtme me anodë dhe katodë, kurse kalimi është i mbyllur në shtëpizë metalike ose plastike.

1.6.2.1. Diodat drejtuese

Diodat drejtuese janë dioda me kalim sipërfaqësor, dhe përdoren për përfitimin e rrymës së vazhduar nga burimi i rrymës alternative. Këto dioda kanë një zonë relativisht të madhe të kalimit, kështu që përmes saj mund të rrjedhin rryma me intensitet më të madh dhe tensione inverse relativisht të larta. Aplikimi i tyre për frekuencat e larta është i kufizuar nga kapacitetet vetjake të mëdha.

Si material për të prodhuar dioda drejtuese përdoret silici, germaniumi dhe sot shumë rrallë seleni. Për zgjedhjen e diodës drejtuese të rëndësishme janë këto parametra të dhënë nga prodhuesi:

- rryma maksimale e lejuar në drejtimin e drejtë I_D max;
- tensioni invers maksimal i lejuar U_i max (rreth 70% e vlerës së tensionit të shpimit U_{sh});
- fuqia maksimale e lejuar e shthurjes P_D max (fuqia e konvertuar në nxehtësi brenda diodës).

Sipas fuqisë, diodat drejtuese ndahen në:

- dioda me fuqi të vogël deri në 3W;
- dioda me fuqi të mesme deri në 10W;
- dioda me fuqi të madhe deri në disa KW.

1.6.2.2. Diodat Zener

Dioda Zener është një diodë silici me kalim sipërfaqësor, e dedikuar për stabilizimin e tensionit të vazhduar. Për dallim nga dioda drejtuese standarde, dioda zener ka një përqindje të shtuar të primesave kimike, si në zonën N ashtu edhe në zonën P. Me atë është përmirësuar karakteristika e saj rrymë-tension në fushën e tensionit të kundërt ku edhe është zona e punës. Përmirësimi vërehet në pjerrtësinë në rritje në pjesën e karakteristikës dhe kthesën më të ashpër pas pikës së tensionit të shpimit. Karakteristika rrymë-tension tipike është dhënë në **figurën 1.31**.

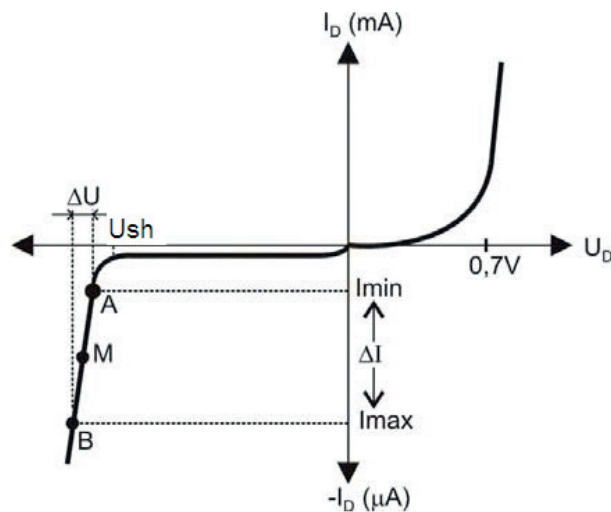


Figura 1.31: Karakteristika rrymë-tension e diodës zener.

Për të stabilizuar tensionin përdoret pjesa mes pikave A dhe B, e njohur si zonë e efektit zener. Për ndryshim të madh të rrymës ΔI fitohet relativisht ndryshim i vogël i tensionit të kundërt ΔU në skajet e diodës, që është karakteristike për pajisjet që kryejnë stabilizimin e tensionit. Në qarkun ku bëhet stabilizimi, pika M e punës (vlera e tensionit që stabilizohet) vendoset në mes ndërmjet pikave A dhe B.

Simboli elektrik i diodës zener është dhënë në **figurën 1.32**.

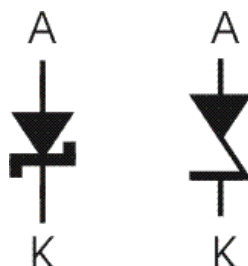


Figura 1.32: Simboli elektrik i diodës zener.

Diodat zener prodhohen për tensione të stabilizimit nga 3V deri në 75V, por janë të mundshëm edhe tensione jashtë këtij brezi (deri në 200V). Për tensione më të vogla se 3V është e vështirë të prodhohen dioda zener me veti stabilizimi të mira. Për këto tensione përdoren dioda silici të lidhur në mënyrë serike me kalim sipërfaqësor, të polarizuar në drejtimin përçues (të drejtë) ($n \times 0,7V$).

Parametrat bazë për zgjedhjen e diodave zener janë:

- tensioni zener në brezin nga 3,3V deri 75V;
- toleranca e tensionit të specifikuar, i cili mund të jetë 5% ose 10%, por në dispozicion janë edhe toleranca më precize siç është 0,05% për qëllime të veçanta;
- fuqia e diodës, e cila mund të jenë $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 5, 10 dhe 50W.

Diodat zener përdoren për përpunimin e stabilizatorëve të tensionit, si burime të tensionit referent dhe në kufizuesit e tensionit.

1.6.2.3. Diodat pulsive (impulsive)

Karakteristikë e operacioneve logjike në qarqet digjitale është puna me **impulse** ku ne kemi ndryshime të shpejta nga niveli logjik i ulët në nivel logjik të lartë. Një operacion të tillë duhet ta kryej një lloj elementi komutues, i cili në gjendjen i hapur ka rezistencë pafundësisht të madhe, kurse në gjendjen i mbyllur ka rezistencë pafundësisht të vogël.

Dioda gjysmëpërçuese sillet ngjashëm, por nuk i përmbush plotësisht këto kërkesa. Pengesa kryesore është ajo që nuk mund të sigurojë kalim të mjaftueshëm të shpejtë nga gjendja përçuese në atë jopërçuese. Arsyeja qëndron në paraqitjen e bartësve të lirë të ngarkesës të akumuluar në shtresën për pengim.

Kur dioda është me polarizim direkt një kohë të gjatë, në zonën kufitare të kalimit PN të diodës, në anën P vjen deri te akumulimi i elektroneve bartës sekondarë, kurse në anën N vrimave. Nëse kalimi zhvendoset në gjendjen e polarizimit të kundërt, shpërndarja e bartësve sekondarë do të ndryshojë për momentin, për shkak se lëvizja e tyre është difuze dhe përqendrimi i tyre bie relativisht ngadalë. Kalimi mbetet i përçueshëm për një periudhë në të cilën përqendrimi i bartësve sekondarë nuk ndryshon në nivelin që e ka kur dioda nuk është e polarizuar. Kjo periudhë definohet si periudhë e shkarkimit të diodës.

Rënia e përqendrimit të bartësve kryesor vazhdon edhe më tutje, derisa rryma e kundërt e kalimit nuk arrin vlerën e ngopjes. Kjo është periudha e rënies së rrymës së diodës. E gjithë kjo mund të kuptohet edhe si pasojë e ekzistimit të kapacitetit difuziv të kalimit PN. Kohëzgjatja e përgjithshme e kalimit nga gjendja e polarizimit direkt në invers është 2-50 ns.

Në diodat impulsive ose komutuese, të destinuara për operacione të tilla, aplikohen procedura teknologjike të shtimit të primesave të arit në pllakën e silicit të diodës, me qëllim që të ndalohet krijimi i përqendrimit të madh të bartësve sekondarë.

Sipas kohës së komutimit, diodat impulsive ndahen në mikrosekundare ($t_r > 0,1 \mu\text{s}$) dhe nanosekundare ($t_r < 0,1 \mu\text{s}$).

Diodat impulsive përdoren në qarqet komutuese digjitale për ekzekutimin e operacioneve logjike me sinjale elektrike të formës impulsive.

1.6.2.4. Dioda LED

Dioda **LED** ose e dritës (emri vjen nga shkurtesa e shprehjes në anglisht **Light Emitting Diode**-dioda që emeton dritë) paraqet burim të dritës. Parimi i funksionimit të diodës LED është i bazuar në vetinë e elektronit të emetoj energji në zonë të caktuar në spektrin e dukshëm, kur kalon nga një nivel energjetik më i lartë në nivel më të ulët të energjisë. Për këtë shkak është i nevojshëm burim i jashtëm i energjisë. Ngjyra e rrezatimit nuk varet nga intensiteti i rrymës së diodës, por nga lloji i materialit gjysmëpërçues nga i cili është prodhuar.

Çdo element kimik ka emisionin e tij të energjisë së rrezatimit. Kështu, për shembull, dioda e përbërë nga kombinimi i galiumit, arseni dhe fosforit jep dritë të kuqe. Me ndryshimin e kombinimit kimik të kalimit PN mund të fitohen lloje të ndryshme të ngjyrave të spektrit të dukshëm, si e kuqe, e gjelbër, e kaltër, e verdhë, apo infra e kuqe (IR) dhe ultravjollce (UV), nga pjesa e padukshme e spektrit. Ngjyrat tjera mund të merret si kombinim i dy apo më shumë ngjyrave primare (e kuqe, e kaltër, e gjelbër) të diodave të vendosura në të njëjtën shtëpizë dhe duke përdorur shirit optik të përbashkët.

Simboli elektrik dhe pamja e diodës LED është dhënë në **figurën 1.33**.

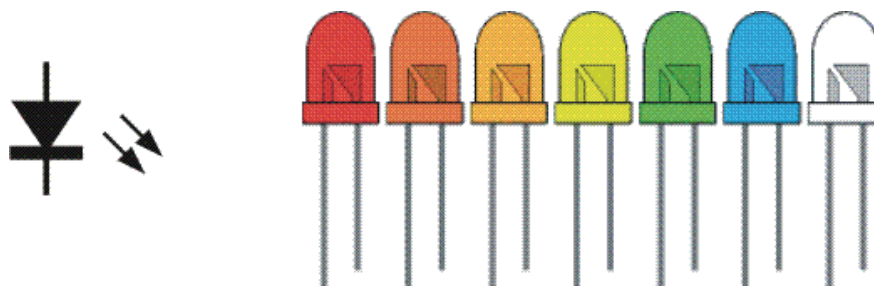


Figura 1.33: Simboli elektrik dhe pamja e diodës LED.

Për funksionimin normal, dioda LED përdor polarizim direkt, kurse tensioni në skajet e diodës sillet mes 1,6V dhe 3V, në varësi të ngjyrës. Rryma tipike e punës e diodës LED me madhësi standarde është rreth 20mA, kurse tensioni invers maksimal deri në 5V. Përveç diodave standarde, ekzistojnë edhe dioda LED me efikasitet të lartë me një rrymë pune prej 2 deri në 8mA. Dioda LED ka shpejtësi të kyçjes dhe shkyçjes më të madhe, që mundëson të përdoret për bartjen e informacioneve digjitale përmes fibrave optike me shpejtësi të madhe (deri në 10 impulse për sekondë).

Diodat Laser janë një lloj i diodave të dritës dhe përdoren në pajisjet optike (në lexuesit e CD dhe DVD) dhe në komunikimet me kapacitete të mëdha (fibra optike dhe komunikimet optike).

OLED (Organic Light-Emitting Dioda) dioda përfaqëson diodë drite e përbërë nga gjysmëpërçues organik. Shtresa e saj emetuese, baza dhe lidhja e anodës dhe katodës janë bërë nga molekula organike të cilat përcjellin rrymë elektrike. **Diodat OLED përdoren në ekranet televizive, monitorët e kompjuterëve, telefonat celularë, orët, në reklamat e ndritshme dhe informacione në aplikacionet informative dhe shenjat rrugore, e të ngjashme.**

Me zhvillimin e materialeve të reja rritet edhe efikasiteti i diodave LED dhe se ato janë bërë burim i vërtetë i dritës i cili zëvendëson llambat elektrik standarde. Fuqia e diodave me efikasitet të madh arrin vlerën deri në SW me 18-20 lm / W, e cila është më e madhe se vlera që e jep llamba standarde me spiralë ngrohëse prej 60 deri 100W.

1.6.2.5. Dioda PIN

Diodat **PIN** janë të përbëra nga tre zona gjysmëpërçuese. Mes zonave të llojit P dhe N gjendet zonë me gjysmëpërçues të pastër (I). Gjatë polarizimit të drejtë, përçueshmëria e zonës I ndryshon me intensitetin e rrymës. Rezistenca e zonës I është e madhe për vlera të vogla të rrymës së vazhduar, kurse e vogël për të mëdha. Ky tipar i diodës PIN, formimi i rezistencës e cila mund të ndryshojë me ndihmën e rrymës së vazhduar, gjegjësisht tensionit, bën që dioda PIN të përdoret si një element komutues, si një modulator ose si një rezistencë e ndryshueshme në qarqet elektrike me kontroll automatik të përforsimit.

Struktura dhe simboli elektrik i diodës PIN janë dhënë në **figurën 1.34**.

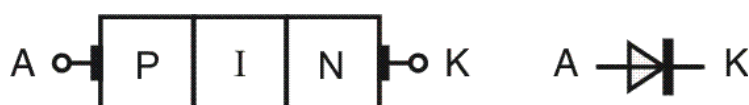


Figura 1.34: Struktura dhe simboli elektrik i diodës PIN.

1.6.2.6. Dioda tunel

Diodat tunel prodhohen nga germaniumi me një përqendrim të madh të papastërtive-primësive. Gjerësia e zonës së barrierës në kalimin PN në diodën tunel është proporcionalisht e kundërt me përqendrimin e bartësve të lirë, kështu që diodat tunel, për shkak të përqindjes së rritur të primësive, kanë një gjerësi shumë të vogël të zonës. Në **figurën 1.35** janë dhënë karakteristika rrymë-tension e diodës tunel dhe simbol elektrik i saj. Pjesa e karakteristike nga pika A në pikën B është quhet „zona e përçueshmërisë negative”, sepse me rritjen e tensionit në skajet e diodës

zvolet rryma nëpër të. Diodat tunel përdoren në qarqet komutuese dhe qarqet përforcuese, dhe më shpesh në oshilatorët. **Dioda tunel është diodë me shpejtësi të madhe dhe ka zbatim në përforcuesit në sferën e mikrovalëve.**

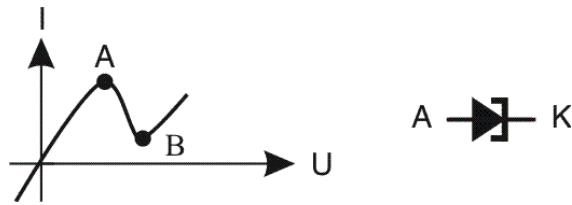


Figura 1.35: Karakteristika rrymë-tension dhe simbol elektrik i diodës tunel.

1.6.2.7. Dioda varikap

Varikap diodat kapacitive janë diodat gjysmëpërçuese kapaciteti i të cilave ndryshon me ndryshimin e tensionit të lidhur në skajet e tij. Varësia e kapacitetit nga tensioni i lidhur dhe simboli elektrik i diodës varikap janë dhënë në **figurën 1.36**.

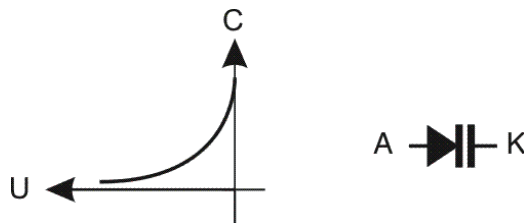


Figura 1.36: Varësia e kapacitetit nga tensioni i lidhur dhe simboli elektrik i varikap diodës.

Diodat kapacitive përdoren në qarqet e oshilatorëve në radio dhe pajisjet televizive në fushën e frekuencave të larta, në qarqet për rregullimin automatik të frekuencës, si kondensatorë të ndryshueshëm me rregullim elektrik. Në fushën e mikrovalëve aplikohet një lloj i veçantë i diodës varikap, e ashtuquajtura dioda varaktor, e cila shërben për shumimin e frekuencave.

1.6.2.8. Dioda GUN

Dioda GUN është një diodë e cila përmban gjysmëpërçues të llojit N. Ajo ka tri zona, nga të cilat, dy me densitet të lartë të primesave në skaje, dhe një me densitet të vogël të primesave e cila ndodhet mes tyre. Dioda GUN ka rezistencë negative dhe përdoret në oshilator në brezin e frekuencave prej 10GHz.

MBAJ MEND!!!

- * Dioda pikë ndërtohet nga germaniumi, tensioni i diodës së polarizuar drejtë është 0,3V, kapaciteti vetjak i saj është më i vogël se 1pF, përdoret në qarqe për frekuenca të larta.
- * Dioda drejtuese është diodë me kalim sipërfaqësor, mund të përballojë rryma me intensitet të madh dhe tension të kundërt relativisht të lartë, përdoret në qarqet drejtuese dhe ndërprerës.
- * Dioda zener punon në fushën e shpimit me tensione inverse, përdoret për stabilizimin e tensionit.
- * Dioda impulsive ka kalim të shpejtë nga gjendja e jopërçueshmërisë në gjendjen e përçueshmërisë, përdoret për qarqe impulsive dhe logjike.
- * Dioda LED ose e dritës jep dritë nën ndikimin e burimit të jashtëm të furnizimit, punon me polarizim direkt.
- *

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çfarë lloje të diodave gjysmëpërçuese dallojmë sipas konstruksionit?
 2. Shpjegoje prodhimin e diodës me kalim pikë?
 3. Ku gjejnë zbatim diodat me kalim pikë?
 4. Ku gjejnë zbatim diodat drejtuese?
 5. Cilat kufizime i kanë diodat drejtuese?
 6. Si ndahen diodat drejtuese?
 7. Shpjego veprimet stabilizuese të diodës zener përmes karakteristikës statike!
 8. Vizato paraqitjen skematike të diodës zener!
 9. Për çfarë tensioni të stabilizimit prodhohen diodat zener?
 10. Cilat janë parametrat bazë për zgjedhjen e diodës zener?
 11. Ku gjejnë zbatim diodat impulsive?
 12. Vizato shënimin skematik të diodës LED, PIN, varikap dhe tunel.
 13. Ku gjejnë zbatim diodat LED, GUN, PIN, OLED, varikap, tunel dhe dioda laser?
-

VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim

(Rretho përgjigjet e sakta)

1. Komponente aktive janë:
 - a) rezistencat
 - b) diodat
 - c) tiristorët
 - d) kondensatorët

2. Në qarqe analoge bëjnë pjesë:
 - a) memoriet
 - b) mikroprocesorët
 - c) oshilatorët
 - d) përforcuesit
 - e) filtrat.

3. Materialet me numër të madh të elektroneve të lira janë:
 - a) gjysmëpërçues
 - b) përçues
 - c) izolues

4. Gjysmëpërçues i llojit P fitohet duke futur:
 - a) atome tre valente
 - b) atome katër valente
 - c) atome pesë valente

Në rrjetën kristalore të germaniumit ose silicit.

5. Kur poli pozitiv i burimit lidhet me zonën N të kalimit PN, atëherë ai:
 - a) është me polarizim të drejtë
 - b) nuk është i polarizuar
 - c) është me polarizim të kundërt
-

II Pyetje me lidhshmëri

6. Lidh simbolet skematike me diodat përkatëse:



a)



b)



c)



d)



e)

1. Dioda zener _____
2. Dioda drejtuese _____
3. Dioda LED _____
4. Dioda varikap _____.

7. Lidh grupin e materialeve me rezistencën e tyre specifike:

- | | |
|--------------------|--|
| 1. Gjysmëpërçuesit | a) nga 10^{-6} deri në 10^{-5} Ωcm _____ |
| 2. Izoluesit | b) nga 10^6 deri në 10^8 Ωcm _____ |
| 3. Përçuesit | c) nga 10^{-3} deri në 10^7 Ωcm _____ |

8. Lidh llojin e gjysmëpërçuesit me bartësit kryesorë:

- | | |
|------------|---------------------|
| 1. Lloji P | a) elektronet _____ |
| 2. Lloji N | b) vrimat _____ |

9. Lidh veprimin e diodës ideale me polarizimin:

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| 1. Çelës i mbyllur | a) polarizim të drejtë _____ |
| 2. Çelës i hapur | b) polarizim të kundërt _____ |

10. Lidh diodën me zbatimin e saj:

- | | |
|---|----------------------|
| 1. Qark për rregullimin automatik të frekuencës | a) dioda tunel _____ |
| 2. Oshilatorë | b) varikap _____ |
| 3. Modulatorë | c) dioda zener _____ |
| 4. Stabilizator të tensionit | d) dioda PIN _____ |

III Pyetje me plotësim

11. Në temperaturë të zeros absolute ($-273^{\circ}\text{C}=0\text{K}$) gjysmëpërçuesi sillet si

_____.

12. Duke futur atome pesë valente në rrjetën kristalore të germaniumit dhe silic fitohet gjysmëpërçues i llojit _____.

13. Gjysmëpërçues i llojit N fitohet duke futur atome _____valente në rrjetën kristalore të germaniumit apo silicit.

14. Nëse lidhet poli pozitiv i burimit me bashkimin e zonës P të kalimit PN, kurse poli negativ me bashkimin e zonës N të kalimit PN, atëherë kalimi PN do të jetë me polaritet _____.

15. Karakteristika rrymë-tension e diodës paraqet varësi të _____ të diodës nga _____, për vlerë të caktuar konstante të _____.



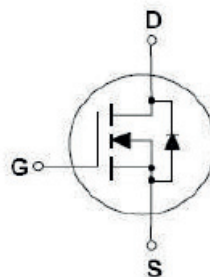
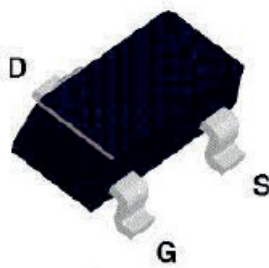
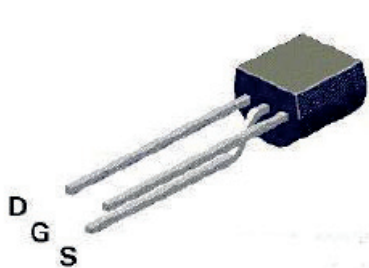
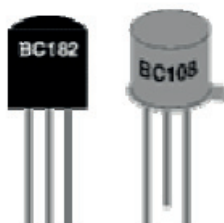
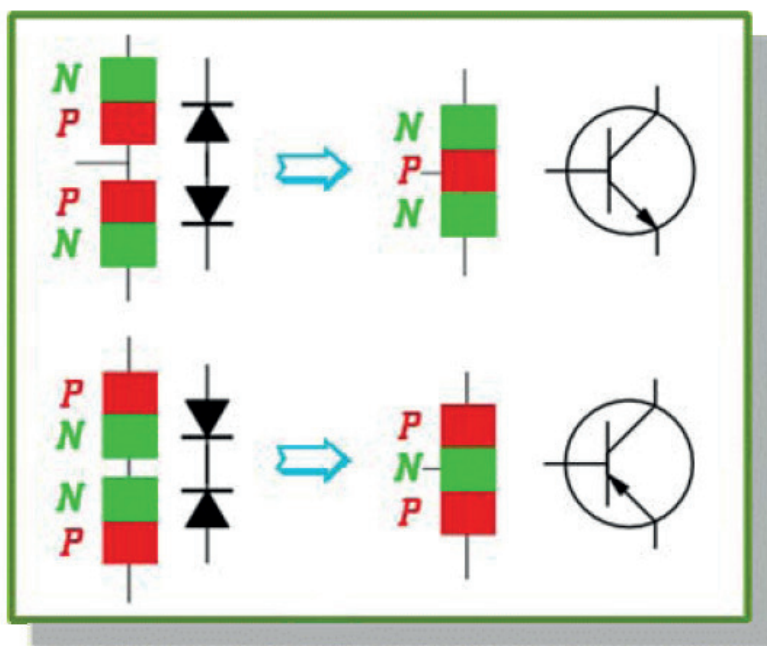
Hulumto dhe mëso më tepër:

- Përpiqu të zbulosh në cilat pajisje shtëpiake tuaja gjejnë zbatim diodat.
 - Hulumto në internet për llojet dhe zbatimin më të gjerë të diodave nga ajo që është paraqitur në tekst dhe në bazë të hulumtimit përpuno projekt.
 - Në orët e mësimit praktik vëzhgo veprimin drejtues të diodës drejtuese gjysmëpërçuese me ndihmën e oshiloskopit.

TRANSISTORËT

Duke studiuar përmbajtjen e kësaj teme, do të fitosh njohuri për transistorët dhe do të mund:

- të interpretosh krijimin fizik të transistorit me ndihmën e kalimit PN;
 - të dallosh llojet e transistorëve;
 - të shpjegosh mënyrën e polarizimit tek transistorët;
 - të kuptosh ndryshim në polarizim dhe mënyrën e punës mes transistorëve PNP dhe NPN;
 - të shpjegosh paraqitjen grafike të karakteristikave statike të transistorit;
 - të shpjegosh rëndësinë e koeficientit të përforcimit të rrymës të transistorit;
 - të prezantosh transistorin përmes qarkut ekuivalent me parametra h;
 - të shpjegosh rolin e transistorit si element amplifikues- përforcues;
 - të llogarisësh përforcimin;
 - të kuptosh ndryshim e sjelljes së transistorit në frekuenca të larta dhe të ulëta;
 - të shpjegosh rolin e transistorit si një element komutues-ndërprerës;
 - të krahasosh regjimet e ndryshme të punës tek transistori kur ai punon në regjimin komutues;
 - të shpjegosh parimin e funksionimit të FET-it;
 - të krahasosh mënyrën e punës së transistorit bipolar dhe FET-it;
 - të shpjegosh parimin e funksionimit të MOSFET-it;
 - të kuptosh dallimin mes FET-it dhe MOSFET-it;
 - të analizosh FET-in dhe MOSFET-in në regjimin statik të punës;
 - të prezantosh FET-in dhe MOSFET-in me qark ekuivalente për regjimin linear të punës (me μ dhe g_m);
 - të shpjegosh rolin e FET-it dhe MOSFET-it si elemente amplifikuese;
 - të shpjegosh rolin e MOSFET-it si një element komutues- ndërprerës;
 - të njohësh zbatimin e transistorëve.
-



Elementi gjysmëpërçues me dy kalime PN dhe tre elektroda paraqet transistor. Emri transistor rrjedh nga fjalët angleze TRANSfer resISTOR, që do të rezistencë bartëse, ose më saktë, rezistencë që mundet të menaxhohet.

Transistorët mund të ndahen në dy grupe kryesore: transistorë bipolar dhe transistorë me efekt fushe (FET - Field Effect Tranzitor). Të dy grupet janë me konstruksion të ngjashëm duke përdorur kalim PN, por me parim pune të ndryshëm. Në transistorëve bipolar, në rrymën totale që rrjedh përmes transistorit, marrin pjesë dy lloje të bartësve të ngarkesës- kryesor dhe sekondar, për dallim nga transistorët me efekt fushe, tek të cilët rryma formohet vetëm nga njëri lloj i bartësve të ngarkesës. Në analizimin e efekteve në brendësi të gjysmëpërçuesve, do të përdoret kahja elektronike e rrymës. Sipas regjimit të punës, transistorët e të dy grupeve mund të ndahet në përforcues-amplifikator dhe komutator-çelësa.

2. Transistorët

Struktura e tranzitorit bipolar është e përbërë nga dy dioda PN me kalim sipërfaqësor, të vendosura në procesin e prodhimit shumë afër me njëra tjetrën, kështu që e ndajnë zonën e njëjtë. Sipas kësaj, **transistori bipolar përfaqëson bashkim të dy gjysmëpërçuesve të llojit të njëjtë, mes të cilëve është futur gjysmëpërçues i llojit tjetër**. Një shpërndarje e tillë është e mundur në dy variante të shënuar me NPN dhe PNP.

2.1. Transistori NPN

Transistori NPN është i përbërë nga dy kalime PN, që preken me zonën P. Struktura e tij dhe shenja skematike janë dhënë në figurën 2.1.

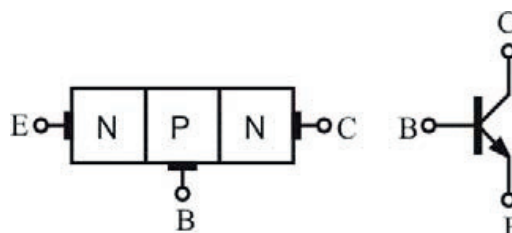


Figura 2.1: Struktura dhe shenja skematike e transistorit NPN.

Zona e mesme e transistorit quhet **bazë (B)** dhe në ndërtimin e transistorëve kërkohet të jetë sa më e hollë. Gjerësia e saj, për disa lloje të transistorëve, mund të ketë vlerë rreth $50 \mu\text{m}$ (për krahasim, trashësia e kalimit është $1 \mu\text{m}$). Njëri skaj i zonës N quhet **emiter (E)** dhe ka detyrë themelore të emetoj bartës të ngarkesës- elektrone, të cilat barten nëpërmjet bazës (B) dhe mbledhen në anën e kundërt të transistorit, të quajtur **kolektor (C)**. Përqindja e primesave në zonën N është më e madh se ai i zonës P.

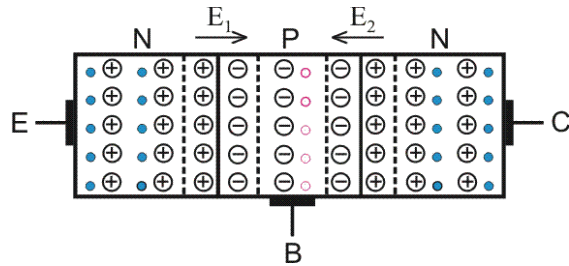


Figura 2.2: Paraqitja grafike e transistorit NPN.

Për të kuptuar më mirë proceset do të shërbehemi me paraqitjen grafike të transistorit NPN, të dhënë në **figurën 2.2**. Nga figura shihet se në procesin përfundimtar të formimit të kristalit të vetëm, krijohen dy barriera potenciale dhe dy zona të pengimit në fushat e brendshme E_1 dhe E_2 në drejtime të kundërta. Njëra është në kalimin emiter bazë, e cila quhet emetuese, kurse tjetra në kalimin mes bazës dhe kolektorit dhe quhet e kolektorit. Mënyrën e formimit të barrierave është e ngjashme me atë tashmë të përshkruar në kapitullin 1.4 për gjysmëpërçuesit dhe për diodat.

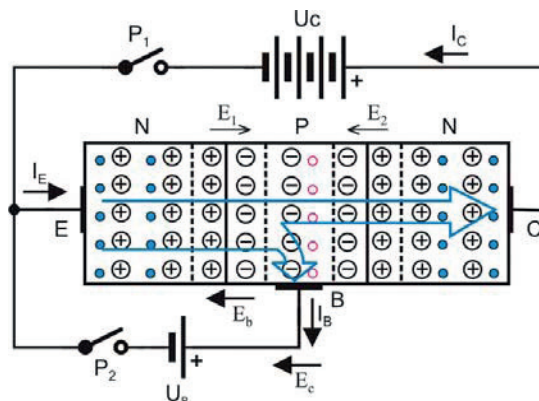


Figura 2.3: Polarizimi i transistorit NPN.

Për polarizimin e lidhjeve janë të nevojshme dy burime të vazhduara (**figura 2.3**). Burimi U_B është e lidhur në mes të bazës dhe emiterit, dhe burimi U_C në mes të kolektorit dhe emiterit.

Kur ndërprerësi P_1 është mbyllur, kurse P_2 i hapur, burimi U_C formon fushë të jashtme E_C , e orientuar nga kolektori drejt emiterit. Drejtimi i saj përputhet me drejtimin e fushës së brendshme E_2 , dhe efekti i tij është për të rritur veprimin e fushës E_2 , zgjerohet zona e barrierës në kalimin e kolektorit dhe rryma I_C nuk mund të rrjedhë.

Situata ndryshon në mënyrë drastike duke e mbyllur ndërprerësin P_2 . Burimi U_B krijon fushë të jashtme E_b në mes të bazës dhe emiterit, e orientuar nga baza drejt emiterit. Për vlera të madhe të mjaftueshme të tensionit të burimit, fusha e jashtme E_b i kundërvihet fushës së brendshme E_1 dhe e bën kalimin e emiterin me polarizim të drejtë. Elektronet e lira në një numër të madh lëvizin nga zona e emiterit përmes kalimit të emiterit dhe futen në zonën e bazës. Por, pasi që zona e bazës është shumë e vogël dhe ka numër të vogël të vrimave, mundësia e rikombinimit të elektroneve

dhe vrimave është shumë e vogël. Vetëm ata elektrone që rikombinohen me vrimat marrin pjesë në formimin e rrymës së bazës I_B . Numri i mbetur i elektroneve nuk mund të drejtohet për në kalimin e bazës, ata përmes rrugës së difuzionit vendosen në kufirin e zonës së pengesës mes bazës dhe kolektorit. Këtu, ata bien nën ndikimin e fushës E_C dhe E_2 , e kalojnë kalimin e kolektorit dhe kalojnë në zonën e kolektorit. Si rezultat, në qarkun emiter kolektor do të kaloj rryma I_C . Intensiteti i asaj rryme do të varet nga numri i elektroneve të lira të cilët kanë kaluar përmes kalimit të emiterit, gjegjësisht nga shkalla e polarizimit të kalimit të emiterit. Do me thënë, tek transistori NPN do të rrjedh rryma mes emiterit dhe kolektorit, vetëm nëse rrjedh rrymë në qarkun emiter baze, kurse kjo ndodh kur kolektori është me potencial më të lart se potenciali i bazës ndaj emiterit. ($U_{CE} \geq U_{BE} \geq 0.7V$).

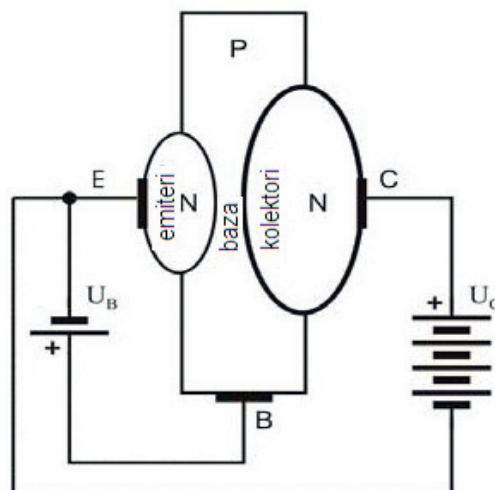


Figura 2.4: Shpërndarja fizike e zonave gjysmëpërçuese të transistorit NPN.

Nga figura e shpërndarjes reale fizike të gjysmëpërçuesve të transistorit NPN (**figura 2.4**), fitohet një pasqyrë më e qartë e procesit të formimit të rrymës së kolektorit I_C . Gjerësia e bazës midis emiterit dhe kolektorit për disa lloje të transistorëve është deri në $50 \mu\text{m}$, kurse vetë kalimi mes gjysmëpërçuesve P dhe N është rreth $1 \mu\text{m}$. Sipërfaqja e kalimeve bazë-kolektor dhe bazë-emiter nuk janë të njëjta. Sipërfaqja e kalimit të kolektorit është tre herë më e madhe se sipërfaqja e kalimit të emiterit. Kjo është e nevojshme që të mund kolektori të mbledhë të gjitha elektronet që vijnë nga emiteri.

Polariteti i burimeve U_C dhe U_B është shumë i rëndësishëm për funksionimin e transistorit. Çka do të ndodh nëse ndryshohet polariteti i njërit apo të dy burimeve? Le të ndryshojmë vetëm polaritetin e burimit U_C , çelësi P_2 të jetë i hapur, kurse të mbyllim çelësi P_1 (**figura 2.3**). Së pari, kthehet drejtimi i fushës E_C dhe ajo përputhet me drejtimin e fushës E_1 . Barriera potenciale e kalimit të emiterit rritet, zgjerohet zona e bllokimit dhe transistori bëhet i bllokuar.

Nëse e mbyllim tash edhe ndërprerësin P_2 , kalimi i emiterit tash bëhet me polarizim të drejtë dhe rrjedh rryma I_B nga emiteri drejt bazës. Por, në të njëjtën kohë rrjedh edhe rrymë e madhe nga emiteri, përmes zonës së bazës kah kolektori përmes kalimit të kolektorit në të cilin nuk ka asnjë lloj barriere potenciale. Barriera është shkatërruar nën ndikimin e fushës E_C dhe nuk ka asnjë veprim që do të kishte ndaluar kalimin e elektroneve nëpër kalimin e kolektorit, që mund të shkaktojë shkatërrimin e transistorit. Nga ana tjetër, të dy burimet, në raport me qarkun bazë kolektor janë të lidhur në seri dhe tensioni i tyre, si shumë, e polarizon drejtë kalimin e kolektorit, që kontribuon në rritjen e rrymës.

Nëse e kthejmë polaritetin edhe në burimin U_B , të dy burimet edhe më tej janë të lidhur në seri mes bazës dhe kolektorit, por tensionet e tyre zbriten. Tensioni bazë kolektor është: $U_{BC}=U_B-U_C$. Ky tension do të jetë pozitiv, d.t.th. baza do të jetë në potencial më të lartë nga kolektorit dhe kalimi do të jetë me polarizim pozitiv vetëm kur $U_B > U_C$. Në këtë rast do të vijë deri tek dëmtimi i transistorit.

Nëse e kthejmë polaritetin e burimit U_B , fusha E_b do të ndryshojë drejtimin dhe kalimi i emiterit do të jetë me polarizim të kundërt. Por, në qoftë se tensioni i burimit U_C është më i madh se tensioni i burimit U_B , fusha E_C do të eliminojë veprimin e fushës E_b dhe kalimi i emiterit do të jetë i polarizuar drejtë, çka shkakton dëmtimin e transistorit. Vetëm nëse tensioni i burimit U_B është i barabartë ose më i madh se tensioni i burimit U_C , transistori do të jetë i mbrojtur.

Rryma mund të kufizohet edhe me shtimin e rezistencave në qarkun e jashtëm.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino termin transistor.
2. Çfarë lloje të transistorëve ekzistojnë?
3. Vizato shenjën skematike të transistorit NPN.
4. Sa elektroda ka transistori dhe si quhen?
5. Si krijohet rryma gjatë polarizimit të transistorit NPN?

2.2. Transistori-PNP

Transistori PNP është i përbërë nga dy kalime PN, që takohen me zonën N. Struktura e saj dhe shenja skematike janë dhënë në **figurën 2.5**.

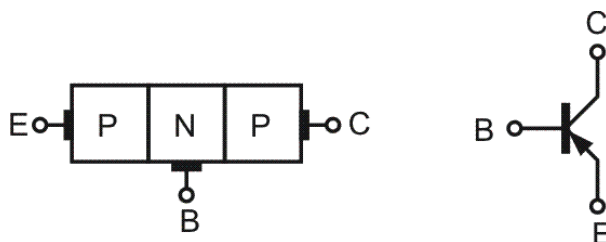


Figura 2.5: Struktura dhe shenja skematike e transistorit PNP.

I gjithë ndërtimi i tij është i njëjtë me ndërtimin e transistorit NPN, me atë dallim që gjysmëpërçuesit P dhe N i ndërrojnë vendet. Këtu, emiteri dhe kolektori janë të llojit P, kurse baza e llojit N. Kalimet PN janë të vendosur në atë mënyrë që tash fushat e brendshme E_1 dhe E_2 janë orientuara njëra kundrejt tjetrës dhe me drejtim të kundërt nga ajo e transistorit NPN. Përqindja e primesave është më e lartë në zonën P nga ai në zonën N, që do të thotë se këtu rrymë kryesore është rryma e vrimave.

Për sqarimin e proceseve që ndodhin në transistorin PNP do të shërbehemi me skemën, e dhënë në **figurën 2.6**. Vërehet se burimet U_C dhe U_B janë të vendosur në të kundërt në lidhje me skemën e ngjashme në figurën 2.3.

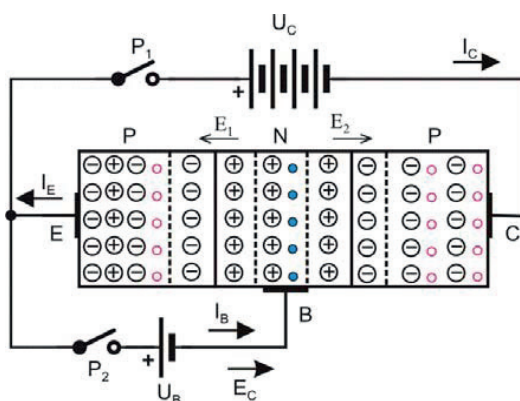


Figura 2.6: Paraqitja grafike e transistorit PNP.

Me mbylljen e ndërprerësit P_1 , në brendësi të transistorit formohet fushë E_C me veprimin e burimit U_C . Kjo fushë është e drejtuar nga emiteri drejt kolektorit dhe e ndihmon veprimin e fushës E_2 , me çka rritet barriera potenciale dhe zgjerohet zona e pengimit në mes të bazës dhe kolektorit dhe transistori mbetet i bllokuar.

Me mbylljen e ndërprerësit P_2 , kalimi i emiterit polarizohet drejtë. Kalimi i barrierës i kalimit të emiterit ngushtohet dhe eliminohet, numër i madh i vrimave futen në zonën e bazës. Përmes rrugës së difuzionit lëvizin drejt skajit të zonës së barrierës të kalimit të kolektorit, ku bien nën ndikimin e fushës rezultante E_C dhe E_2 , e kalojnë zonën e barrierës dhe drejtohen kah kolektori dhe lidhja e tij metalike, ku tërheqin elektrone nga burimi U_C përmes përçuesit që është i lidhur me kolektorin. Kjo analizë e shpejtë përkujton vetëm se kemi të bëjmë me procesin e njëjtë i cili tashmë është analizuar në transistorin NPN.

Të njëjtat rreziqe të shkatërrimit të transistorit ekzistojnë edhe tek transistori PNP në qoftë se ndodh ndryshimi i polarizimit të burimeve të furnizimit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Vizato shenjën skematike të transistorit PNP..
2. Çfarë drejtimi kanë fushat e brendshme E_1 dhe E_2 në transistorin PNP në krahasim me transistorin NPN?
3. Cili kalim quhet emiter e cili kolektor?
4. Në çfarë polarizimi mund të vijnë deri në shkatërrimin e transistorit?

2.3. Rryma e kundërt-inverse

Le të kthehemi tani në figurën 2.3 dhe në gjendjen kur është i mbyllur vetëm ndërprerësi P_1 . Në transistor nuk rrjedh rrymë, përfundimi deri tek i cili vijmë duke ndjekur lëvizjen e bartësve kryesor të ngarkesës- elektronet. Nëse merret parasysh edhe ekzistenca e bartësve dytësor të ngarkesës, gjendja do të ndryshojë.

Vrimat, bartësit dytësor në zonën e kolektorit, nën ndikimin e fushës E_C lëvizin drejt zonës së bazës, lehtë kalojnë përmes kalimit të kolektorit dhe futen në zonën shumë të ngushtë të bazës. Duke pasur parasysh dallimin në gjerësinë e zonës dhe bazës, numri i vrimave të ardhura në zonën e bazës është shumë më i madh nga numri i elektroneve-bartës dytësor të krijuar në zonën e bazës. Numër i vogël i vrimave rikombinohen me elektronet e bazës. Pjesa tjetër më e madhe e vrimave të mbetura, akoma nën ndikimin e fushës E_C , kalojnë dhe përmes kalimit të emiterit, duke mposhtur barrierën potenciale të kalimit dhe shkojnë drejt lidhjes metalike të emiterit, ku tërheqin elektrone nga burimi i furnizimit përmes përçuesit që është i lidhur burimi me emiterin. Në këtë mënyrë formohet rryma inverse-kundërt e cila rrjedh nga kolektori drejt emiterit. Këtë rrymë do ta shënojmë me I_{CE0} si rrymë e kundërt nga kolektori drejt emiterit me qark të hapur të bazës. Intensiteti i kësaj rryme varet nga numri i lidhjeve valente të shkëputura, çka do të thotë nga temperatura e transistorit.

E njëjta ndodh edhe në transistorin PNP, vetëm se rryma I_{CE0} në të vjen nga elektronet si bartës dytësor të ngarkesës në zonën P të kolektorit. Ajo ka drejtim të kundërt nga ajo e transistorit NPN edhe atë nga emiteri drejt kolektorit.

MBAJ MEND !!!

- * Transistori bipolar është element elektronik i kontrolluar përmes rrymës me tre dalje: kolektor, bazë dhe emiter, në të cilin rryma kalon përmes dy kalimeve PN.
- * Sipas renditjes së kalimeve, transistori mund të jetë i llojit NPN ose PNP.
- * Transistori NPN është i përbërë nga dy gjysmëpërçues N me gjysmëpërçues P të ngulitur mes tyre. Bartës kryesor të ngarkesës elektrike janë elektronet.
- * Transistori PNP është i përbërë nga dy gjysmëpërçues P me gjysmëpërçues N të ngulitur mes tyre. Bartës kryesor të ngarkesës janë vrimat.
- * Në qarkun e kolektorit të transistorit rrjedh rrymë vetëm nëse rrjedh edhe rryma e bazës.
- * Rryma inverse- e kundërt e transistorit është rryma e bartësve dytësor të ngarkesës, ajo rrjedh nga kolektori drejt emiterit tek transistori NPN dhe nga emiteri drejt kolektorit për transistorin PNP, gjatë qarkut të hapur të bazës.
- * Me polarizimin e transistorit NPN, kolektori është me potencial më të lartë nga baza kurse baza nga emiteri.
- * Me polarizimin e transistorit PNP, emiteri është me potencial më të lartë nga baza kurse baza nga kolektori.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilët bartës e krijojnë rrymën në transistorin NPN?
2. Cilët bartës e krijojnë rrymën në transistorin PNP?
3. Si krijohet rryma I_{CE0} në transistor?
4. Nga çka varet intensiteti i rrymës I_{CE0} ?

2.4. Karakteristika të transistorit

Tek transistori ekzistojnë dy regjime pune: statik dhe dinamik. Regjim statik të punës kemi kur në qarkun e transistorit ekzistojnë vetëm tensione dhe rryma të vazhduara me të cilat polarizohet transistori. Transistori polarizohet ashtu që kalimi i emiterit do të jetë me polarizim të drejtë, kurse kolektori me të kundërt. Në regjimin dinamik të punës, përkrah tensionit dhe rrymës së vazhduar, kemi edhe tension dhe rrymë të sinjalit alternativ, i cili duhet të përforcohet.

2.4.1. Regjimi statik i punës

Qarku i transistorit në regjimin statik të punës është paraqitur në **figurën 2.7**. Për analizë e përdorim qarkun me transistor NPN, i cili vlen edhe për qarkun me transistor PNP, vetëm me

drejtime të kundërta të rrymave dhe tensioneve. Në qarkun e kolektorit dhe bazës janë vendosur rezistencat R_B , me të cilën përcaktohet rryma e bazës dhe rezistenca R_C , me të cilën përcaktohet rryma e kolektorit.

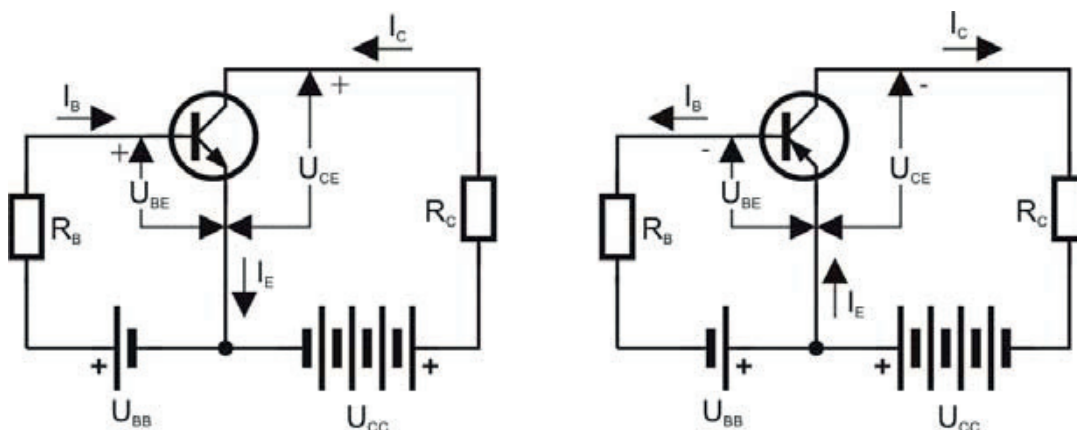


Figura 2.7: Qarku i transistorit në regjimin statik të punës.

Në analizë do të përdorim emërtimet e mëposhtme:

U_{CE} –tensioni kolektor-emiter

U_{BE} – tensioni bazë-emiter

U_{CC} - tensioni i burimit të ushqimit të kolektorit

U_{BB} – tensioni i burimit të ushqimit të bazës

I_C – rryma e kolektorit

I_B – rryma e bazës

I_E – rryma e emiterit

Në analizën e parimit të punës së transistorëve është përdorur metoda e drejtimi elektronik të rrymave. Në llogaritjet, megjithatë, është e zakonshme të përdoret metoda e drejtimit teknik, me çka do të thotë vetëm ndryshohen shenjat e rrymave në raport me ato të drejtimit elektronik.

2.4.2. Karakteristikat statike

Nga të lartë përmendurat, katër madhësi janë me varësi reciproke të shprehura qartë. Këto janë: rryma e bazës I_B dhe tensioni bazë – emiter U_{BE} , si madhësi hyrëse, dhe rryma e kolektorit I_C dhe tensioni kolektor – emiter U_{CE} , si madhësi dalëse. Varësitë e tyre mund të paraqiten grafikisht përmes karakteristikave statike të transistorit. Numri i këtyre karakteristika është mjaft i madh, por nuk ka nevojë për të gjitha për llogaritjen e qarkut të transistorit me metodë grafike.

Karakteristikat e plota i jep prodhuesi i transistorit, ose fitohen me qark të thjesht për matje.

Një qark i tillë është paraqitur në **figurën 2.8**.

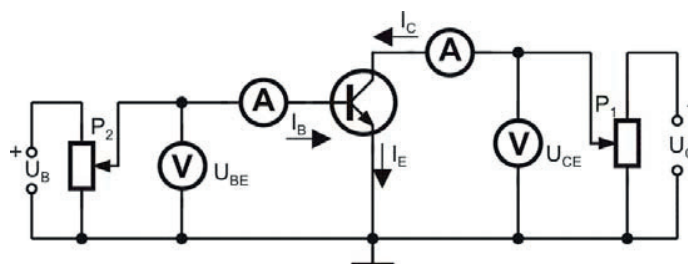


Figura 2.8: Qarku për matje e karakteristikave statike të transistorit NPN në lidhje me emiter të përbashkët.

Në **figurën 2.9** tregohen karakteristikat e ndryshimit të rrymës së kolektorit në raport me ndryshimin e tensionit U_{CE} për vlera të ndryshme të rrymës së bazës I_B , në bazë të funksionit:

$$I_C = f(U_{CE}) \text{ për } I_B = \text{const.} \dots\dots\dots(2.1)$$

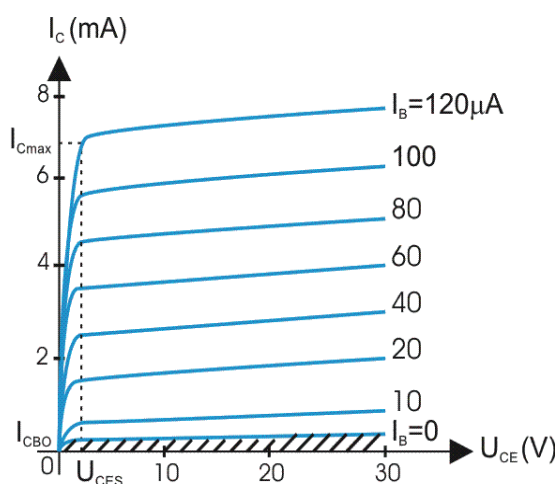


Figura 2.9: Karakteristika dalëse

Kjo karakteristikë quhet dalëse dhe mund të fitohet me qarkun nga **figura 2.8**. Tensioni U_{CE} matet me voltmetër, të lidhur në mes të kolektorit dhe emiterit, kurse rryma e kolektorit I_C me miliampermetër, të lidhur në seri me qarkun e kolektorit. Duhet të matet edhe rryma e bazës I_B me miliampermetër, të lidhur në seri në qarkun e bazës.

Karakteristika e parë matet ashtu që me potenciometrin P_2 rregullohet rryma I_B të jetë 0, kurse me potenciometrin P_1 ndryshohet tensioni U_{CE} me hapa nga 1V, duke filluar nga 0 deri në 10V dhe për çdo hap shënohet vlera e rrymës I_C , gjatë së

cilët kujdesemi që rryma I_B të mos ndryshohet.

Rezultatet e fituara vendosen në sistemin koordinativ $I_C - U_{CE}$ dhe me bashkimin e pikave fitohet lakorja $I_C=f(U_{CE})$ për $I_B=0$.

Pastaj vjen regjistrimi i lakores tjetër, ashtu që me P_2 rregullohet të fitohet rrymë I_B prej 10mA, kurse e gjithë procedura përsëritet si më parë. Me ndryshim të mëtejshëm të rrymës I_B në vlerat 20, 40, 60, 80, 100,120 dhe 140 μA fitohen të gjitha lakoret tjera të diagramit.

Karakteristika:

$$I_C=f(I_B) \text{ për } U_{CE}=\text{const.} \dots\dots\dots(2.2)$$

i jep ndryshimet e rrymës së kolektorit I_C në varësi të ndryshimeve të rrymës së bazës I_B për vlera të ndryshme të tensionit U_{CE} . Ajo është dhënë në figurën 2.10 dhe quhet karakteristikë kalimtare. Kjo karakteristikë përcakton se si ndryshon rryma dalëse me ndryshimin e rrymës së hyrjes, kurse kjo do të thotë se si është ndikimi i hyrjes në daljen.

Matja edhe e këtyre karakteristikave mund të bëhet me qarkun matës të njëjtë nga figura 2.8. Tensioni U_{CE} përshtatet me potenciometrin P_1 në një vlerë, për shembull 1V, pastaj me P_2 ndryshohet rryma e bazës me hapa nga $20 \mu A$ dhe në miliampermetër lexohen vlerat e rrymës së kolektorit. Gjatë kësaj, merret parasysh që vlera e tensionit U_{CE} të mos ndryshohet.

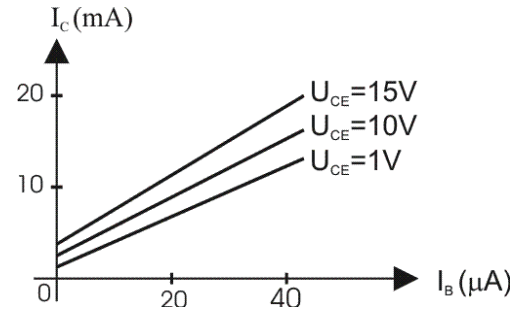


Figura 2.10: Karakteristika kalimtare.

Në qoftë se ndryshohet, bëhen korigjime të atij tensioni me P_1 , dhe pastaj bëhet leximi i vlerave të rrymës I_C . Matja e ardhshme është me vlerë më të madhe të U_{CE} , si, për shembull, 10V, tjetra 15V, etj. Me futjen e rezultateve, fitohen karakteristikat si në **figurën 2.10**.

Karakteristika:

$I_B = f(U_{BE})$ për $U_{CE} = \text{const.}$ (2,3)

përfaqëson ndryshimin e rrymës së bazës I_B në raport me ndryshimin e tensionit bazë – emiter U_{BE} për vlera të ndryshme të tensionit kolektor- bazë U_{CE} dhe është e njohur si karakteristikë hyrëse.

Matja është bërë në qarkun në figurën 2.8, në të cilin tensioni bazë – emiter rregullohet me potenciometrin P_2 , kurse tensioni U_{CE} me potenciometrin P_1 . Me ndryshimin e tensionit U_{BE} ndryshon rryma, me çka duhet të kujdesemi që tensioni U_{CE} të ketë vlerë të njëjtë. Matja e ardhshme bëhet me vlerë konstante më të madhe të U_{CE} etj. Nëse futen rezultatet e matura në boshtet e sistemit koordinativ $I_B - U_{BE}$, fitohet rezultat si në **figurën 2.11**.

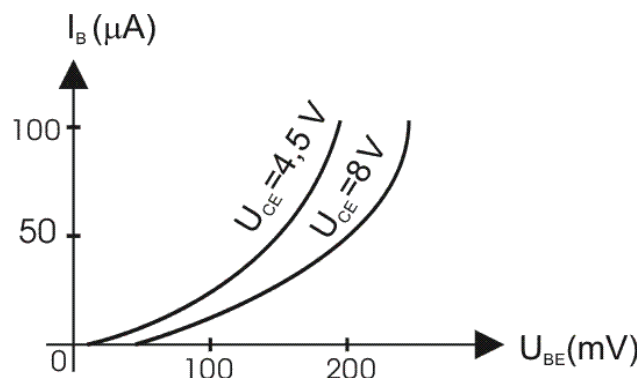


Figura 2.11: Karakteristika hyrëse.

Karakteristika e fundit me interes është karakteristikat:

$U_{BE} = f(U_{CE})$ për $I_B = \text{const.}$ (2.4)

Ajo e përfaqëson ndryshimin e tensionit bazë – emiter U_{BE} në varësi të ndryshimit të tensionit kolektor – emiter U_{CE} për vlera të ndryshme të rrymës së bazës I_B . Me të përcaktohet reagimi i

qarkut dalës ndaj qarkut hyrës të transistorit. Matja bëhet qarkun e njëjtë matës si edhe deri tani. Rezultatet e matjes e japin **figurën 2.12**.

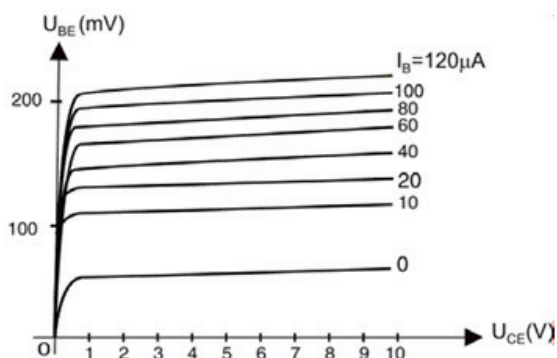


Figura 2.12: Varësia e tensionit U_{BE} nga tensioni U_{CE} .

2.4.3 Parametra të transistorit

Karakteristikat statike të transistorit japin mundësi për përcaktimin dhe studimin e parametrave statik të transistorëve. Ata quhen statik, sepse definojnë në kushtet kur ekzistojnë vetëm tensione dhe rryma të vazhduara në qarkun e transistorit.

Karakteristika dalëse $I_C = f(U_{CE})$ për $I_B = \text{const.}$, jep mundësinë e studimit të tre parametrave të rëndësishëm të transistorit:

- rezistencës dalëse,
- përforcimit të rrymës,
- drejtëzës së punës,

2.4.3.1 Rezistenca dalëse e transistorit

Pika statike e punës së transistorit është e definuar me tre madhësi: tensioni U_{CE} , rrymën I_C dhe rrymën I_B dhe ajo shtrihet në njërin nga karakteristikat. Karakteristika dalëse e transistorit jep mundësinë të përcaktohet rezistenca dalëse R_{out} në pikën e punës, siç është treguar në figurën 2.13.

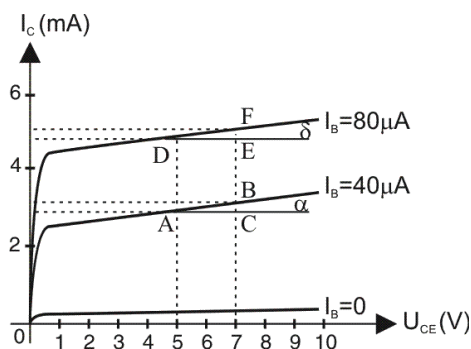


Figura 2.13: Përcaktimi i rezistencës dalëse të transistorit

Për shembull, për tensionin $U_{CE}=5V$ dhe rrymën e bazës $I_B=40\mu A$ fitohet pika e punës A, kështu që nga pika 5V në boshtin e abshisës ngrihet vertikale deri në prerjen me karakteristikën e rrymës së bazës prej $40\mu A$. Asaj pike i përgjigjet rryma e kolektorit prej 4,5mA. Nëse nga pika A tërheqim vijë horizontale, ajo me karakteristikën krijon kënd α . Ky kënd definohet përmes tangjentes së tij si:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{CB}{CA} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_C} = \frac{1}{R_{iz}} \text{ .(në pikën A).....(2.5)}$$

Tangjenta e këndit α e përcakton rezistencën dalëse R_{out} të transistorit në pikën A. Ndryshimi i tensionit të kolektorit prej 2V do të japë ndryshimin e rrymës së kolektorit prej 0,2 mA, e cila është e përcaktuar nga karakteristika. Rezistenca dalëse në këtë shembull do të jetë:

$$R_{dal}(A) = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{2}{2 \cdot 10^{-4}} = 10000\Omega .$$

Nëse rritet vlera e rrymës së bazës në $80\mu A$, për tension të njëjtë U_{CE} prej 5V, fitohet pika D. Këndi i karakteristikës me horizontalen e përcakton rezistencën dalëse të transistorit në pikën D:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{EF}{DE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_C} = \frac{1}{R_{iz}} \text{ . (në pikën D).....(2.6)}$$

Tash ndryshimi i rrymës së kolektorit ΔI_C është 0,3mA, kurse rezistenca dalëse qo të jetë:

$$R_{dal}(D) = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{2}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 6666\Omega .$$

Përkufizimi i saktë është se vlera reciproke e tangensës së këndit të tangjentes për pikë të caktuar paraqet rezistencën dalëse të transistorit në atë pikë, por për shkak të pjesës lineare të karakteristikës, ai përputhet me këndin e vetë karakteristikës. Kjo rezistencë zvogëlohet me zmadhimin e rrymës së kolektorit.

2.4.3.2. Koeficienti i përforcimit të rrymës të transistorit

Përforcimi i rrymës definohet si raport i ndryshimit të rrymës së kolektorit ΔI_C , i shkaktuar nga ndryshimi i rrymës së bazës ΔI_B , shënohet me β ose h_{FE} dhe paraqet numër të panjohur:

$$\beta = h_{FE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \text{(2.7)}$$

Kur ndryshimet në rrymën e bazës dhe kolektorit janë të njëjta, gjegjësisht kur karakteristika është lineare, shprehja për përforcimin e rrymës mund të shkruhet si:

$$\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \text{(2.8)}$$

Nëse zgjedhim një vlerë të tensionit U_{CE} në boshtin e abshisës të karakteristikës dalëse (p.sh., 5V) dhe tërheqim vijë vertikale, ajo vijë do të ketë më tepër pika prerëse me karakteristikën për vlera të ndryshme të rrymës së bazës (**figura 2.14**).

Me bartjen e këtyre pikave në horizontale në boshtin e koordinatës do të fitojmë ndryshime të rrymës së kolektorit, të shkaktuar nga ndryshimi i rrymës së bazës.

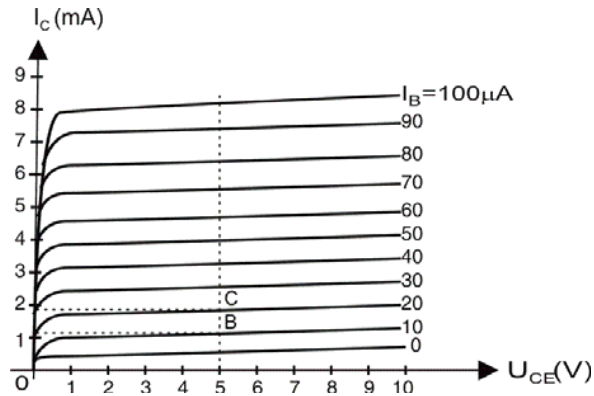


Figura 2.14: Përcaktimi i përforcimit të rrymës.

Nëse zhvendoset pika statike e punës nga pika B, në të cilën ka rrymë të bazës prej 10mA, në pikën C me rrymë të bazës prej 20mA, rryma e kolektorit do të zmadhohet nga 1200mA në 1800mA, kështu që për përforcimin e rrymës fitojmë:

$$\beta = h_{FE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{(1800 - 1200)}{20 - 10} = \frac{600}{10} = 60.$$

Ndryshimi i përforcimit të rrymës varet nga lloji i transistorëve. Për transistorëve me fuqi të ulët, distanca mes karakteristikave, për ndryshim të njëjtë të rrymës së bazës është konstante, çka do të thotë se përforcimi i tyre i rrymës nuk varet nga intensiteti i rrymës së kolektorit. Përforcimi i rrymës tek transistorët me fuqi të madhe ka vlerë më të vogël dhe bie me rritjen e rrymës së kolektorit.

2.4.3.3. Drejtëza e punës

Në praktikë, kolektori i transistorit shumë rrallë lidhet direkt me burimin e furnizimit. Në mes të kolektorit dhe burimit shpesh vendoset rezistencë R_C (si në figurën 2.7), me të cilën rregullohet vlera e tensionit U_{CE} dhe shërben si një ngarkesë e qarkut të kolektorit. Kjo rezistencë mund të përfaqësohet me një drejtëz në karakteristikat dalëse të transistorit. Pozita e drejtëzës varet nga vlera e tensionit të burimit dhe vlera e rezistencës së ngarkesës, dhe mund të përcaktohet përmes rrugës matematikore.

Për përcaktimin matematikor përdoret shprehja e drejtëzës së punës, e fituar me zbatimin e Ligjit të II të Kirkoftit për qarkun dalës të transistorit:

$$U_{CC} - R_C I_C - U_{CE} = 0 \dots\dots\dots(2.9)$$

ose në formë tjetër, si:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C \dots\dots\dots(2.10)$$

Tash duhet të përcaktojmë dy pika edhe atë si më poshtë: për $I_C = 0$, $U_{CE} = U_{CC}$ dhe për $U_{CE}=0$, $I_C=U_{CC}/R_C$, ti vendosim në sistemin e karakteristikave dalëse I_C-U_{CE} dhe ti lidhim. Kështu, për shembull, nëse janë dhënë vlerat për $U_{CC} = 10V$ dhe $R_C = 1K\Omega$, koordinatat e pikave do të jenë:

$I_C=0$, $U_{CE}=10V$, për pikën A $U_{CE}=0$, $I_C=10/1000=10mA$, , për pikën B.

Situata e fituar shihet në **figurën 2.15**. drejtëza e punës formon kënd α me boshtin e abshisës, dhe është:

$$tg\alpha = \frac{U_C}{R_C} = \frac{1}{R_C} \dots\dots\dots(2.11)$$

Pika e punës statike M e transistorit mund të gjendet vetëm në drejtëzën e punës. Me zvogëlimin e rezistencës, këndi rritet dhe fitohet vlera maksimale prej 90° , kur rezistenca e hyrjes është 0. Ashtu siç zmadhohet rezistenca, ashtu zvogëlohet edhe këndi dhe ai përputhet me boshtin e abshisës kur rezistenca është pafundësisht e madhe, gjegjësisht kur qarku i kolektorit është i hapur dhe nuk rrjedh rryma e kolektorit.

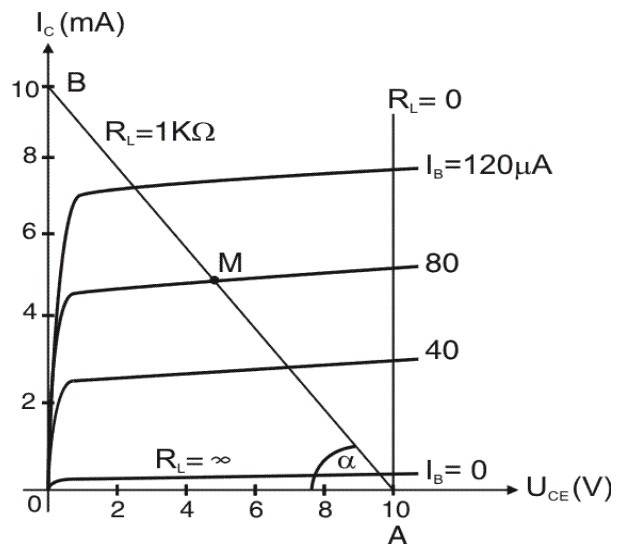


Figura 2.15: Pozita e drejtëzës së punës.

Drejtëza më e mprehtë e punës

Por, të kthehemi për një moment në figurën 2.7 dhe të analizojmë qarkun e bazës. Sipas ligjit të II të Kirkoftit mund ta shkruajmë relacionin e këtij qarku si:

$$U_{BB} - R_B I_B - U_{BE} = 0 \dots\dots\dots(2.12)$$

ose:

$$U_{BE} = U_{BB} - R_B I_B \dots\dots\dots(2.13)$$

Nga ku rrjedh:

$$I_B = \frac{(U_{BB} - U_{BE})}{R_B} \dots\dots\dots(2.14)$$

e cila paraqet ekuacionin e drejtëzës më të mprehtë të punës. Sipas këtij ekuacioni mund të vizatohet drejtëza e punës më e mprehtë në karakteristikat hyrëse të transistorit. Përcaktohen dy

pikat C për $I_B=0$, $U_{BE}=U_{BB}$ dhe D për $U_{BE}=0$, $I_B=U_{BB}/R_B$ dhe me bashkimin e tyre fitohet drejtëza e punës më e mprehtë (figura 2.16).

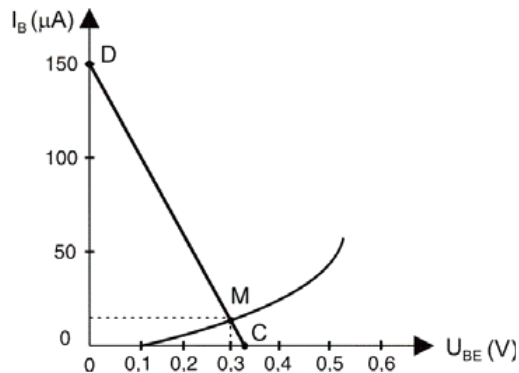


Figura 2.16: Pozita e drejtëzës së punës më të mprehtë.

Për transistorët e germaniumit, tensioni U_{BE} nuk mund të tejkalojë vlerën prej 0,34 dhe ai mund të mos merret parasysh në krahasim me vlerën e tensionit U_{BB} . Sipas kësaj, vlera e përafërt e rrymës së vazhduar të bazës I_B do të jetë:

$$I_B \approx \frac{U_{BB}}{R_B} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.4.4 Kufizimet gjatë punës së transistorit

Për funksionimin e drejtë dhe të sigurt të qarqeve elektronike me transistor duhet të merren parasysh vlerat maksimale të lejuara të tensionit, rrymës dhe fuqisë së transistorit.

Kalimi i kolektorit në mënyrën normale të punës është me polarizim të kundërt. Në tension më të lartë të kundërt ndodh efekti zener, kurse pastaj edhe efekti ortek, me çka vjen deri tek shpimi termik dhe dëmtimi i transistorit. Në figurën 2.17. janë dhënë karakteristikat dalëse të transistorit në lidhjen me emiter të përbashkët, të vazhduar deri tek zona e shpimit të kalimit të kolektorit. Në diagram tregohet se si përcaktohet tensioni maksimal i lejuar mes kolektorit dhe emiterit U_{CEmax} . Ai duhet të jetë më i ulët se tensioni i shpimit dhe gjithmonë caktohet nga prodhuesi i transistorit.

Në regjimin normal të punës, në transistor për një tension të dhënë U_{CE} rrjedh edhe rryma e caktuar e kolektorit I_C , që do të thotë se në brendësi të transistorit harxhohet energji:

$$P_{CD} = U_{CE} I_C \dots\dots\dots(2.16)$$

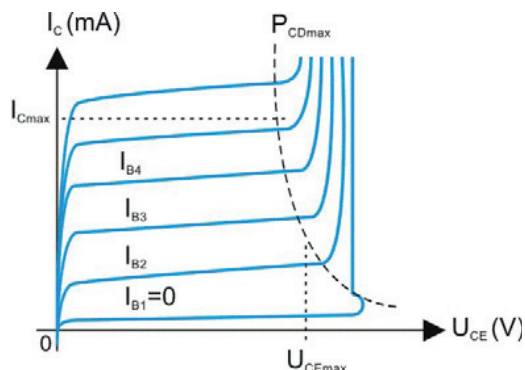


Figura 2.17: Kufizime të zonës së punës së transistorit.

Kjo është një energji nga e cila nuk ka asnjë dobi, por ajo kthehet në nxehtësi nga e cila transistori duhet të lirohet. Kjo nxehtësi krijohet në kolektor dhe quhet energji e disipacionit- shpërndarjes. Energjia maksimale e lejuar e disipacionit P_{CDmax} ka vlerë konstante dhe në fushën e karakteristikave dalëse është paraqitur si një hiperbolë. Drejtëza e punës dhe pika e punës të transistorit patjetër të vendosen në zonën nën lakoren e P_{CDmax} , në të cilën të gjitha pikat korrespondojnë me energji më të vogël se energjia maksimale e disipacionit. Në diagramin e karakteristikave të daljes janë shënuar kufijtë e regjimit të punës së transistorit me rrymë të kolektorit maksimale të lejuar I_{Cmax} , Tensioni maksimal i lejuar i kolektorit U_{CEmax} dhe disipacioni maksimal i lejuar P_{CDmax} .

Për transistorët me fuqi më të vogël, largimi i nxehtësisë bëhet përmes rrugës së rrezatimit në ambient. Transistorët me fuqi të mesme dhe të lartë kanë të ngulitur pllaka metalike në kolektor, me çka rritet rrezatimi i nxehtësisë. Në praktike në përpunimin e staveve të transistorëve me fuqi më të madhe, nxjerrja e nxehtësisë përmirësohet me montimin e transistorit në ftohës-radiator metalik me sipërfaqe më të madhe.

MBAJ MEND !!!

- * Në regjimin statik të punës, në qarkun e transistorit janë të pranishëm vetëm vlera të rrymës dhe tensionit të vazhduar.
- * Me polarizimin e transistorit, kalimi i emiterit është i polarizuar drejtë, kurse i kolektorit me polarizim të kundërt.
- * Pozita e pikës së punës përcaktohet me tensionin U_{CE} dhe rrymat I_C dhe I_B , në mënyrë që të gjendet në drejtëzën e punës.
- * Faktori i përforcimit të rrymës β ose h_{FE} tregon sa herë rryma e kolektorit është më e madhe se rryma e bazës.
- * Disipacioni-shpërndarja është energjia e cila shndërrohet në nxehtësi në transistor. Për mbrojtje nga ngrohja e tepërt, në transistor ndërtohen trupa ftohës.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino regjimin statik të punës së transistorit.
2. Cilat madhësi janë hyrëse, dhe cilat dalëse tek transistori me lidhe me emiter të përbashkët?
3. Si definohet karakteristika dalëse, hyrëse, kalimtare dhe direkte kalimtare?
4. Cilët janë parametrat më të rëndësishëm të transistorit?
5. Çka përfaqëson β .
6. Nga çka varet pozita e drejtëzës së punës së transistorit dhe si përcaktohet?
7. Pse duhet të kemi kujdes në vlerat maksimale të lejuara të tensionit, rrymës dhe fuqisë të transistorit?

2.5 Regjimi dinamik i punës

Të gjitha përpjekjet që i bëjmë, për të vendosur transistorin në regjimin statik të punës janë vetëm përgatitje që ai të mund të kryejë funksionin e përforcuesit. Me sjelljen e sinjalit të rrymës dhe tensionit alternativ në hyrje të transistorit, pika e tij e punës tashmë nuk është statike, por lëviz përgjatë drejtëzës në ritmin e sinjalit dhe transistori kalon në regjimin dinamik të punës.

Regjimi dinamik i punës nënkupton funksionimin e transistorit si një përforcues. Në regjimin dinamik, përveç rrymave dhe tensioneve të vazhduara, me të cilat polarizohet transistori dhe i përcaktohet pika statike e punës, ekziston edhe sinjal i rrymës dhe tensionit alternativ, i cili duhet të përforcohet.

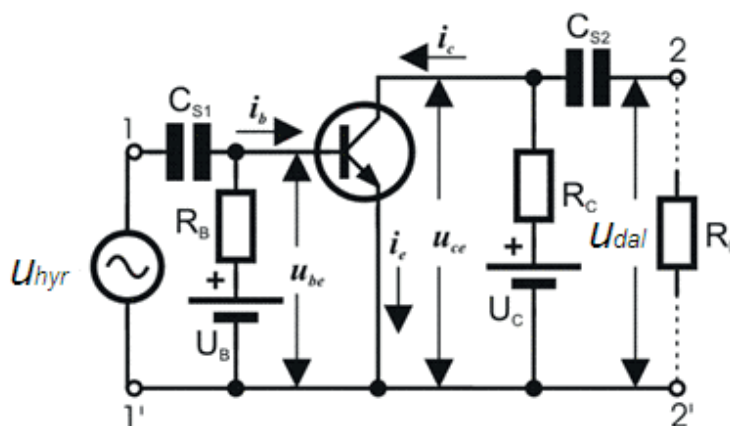


Figura 2.18: Transistori në regjimin dinamik.

Ky sinjal silllet në hyrjen e stadi përforcuese të transistorit (**figura 2.18**) dhe merret i përforcuar në daljen nga ai stad për përpunimin të mëtutjeshëm (përforcim të mëtejshëm ose për të aktivizuar pajisje të caktuar).

2.5.1. Skema ekuivalente e transistorit me parametra-h

Tranzistor është një element jolinear, por mund të bëhet modeli i tij si një element linear, si një rast i veçantë i rrjetit të përgjithshëm linear me dy porta. Porta përkufizohet si dy lidhje për hyrjen dhe dy lidhje për daljen (**figura 2.19**).

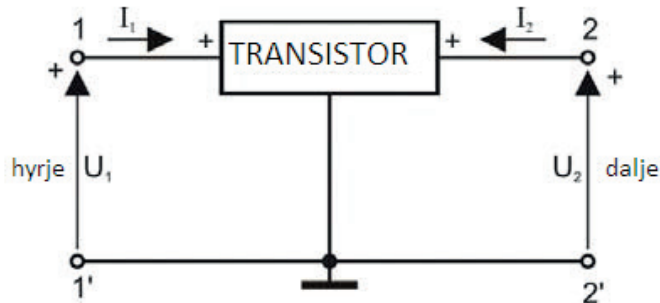


Figura 2.19: Transistori si katërpolar aktiv.

Analiza matematikore e rrjetave të tilla realizohet me parametrat - z (impedancat), me parametrat -y (admitancat) ose me parametrat-h (hibridet). Me këto dy parametra formohen nga dy ekuacione me të cilët përcaktohet marrëdhënia mes tensionit hyrës dhe rrymës hyrëse ndaj tensionit dalës dhe rrymës dalëse.

Raportet mes tensioneve dhe rrymave të hyrjes dhe daljes definoohen përmes tre sistemeve të ekuacioneve:

$$\begin{cases} u_1 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2 \\ u_2 = z_{21}i_1 + z_{22}i_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_1 = y_{11}u_1 + y_{12}u_2 \\ i_2 = y_{21}u_1 + y_{22}u_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2 \\ i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2 \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

.17)

Në sistemin e parë figurojnë parametrat z, ata sillen si impedanca sipas mënyrës së mëposhtme: z_{11} -impedanca hyrëse, z_{22} – impedanca dalëse, z_{12} dhe z_{21} – impedancat kalimtare, me çka anëtarët $z_{21}i_1$ dhe $z_{12}i_2$ përfaqësojnë burimet të tensionit të brendshëm të varur.

Në funksionin e dytë figurojnë parametrat – y, të cilët përfaqësojnë admitanca në mënyrën e mëposhtme: y_{11} - admitanca hyrëse, y_{22} - admitanca dalëse, y_{12} dhe y_{21} admitanca kalimtare, me çka anëtarët $y_{12}u_2$ dhe $y_{21}u_1$ paraqesin burime të rrymës së brendshme të varur.

Në sistemin e tretë janë parametrat – h, të cilët kanë natyrë të ndryshme. Sistemi i tretë i ekuacioneve quhet sistem i ekuacioneve hibride ose **parametra-h**.

Parametrat e njërit sistemi mund të llogariten, me manipulime të vogla algjebrike, nga vlerat e parametrave të dy sistemeve të tjera.

Për analizën e transistorit kur punon me sinjale të frekuencave të ulëta me amplituda të vogla më të përshtatshëm janë parametrat-h. Tensionet dhe rrymat alternative, në atë rast, mund të paraqiten si ndryshime të vogla të vlerave të vazhdueshme dhe sistemi i ekuacioneve me parametrat-h mund të shkruhet si:

$$\begin{cases} \Delta U_1 = h_{11}\Delta I_1 + h_{12}\Delta U_2 \\ \Delta I_2 = h_{21}\Delta I_1 + h_{22}\Delta U_2 \end{cases} \dots\dots\dots(2.18)$$

Nga lidhje të shkurtër të qarkut të daljes të transistorit në raport me rrymën alternative, ndryshimi i tensionit dalës ΔU_2 bëhet zero. Nga ekuacioni i parë i sistemit fitohet:

$$h_{11} = h_i = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ për } \Delta U_2 = 0 \dots\dots\dots(2.19)$$

Ky parametër paraqet rezistencë hyrëse të transistorit gjatë lidhjes së shkurtër të daljes.

Kur qarku hyrës është i hapur, nuk rrjedh rryma e hyrjes, kështu që kemi $\Delta I_1=0$, kurse nga ekuacioni fitohet:

$$h_{12} = h_r = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}; \text{ për } \Delta I_1 = 0 \dots\dots\dots(2.20)$$

Ky parametër paraqet koeficient të tensionit të lidhjes së kundërt për qark të hyrjes të hapur dhe ai është numër i panjohur.

Për lidhje të shkurtër të qarkut dalës, nga ekuacioni i dytë fitojmë:

$$h_{21} = h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}; \text{ për } \Delta U_2 = 0 \dots\dots\dots(2.21)$$

Ky parametër paraqet koeficientin e përforcimit të rrymës të transistorit për lidhje të shkurtër të qarkut dalës.

Për qark të hapur hyrës, nga ekuacioni i dytë fitohet:

$$h_{22} = h_o = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}; \text{ për } \Delta I_1 = 0 \dots\dots\dots(2.22)$$

Ky parametër ka dimensione të përçueshmërisë dhe paraqet përçueshmëri dalëse të transistorit me qark dalës të hapur.

Vlerat e parametrave hibrid lehtë mund të përcaktohen me matjen e rrymave dhe tensioneve të burimit të transistorit, sipas kushteve të specifikuara në përkufizimet e tyre. Në praktikë, ata maten direkt me pajisje të komanduara nga kompjuteri.

Me ndihmën e këtyre ekuacioneve formohen qarqet përkatëse ekuivalente të transistorëve me parametra-z, parametra-y dhe parametra-h, siç tregohet në **figurën 2.20**.

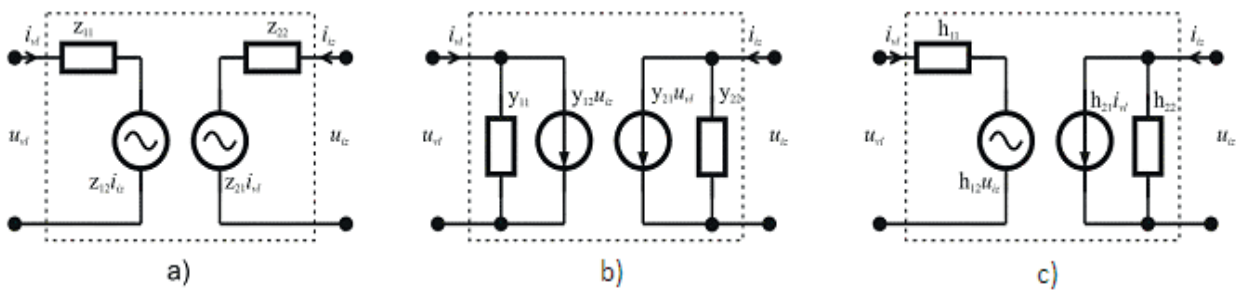


Figura 2.20: Qarku ekuivalent i transistorit.

Në rastin e përgjithshëm, të gjitha parametrat, e dhëna në ekuacione, janë vlera komplekse me pjesën reale dhe imagjinare. Nëse kufizohet regjimi i punës së transistorit në sinjale me frekuencë të ulët, pjesët imagjinare mund të mos merren parasysh dhe të ngelin vetëm pjesët reale të vlerave të parametrave. Në një situatë të tillë impedancat bëhet rezistenca, kurse admitancat vlera inverse të rezistencave, gjegjësisht përçueshmëri.

Nga ana tjetër, për regjimin e punës me sinjale të vogla nuk ka nevojë të përdoren të gjithë katër parametrat që të merret model i pranueshëm i mirë i transistorit. Tregohet që parametrat e $h_{12}=h_r$ dhe $h_{22}=h_0$ kanë vlera aq të vogla sa që mund të eliminohen. Skema ekuivalente e transistorit me parametra-h tani merr pamjen si në **figurën 2.21**.

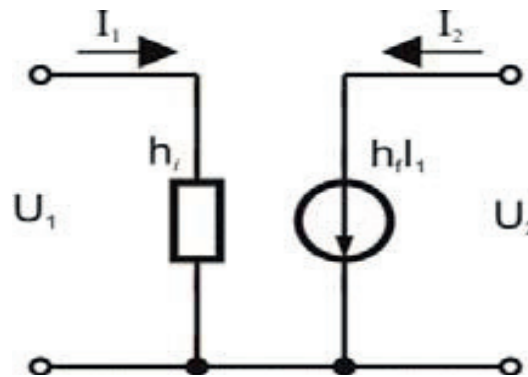


Figura 2.21: Skema e ekuivalente e transistorit me parametra-h.

Në skemën, me $h_{12}u_2$ është treguar gjeneratori i tensionit, kurse me $h_{21}i_1$ gjeneratori i rrymës. Varësisht nga lloji i lidhjes së transistorit në qark, ndryshohen edhe vlerat e parametrave-h. Që të mund të dallohen, ata në indeks bartin edhe shenja për cilën lidhje bëhet fjalë. Kështu parametrat h_{11b} , h_{12b} , h_{21b} , h_{22b} kanë të bëjnë me qarkun me bazë të përbashkët, parametrat h_{11e} , h_{12e} , h_{21e} , h_{22e} në qarkun me emiter të përbashkëta dhe parametra h_{11c} , h_{12c} , h_{21c} , h_{22c} me qarkun me kolektor të përbashkët.

Për ilustrim, në tabelën 1 janë dhënë vlerat mesatare të parametrave-h për transistorin BFY 67 për pikën e punës të përcaktuar me $U_{CE} = 5V$ dhe $I_C = 1,3 mA$.

Tabela 1

	Baza e përbashkët	Emiteri i përbashkët	Kolektori i përbashkët
$h_{11} (\Omega)$	21,6	1100	1100
h_{12}	$2,9 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	1
h_{21}	-0,980	50	50
$h_{22} (S)$	$0,49 \times 10^{-6}$	24×10^{-6}	25×10^{-6}

Nëse janë të njohur njëri lloj i parametrave, si, për shembull, parametrat-h, mund të llogariten llojet tjera të parametrave, si y dhe z. Po ashtu, me ndihmën e vlerave të parametrave për një lloj të lidhjes mund të llogariten parametrat e ndonjë lidhje tjetër.

MBAJ MEND!!!

- * Në regjimin dinamik të punës, janë të pranishëm edhe komponentë alternativë të sinjalit të tensionit dhe rrymës.
- * Transistori është një element jolinear, por për skema ekuivalente bëhet modeli i tij në formë lineare me parametra-h.
- * Parametrat-h përdoren për të analizuar qarkun e transistorit për sinjale të vogla me frekuenca të ulëta.
- * Me parametrat paraqitet rezistenca hyrëse dhe dalëse, lidhja e kundërt prej daljes kah hyrja dhe përforcimi i rrymës.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Në çfarë regjimi të punës transistori funksionon si përforcues?
2. Shkruaj sistemin me parametrat-h të transistorit dhe defino çdo parametër veç e veç.
3. Vizato skemën ekuivalente të transistorit me parametra-h.

2.6. Transistori si element përforcues

Transistori është një element elektronike aktiv me hyrje dhe dalje. Në qarkun elektrik ai sillet si katër-polar. Por pasi që ka vetëm tre përfundime, njëra prej tyre do të jetë e përbashkët për hyrjen dhe daljen. Në varësi të asaj se cili përfundim është e përbashkët për hyrjen dhe daljen, dallojmë tre lloje të lidhjeve të transistorëve (**figura 2.22**):

- transistor me lidhje me emiter të përbashkët, ku hyrja është në mes të bazës dhe emiterit, kurse dalja mes kolektorit dhe emiterit.

- transistor me lidhje me bazë të përbashkët, ku hyrja është mes emiterit dhe bazë, kurse dalja mes kolektorit dhe bazë;
- transistor me lidhje me kolektor të përbashkët, ku hyrja është në mes të bazës dhe kolektorit, kurse dalja mes emiterit dhe kolektorit.

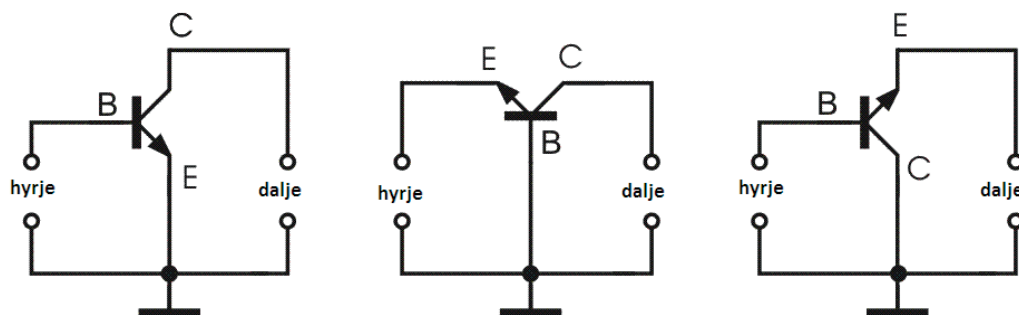


Figura 2.22: Llojet të lidhjeve të transistorit.

Lidhje me emiter të përbashkët është lidhja më e përdorur. Përfundimi i përbashkët zakonisht lidhet me tokëzimin, prandaj përdoret edhe shprehja: lidhje me emiter të tokëzuar, bazë të tokëzuar ose kolektor të tokëzuar.

2.6.1. Vetit të transistorit në frekuenca të larta

Parametrat e transistorit, të cilët në frekuenca të ulëta (deri në 1KHz) janë dhënë si numra reale, në frekuenca të larta fitojnë karakter kompleks. Qarku i transistorit si katërpolar në frekuenca të larta është dhënë në **figurën 2.23**. Elemente shtesë në raport me qarkun e figurës 2.19 janë kapacitetet mes bazës dhe emiterit C_{BE} dhe në mes të kolektorit dhe bazë C_{BC} . Kapaciteti mes kolektorit dhe emiterit është i vogël dhe zakonisht nuk merret parasysh (eliminohet).

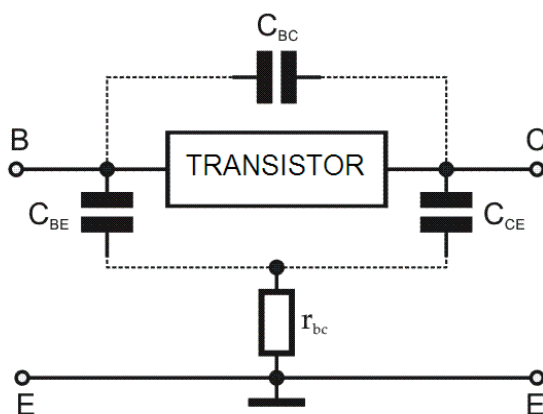


Figura 2.23: Qarku i transistorit në frekuenca të larta.

Në frekuenca të larta ulet vlera e përforcimit të rrymës, tensionit dhe fuqisë. Arsye për këtë janë kapacitetet të cilat krijohen në kalimin e bazës dhe kolektorit. Për secili lloj të transistorit jepet kufiri i frekuencës në të cilën mund të përdoret transistori.

Koeficienti i përforcimit të rrymës të transistorit, po ashtu, bie në zonën e frekuencave të larta. Rënia e vlerës së përforcimit të rrymës është më e madhe për lidhjen me emiter të përbashkët në krahasim me lidhjen me bazë të përbashkët.

MBAJ MEND!!!

- * Transistori si element përforcues mund të punoj në lidhjen me emiter të përbashkët, bazë të përbashkët dhe kolektor të përbashkët.
- * Më tepër përdoret lidhja me emiter të përbashkët.
- * Në frekuenca të larta, parametrat e transistorit bëhen madhësi komplekse.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Vizato të tre llojet e lidhjeve të transistorëve.
2. Çka ndodh me përforcimin e transistorit në frekuenca të larta?
3. Cili është ndryshimi në parametrat në frekuenca të ulëta dhe në frekuenca të larta?

2.7. Transistori si element komutues (çelës)

Duke ndjekur parimin e punës së diodës, mund të konsiderohet se ajo funksionon edhe si komutator-çelës, i hapur kur dioda është me polarizim të kundërt, kurse i mbyllur kur është e polarizuar drejtë. Kjo është për shkak të karakteristikave të kalimit PN. Megjithatë, ajo nuk mund të kryej njërin nga funksionet e domosdoshëm në qarqet digjitale, e ajo është konvertimi i sinjalit, d.t.th. ndryshim nga 0 në 1 ose nga 1 në 0.

Transistori, i cili në strukturën e vet përmban dy kalime PN, gjithashtu, mund të silllet në kushte të punës si komutator me mundësi të konvertimit të sinjalit. Transistori si një komutator gjen përdorim të gjerë në përpunimin e qarqeve digjitale të integruara, pajisje të ndryshme për automatikë dhe në qarqet e teknikës impulsive.

Transistori si komutator mund të gjendet në tre regjime të punës: regjimi i jopërçueshmërisë-bllokimit, ngopjes dhe regjimi kalimtar.

Transistori bipolar ka dy kalime PN: kalimin emiterial dhe kolektorial. Secili nga ata mund të polarizohet drejt-direkt ose invers-të kundërt. Sipas kësaj, ekzistojnë katër kushte të mundshme të

polarizimit me të cilat transistori mund të vihet nën regjimin e ngopjes, në regjimin aktiv ose në regjimin e bllokimit.

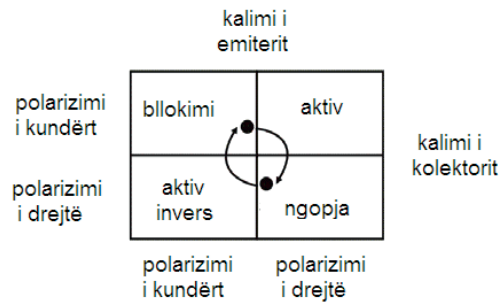


Figura 2.24: Përfaqësimi skematike e llojeve të operacionit.

Në **figurën 2.24** tregohet në mënyrë skematike definimi i regjimeve të punës. Zona e barrierës-përçueshmërisë definohet me polarizimin e kundërt të kalimit të emiterit dhe kolektorit. Në këtë rast transistori sillet si çelës i hapur. Zona aktive definohet me polarizimin e drejtë të kalimit të emiterit dhe polarizim të kundërt të kalimit të kolektorit, që përputhet me definimin e dhënë për transistorin si një përforcues. Zona e ngopjes është e përcaktuar me polarizimin e drejtë të dy kalimeve, kurse transistori sillet si çelës i mbyllur. Zona e fundit është e kundërt me zonën aktive dhe definohet me polarizimin e kundërt të kalimit emiterial dhe polarizim të drejtë të kalimit të kolektorit.

Zonat e ndërprerjes dhe ngopjes janë me rëndësi parësore për transistorin si një komutator-çelës. Kur është në gjendjen e ndërprerjes, rryma dalëse ka një intensitet shumë në vogël, kurse rezistenca mes skajeve dalëse ka një vlerë të madhe. Në gjendjen e ngopjes, rryma e daljes ka intensitet të madh, kurse rezistenca e daljes vlerë të vogël. Për të kaluar nga gjendja e ndërprerjes në gjendjen e ngopjes, transistori kalon nëpër zonën aktive. Në atë periudhë transistori është në regjimin kalimtar në të cilin parametrat e tij i ndryshojnë vlerat e tyre.

2.7.1 Qarku komutues me transistor në lidhje me emiter të përbashkët

Në qarqet komutuese përdoret zakonisht transistori në lidhje me **emiter të përbashkët** (figura 2.25).

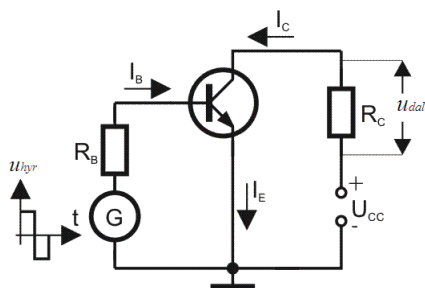


Figura 2.25: Transistori si komutator

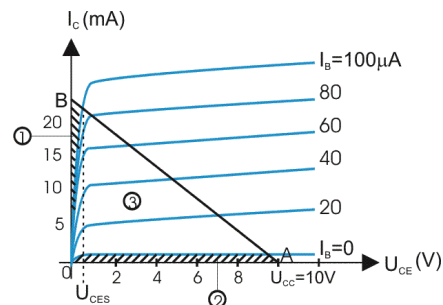


Figura 2.26: Diagrami i zonave të punës.

Në qarkun e bazës është vendosur një gjenerator i impulsit drejtkëndësh G , me të cilin ndryshohet polarizimi i bazës dhe regjimi i punës së transistorit.

Diagrami i karakteristikave dalëse me drejtëzën hyrëse të punës është dhënë në figurën 2.26.

Në diagram janë shënuar pjesë të drejtëzës së punës, të cilat u takojnë tre zonave:

1 - Zona e ngopjes, 2 - zona e jopërçueshmërisë (bllokimit) dhe 3 - zona e regjimit aktiv.

2.7.1.1. Regjimi i bllokimit-jopërçueshmërisë

Pjesa e rrafshët e impulsit hyrës me vlerë negative të tensionit e bën bazën negative kundrejt emiterit, me çka e polarizon me polarizim të kundërt kalimin e emiterit. Në qarkun e bazës do të rrjedh rryma e kundërt, e cila do ta vendos pikën e punës nën karakteristikën $I_B=0$. (figura 2.27).

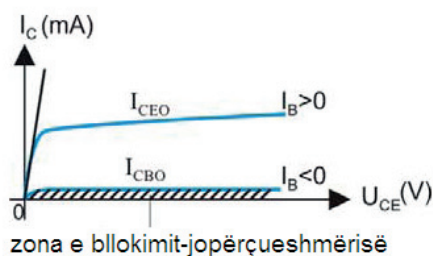


Figura 2.27: Zona e bllokimit.

E dimë se kur qarku i bazës është i hapur ($I_B = 0$) në qarkun e kolektorit rrjedh rryma I_{CE0} . Transistori do të jetë në zonën e bllokimit kur rryma e kundërt e bazës do të bëhet më e vogël se rryma I_{CE0} .

Në të njëjtën kohë, qarku i kolektorit është me polarizim të kundërt, kolektori është me potencial më të lartë nga baza dhe në qarkun kolektor bazë do të rrjedh rryma e kundërt I_{CB0} , e cila ka një intensitet shumë të vogël (për transistorin e germaniumit është e rendit prej disa μA , kurse për silicin disa nA).

Në praktikë, për kalimin në regjimin e bllokimit, për transistorin e silicit për të cilin llogaritet se rryma I_{CE0} është përafërsisht e barabartë me I_{CB0} , është e mjaftueshme që impulsi më eksitues të bie në zero, ndërsa për transistorët e germaniumit (për llojin NPN) duhet të kalojë në zonën negative për të paktën 0,1V.

2.7.1.2. Regjimi i ngopjes-saturimit

Kushtet për vendosjen e regjimit të ngopjes janë pak më komplekse dhe kërkojnë që të dy kalimet e transistorit të jenë me polarizim të drejtë. Transistori sillet në gjendjen e çelësit të mbyllur,

gjegjësisht në gjendjen e ngopur me pjesën e rrafshët të sinjalit rritës me vlerë pozitive të tensionit. Në qarkun bazë emiter rrjedh rryma I_{BES} , kurse në qarkun kolektor emiter rrjedh rryma I_{CES} . Pika e punës zhvendoset në zonën e ngopjes (**figura 2.28**).

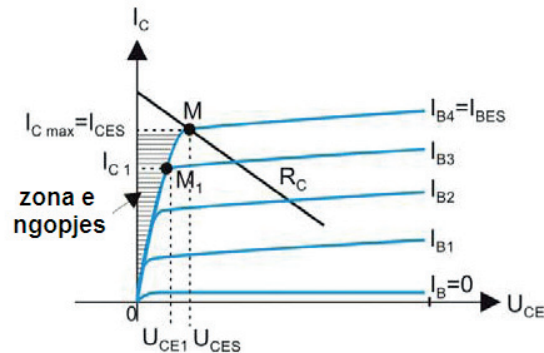


Figura 2.28: Zona e ngopjes.

Gjendja e ngopjes karakterizohet me tensione të vogla U_{CES} të kolektorit, gjatë së cilës të gjitha karakteristikat dalëse futen në një vijë të lakuar, të quajtur vija e ngopjes së tensionit. Tensioni mes kolektorit dhe emiterit, i cili korrespondon me vlerën maksimale të lejuar të rrymës së kolektorit I_{CES} , shënohet si U_{CES} . Vlera e saj për transistorin e silicit është rreth 0,6V, kurse për transistorin e germaniumit 0,25V.

Rryma e kolektorit llogaritet sipas:

$$I_{CES} = \frac{(U_{CC} - U_{CES})}{R_C} \dots\dots\dots(2.23)$$

Kurse rryma e bazës duhet të plotësojë kushtin:

$$I_{BES} = \frac{I_{CES}}{h_{FE}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Rezistenca dalëse e transistorit në regjimin e ngopjes llogaritet nga:

$$R_{dal} = \frac{U_{CES}}{I_{CES}} \dots\dots\dots(2.25)$$

dhe ka vlerë të vogël (disa dhjetëra om). Me këtë kënaqen kërkesat e çelësit të mbyllur: të lëshojë rrymë të mjaftueshme të madhe për aktivizimin e qarkut të jashtëm, të ketë rënie të vogël të tensionit dhe rezistencë të vogël në skajet e komutatorit, kurse humbjet e komutatorit të jenë të vogla.

2.7.1.3 Regjimi kalimtar

Tranzitor sillet në gjendjen e përçueshmërisë me paraardhësin, skaji rritës i impulsit hyrës. Sjellja e rrymës së kolektorit për këtë gjendje është treguar në **figurën 2.29**. Siç shihet nga figura, rryma e kolektorit e arrin vlerën maksimale I_{CES} , me vonesë $t_{kyç}$. Kjo vonesë është për shkak të kohës së

nevojshme për të zvogëluar gjerësinë e kalimeve për pengim me lëvizjen difuzive të bartësve të ngarkesës. Ndikim pak më të vogël kanë edhe kapacitetet vetjake të kalimeve të transistorit.

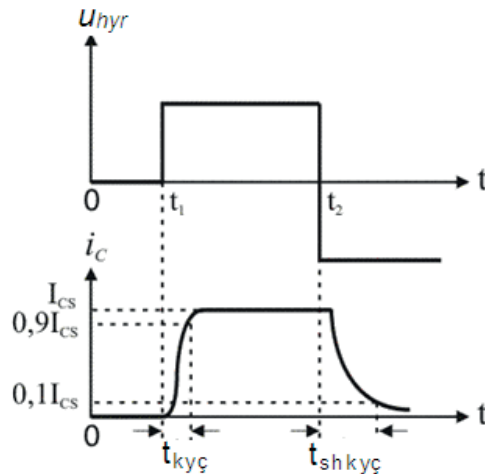


Figura 2.29: Raporti në mes të impulsit rritës dhe rrymës së kolektorit.

Kjo kohë është e definuar si kohë e kyçjes dhe duhet të jetë sa më e shkurtër. Kjo arrihet me zgjedhjen e transistorit me frekuencë kufitare më të lartë dhe me kapacitete vetjake më të vogla. Derisa transistori është në gjendjen e ngopjes, në afërsi të kalimi të emiterit dhe kolektorit grumbullohen bartës të ngarkesës. Pas përfundimit të procesit të shkarkimit të bazës nga bartësit e ngarkesës të grumbulluar, vjen deri tek rënia e rrymës së kolektorit në vlerën minimale. Koha e rënies së rrymës së kolektorit $t_{shkyç}$ quhet koha e shkyçjes. Këto kohë kanë ndikim në shpejtësinë e veprimit komutues të transistorit. Koha e formimit të impulsit dalës nuk mund të jetë më e vogël se shuma e kohës së kyçjes dhe koha e shkyçjes së transistorit komutues.

MBAJ MEND!!!

- * Transistori si komutator, mund të gjenden në regjimin e bllokimit- si çelës i hapur, në regjimin e ngopjes- si çelës i mbyllur, dhe në regjimin kalimtar.
- * Si komutator transistori përdoret në lidhjen me emiter të përbashkët.
- * Me polarizimin e kalimit të emiterit dhe kolektorit, transistori mund të sillet në regjimin e ngopjes, apo në regjimin e punës aktive.
- * Regjimi i ndërprerjes ndodh kur emiteri është në potencial më të lartë se sa baza.
- * Regjimi i ngopjes ndodh kur të dy kalimet janë me polarizim të drejtë.

 KONTROLLO NËSE DIN

1. Në cilat regjime të punës mund të gjenden transistori si komutator?
2. Çfarë është polarizimi i kalimit të emiterit dhe kolektorit të transistorit kur është në ngopje?
3. Sa është rryma e daljes kur transistori është në ndërprerje?
4. Shëno zonën e bllokimit në karakteristikën dalëse të transistorit.
5. Në cilin regjim të punës transistori sillet si çelës i mbyllur?

2.8. Transistorët njëpolar- unipolar

Transistorët me efekt fushe

Teoria e **transistorëve me efekt fushe** ose **FET** (**Field Effect Tranzitor**) është përpunuar mes viteve 1920 dhe 1930, që është shumë përpara zbulimit të transistorëve bipolar. Modeli i parë-origjinal i FET kishte një pllakë alumini në të cilën ishin vendosur dy pllaka gjysmëpërçuesish. Në anën tjetër të pllakave janë vendosur kontaktet metalike. Në mesin e pllakës së aluminit dhe kontaktit vendoset tension i cili formon fushë elektrike në sipërfaqen e gjysmëpërçuesit. Me këtë tension mundësohet kontrollimi i rrjedhës së rrymës elektrike mes kontakteve metalike. Teknologjia jo shumë e zhvilluar e pastrimit të materialeve gjysmëpërçuese pamundësoi që ideja të realizohet deri në fund.

Vetëm në vitin 1952 fizikani amerikan Uilliam Shokli (**William Shockley**) prezanton **FET** të bashkuar (**JFET – Junction Field Effect**), në të cilën pllaka e aluminit është zëvendësuar me kalimin-PN. Karakteristika kryesore e këtij transistori është rryma, e cila është e formuar vetëm nga një lloj i bartësve të ngarkesës. Prandaj, edhe për dallim nga transistorët bipolar, ato janë quajtur **unipolar**. Një ndryshim tjetër nga transistorët bipolar është edhe mënyra e kontrollimit të rrymës. Rryma dalëse në transistorin bipolar kontrollohet me rrymën hyrëse, kurse në transistorët unipolar me fushë elektrike, të krijuar me tensionin hyrës. Gjatë kësaj, rryma hyrëse ka intensitet shumë të vogël. Rezistenca hyrëse e transistorit unipolar është shumë e madhe, që do të thotë se ai kërkon fuqi shumë të vogël nga stadi i mëparshëm.

Ekzistojnë dy lloje të transistorëve unipolar: **FET me kalim (JFET)** dhe **MOSFET (Metal - Oxide – Semiconductor FET)**.

Transistorëve me efekt fushe (JFET) kanë disa veti që i bëjnë ato më superiorë ndaj transistorëve bipolar. Këto janë: rezistencë hyrëse më të madhe, zhurma vetjake më të vogla, dimensione më të vogla dhe procedura të thjeshta të prodhimit. Transistorëve bipolar kanë përparësi në shpejtësinë, si qarqe komutuese, dhe përforcim të tensionit më të madh, si stade dalëse.

Transistorët me efekt fushe zbatohen në qarqet komutuese ku nuk kërkohen shpejtësi speciale të mëdha, pastaj në qarqet me frekuenca të larta dhe në qarqet digjitale komplekse me numër të madh të komponentëve.

2.8.1. Struktura dhe parimi i funksionimit të FET-it

Struktura e FET-it është treguar në mënyrë skematike në **figurën 2.30**. Ajo është e përbërë nga një pllakë e hollë – baza me seksion kënddrejtë nga gjysmëpërçuesi i silicit i llojit N ose P. Në të dy sipërfaqet e kundërta (në figurë në të kundërt sipas vertikales) të bazës është vendosur gjysmëpërçuesi, i kundërt nga ai prej të cilës është ndërtuar baza dhe formohen dy kalime PN. Këto dy zona mes veti janë të lidhura përmes lidhjeve metalike dhe paraqesin elektrodë hyrëse, të quajtur **Gate-(gejt-portë) (G)**.

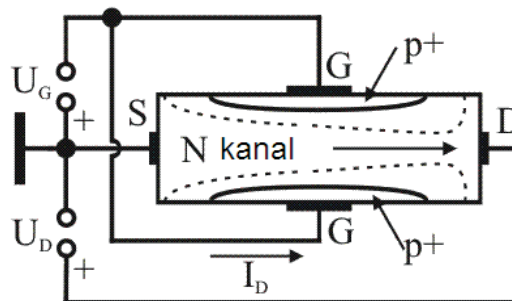


Figura 2.30: Struktura e FET-it.

Në skajet e kundërta të bazës janë të vendosura lidhjet metalike të **Drain-(drejtn-derdhjes) (D)** dhe **Source-(sorsit-burimit) (B)**. Pjesa e ngushtë e pllakës mes burimit dhe derdhjes quhet **kanal**.

Në varësi të llojit të gjysmëpërçuesit të bazës, dallojmë FET të llojit N, me gjysmëpërçues-N të bazës dhe FET të llojit P me lloj P, gjysmëpërçues të pllakës. Simbolet grafike të dy llojeve të FET-ve jepet në **figurën 2.31**.

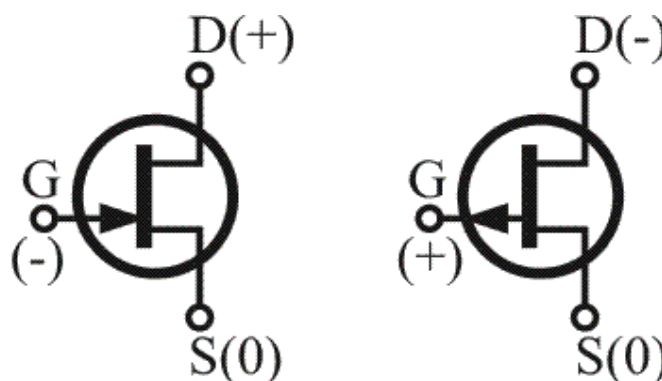


Figura 2.31: Simboli skematik i FET-it të llojit N dhe P.

Nëse tërheqim paralele me transistorin bipolar, elektroda e gejt-it-portës korrespondon me bazën, soursit-burimit me emiterin, kurse drejtnit-derdhjes me kolektorin. Burimi i tensionit të vazhduar U_G , i lidhur mes gejt-it dhe burimit, i polarizon invers të dy kalimet PN të gejt-it dhe të kanalit. Burimi U_D e polarizon drejtnin në atë mënyrë që të ketë shenjë të kundërt prej gejt-it në raport me burimin.

Burimi zakonisht ndodhet në potencial 0. Transistorët me efekt fushe mund të punojnë në lidhje me burim të përbashkët, në lidhje me gejti të përbashkët dhe në lidhje me drejtn të përbashkët. Megjithatë, më tepër përdoret lidhja me burim të përbashkët.

Parimi i funksionimit të FET-it N dhe i FET-it P është i njëjtë, vetëm se tensionet e elektrodave janë me polaritete të kundërta, kurse rrymat me drejtime të kundërta. Në analizën e mëtejshme do të kufizohemi vetëm në FET-in N.

Kur nuk ka tension në mes të burimit dhe gejt, ose kur gejti është i lidhur shkurt me burimin, kanali është rrugë e hapur për elektronet që të rrjedhin nga burimi në drejtim të drejtnit nën ndikim të burimit U_D . Intensiteti i rrymës së drejtnit I_D atëherë varet vetëm nga burimi i tensionit U_D dhe rezistenca e kanalit të gjysmëpërçuesit.

Me lidhjen e burimit U_G , si në **figurën 2.30**, të dy kalimet PN janë të polarizuar invers dhe përgjatë gjerësisë së kalimeve krijohet zona e bllokimit. Gjysmëpërçuesi në kanal është i formuar nga një përqindje e vogël e donorëve, kurse zona e gejt është me një përqindje më të madhe të akceptorëve, zona e bllokimit më tepër përhapet në rajonin e kanalit se sa në gejti. Elektronet në kanal largohen nga kufiri i zonës së bllokimit kah mesi i kanalit. Kanali bëhet më i ngushtuar me zgjerimin e zonës së bllokimit, kurse si pasojë zvogëlohet përçueshmëria e tij dhe intensiteti i rrymës së drejtnit. Me ndryshimin e tensionit mes gejt dhe burimit U_{GS} ndryshohet edhe intensiteti i rrymës së drejtnit, gjegjësisht rryma dalëse e transistorit.

Gjerësia e kanalit nuk është e barabartë përgjatë gjithë pllakës. Kanali është më i gjërë në afërsi të burimit, kurse më i ngushtë në afërsi të drejtnit. Arsyeja qëndron në faktin se tensioni midis gejt dhe drejtnit ka vlerë më të madhe dhe është $U_D + U_G$, kurse duke shkuar drejt burimit bie në vlerën U_G . Në kanal ka një rritje gjatësore të tensionit ose gradient të tensionit.

Struktura e vërtetë e FET-it N është dhënë në **figurën 2.32**. Në bazën ose substratin shtohen primesa me të cilat krijohet zona-n e kanalit me trashësi të vogël (rreth 1 mikron), pastaj me shtimin e ardhshëm të primesave akceptor formohet zona-p e gejt. Në sipërfaqe vendosen kontakte metalike në daljet e gejt, burimit dhe drejtnit.

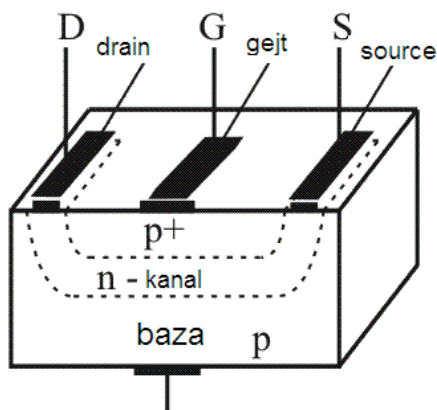


Figura 2.32: Struktura e FET-it N.

2.8.2. Karakteristikat statike të FET-it

Nga karakteristikat statike të FET, të rëndësishme janë karakteristikat I_D-U_{DS} dhe I_D-U_{GS} , ku me I_D është shënuar rryma e daljes ose e drejnit, me U_{DS} tensioni mes drejnit dhe burimit dhe U_{GS} tensionit mes gejitit dhe burimit. Ata mund të regjistrohen me qarkun e dhënë në **figurën 2.33**.

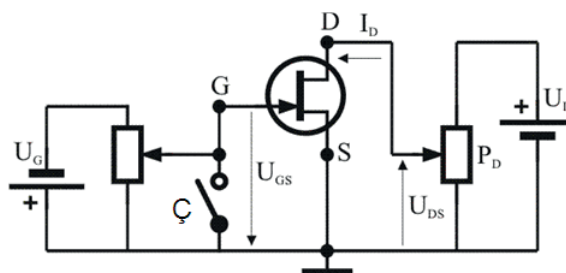


Figura 2.33: Qarku elektrik për regjistrimin e karakteristikave statike të FET-it.

Tashmë me mënyrën e njohur mund të regjistrohen karakteristikat e daljes $I_D = f(U_{DS})$ për $U_{GS} = \text{const}$. Me mbylljen e çelësit Ç në qarkun e gejitit, gejtji do të jetë i tokëzuar, tensioni U_{GS} do të jetë 0, kurse karakteristika dalëse $I_D = f(U_{DS})$ për $U_{GS} = 0$ do të ketë pamjen si në **figurën 2.34**.

Për tensione të vogla U_{DS} kanali sillet si rezistencë, çka kontribuon që karakteristika të ketë pamje lineare.

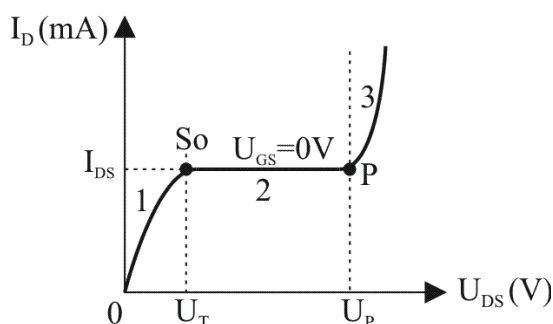


Figura 2.34: Karakteristika statike e FET-it.

Kjo pjesë e karakteristike e përcakton rajonin e rezistencës aktive (të shënuar me 1 në figurë). Me rritjen e mëtejme të tensionit U_{DS} rritet polarizimi invers i kalimit PN gejt-drejtn dhe zgjerohet zona e bllokimit. Për vlerën U_T të tensionit U_{DS} kanali është ngushtuar maksimalisht, kurse rezistenca e tij është maksimale.

Në karakteristikë ajo është pika S_0 dhe ajo e definon tensionin gjatë të cilit të dy zonat e bllokimit thuajse takohen. Rryma I_D në kanal ka vlerën I_{DS} dhe nuk ndryshon me rritjen e mëtejme të tensionit U_{DS} . Në karakteristikë kjo është pjesa e shënuar me 2 dhe quhet rajoni i ngopjes.

Pjesa e tretë e karakteristikes, shënuar me 3, është zona e shpimit dhe fillon nga pika P. Në këtë pikë tensioni U_{DS} e tejkalon vlerën e tensionit të shpimit të kalimit dhe rryma e drejnit rritet

ndjeshëm. Shpimi është nga zona e efektit zener, që do të thotë reversibil- i kthyeshëm dhe mund të kthehen në gjendjen e mëparshme, në qoftë se kufizohet rryma me rezistencë në qarkun e jashtëm të drejnit.

Në **figurën 2.35** janë dhënë karakteristikat e plota $I_D = f(U_{DS})$ për $U_{GS} = \text{const}$. Rajoni aktiv i karakteristikës është i veçuar nga rajoni i ngopjes me lakoren e ngopjes, e vizatuar me vijë të ndërprerë.

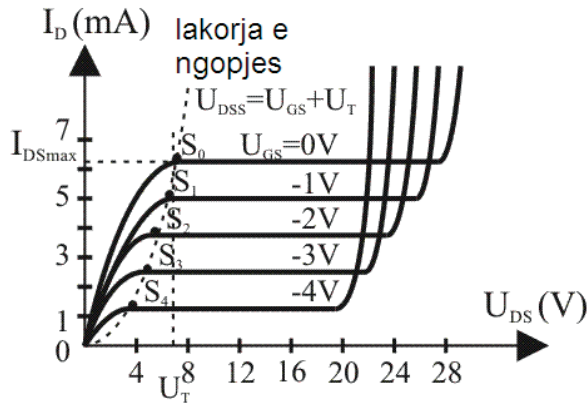


Figura 2.35: Familja e karakteristikave Rrymë-tension (volt-ampër)

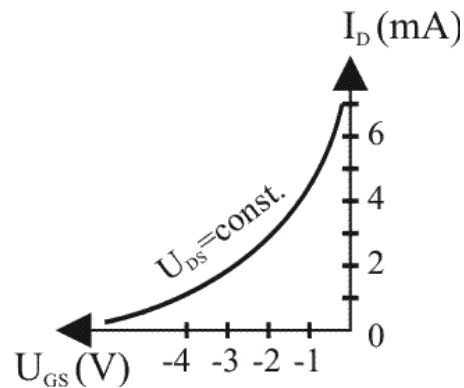


Figura 2.36: Karakteristika kalimtare e FET-it.

Karakteristika kalimtare $I_D = f(U_{GS})$ për $U_{DS} = \text{const}$ është dhënë në **figurën 2.36**. Në pjesën më të madhe të karakteristikës nga figura 2.37, rryma I_D pak varet nga tensioni U_{DS} . Për këtë arsye, të gjitha karakteristikat kalimtare janë në distancë të vogël dhe zakonisht paraqiten me një lakore.

Ndër karakteristikat statike më të rëndësishme të FET-it përfshihen rezistenca dalëse:

$$R_{dal} = \frac{U_{DS}}{I_D}, \dots\dots\dots(2.26)$$

e cila ka një vlerë prej 100Ω deri $100\text{ k}\Omega$, dhe rezistenca hyrëse:

$$R_{hyr} = \frac{U_{GS}}{I_G}, \dots\dots\dots(2.27)$$

e cila është shumë më e madhe dhe arin vlerën deri në $10^9\Omega$.

2.8.3. FET-i në regjimin dinamik të punës

Skema elektrike e figurës 2.37 e paraqet qarkun të FET-it në regjimin dinamik të punës. Transistori është në lidhje me burim të përbashkët. Burimi i sinjalit është i vendosur në qarkun e gejtit, kurse në qarkun dalës është vendosur ngarkesa e rezistencës R_p . Rrymat dhe tensionet alternative të sinjalit edhe këtu trajtohen si ndryshime të vogla të vlerave të vazhduara.

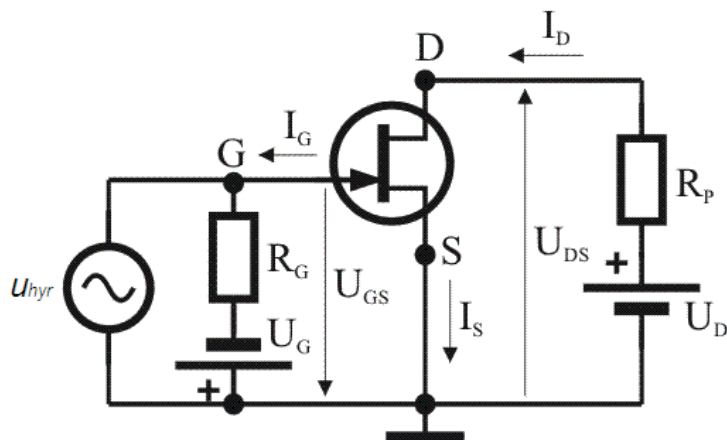


Figura 2.37: Skema elektrike e qarkut të FET-it në regjimin dinamik të punës.

Rezistenca hyrëse dinamike e FET-it është definuar si:

$$r_{hyr} = \frac{\Delta U_{GS}}{\Delta I_G} \quad \text{për } \Delta U_{DS} = 0. \dots\dots\dots(2.28)$$

Ajo është me vlerë shumë të madhe, të rendit prej disa mega omëve, për shkak të polarizimit invers të lidhjes gejt-burim.

Përçueshmëria kalimtare ose konduktanca është:

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \quad \text{për } \Delta U_{DS} = 0. \dots\dots\dots(2.29)$$

Ajo definohet me pjerrësinë e karakteristikës kalimtare dhe vlerat e saj sillen mes 0,1 dhe 10 mA/V.

Rezistenca dalëse dinamike definohet për zonën e ngopjes me:

$$r_{dal} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \quad \text{për } \Delta U_{GS} = 0. \dots\dots\dots(2.30)$$

dhe ka vlerë prej disa dhjetëra deri në disa qindra kiloom.

Kapacitetet mes elektrodave kanë një ndikim të rëndësishëm në karakteristikat e FET-it gjatë frekuencave të larta. Ata janë paraqitur në **figurën 2.38**. Kapaciteti mes gejtit dhe burimit C_{gs} është i lidhur në paralel në hyrje dhe e zvogëlon impedansën e FET-it në frekuenca të larta. Vlera e saj është rreth 1pF. Paralelisht me ngarkimin e daljes vepron kapaciteti C_{ds} dhe e zvogëlon përforcimin në frekuenca të larta. Kapaciteti i tij është shumë i vogël dhe shpesh nuk merret parasysh. Kapaciteti C_{dg} mes drejnit dhe gejtit mer pjesë në kthimin e një pjesë të sinjalit nga dalja në hyrje. Kjo mund të shkaktojë jostabilitet në punë dhe vetë oshilim të përforcuesit, dhe vlera e tij është e vogël, rreth 0,1pF.

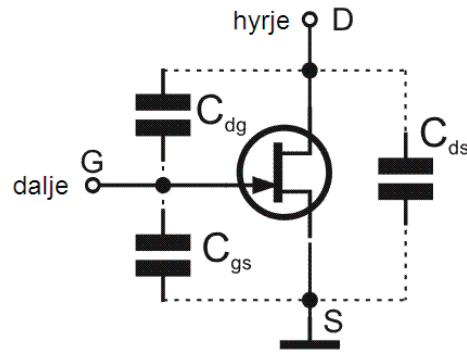


Figura 2.38: Shpërndarja e kapaciteteve mes elektrodave të FET-it.

2.8.3.1 Skema ekuivalente e FET-it

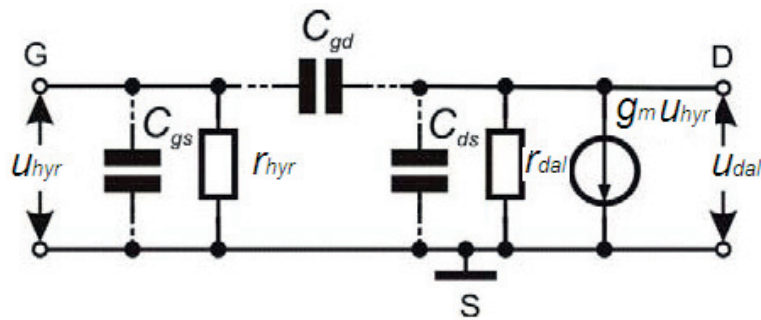


Figura 2.39: Skema komplete e ekuivalente e FET-it.

Skema e plotë ekuivalente e FET-it është dhënë në **figurën 2.39**. Në qark janë vendosur të gjitha parametrat e përcaktuar më parë. Në dalje është treguar gjenerator ekuivalent i rrymës i cili në dalje jep rrymë proporcionale me përçueshmërinë kalimtare dhe tensionin e sinjalit hyrës:

$$i = g_m U_{hyr}.$$

Kur përforcuesi punon në frekuenca të ulëta, qarku i saj ekuivalent thjeshtohet me largimin e të gjithë kondensatorëve që përfaqësojnë kapacitetet mes elektrodave, si edhe rezistencat e mëdha paralele r_{hyr} dhe r_{dal} . Kështu, skema e fituar është paraqitur në **figurën 2.40**.

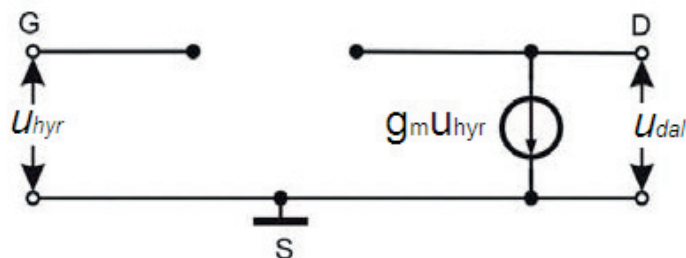


Figura 2.40: Skema ekuivalente e FET-it për frekuenca të ulëta.

MBAJ MEND!!!

- * Transistorët bipolar janë elemente të komanduar nga rryma, kurse unipolarët nga tensioni.
- * FET është i kontrolluar nga tensioni, element elektronik unipolar me tre dalje: drejn, gejt dhe burim, në të cilit rrjedh rryma përmes kanalit me lloj të vetëm të gjysmëpërçuesit.
- * Sipas llojit të gjysmëpërçuesit të kanalit dallojmë FET-N dhe FET-P.
- * Kur nuk kemi tension në gejt, ose kur gejtja është i lidhur shkurt me burimin, përmes FET-it nuk rrjedh rryma e drejnit.
- * Gjatë polarizimit të transistorit FET-N, burimi është në potencial më të lartë nga gejtja, kurse drejti nga burimi.
- * Gjatë polarizimit të transistorit FET-P, gejtja është me potencial më të lartë nga burimi kurse burimi nga drejti.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cili është dallimi me transistorëve bipolar dhe unipolar?
2. Çfarë lloje të transistorëve unipolar ekzistojnë?
3. Vizato simbolet e FET-it me n-kanal dhe p-kanal dhe shëno daljet.
4. Shpjegojë se çfarë ndodh në kanal gjatë polarizimit të FET-it.
5. Vizato karakteristikën statike të daljes së FET-it dhe sqaroj zonat e tij.
6. Defino përçueshmërinë kalimtare të FET-it.
7. Vizato skemën ekuivalente të FET-it në frekuenca të ulëta.

2.9. MOSFET-i

Modeli më tepër i përdorur i transistorit me efekt fushe në sferën e qarqeve elektronike digjitale moderne ka strukturë të përbërë nga një lidhje metalike në fillim, dioksid silici në mes dhe gjysmëpërçues, zakonisht silic, në pjesën e poshtme, prej nga edhe e merr emrin MOSFET (Metal - Oxide – Semiconductor FET). Kështu ishte në fillim, kurse në strukturën moderne me teknologjitë e reja në vend të metalit në pjesën e sipërme aplikohet shtresë nga polisilici. Megjithatë, shenja e vjetër MOS vazhdon të përdoret edhe më tutje.

MOSFET-ët mund të jetë me kanal-N ose me kanal-P dhe ata mund të jenë me kanal të induktuar ose inkorporuar, që do të shpjegohet më tej. Në analiza do të thirremi në llojin me kanal-N me kanal të induktuar, i cili është më i përdorshëm në praktikë. Llojet tjera dhe strukturat e tyre do të kuptohen lehtë përmes rrugës së analogjisë.

2.9.1. Struktura dhe parimi i punës së MOSFET-it me kanal të induktuar

Si duket struktura e një MOSFET-i me kanal-N me kanal të induktuar është treguar në **figurën 2.41**. Baza ose trupi është nga gjysmëpërçues i silicit i llojit P, me numër të vogël të primesave akceptorë me trashësi prej disa qindra mikronësh. Me procesin teknologjik, të quajtur tërheqje, në sipërfaqen e sipërme të bazës formohet shtresë e hollë izoluesit nga dioksid-silici (qelq) me trashësi prej rreth 0,1 mikron. Pa marrë parasysh trashësinë e vogël, vetitë izoluese të dioksid-silicit janë shumë të mira dhe rezistenca e këtij kalimi është e madhe.

Me procedurën e mëtejme, në sipërfaqen e

sipërme të bazës, të mbuluar me kalim izolues, hapen dy „dritare,, në një distancë rreth 10 mikron dhe në to futen primesa të donorëve. Në këtë mënyrë formohen dy rajone të llojit-n me koncentrim të madh të donorëve në thellësi prej disa mikronëve, të caktuar për burimin dhe drejtin. Mbi këto zona vendoset një shtresë e hollë prej metali për lidhjet elektrike të burim dhe drejnit.

Në sipërfaqen e shtresës izoluese, duke mbuluar hapësirën në mes të burimit dhe drejnit, vendoset shtresë metalike për daljen e gejtit. Baza, gjithashtu, ka kontaktin e saj elektrik, të shënuar me B. Për shumicën e qarqeve digjitale, kjo dalje është e lidhur për burimin dhe detyra e saj është të izolojë njërin transistor nga tjetri kur janë në të njëjtin çip të silicit. Përveç këtij lloji të tre daljeve, hasen edhe transistorë me katër dalje, ku dalja B shërben si gejt i dytë.

Në këtë strukturë nuk ka të ndërtuar asnjë kanal mes burimit dhe drejnit. Në rrugën mes tyre qëndrojnë dy kalime PN, të kthyer në drejtime të kundërta njëri kah tjetri. Njëri kalim PN është mes burimit dhe bazës, kurse tjetri mes bazës dhe drenit.

Siç shihet nga figura 2.41, është formuar struktura e kondensatorit, e përbërë nga lidhja e gejtit dhe bazës, si pllaka, dhe shtresa e oksidit, di dielektrik.

Tani do të vendosim strukturën e figurës 2.41 në qarkun e **figurës 2.42** në përpjekje për të zhvendosur elektronet nga burimi drejt drejnit. Tensioni mes gejtit dhe burimit është vendosur në zero me lidhje të shkurtër të gejtit dhe burimit. Në këtë gjendje nuk ekziston mënyrë për të rrjedhur rryma mes drejnit dhe burimit për shkak të ekzistimit të dy kalimeve PN, të cilët veprojnë si dy dioda me drejtime të kundërta të lidhura në seri. Kur drejtni është me potencial pozitiv në raport me

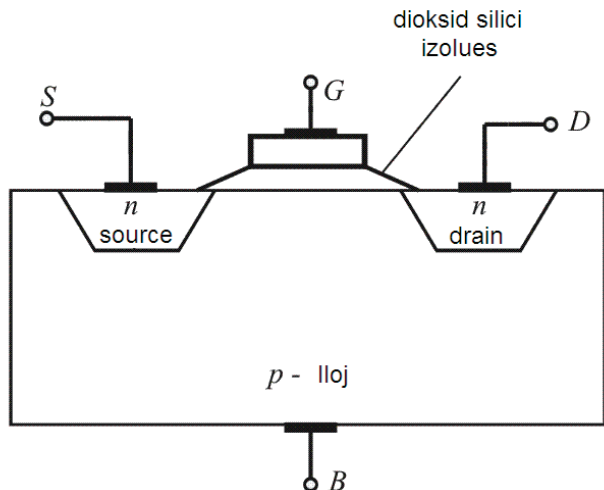


Figura 2.41: Struktura e MOSFET-it me kanal-n

burimin, mes tyre rrjedh vetëm rryma inverse e njërit kalim PN dhe ajo është më e vogël se 1nA. Ky lloj i MOSFET-it është quajtur jopërçues normal.

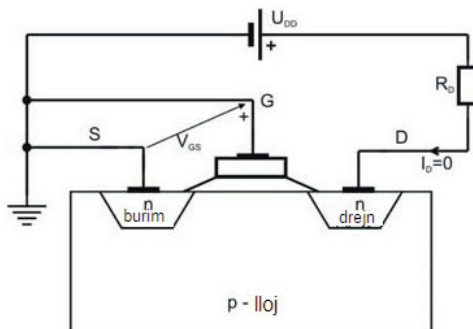


Figura 2.42: Sjellja e MOSFET-it me kanal-n në $U_{GS} = 0$

Megjithatë, në qoftë se vendoset tension pozitiv i madh i mjaftueshëm në gejt (**figura 2.43**), rryma do të rrjedh në qarkun mes drejtnit dhe burimit. Asnjë lloj rryme nuk do të rrjedh përmes daljes së gejtit pasi që ai është totalisht elektrikisht i izoluar nga pjesa tjetër.

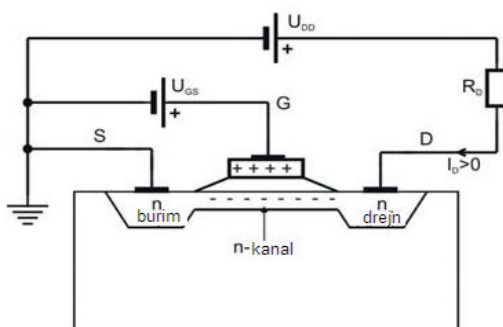


Figura 2.43: Formimi i kanalit të induktuar.

Që të kuptohet se çfarë ndodh, do të thirrëmi në strukturën e përshkruar më parë të kondensatorit. Tensioni pozitiv i vendosur në gejt do të shkaktoj mbushjen e atij kondensatori, e cila është ekuivalente me grumbullonin e ngarkesave pozitive në gejt dhe tërheqja e po ashtu aq, por me shenjë të kundërt ngarkesa elektrike në pllakën kundrejt, gjegjësisht në zonën e bazës mes drejtnit dhe burimit. Ajo zonë pasurohet me elektrone, boshatiset nga vrimat dhe nga gjysmëpërçues i llojit P kalon në gjysmëpërçues të llojit N dhe kështu formohet kanali. Ky parim i punës e përcakton MOSFET-in me kanal të induktuar me procedurën e „pasurimit,“. Simboli elektrik i këtij lloji MOSFET është treguar në **figurën 2.44 (a)**.

MOSFET me kanal-P është komplementi i saktë i MOSFET me kanal-N, i cili tashmë është analizuar. Ai formohet me futjen e dy zonave të llojit-P në bazën e llojit-N dhe me shtresë izoluese okside përballë gejtit. Simboli elektrik i tij është treguar në **figurën 2:44 (b)**. Të gjitha rrymat dhe

tensionet janë me polaritet të kundërt në krahasim me MOSFET me kanal-N, kurse analiza mbetet e pandryshuar, me atë që bartës të ngarkesës janë vrmat.

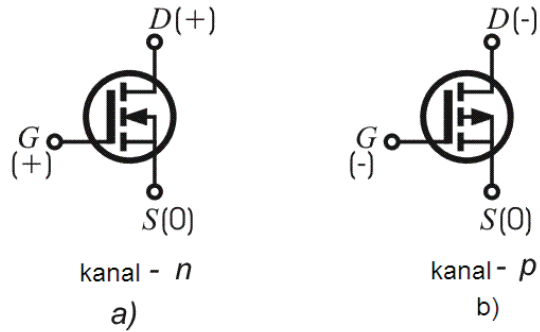


Figura 2.44: Simbolet elektrike të MOSFET me kanal të induktuar në regjimin e pasurimit.

2.9.2. Karakteristikat statike

Nga karakteristikat statike të MOSFET-it me kanal të induktuar në regjimin e „pasurimit,, më të rëndësishme janë vetëm karakteristika kalimtare dhe dalëse, njëlloj sikur tek FET-i.

Varësia e rrymës së drejnit I_D nga tensioni mes gejtit dhe portës është dhënë me karakteristiken kalimtare në **figurën 2.45**. Për tensionin $U_{GS}=0$, nuk ka rrymë në qarkun drejn-burim. Me zmadhimin e tensionit U_{GS} është e nevojshme të arrij vlerë të caktuar, që rryma I_D të mund të fillojë të rrjedh. Ajo rritet linearisht me rritjen e tensionit pozitiv të gejtit, sepse kanali gjithnjë e më tepër pasurohet me bartës shumicë të ngarkesës dhe rezistenca e tij zvogëlohet. Ky tension quhet tensioni i pragut (U_T) dhe për MOSFET-ët e kohës së sotme të këtij lloji lëviz në zonën 0,3 deri 0,8 V.

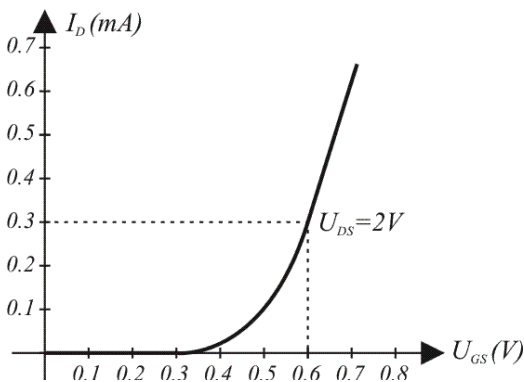


Figura 2.45: Karakteristika kalimtare statike e MOSFET-it

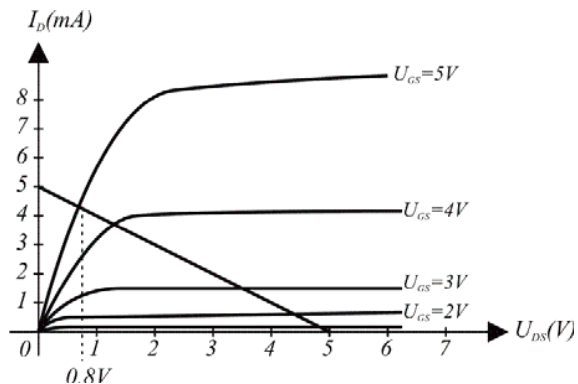


Figura 2.46: Karakteristika dalëse statike e MOSFET-it me kanal të induktuar

Karakteristika dalëse $I_D = f(U_{DS})$ për $U_{GS} = \text{const}$, me drejtëz pune të futur është paraqitur në **figurën 2.46**. Vërehet se lakorja për $U_{GS} = 0$ nuk është futur, ajo përputhet me boshtin e abshisës. MOSFET-i me kanal të induktuar përçon rrymë vetëm kur $U_{GS} > U_T$.

2.9.3. MOSFET me kanal të ndërtuar

Struktura e këtij lloji të MOSFET-it ndryshon me atë që rajoni i kanalit përçues ndërtohet me shtimin e primesave në zonën nën gejt gjatë kohës së ndërtimit të tij. Kanali i lidh rajonet e burimit dhe drejnit dhe ekziston pa marrë parasysh se çfarë është polarizimi i transistorit (**figura 2.47**).

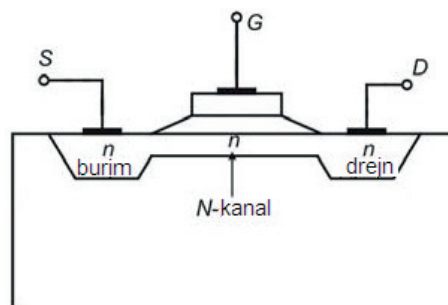
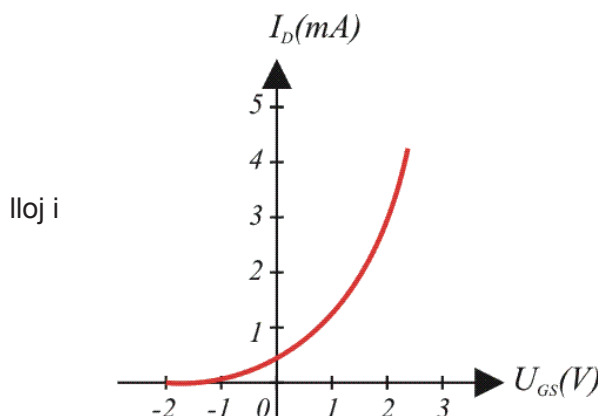
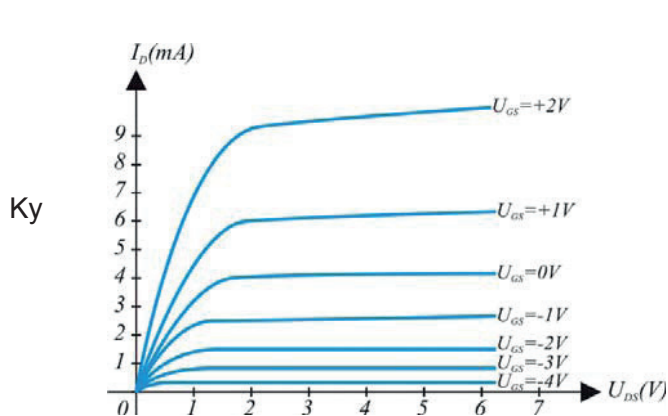


Figura 2.47: MOSFET me kanal të ndërtuar.

Kur ky transistor vendoset në qark, si në figurën 2.43, në qark do të rrjedh rryma edhe në tensionin $U_{GS} = 0$. Intensiteti i asaj rryme varet nga tensioni U_{DS} dhe nga rezistenca e kanalit. Për tensione pozitive të gejtit në raport me burimin, në qark krijohen kushte të tilla që të rrjedh rryma, ashtu siç është përshkruar tashmë tek MOSFET-i me kanal të induktuar. Me rritjen e tensionit pozitiv U_{GS} , pasurohet kanali me elektrone të lira, rritet përçueshmëria e kanalit dhe me këtë edhe intensiteti i rrymës së drejnit I_D . Në këtë rast, MOSFET-i punon në regjimin e „pasurimit“.

Për vlera negative të tensionit të gejtit, sipas parimit të mbushjes së kondensatorit, në kanal grumbullohen vrira, që është ekuivalente me zbrazjen e kanalit nga elektronet. Me këtë zvogëlohet përçueshmëria e kanalit dhe rryma e drejnit I_D . Në vlera më të larta të tensionit negativ në gejt kanali boshatiset nga elektronet me çka rryma ndalon të rrjedhë.

Karakteristika dalëse e MOSFET-it me kanal të ndërtuar është dhënë në **figurën 2.48**, kurse kalimtare në **figurën 2.49**. Nga karakteristika mund të shihet se për $U_{GS} = 0$ rrjedh rrymë e konsiderueshme I_D dhe se ky transistor punon sikurse në regjimin e "pasurimit", ashtu edhe në regjimin e „varfërimit“.



MOSFET-it është më i komplikuar për tu përpunuar, për shkak të hapave shtesë për formimin e rajonit të kanalit. Kjo e bën atë më të shtrenjtë dhe përdorimi i tij është i kufizuar në disa qarqe të veçanta.

Simboli elektrik i MOSFET-ëve me kanal n dhe p me kanal të ndërtuar janë dhënë në figurën 2.50.

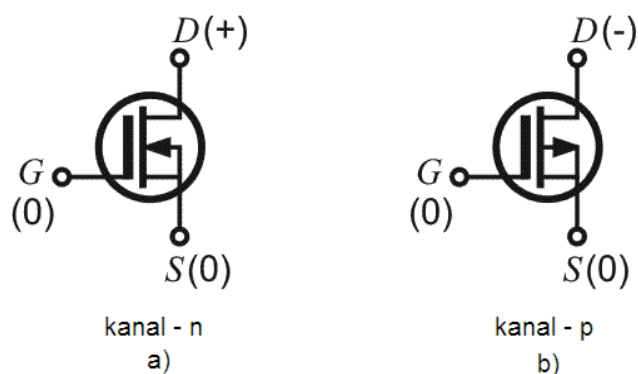


Figura 2.50: Simbolet elektrike të MOSFET-ëve me kanal të ndërtuar.

2.9.4. MOSFET-i si element komutues- çelës

Karakteristika kalimtare e MOSFET-it me kanal të induktuar tregon se për të gjitha tensionet U_{GS} më të vogla se tensioni U_T , mes burimit dhe drejnit nuk rrjedh rrymë. Në cilindo drejtim pengon zona e diodës me polarizim invers. Në këtë regjim të punës, MOSFET-i sillet si një çelës i hapur mes drejnit dhe burimit.

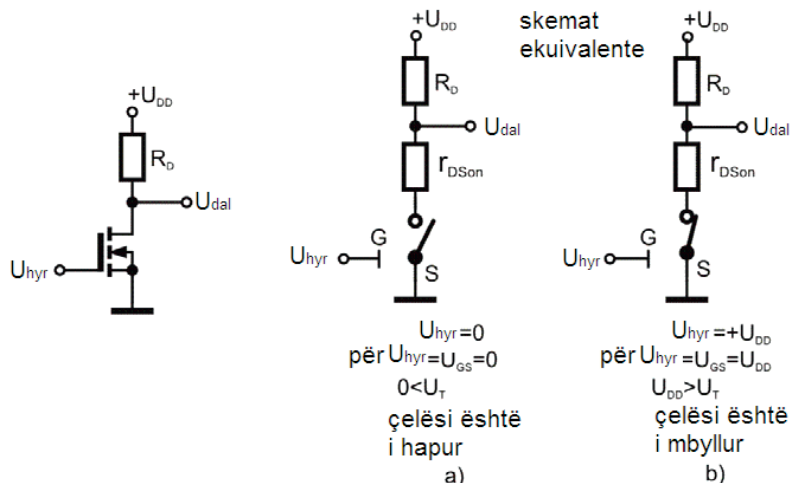


Figura 2.51: Skema ekuivalente e MOSFET-it në regjimin omik dhe aktiv të punës.

Megjithatë, duke vendosur tension pozitiv në gejt U_{GS} , i cili është më i madhe se tensioni U_T , vjen deri tek induktimi i kanalit përçues dhe rrjedhje të rrymës mes drejnit dhe burimit. Sjellja e MOSFET-it në këtë gjendje mund të tregohet në dy mënyra, përmes dy qarqeve ekuivalent (figura 2.51):

- a) puna në zonën aktive;
- b) puna në zonën "omike".

MOSFET punon në zonën „omike,, kur është $U_{DS} < (U_{GS} - U_T)$. Qarku ekuivalent i MOSFET për këtë rajon është i përbërë nga një çelës i mbyllur ne seri me rezistencë të brendshme të MOSFET-it të përçueshëm $r_{DS(on)}$. Vlera e rrymës I_D varet nga tensioni i burimit U_{DD} . Ky regjim përdoret si „çelës i mbyllur,, që qarqet digjitale.

Për punë në zonën e "aktive" është e nevojshme të plotësohet kushti $U_{DS} > (U_{GS} - U_T)$.

Rryma I_D tash është funksion vetëm i U_{GS} dhe nuk varet nga tensioni U_{DS} , kështu që në qarkun ekuivalent kemi çelës të mbyllur në seri me rrymën e burimit. MOSFET ndodhet në zonën „aktive,, përdoret si përforcues në qarqet analoge.

Për qarqet komutuese impulsive MOSFET-ti duhet të gjendet në kushtet zonës „omike,, me përcaktimin e tensionit U_{DS} :

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D. \dots\dots\dots(2.31)$$

Kushti që transistori të gjendet në zonën "omike" merret duke zgjedhur një vlerë mjaft të madhe për R_D . Nga ana tjetër, impulsi eksitues duhet të jetë i tillë që, për gjendjen e bllokimit e çelësit të hapur, të jetë $U_{GS} \ll U_T$, kurse për gjendjen e çelësit të mbyllur, të jetë $U_{GS} \gg U_T$.

Në karakteristikën e figurës 2.52 janë qartë të përkufizuara zonat "omike" dhe "aktive" të punës së MOSFET-it.

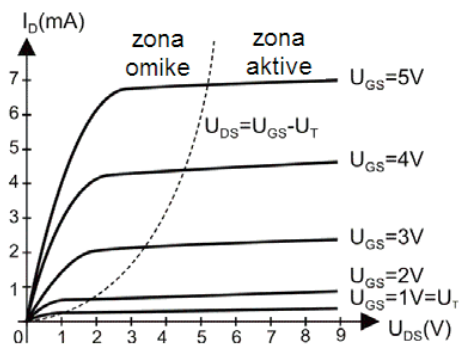


Figura 2.52: Zona aktive dhe omike në karakteristikat dalëse të MOSFET-it.

MBAJ MEND!!!!

- * MOSFET-i është një FET teknologjikisht i avancuar me zbatim të dyoksidit metal-silic.
- * Për MOSFET me kanal të induktuar, kanali në të cilin rrjedh rryma formohet me polarizim të MOSFET-it.
- * Tek MOSFET-i me kanal të ndërtuar, kanali formohet gjatë kohës së prodhimit të MOSFET-it.
- * Në qarkun e gejtit nuk rrjedh rryma, rezistenca hyrës është pafundësisht e madhe.
- * FET dhe MOSFET mund të punojnë si përforcues në lidhje me burim të përbashkët, gejt të përbashkët dhe drejtnë të përbashkët.
- * MOSFET punon si një çelës i mbyllur në rajonin „omik“, për qarqe digjitale, kurse në rajonin aktiv si përforcues për qarqet analoge.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilët lloje të MOSFET-ve ekzistojnë?
2. Sqaro procesin e formimit të kanalit të induktuar me procedurën e pasurimit në MOSFET.
3. Vizato shenjat skematike të llojeve të MOSFET-ve.
4. Cilat janë karakteristikat statike më të rëndësishme të MOSFET-ve?
5. Në çfarë tensionesh U_{GS} , MOSFET me kanal të induktuar përçon rrymë?
6. Cili është dallimi mes MOSFET dhe kanal të induktuar dhe kanal të ndërtuar?
7. A rrjedh rryma nëpër MOSFET me kanal të ndërtuar për $U_{GS} = 0$?

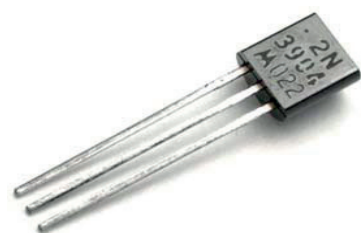
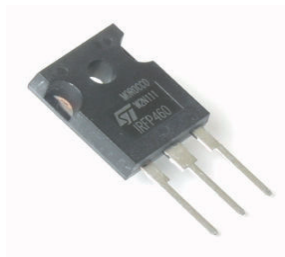
2.10. Zbatimi i transistorëve

Transistorët përdoren në të gjitha degët e elektronikës dhe elektroteknikës - në përpunimin e përforcuesve- amplifikatorëve, oshilatorëve, pajisjeve transmetuese dhe strukturave për rregullim. Përveç në elektronikë dhe elektroteknikë, transistorët sot përdoren thuajse në të gjitha degët e industrisë. Suksesi i madh dhe zhvillimi i shpejtë janë pasojë e përmasave të vogla, të prodhimit të thjeshtë dhe me shumicë dhe konsumit shumë të ulët të energjisë.

Transistorët bipolar janë përforcues të komanduar nga rryma, kurse unipolarët janë përforcues të komanduar nga tensioni. Nga koha e zbulimit e deri tani, ata janë përsosur dhe aftësuar për përdorim të përgjithshëm ose për funksione specifike. Si përforcues ata përpunohen për përforcim në frekuenca të ulëta deri në 1MHz, në frekuenca të mesme deri në 100MHz dhe në frekuenca të larta mbi 100MHz. Sipas fuqisë, mund të jenë për fuqi të vogla deri në 0,2 W, për fuqi të vogla deri në 1W dhe për fuqi të mëdha mbi 1W.

Si elemente komutuese, përveç funksioneve standarde të komutimit, transistorët përdoren në teknologjinë digjitale për prodhimin e portave logjike si komponentë përbërës të sistemeve komplekse digjitale. Kështu, për shembull, një çip gjysmëpërçues mund të përmbajë edhe disa miliona elemente transistorë komutues.

Transistori si element përdoret në pothuajse të gjitha pajisjet elektronike. Përrjashtim janë vetëm filtrat VF dhe NF, të cilët kryesisht përbëhen nga kondensatorët dhe bobinat dhe ndonjë rezistencë. Megjithëse në pajisjet e sotme më tepër përdoren qarqet e integruara, për shkak të avantazheve të shumta: dimensione të vogla, instalim dhe servisim i thjeshtë, transistorët nuk janë eliminuar nga përdorimi. Nuk janë të dukshëm si elemente të pavarura, ata janë të integruar me elemente tjera dhe ndërtojnë qarqe të integruara. Transistorët kombinohen me rezistenca, kondensatorë, dioda, bobina dhe me transistor tjerë. Ajo që mundet shumë mirë të integrohen, prova janë procesorët e sotshëm të kompjuterëve.



VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim

(Rretho përgjigjet e sakta)

1. Bartës kryesor të ngarkesës elektrike në transistorin -PNP janë:

- a) elektronet
- b) vrimat
- c) donorët
- d) akceptorët

2. Njësia matëse e parametrit h_{FE} është:

- a) numër i paidentifikuar
- b) A
- c) V.

3. Bartës dytësor të ngarkesës elektrike në transistorin-PNP janë:

- a) elektronet
- b) vrimat
- c) donorët
- d) akceptorët

4. Varësia e rrymës I_C nga U_{CE} për rrymë I_B konstante tek transistori në lidhje me emiter të përbashkët paraqitet me:

- a) karakteristikën kalimtare
- b) karakteristikën hyrëse
- c) karakteristikën dalëse

5. Tek transistori me lidhje baze të përbashkët rryma e hyrjes është:

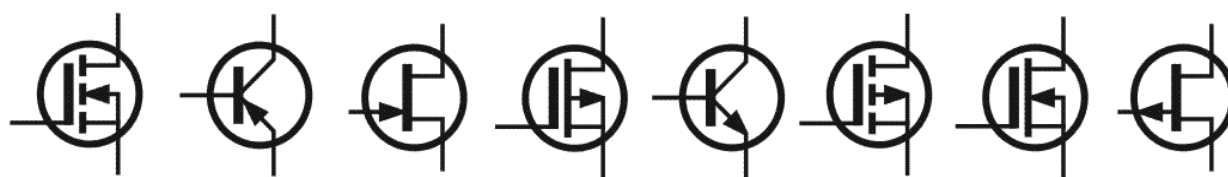
- a) I_C
 - b) I_B
 - c) I_E
-

6. Karakteristika dalëse e transistorit në lidhje me emiter të përbashkët zakonisht është e përfaqësuar nga:

- $I_C = f(U_{CE})$ për $I_B = \text{const.}$
- $I_B = f(U_{BE})$ për $U_{CE} = \text{const.}$
- $U_{BE} = f(U_{CE})$ për $I_B = \text{const.}$

II Pyetje me lidhshmëri

7. Lidh simbolet elektrike me llojet e transistorëve:



a) b) c) d) e) f) g)

h)

1. Transistor - NPN _____
2. Transistor -PNP _____
3. FET i llojit - N _____
4. FET i llojit - P _____
5. MOSFET me kanal-N me kanal të induktuar _____
6. MOSFET me kanal-P me kanal të induktuar _____
7. MOSFET me kanal-N me kanal të ndërtuar _____
8. MOSFET me kanal-P me kanal të ndërtuar _____

8. Lidh parametrat me relacionet:

1. Përçueshmëria dalëse

$$a) h_{11} = h_i = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ për } \Delta U_2 = 0 .$$

2. Koeficienti i tensionit në lidhje të kundërt.

$$b) h_{12} = h_r = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} ; \text{ për } \Delta I_1 = 0 .$$

3. Koeficienti i përforcimit të rrymës.

$$c) h_{21} = h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} ; \text{ për } \Delta U_2 = 0 .$$

4. Rezistenca hyrëse.

$$d) h_{21} = h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} ; \text{ për } \Delta U_2 = 0 .$$

9. Lidh gjendjen e MOSFET-it me kushtin:

1. Çelës i mbyllur
2. Çelës i hapur

a) $U_{GS} \ll U_T$ _____.

b) $U_{GS} \gg U_T$ _____.

III Pyetje me plotësim

10. Me raportin e ndryshimit të rrymës së kolektorit ΔI_C , dhe ndryshimin e rrymës së bazës ΔI_B definohet _____.

11. Kur transistori është në regjimin e ngopjes, rryma dalëse ka intensitet _____, kurse rezistenca dalëse vlerën _____.

12. Kur lidhja e emiterit dhe kolektorit janë me polarizim invers, transistori është në regjimin e _____.

13. Transistori polarizohet ashtu që kalimi i emiterit do të jetë i polarizuar _____, kurse i kolektorit i polarizuar _____.

14. Në $U_{DS} > (U_{GS} - U_T)$ MOSFET-ti punon në regjimin _____.

15. Me relacionin $I_D = f(U_{DS})$ për $U_{GS} = \text{const.}$ është e definuar karakteristika _____ e MOSFET-it në lidhje me burim të përbashkët.

Hulumto dhe mëso më tepër:

- Krijo tabelën në të cilën do të fusësh karakteristikat e llojeve të transistorëve dhe analizoje atë.

- Hulumto në internet për transistorët- skema të realizimit praktik.

- Përpuno projekt për llojet e transistorëve.

- Përpuno projekt për përdorimin e transistorëve.



PËRFORCUESIT- AMPLIFIKATORËT

Duke studiuar përmbajtjen e kësaj teme, do të fitosh njohuri bazë për përforcuesit dhe do të mund:

- të definosh termin përforcim;
- të kuptosh rolin e përforcuesit;
- të dallosh ndarjet bazë të përforcuesve;
- të njohësh përcaktimin e parametrave bazë të një përforcuesi;
- të sqarosh përforcuesin si element katërpolar aktiv;
- të njohësh konfiguracionet e ndryshme të përforcuesve me transistor bipolar dhe unipolar;
- të llogarisësh përforcim tensioni dhe rryme, rezistencë hyrëse dhe dalëse;
- të krahasosh karakteristika të konfiguracioneve të lidhjeve të ndryshme ;
- të llogarisësh parametrat e lidhjes-qarkut të Darlingtonit në konfiguracione të ndryshme;
- të llogarisësh parametra të lidhjeve të përforcuesve bazë me FET dhe MOSFET;
- të shpjegosh lidhjen e përforcuesve të lidhur në kaskadë;
- të interpretosh përforcimin e rrymës dhe tensionit në lidhjen kaskadë të përforcuesve;
- të shpjegosh parimin e funksionimit të përforcuesit diferencial;
- të interpretosh karakteristikën kalimtare të një përforcuesi diferencial ideal;
- të përshkruash konfiguracionin real të përforcuesit diferencial;
- të kuptosh llojet e deformimeve;
- të kuptosh lidhjen e kundërt tek përforcuesit;
- të njohësh parametrat e përforcuesve me lidhje të kundërt;
- të shpjegosh ndikimin e lidhjes negative mbi përforcuesit;
- të kuptosh efektin korrektues të lidhjes së kundërt mbi punën e përforcuesit;
- të analizosh varësinë mes llojit të lidhjes së kundërt dhe parametrave të përforcuesit;
- të analizosh skema të përforcuesve të lidhur direkt me rrymë të vazhdueshme;
- të njohësh përforcuesit e fuqisë;
- të definosh faktor të efektit të dobishëm tek përforcuesit e fuqisë;
- të kuptosh skemën bazë dhe parimore të përforcuesit në klasën A dhe në klasën B/AB me çift transistorësh komplementar;

3.1. Përforcimi dhe roli i përforcuesit

Shpesh herë është e nevojshme të forcohet amplituda apo fuqia e sinjaleve elektrike. **Përforcuesi është një strukturë elektronike e cila ka për detyrë të përforcojë sinjalin që lidhet në hyrjen e tij dhe në daljen e tij të fitohet sinjal i cili ka të njëjtën formë si sinjali hyrës, por me amplitudë më të madhe.** Me përforcuesit përforcohet tensioni, rryma apo fuqia. Përforcuesi është i ndërtuar nga elemente aktive dhe pasive, kështu që duhet të ekzistojë një burim shtesë i energjisë elektrike.

Thelbi i përforcimit është në atë që nuk kemi rritur rrymën hyrëse dhe tensionin hyrës, por ndryshim i vogël i tensionit dhe rrymës hyrëse shkakton ndryshim të madh të tensionit dalës, që interpretohet si tension ose rrymë e përforcuar hyrëse. Përforcuesi nga transistori nuk prodhon energji elektrike të re, energjinë e burimit të ushqimit të vazhduar ai e shndërron në energji të sinjalit të përforcuar të daljes.

Në rastin e përgjithshëm, përforcuesit tregohen me trekëndësh, si në figurën 3.1, kur konstruksioni i tyre nuk ka rëndësi për të treguar funksionimin e gjithë qarkut.

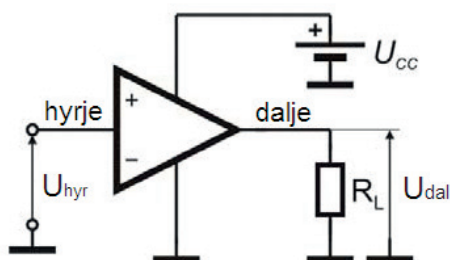


Figura 3.1: Shenja skematike e përgjithshme e përforcuesit.

Në të hyrje të përforcuesit vendoset sinjali hyrës U_{hyr} , kurse në dalje fitohet sinjal U_{dal} me formë të njëjtë, por me vlerë të zmadhuar. Ata janë të përcaktuar në raport me një pikë të përbashkët në qark - masën. Njëri pol i burimit të ushqimit shpesh lidhet në masë. Funkzioni i qarkut është të përforcojë sinjalin hyrës dhe të bartet në ngarkesën që ka rezistencë R_L .

Gjithsesi se një përforcim kaq i madh, që është i nevojshëm në shembullin e përmendur të fotodiodës, nuk mund të realizohet me një përforcues, por janë të nevojshme më tepër stadi përforcuese, të lidhur në kaskadë (**figura 3.2**). Përforcuesit në kaskadë nuk janë të barabartë mes veti.

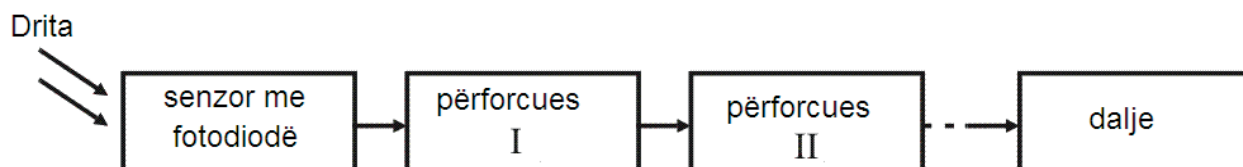


Figura 3.2: Lidhja kaskadë e përforcuesve.

3.2. Ndarja e përforcuesve

Në kryerjen e një detyre të caktuar marrin pjesë më shumë qarqe përforcuese, të cilat mes veti ndryshojnë sipas mundësive të tyre ose sipas karakteristikave të tyre. Përforcuesit mund të ndahen në disa grupe: sipas llojit të përforcimit, sipas brezit të frekuencave apo sipas regjimit të punës.

Ndarja e parë është në përforcues të sinjaleve të vogla dhe përforcues të sinjaleve të mëdha. Sinjalet e vogla janë më shpesh në fillim të kaskadës përforcuese, kurse të mëdhenjtë në fund.

Sipas llojit të përforcimit kemi **përforcues të tensionit, përforcues të rrymës dhe përforcues të fuqisë**. Në një zinxhir të përforcuesve, siç është e nevojshme, për shembull, për përforcimin e tensionit të fotodiodës, përforcuesi i tensionit ose rrymës gjendet në vet fillimin, kurse në fund gjendet përforcuesi i fuqisë.

Sipas gjerësisë së brezit të frekuencës dhe sipas pozitës së KAF (karakteristikës amplitudë-frekuencë) në boshtin e frekuencës, janë dy ndarje të veçanta, përforcuesit ndahen në: përforcues të brezit të gjerë, brezit të ngushtë ose selektiv, të frekuencave të ulëta, të frekuencave të larta dhe në përforcues të sinjalit të vazhduar. Karakteristikat ideale të frekuencave të tyre, sa për krahasim, janë dhënë në **figurën 3.3**.

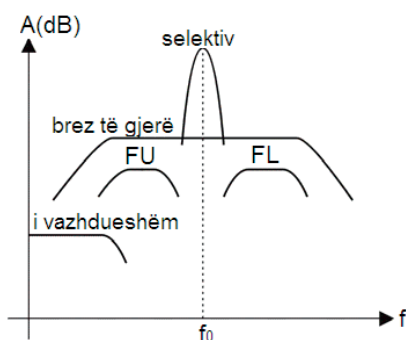


Figura 3.3: Karakteristikat ideale amplitudë-frekuencë të përforcuesve të ndryshëm

Përforcuesit e brezit të gjerë mund të përforcojnë sinjal me brez frekuence të gjerë, siç janë sinjalet video në televizion apo për përforcimin e impulseve (për këtë arsye edhe quhen video përforcues ose përforcues impulsiv).

Përforcuesit selektiv përforcojnë sinjal me brez të ngushtë të frekuencës rreth frekuencës bartëse f_0 . Përdoren zakonisht në pajisjet e telekomunikacionit dhe radio pajisjet, kur duhet të bëhet selektimi i një sinjali nga më shumë sinjale me frekuenca bartëse të ndryshme.

Përforcuesit e frekuencave të ulëta (FU) përforcojnë sinjalet me frekuenca të ulëta. Burimet e frekuencave të ulëta janë të ndryshme. Fuqia maksimale e këtyre burimeve sillet mes 10^{-10} W deri 10^{-6} W. Kështu, për shembull, mikrofoni me shirit mund të jep rreth 10^{-6} W, ndërsa mikrofoni me

karbon jep deri në 10^{-6} W. Për sinjalet e zërit (në telefoni), brezi i frekuencave shkon nga 300 Hz deri në 3400 Hz, kurse për sinjalet muzikore nga 20 Hz deri në 20000 Hz.

Përforcuesit e frekuencave të larta (FL) i përforcojnë sinjalet që zënë pjesën e sipërme të spektrit të frekuencave dhe ata janë të ngjashëm me përforcuesit selektiv, vetëm se me brez frekuence më të gjerë. Ata përdoren në pajisje të ndryshme radio, radarë, pajisje satelitore dhe pajisje tjera.

Përforcuesit e sinjaleve të vazhduar shërbejnë për përforcimin e sinjaleve me ndryshim të ngadalshëm me frekuencë kufitare të poshtme të barabartë me zero. Përdorimi i tyre më i shpeshtë është në teknikën e matjeve.

Regjimi i punës së përforcuesit është e përcaktuar me pozitën e pikës së punës të tij. Sipas kësaj, përforcuesit ndahen në përforcues në klasën A, klasën AB, klasën B dhe klasën C. Vendi i pikës së punës në drejtëzën e punës në karakteristikën dalëse, në karakteristikën rrymë-tension të transistorit është paraqitur në **figurën 3.4**. Nga figura shihet se drejtëza e punës, nga pika B e tutje shtrihet në boshtin e abshisës.

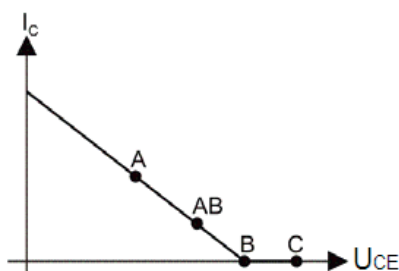


Figura 3.4: Pika e punës e përforcuesit në regjime të ndryshme të punës.

Përforcues në klasën A ka pikë të punës, të vendosur në mes të drejtëzës së punës, me çka fitohen deformime më të vogla jolineare të cilat krijohen nga jolineariteti i karakteristikës rrymë-tension të transistorit. Në këtë regjim pune ndodhen përforcuesit e tensionit dhe rrymës.

Pika e punës e përforcuesit në klasën B ndodhet në fillimin drejtëzës së punës. Përforcuesi më shpesh ndërtohet me dy transistorë.

Përforcuesi me klasë AB ka pikë të punës e cila është e vendosur ndërmjet pikave A dhe B. Me pikë pune të vendosur në këtë mënyrë merren më pak deformime në krahasim me pikën B.

Pika e punës e përforcuesit në klasën C është e vendosur në rajonin e polarizimit të kundërt-invers. Kjo do të thotë se përforcuesi nuk do të reagojë në sinjal deri sa ai nuk do ta sjellë në regjimin në pikën B. Në këtë regjim punon përforcuesi i fuqisë në brez të ngushtë të frekuencës, si, për shembull, përforcuesi dalës i radioanteneve.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çfarë lloje të përforcuesve ekzistojnë sipas llojit të përforcimit?
2. Si ndahen përforcuesit sipas gjerësisë së brezit të frekuencave?
3. Ku përdoren përforcuesit e brezit të gjerë?

4. Ku përdoren përforcuesit selektiv?
5. Ku aplikohen përforcuesit e frekuencave të ulëta e ku ata të frekuencave të larta?
6. Ku ndodhet pika e punës e përforcuesit në klasën A, B, AB dhe C në karakteristikën dalëse të përforcuesit?

3.3. Përforcuesi si një katërpolar aktiv

Përforcuesi mund të trajtohet si një katërpolar, i përbërë nga një ose më shumë celula përforcuese. Celula përforcuese bazë ndërtohet me transistor bipolar dhe unipolar, përforcues operacional, rezistenca, kondensatorë dhe bobina. Bllok-skema e tij me lidhjet hyrëse dhe dalëse dhe lidhjen e burimit të ushqimit është dhënë në **figurën 3.5**.

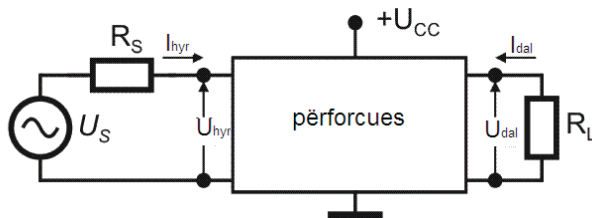


Figura 3.5: Bllok-skema e përforcuesit bazë.

Në hyrje të përforcuesit lidhet burimi i sinjalit U_S me rezistencë vetjake R_S , kurse në dalje rezistenca e ngarkesës R_L .

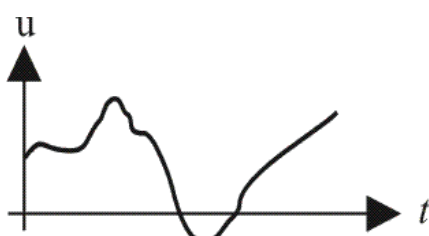


Figura 3.6: Forma komplekse e sinjalit analog

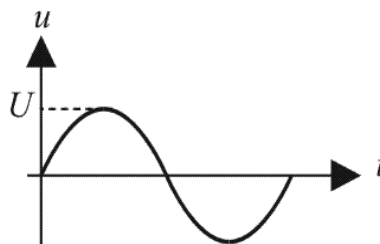


Figura 3.7: Forma sinusoidale e sinjalit

Sinjali me ndryshim të vazhdueshëm në kohë quhet **sinjal analog** (figura 3.6), kurse qarqet për përpunimin e tyre quhen qarqe analoge. Sinjali analog mund të ketë një formë valore komplekse si në figurën 3.6 ose të jetë i përsëritshëm ose periodik, siç është sinjali sinusoidal nga **figura 3.7**. Duke u bazuar në sinjalin sinusoidal përcaktohen karakteristikat e shumë qarqeve elektronike dhe sistemeve.

Tensioni i cili ndryshon në mënyrë sinusoidale me kalimin e kohës mund të prezantohet me funksionin:

$$u(t) = U \sin(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (3.1)$$

Në këtë funksion ka tre parametra që të cilët mund të ndryshohen: amplituda U , frekuenca këndore ω dhe këndi i fazës φ . Raporti në mes të frekuencë këndore ω , të dhënë në radian për sekondë, kundrejt frekuencës f , të shprehur në Hz, përcaktohet me relacionin:

$$\omega = 2\pi f \dots\dots\dots(3.2)$$

KONTROLLO NËSE DIN

- | | |
|----|--|
| 1. | Vizato bllok-skemën e përforcuesit si një katërpolar. |
| 2. | Cilët parametra të sinjalit sinusoidal mund të ndryshohen? |

3.4. Përcaktimi i parametrave të përforcuesit

Amplituda është njëri nga parametrat më të rëndësishëm. Përforcuesi është një strukturë elektronike e cila duhet të rrisë amplitudë e sinjalit. Nëse sinjali është përfaqësuar si një tension, atëherë definohet përforcimi i tensionit i përforcuesit si raport i tensionit të daljes kundrejt tensionit në hyrje të sinjalit.

Kur përforcimi i tensionit është pozitiv, tensioni hyrës dhe dalës janë në fazë, por kur është negativ, ata janë të zhvendosur në fazë për 180° .

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Për sinjalin e rrymës kemi përforcim të rrymës si raport të rrymës dalëse kundrejt asaj hyrëse:

$$A_I = \frac{I_{dal}}{I_{hyr}} \dots\dots\dots(3.4)$$

kurse për përforcimin e fuqisë kemi herës të fuqive të sinjalit alternativ në dalje P_{dal} dhe në hyrje P_{hyr} të përforcuesit:

$$A_P = \frac{P_{dal}}{P_{hyr}} = \left| \frac{U_{dal} \cdot I_{dal}}{U_{hyr} \cdot I_{hyr}} \right| = |A_U \cdot A_I| \dots\dots\dots(3.5)$$

Përforcimi mund të shprehet me njësi logaritmike në decibel (dB) si:

$$A_U(dB) = 20 \log \left| \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} \right|, \quad A_I(dB) = 20 \log \left| \frac{I_{dal}}{I_{hyr}} \right|, \quad A_P(dB) = 10 \log \left| \frac{P_{dal}}{P_{hyr}} \right| \dots\dots\dots(3.6)$$

Koeficienti i përforcimit η definohet si raport i fuqisë së mesme të sinjalit alternativ, që i jepet konsumatorit dhe fuqisë që merret nga burimi i ushqimit, e shprehur në përqindje si:

$$\eta = \left| \frac{P_{sig}}{P_{bur}} \right| \cdot 100(\%) \dots\dots\dots(3.7)$$

Rezistenca hyrëse definohet si raport i tensionit hyrës dhe rrymës hyrëse:

$$R_{hyr} = \frac{U_{hyr}}{I_{hyr}} (\Omega) \dots\dots\dots(3.8)$$

kurse dalëse me:

$$R_{dal} = \frac{U_{dal}}{I_{dal}} (\Omega) \dots\dots\dots(3.9)$$

Në këtë definicion U_{dal} është tension dalës kur konsumatori nuk është i lidhur, kurse I_{dal} rryma dalëse kur dalja është e lidhur shkurt. Nga rezistenca hyrëse kërkohet që të ketë vlerë më të madhe, me çka më pak do të ngarkojë gjeneratorin e sinjalit ose përforcuesin e stadiit paraprak. Rezistenca dalëse, megjithatë, duhet të ketë vlerë më të vogël, që të mos vijë deri te dobësimi i sinjalit dalës.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si definohet përforcimi i rrymës së përforcuesit?
2. Shkruaj ekuacionin me të cilin do të prezantosh përforcimin e tensionit të përforcuesit.
3. Defino koeficientin e përforcimit të përforcuesit.
4. Shkruaj relacionet me të cilat përcaktohet rezistenca hyrëse dhe dalëse.

3.5. Karakteristika e frekuencës dhe fazore e përforcuesit

Edhe një karakteristikë tjetër e rëndësishme e përforcuesit është karakteristika e frekuencës dhe fazore. Karakteristika e frekuencës (**figura 3.8**) tregon se si ndryshon përforcimi i përforcuesit kur amplituda e tensionit sinusoidal në hyrje është konstant, kurse ndryshon frekuenca e tij.

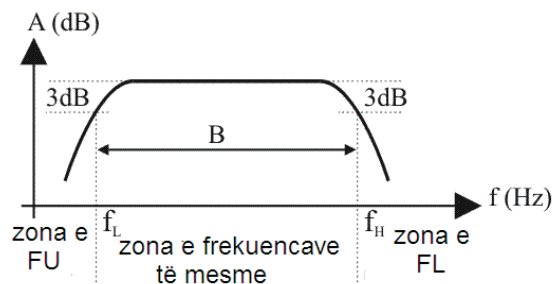


Figura 3.8: Karakteristika e frekuencës e përforcuesit.

Asnjë përforcues real nuk mund të përforcojë sinjalin hyrës në brezin e pafund të frekuencave. Në qarkun e përforcuesit, përveç transistorit, i cili ka kufizime në raport me frekuencat të cilat mund ti përforcojë, ekzistojnë edhe kapacitete edhe induktivitete, të cilat e bëjnë përforcimin të varur nga

frekuenca. Në disa frekuenca të larta, përforcuesi më nuk do të mund të jetë në gjendje të jap amplitudë të njëjtë të sinjalit dalës, si në frekuencat e mesme.

Për **frekuencë kufitare të sipërme** f_H të përforcuesit llogaritet frekuenca për të cilën përforcimi bie për 3 dB, gjegjësisht për faktor 0.707, në raport me përforcimin në frekuenca të mesme. Deri në rënien e përforcimit vjen edhe në frekuenca të ulëta, kurse në mënyrë të njëjtë definohet edhe **frekuenca kufitare e poshtme** f_L . Dallimi në mes të frekuencës kufitare të sipërme dhe të poshtme:

$$B = f_H - f_L \dots\dots\dots(03:10)$$

quhet **brezi i lëshimit** i përforcuesit. Sinjalet me frekuenca në këtë brez do të përforcohen pa shtrembërime. Shtrembërimi manifestohet në dallimin në formë mes sinjalit dalës dhe sinjalit hyrës dhe paraqitet në sinjalet jashtë brezit të lëshimit.

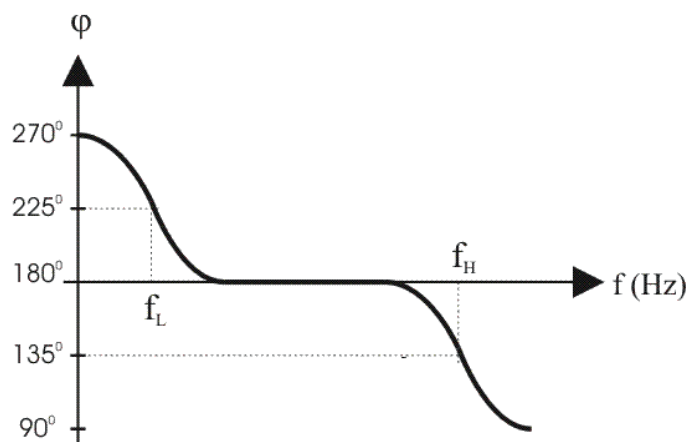


Figura 3.9: Karakteristika fazore e përforcuesit.

Karakteristika e fazës (**figura 3.9**) tregon se si ndryshohet zhvendosja fazore e sinjalit dalës në krahasim me sinjalin hyrës me ndryshimin e frekuencës. Vërehet zvogëlim i ndryshimit fazor për frekuenca të larta dhe rritje e frekuencave të ulëta. Për frekuencën kufitare të sipërme ndryshimi fazor zvogëlohet për 45° , kurse për të poshtmen rritet për 45° . Me zvogëlimin dhe rritjen e ndryshimit fazor në raport për 180° paraqiten shtrembërime fazore të sinjalit.

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesi e përforcon tensioni, rrymën ose fuqinë e sinjalit analog ose digjital.
- * Thelbi i përforcimit është: ndryshimi i vogël i tensionit ose rrymës së hyrjes shkakton ndryshim të madh në tensionin e daljes.
- * Përforcuesit ndahen në disa grupe sipas:
 - a) llojit të përforcimit (përforcues tensioni, rryme ose fuqie);

b) Brezit të frekuencave (brez të gjerë, selektiv, përforcues të frekuencave të ulëta, përforcues të frekuencave të larta dhe të vazhduar);

c) Regjimit të punës, kjo do të thotë sipas pozitës së pikës së punës (klasa A, klasa AB, klasa B dhe klasa C).

- * Karakteristika e frekuencës së përforcuesit tregon se si ndryshon përforcimi, kurse e fazës si ndryshon faza e sinjalit me ndryshimin e frekuencës së sinjalit.
- * Parametrat bazë të përforcuesit janë përforcimi i tensioni, rrymës dhe fuqisë, koeficienti i përforcimit, rezistenca hyrëse dhe dalëse.
- * Frekuenca kufitare e sipërme dhe e poshtme është frekuenca për të cilën përforcimi i përforcuesit bie për 3dB në krahasim me përforcimin në frekuenca të mesme.
- * Brezi i lëshimit është brezi mes frekuencës kufitare të sipërme dhe të poshtme të përforcuesit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino karakteristikën e frekuencës së përforcuesit.
2. Vizato karakteristikën fazore të përforcuesit dhe defino frekuencën kufitare të sipërme dhe të poshtme.
3. Si përcaktohet brezi i lëshimit të përforcuesit?

3.6. Analiza grafike e punës së përforcuesit me transistorë

Analiza grafike zbatohet kur kemi sinjale hyrëse me amplitudë të madhe. Me këtë metodë merret parasysh jolineariteti i karakteristikave. E gjithë analiza grafike është bërë në përforcuesin me transistor me lidhje me emiter të përbashkët.

Nën ndikimin e ndryshimit të sinjalit në qarkun hyrës, vjen deri te ndryshimi i tensionit në dalje U_{CE} . Ajo do të thotë se pika e punës, e treguar në karakteristikat hyrëse dhe kalimtare kërcen nga njëra në tjetrën karakteristike, me çka e përshkruan karakteristikën hyrëse dinamike

Në **figurën 3.10** paraqiten karakteristikat statike dalëse, kalimtare dhe hyrëse të transistorit, të vendosura ashtu që mund të shihet fitimi i karakteristikës dinamike kalimtare dhe hyrëse. Diagrami i karakteristikave dinamike të hyrjes dhe drejtëza dinamike e punës nuk dallohen nga diagrami i karakteristikave statike dhe drejtëza statike e punës. Karakteristika dinamike kalimtare dhe hyrëse

fitohen me zhvendosjen e pikave të prerjes a_1, a_2, a_3, a_4 dhe M të drejtëzës së punës me karakteristika dalëse për $I_B = \text{const.}$ në sistemin e karakteristikave statike kalimtare dhe të hyrjes.

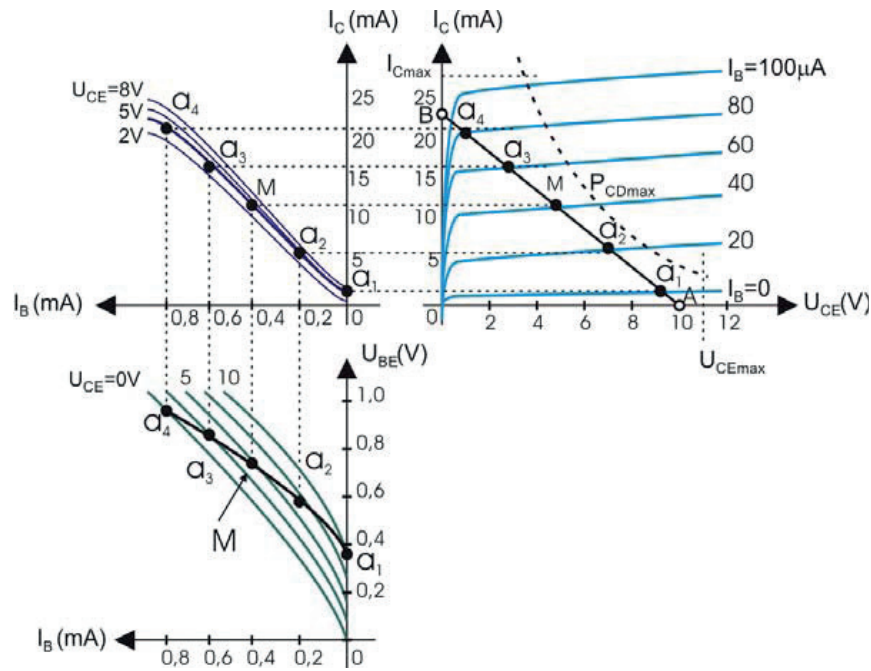


Figura 3.10: Formimi i karakteristikës dinamike kalimtare dhe hyrëse.

Në **figura 3.11** jepen diagramet e karakteristikave dinamike të përforcuesit, të bartur nga figura 3.10. Në hyrje të përforcuesit është lidhur tension alternativ:

$$u_{hur} = U_{hyrm} \sin \omega t, \dots\dots\dots(3.11)$$

ku janë: u_{hyr} -vlera momentale e tensionit, U_{hyrm} – amplituda, kurse ω - frekuenca rrethore.

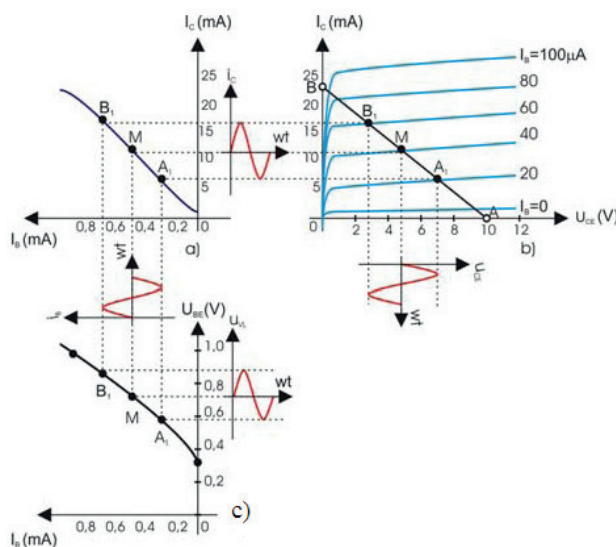


Figura 3.11: Përcaktimi grafik i përforcimit.

Ky tension alternativ i shtohet tensionit të vazhduar të polarizimit të bazës U_{BE} , siç tregohet në karakteristikën hyrëse (figura 3.11c). Rryma e bazës, gjithashtu, përmban komponentë të vazhduara dhe alternative dhe ka formë të dhënë me :

$$i_b = I_{B(M)} + I_{bm} \sin \omega t \dots\dots\dots(3.12)$$

ku me $I_{B(M)}$ është treguar rryma e vazhduar e polarizimit të bazës në pikën M, kurse me I_{bm} amplituda e rrymës së sinjalit hyrës.

Ndryshimet e rrymës së bazës shkaktojnë ndryshime të rrymës së kolektorit dhe ajo fiton formën:

$$i_c = I_{C(M)} + I_{cm} \sin \omega t \dots\dots\dots(3.13)$$

ku me $I_{C(M)}$ është shënuar komponenti i vazhduar i pikës së punës, kurse me I_{cm} amplituda e komponentit alternativ të rrymës së kolektorit (figura 3.11a).

Gjatë transferimit të pikave nga karakteristika kalimtare në atë dalje vërehet se zhvendosja e pikës së punës M kah B_1 shkakton zmadhimin e rrymës së kolektorit, por edhe zvogëlimin e tensionit të kolektorit. Me fjalë tjera, gjysmë-perioda pozitive e tensionit të bazës dhe rrymës së bazës krijojnë një gjysmë-periodë të tensionit të kolektorit, kurse kjo do të thotë se mes tensionit të bazës dhe tensionit të kolektorit ekziston ndryshimi fazor prej 180° .

Tensioni i daljes i transistorit me lidhje me emiter të përbashkët është:

$$u_{dal} = -u_{ce} = -I_{C(M)}R_C - I_{cm}R_C \sin \omega t \dots\dots\dots(3.14)$$

ose

$$u_{dal} = -U_{CE(M)} - U_{cem} \sin \omega t \dots\dots\dots(3.15)$$

ku $U_{CE(M)}$ është komponenti i vazhduar i tensionit të kolektorit në pikën M, dhe U_{cem} amplituda e komponentit alternativ të tensionit të kolektorit.

Përforcimi i tensionit, i fituar me stadin e përforcimit, definohet si:

$$A_u = \frac{U_{dalm}}{U_{hyrm}} = \frac{U_{cem}}{U_{bem}} \dots\dots\dots(3.16)$$

kurse përforcimi i rrymës si:

$$A_i = \frac{I_{dalm}}{I_{hyrm}} = \frac{I_{cm}}{I_{bm}} \dots\dots\dots(3.17)$$

Dhe në fund, përforcimi i fuqisë si:

$$A_p = \frac{P_{dal}}{P_{hyr}} = A_u \cdot A_i \dots\dots\dots(3.18)$$

MBAJ MEND!!!

- * Analiza grafike është metodë për përcaktimin e parametrave nga karakteristika dinamike e elementit aktiv për sinjale hyrëse të dhënë me amplitudë të madhe.
- * Sinjali në dalje përmban komponentë të vazhduar dhe alternative.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Për çfarë sinjale hyrëse përdoret metoda grafike për përcaktimin e përforcimit?
2. Shpjego fitimin e karakteristikës dinamike kalimtare dhe hyrëse me ndihmën e figurës 3.10.

3.7. Lloje të konfiguracioneve të përforcuesve

Përforcuesi i sinjaleve të vogla është përforcues linear në të cilin ndryshimet e sinjal rreth pikës së punës janë mjaft të vogla që të mund të neglizhohen deformimet jolineare dhe të thjeshtohen llogaritjet e parametrave. Në praktikë kjo do të thotë, ndryshimi i tensionit të sinjalit të mos kalojë brezin prej disa qindra milivoltësh.

Në analizën konsiderohet se përforcuesi punon në pjesën e mesme të brezit të lëshimit të frekuencave për të cilat është caktuar. Ky brez i frekuencave të sinjalit është mjaftueshëm i lartë, kështu që të gjithë kondensatorët për bashkim kanë impedancë të vogël dhe llogariten si lidhje e shkurtër për komponentin alternativ të sinjalit. Përveç kësaj, impedanca e të gjitha kapaciteteve parazitare të lidhjeve të transistorit është mjaftueshëm e lartë, kështu që ata paraqesin qark të hapur dhe nuk merren parasysh.

Në pjesën e mesme të brezit të lëshimit, numri më i madh përforcuesve kanë përforcim konstant me vlerë maksimale. Përforcimi bie në skajet e zonës së brezit të lëshimit.

3.7.1. Përforcues me konfiguracion - emiter të përbashkët

Ky konfiguracion paraqet lidhje më të përdorshme të përforcuesit. Skema elektrike e përforcuesit është dhënë në figurën 3.12.

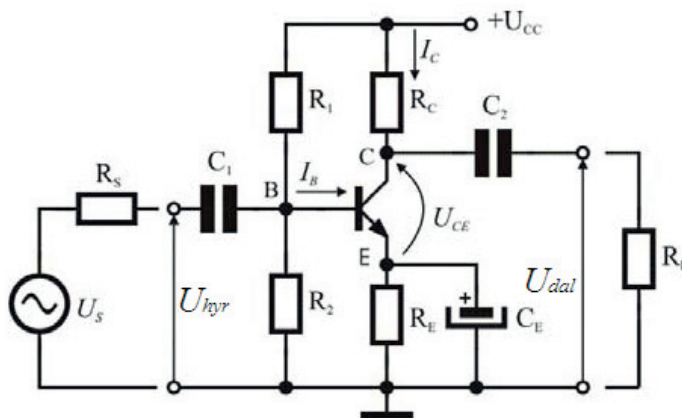


Figura 3.12: Përforcues me transistor bipolar me konfiguracion emiter të përbashkët.

Polarizimi

Transistori do të funksionojë si një përforcues kur kalimet e tij PN janë të polarizuar në mënyrë të rregullt edhe atë kalimi i emiterit të jetë drejtë kurse i kolektorit me polarizim të kundërt. Me ndarësin e tensionit, të përbërë nga dy rezistenca R_1 dhe R_2 , polarizohet drejtë kalimi PN i emiterit të transistorit, gjegjësisht përcaktohet rryma e bazës, ashtu që pika e punës e transistorit të gjendet në zonën aktive dhe ai të punoj si një përforcues. Me rezistencën R_C përcaktohet pozita e pikës së punës, kurse me rezistencën R_E sigurohet stabiliteti nga temperatura e pikës së punës.

Kondensatori elektrolitik C_E dhe rezistenca R_E e lidhur paralelisht krijon lidhje të shkurtër për sinjalin alternativ dhe e eliminon ndikimin e kësaj rezistence mbi përforcimin. Kondensatorët për bashkim C_1 dhe C_2 , gjithashtu paraqesin lidhje të shkurtër për sinjalin alternativ. Nga ana tjetër, këto kondensator e bllokojnë rrymën e vazhduar dhe gjithçka që është majtas kondensatorit C_1 dhe djathtas nga kondensatori C_2 nuk ka ndikim mbi polarizimin e transistorit.

Me pranimin e kushtit $I_C \gg I_B$, vlen relacioni:

$$U_{CC} = U_{CE} + (R_C + R_E)I_C \dots\dots\dots(3.19)$$

Ky është ekuacioni i drejtëzës statike të punës. Në karakteristikat dalëse të transistorëve, për drejtëzën e punës zgjidhet pozita më e përshtatshme, dhe kjo është të jetë nën hiperbolën fuqisë maksimale të lejuar të disipacionit-shpërndarjes dhe të sigurojë brez më të gjerë të lëvizjes së pikës së punës në pjesën lineare të karakteristikës (figura 3.13). Nga pika prerëse e drejtëzës së punës me boshtin e abshisës përcaktohet vlera e duhur e tensionit të vazhduar të burimit U_{CC} .

Në drejtëzën e punës përcaktohet vendi i pikës të punës, kurse me atë përcaktohen edhe vlerat e rrymës së bazës I_B , tensionit U_{CE} dhe rrymës I_C .

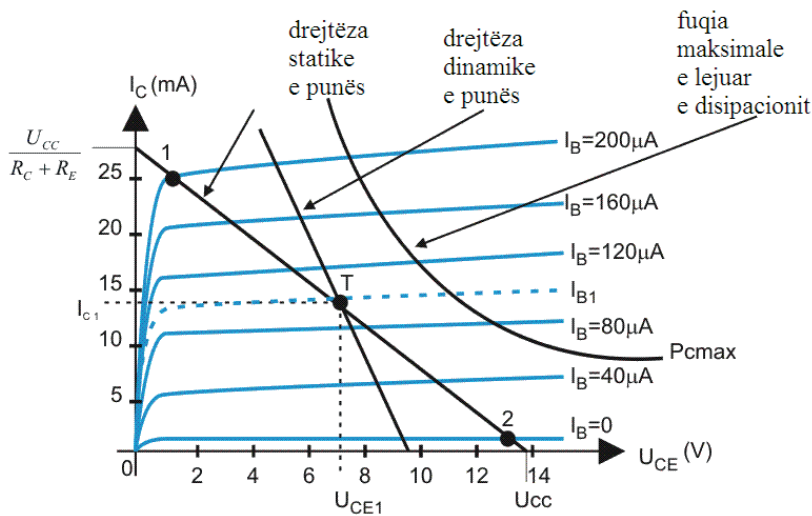


Figura 3.13: Përcaktimi grafik i pikës statike të punës së transistorit.

Rryma e ndarësit të tension R_1 - R_2 është shumë më e madhe se sa rryma e bazës I_B

$$\frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} \gg I_B \dots\dots\dots(3.20)$$

Nëse nuk merret parasysh rryma e bazës, rryma e ndarësit do të jetë:

$$I_{R_1} \approx I_{R_2} \approx \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2}, \dots\dots\dots(3.21)$$

kurse tensioni i bazës:

$$U_B = U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(3.22)$$

Tensioni i emiterit U_E është:

$$U_E = U_B - U_{BE} = R_E I_E = R_E(I_C + I_B) \dots\dots\dots(3.23)$$

dhe kështu vijmë në vlerën e R_E :

$$R_E = \frac{U_E}{I_C + I_B} \approx \frac{U_E}{I_C} \dots\dots\dots(3.24)$$

Tani zgjidhet vlera e saktë e rezistencës R_C përmes tensionit të kolektorit është:

$$U_C = U_{CE} + U_E \dots\dots\dots(3.25)$$

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_C}{I_C} \dots\dots\dots(3.26)$$

Me vlerat e këtilla të zgjedhura për R_E dhe R_C vendoset pika e punës, kështu që ti kënaq kushtet specifike të polarizimit.

Drejhtëza statike e punës ka të bëjë vetëm për kushtet statike të punës me rezistencën e kolektorit dhe emiterit. Për rrymën alternative rezistenca e kolektorit është e lidhur në paralel me rezistencën e konsumatorit, kurse rezistenca R_E është e lidhur shkurt me kondensatorin C_E , kështu që drejtëza e punës dinamike e ndryshon këndin kundrejt boshtit të abshisës.

Nëse nuk zbatohet supozimi 3.20, qarku për polarizim mund të transformohet sipas teoremës së Thevenenit (figura 3.14), që të bëhet llogaritja e rrymës I_B .

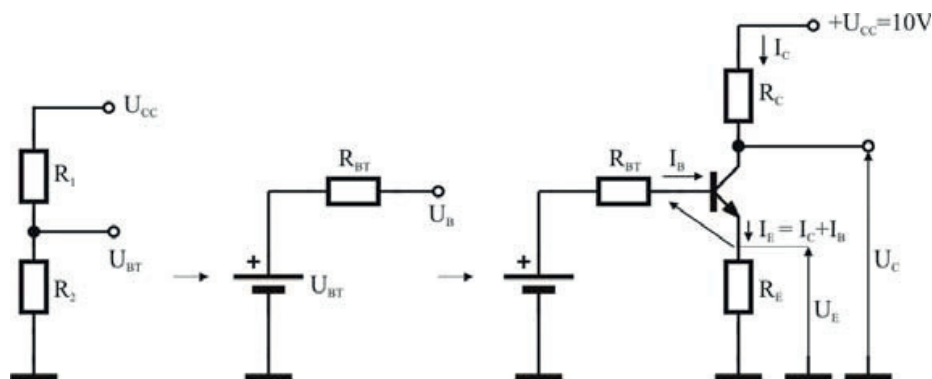


Figura 3.14: Qarku elektrik i përforcuesit për përcaktimin e pikës statike të punës.

$$U_{BT} = U_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$R_{BT} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(3.28)$$

Për konturën e qarkut bazë-emiter vlen ekuacioni:

$$U_{BT} - R_{BT} \cdot I_B - U_{BE} - I_E \cdot R_E = 0 \dots\dots\dots(3.29)$$

Kurse për rrymën I_B fitohet:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} \dots\dots\dots(3.30)$$

Stabilizimi i pikës së punës në ndryshimet e temperaturës me rezistencën R_E kryhet si më poshtë. Ndryshimet termike në transistor ndodhin ngadalë, ndryshimet e tensionit të emiterit janë të ngadalshme, kurse ndikimi i kondensatorit C_E është i papërfillshëm. Në qarkun e emiterit, kondensatori si do që të jetë nuk ekziston. Me ndryshimin e temperaturës mund të vijë deri te ndryshimi i ndonjë parametri të transistorit dhe të shkaktojë zhvendosjen e pikës së punës. Nëse, për shembull, vjen deri te zhvendosja e pikës së punës lartë, në drejtimin e rrymës shumicë të kolektorit, rritet edhe rënia e tensionit të rezistencës R_E dhe zvogëlohet tensioni bazë-emiter, pasi që tensioni i bazës nuk ndryshon, ai varet vetëm nga tensioni i burimit të ushqimit dhe nga rezistencat R_1 dhe R_2 . Zvogëlimi i tensionit U_{BE} shkakton zvogëlimin e rrymës I_B , kurse me të zvogëlohet edhe rryma I_C . Rezultati përfundimtar është se rryma I_C kthehet në vlerën e mëparshme. Një korrigjim i ngjashëm ndodh edhe nëse zhvendoset pika e punës poshtë në drejtëzën e punës. Në këtë mënyrë rezistenca R_E e mban pikën e punës përafërsisht në të njëjtin vend, gjegjësisht e stabilizon.

MBAJ MEND!!!

- * Transistori punon si përforcues kur kalimi i emiterit është i polarizuar drejt, kurse i kolektorit invers (për transistorin NPN $U_C > U_B > U_E$, për transistorin PNP $U_C < U_B < U_E$).
- * Për sinjale të vogla konsiderohen sinjalet që shkaktojnë pak ndryshime në pozitën e pikës së punës, ashtu që të mos futet në pjesën jolineare të karakteristikës.
- * Në brezin e lëshimit të përforcuesit, kondensatorët për bashkim dhe burimet e ushqimit konsiderohen si lidhje e shkurtër në raport me **komponentin alternativ** të sinjalit.
- * Drejtëza e punës vendoset ashtu që të jetë nën hiperbolën e dispacioni- shpërndarjes.
- * Me caktimin e pozitës së pikës së punës, përcaktohen vlerat e rrymës së bazës, tensionit të kolektorit, tensioni kolektor-emiter dhe rryma e kolektorit.
- * Me rezistencën R_E , në qarkun e emiterit arrihet stabilizimi i pikës së punës gjatë ndryshimit të temperaturës.

3.7.2. Metoda analitike për llogaritjen e parametrave të përforcuesve

Për llogaritje të përforcimit do të përdorim skemën ekuivalente të përforcuesit të transistorit për rrymë dhe tension alternativ për transistor të lidhur me emiter të përbashkët, nga fig. 3.12. Skema ekuivalente është dhënë në **figurën 3.15**. Në skemë nuk është futur burimi për tension të vazhduar U_{CC} , i cili është një lidhje e shkurtër për rrymën alternative. Gjithashtu, janë larguar rezistencat R_1 dhe R_2 sepse vlerat e tyre janë shumë më të mëdha se sa vlera e parametrimit h_{11} , rezistenca R_E , e cila është e kompensuar me kondensatorin C_E për **komponentin alternativ** të sinjalit dhe rezistenca R_L që stadi i përforcimit të mos jetë i ngarkuar dhe llogaritja të jetë më e thjeshtë. Shenjat + dhe – të shigjetave që shënojnë tensionin e paraqesin polarizimin e tensionit alternativ në një moment, në të cilin shihen tensionet alternative në qarkun që të dihet a janë reciprokisht në fazë apo në fazë të kundërt.

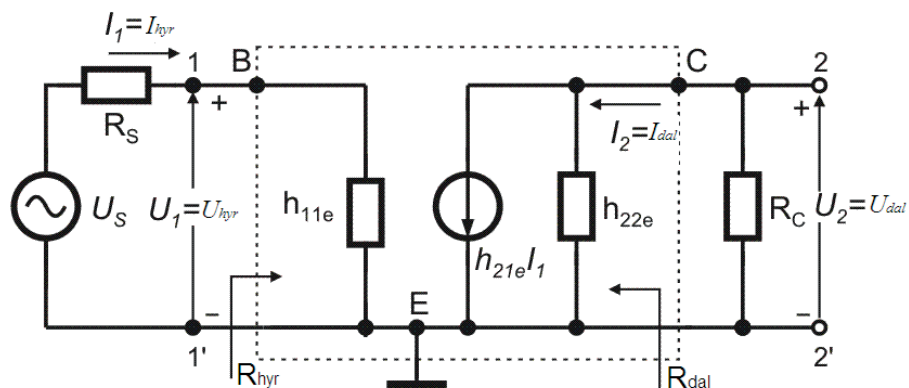


Figura 3.15: Qarku ekuivalent i përforcuesit me emiter të përbashkët.

Sistemi i ekuacioneve me parametra hibrid për qarkun nga figura 3.15 do të jetë:

$$U_1 = h_{11e} I_1 + h_{12e} U_2$$

$$I_2 = h_{21e} I_1 + h_{22e} U_2 \dots\dots\dots (3.31)$$

Tensioni i daljes U_2 është:

$$U_2 = -R_C I_2, \dots\dots\dots (3.32)$$

kështu që rrjedh:

$$I_2 = -\frac{U_2}{R_C} \dots\dots\dots (3.33)$$

Duke futur shprehjen (3.33) në ekuacionin e dytë të sistemi (3.31) dhe zgjidhje të ekuacionit sipas I_1 fitohet:

$$I_1 = -\frac{U_2}{h_{21e}} \left(\frac{1}{R_C} + h_{22e} \right).$$

Tash shprehjen për I_1 do ta zëvendësojmë në ekuacionin e parë të sistemit (3.31) dhe pas zgjidhjes fitojmë:

$$U_1 = -U_2 \left(\frac{h_{11e} + R_C (h_{11e} h_{22e} - h_{12e} h_{21e})}{h_{21e} R_C} \right).$$

Kjo shprehje thjeshtohet duke futur:

$$\Delta h_e = h_{11e} h_{22e} - h_{12e} h_{21e} \dots\dots\dots(3.34)$$

dhe atëherë është:

$$U_1 = -U_2 \frac{h_{11e} + R_C \Delta h_e}{h_{21e} R_C} \dots\dots\dots(3.35)$$

Nga kjo shprehje lehtë mund të fitohet **përforcimi i tensionit** si:

$$A_u = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{h_{21e} R_C}{h_{11e} + R_C \Delta h_e}, \dots\dots\dots(3.36)$$

Shenja negative në shprehjen e përforcimit të tensionit tregon se tensioni i daljes dhe i hyrjes janë zhvendosur për 180° .

Me zëvendësimin e shprehjes (3.27) në ekuacionin e dytë të sistemit të ekuacioneve (3.26) dhe operacione matematikore të përsëritura si më parë, fitohet shprehja për rrymën I_2 :

$$I_2 = -\frac{h_{21e} I_1}{1 + h_{22e} R_C} \dots\dots\dots(3.37)$$

Përforcimi i rrymës do të jetë:

$$A_i = \frac{I_{dal}}{I_{hyr}} = \frac{I_2}{I_1} = -\frac{h_{21e}}{1 + h_{22e} R_C} \dots\dots\dots(3.38)$$

Përforcimi i fuqisë është produkt i përforcimit të tensionit dhe rrymës, kështu që kemi:

$$A_p = A_u \cdot A_i = \frac{h_{21e}^2 R_C}{(h_{11e} + R_C \Delta h_e)(1 + h_{22e} R_C)} \dots\dots\dots(3.39)$$

Për shumicën e qarqeve përforcuese me transistorë vlejné përafrimet- aproksimacionet e mëposhtme:

$$h_{11e} \gg R_C \Delta h_e \text{ dhe } h_{22e} R_C \ll 1.$$

Me këto përafrime shprehjet për përforcimin e tensionit, rrymës dhe fuqisë bëhen:

$$A_u \approx -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} R_C \dots\dots\dots(3.40)$$

$$A_i \approx h_{21e} = -h_{fe} \dots\dots\dots(3.41)$$

$$A_p \approx \frac{h_{21e}^2 R_C}{h_{11e}} = \frac{h_{fe}^2 R_C}{h_{ie}} \dots\dots\dots(3.42)$$

Rezistenca hyrëse e përforcuesit përcaktohet nën kushtin që tensioni dalës U_{dal} të jetë i barabartë me zero, me çka zvogëlohet gjeneratori i tensionit në hyrje, kështu që kemi:

$$R_{hyr} = \frac{U_{hyr}}{I_{hyr}} = h_{11e} = h_{ie} \dots \dots \dots (3.43)$$

Rezistenca dalëse përcaktohet nën kushtin që qarku i hyrjes të jetë i hapur, me çka bie gjeneratori i rrymës, kështu që kemi:

$$R_{dal} = \frac{U_{dal}}{I_{dal}} = \frac{1}{h_{22e}} = \frac{1}{h_{oe}} \dots \dots \dots (3.43)$$

Përforcimi i tensionit është linearisht i varur nga vlera e rezistencës së ngarkesës dhe zakonisht ka vlerë të madhe. Përforcimi i rrymës i përforcuesit është i barabartë me përforcim e rrymës të transistorit, rezistenca hyrëse e përforcuesit është e barabartë me rezistencën e hyrjes së transistorit, kurse ai dalës në proporcion të kundërt me përçueshmërinë dalëse të transistorit.

3.7.3. Përforcuesi me konfiguracion- kolektor të përbashkët

Në këtë konfiguracion, sinjal vendoset në bazën e transistorit njëjloj si në lidhjen me emiter të përbashkët, kurse dalja fitohet nga emiteri (figura 3.16). Kolektori është i lidhur direkt me burimin e ushqimit U_{CC} , i cili për sinjalin alternativ paraqet lidhje të shkurtër. Kështu, kolektori është i lidhur me masën dhe paraqet elektrodë të përbashkët për hyrjen dhe daljen. Me rezistencën R_E përcaktohet drejtëza e punës dhe pika e punës së transistorit, në atë mënyrë që tashmë është përshkruar në stadin me emiter të përbashkët.

Skema ekuivalente e stadi për sinjalin alternativ është dhënë në **figurën 3.16 b**. Në skemë, transistori është treguar me parametrat - h për lidhje me emitter të përbashkëta, që të mund të bëhet krahasimi me stadin me emiter të përbashkët. Supozimet nga stadi për lidhje me emiter të përbashkët në raport të C_1 , C_2 , U_{CC} dhe R_B janë marrë në konsideratë, kurse lidhja paralele e R_E dhe R_L është zëvendësuar me R_L'' .

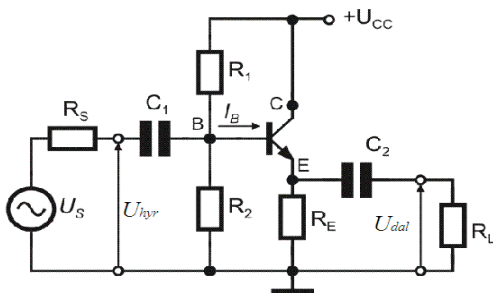


Figura 3.16a: Përforcues në lidhje me kolektor të përbashkët

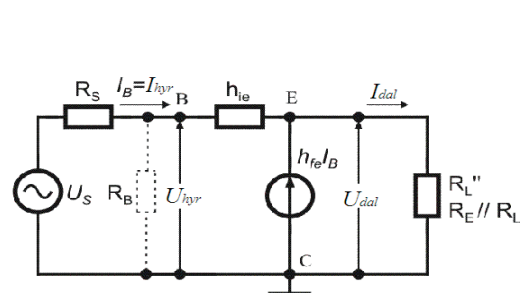


Figura 3.16b: Skema ekuivalente për sinjalin alternativ

Për rrymën dalëse, e cila rrjedh në lidhjen paralele R_L'' , sipas ligjit të II të Kirkofit për pikën E vlen:

$$I_{dal} = h_{fe} I_B + I_B = (h_{fe} + 1) I_B \dots\dots\dots(3.45)$$

Përforcimi i rrymës llogaritet si:

$$A_I = \frac{I_{dal}}{I_{hyr}} = \frac{(h_{fe} + 1) I_B}{I_B} = h_{fe} + 1 \dots\dots\dots(3.46)$$

Kjo shprehje tregon, duke marrë parasysh që $h_{fe} \gg 1$, se përforcimi i rrymës është shumë më i madh se 1.

Rezistenca hyrëse R_{hyr} përcaktohet sipas ligjit të I të Kirkofit:

$$R_{hyr} = \frac{U_{hyr}}{I_B} = \frac{h_{ie} I_B + U_{CE}}{I_B} \dots\dots\dots(3.47)$$

Me futjen e shprehjes 3.44 në ekuacionin për U_{CE} fitohet:

$$U_{CE} = R_L'' I_{dal} = R_L'' (1 + h_{fe}) I_B \dots\dots\dots(3.48)$$

dhe tash me futjen e (3.48) në shprehjen (3.47) fitojmë:

$$R_{hyr} = \frac{h_{ie} I_B + R_L'' (1 + h_{fe}) I_B}{I_B} = h_{ie} + R_L'' (1 + h_{fe}) \dots\dots\dots(3.49)$$

Vlera e madhe e h_{fe} bën që rezistenca e hyrjes të ketë vlerë të madhe.

Përforcimi i tensionit mund të përcaktohet nga:

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{U_{CE}}{R_{hyr} I_B} = \frac{R_L'' (1 + h_{fe}) I_B}{h_{ie} I_B + R_L'' (1 + h_{fe}) I_B} = \frac{R_L'' (1 + h_{fe})}{h_{ie} + R_L'' (1 + h_{fe})} \dots\dots\dots(3.50)$$

Në këtë shprehje numëruesi është më i vogël se emëruesi, që do të thotë se përforcimi i tensionit është më i vogël se 1. Ky përforcues nuk sjell ndryshim fazor të sinjalit.

Që të përcaktohet rezistenca dalëse, duhet shkurtimisht të lidhet burimi i sinjalit dhe të shkyçet lidhja paralele R_L'' . Tash skema ekuivalente merr formën si në **figurën 3.17**.

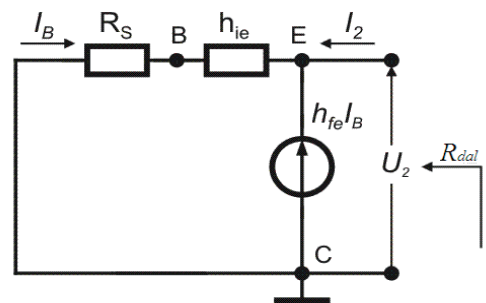


Figura 3.17: Skema ekuivalente për llogaritjen e rezistencës dalëse.

Përsëri, përmes ligjeve të Kirkofit, vijmë deri te ekuacionet:

$$I_2 = -I_B - h_{fe} I_B = -(1 + h_{fe}) I_B \dots\dots\dots(3.51)$$

$$U_2 = -I_B(R_S + h_{ie}) \dots \dots \dots (3.52)$$

$$R_{dal} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{R_S + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \dots \dots \dots (3.53)$$

Rezistenca e daljes është shumë e vogël, ajo është me vlerë prej disa dhjetëra Ω.

Përforcuesi në lidhje me kolektor të përbashkët (i njohur edhe si ndjekës emiterial) e përforcon vetëm rrymën, kurse përforcimi i tensionit është afër 1. Ai ka rezistencë hyrëse të madhe dhe rezistencë dalëse të vogël.

3.7.4. Përforcuesi me konfiguracion- bazë të përbashkët

Në figurën 3.18 është dhënë skema e **përforcuesit me transistor me lidhje me bazë të përbashkët**. Duhet të theksohet se qarku do të ishte i barabartë me gjendjen kur në përforcuesin me emiter të përbashkët vendoset i njëjti tension me fazë të kundërt.

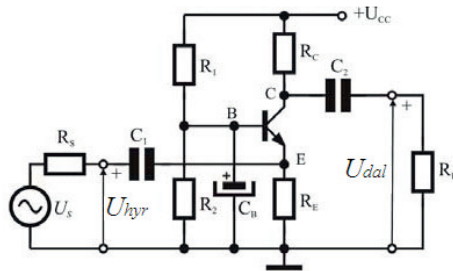


Figura 3.18: Skema e përforcuesit në lidhje me bazë të përbashkët.

Rezultati përfundimtar është se ky përforcues nuk fut ndryshim të fazës të sinjalit hyrës. Tensioni hyrës kyçet mes emiterit dhe bazës. Dalja fitohet nga lidhja e kolektorit. Baza është e lidhur me masën për sinjalin alternativ përmes kondensatorit elektrolitik C_B.

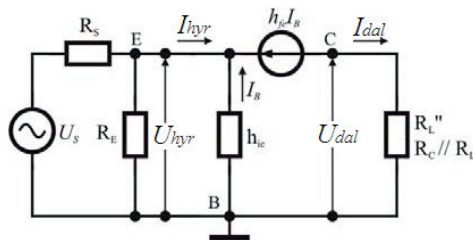


Figura 3.19: Skema ekuivalente e përforcuesit në lidhje me bazë të përbashkët.

Skema ekuivalente e përforcuesit është dhënë në **figurën 3.19**. Rryma hyrëse këtu është rryma që rrjedh në rezistencën R_E, kurse dalëse në rezistencat e lidhur paralele R_C dhe R_L.

Nga skema ekuivalente rrjedh:

$$I_{dal} = -h_{fe} I_B \text{ dhe } I_{hyr} = -I_B - h_{fe} I_B = -(1 + h_{fe}) I_B .$$

Përforcimi i rrymës llogaritet si:

$$A_I = \frac{I_{dal}}{I_{hyr}} = -\frac{h_{fe} I_B}{-(1+h_{fe})I_B} = \frac{h_{fe}}{1+h_{fe}} \approx 1 \quad \dots\dots\dots(3.54)$$

dhe është e barabartë me 1.

Rezistenca hyrëse është:

$$R_{hyr} = \frac{U_{hyr}}{I_{hur}} = -\frac{h_{ie} I_B}{-(1+h_{fe})I_B} = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}} \quad \dots\dots\dots(3.55)$$

Rezistenca e hyrjes është shumë e vogël, arrin në disa dhjetëra ome.

Përforcimi i tensionit llogaritet si:

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{-h_{fe} I_B R_L''}{-h_{ie} I_B} = \frac{h_{fe} R_L''}{h_{ie}} \quad \dots\dots\dots(3.56)$$

Përforcimi i tensionit është i madh dhe është përafërsisht i barabartë me përforcimin e tensionit në stadin me emiter të përbashkët.

Rezistenca dalëse është shumë e madhe $R_{dal} \rightarrow \infty$.

Në tabelën 1 është dhënë krahasimi i vlerave të parametrave të caktuara për të tre konfiguracionet e përforcuesve.

Tabela 1

Lidhja →	Emiter i përbashkët	Kolektort i përbashkët	Bazë e përbashkët
Përforcimi i rrymës A_I	i madh $-h_{fe}$	i madh $1+h_{fe}$	i vogël $\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}} \cong 1$
Rezistenca hyrëse R_{hyr}	mesatare e madhe h_{ie}	e madhe $h_{ie} + R_L''(1+h_{fe})$	e vogël $\frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$
Përforcimi i tensionit A_U	i madh $\frac{-h_{fe} R_L''}{h_{ie}}$	i vogël $\frac{R_L''(1+h_{fe})}{h_{ie} + R_L''(1+h_{fe})} \cong 1$	i madh $\frac{h_{fe} R_L''}{h_{ie}}$
Rezistenca dalëse R_{dal}	e madhe ∞	e vogël $\frac{h_{ie} + R_S}{1+h_{fe}}$	e madhe ∞

3.7.5. Lidhja e Darlingtonit

Kur nga transistori në përforcues kërkohet të ketë koeficient të përforcimit të rrymës h_{fe} (për shembull, 10 000), mund të zbatohet lidhja speciale e dy transistorëve, e quajtur lidhje e Darlingtonit. Lidhje mund të bëhet me transistor të llojit NPN ose PNP (figura 3.20). Kjo lidhje ka tre dalje të cilat përfaqësojnë kolektor, bazë dhe emiter ekuivalent. Simboli elektrik i dy transistorëve bipolar në lidhjen e Darlingtonit është dhënë në figurën 3.21.

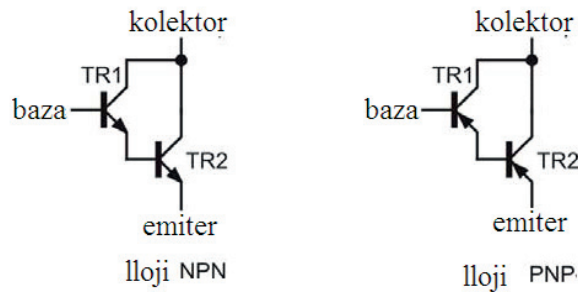


Figura 3.20: Struktura e dy transistorëve bipolar në lidhjen e Darlingtonit.

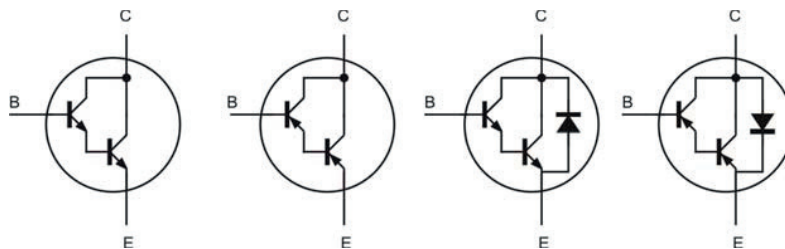


Figura 3.21: Simbolet elektrike të dy transistorëve bipolar në lidhjen e Darlingtonit.

Transistorët e Darlingtonit mund të përdoret në të gjitha tre konfiguracionet, por më shpesh përdoren në konfiguracion me emiter të përbashkët dhe kolektor të përbashkët.

Për zbatimin e lidhjes së Darlingtonit të rëndësishëm janë parametrat e përgjithshëm h_{11e} dhe h_{21e} . Ata do të llogariten me ndihmën e figurës 3.22. Për këtë llogaritje supozohet se rrymat e kolektorit dhe emiterit të njërit transistorë në një lidhje janë të barabarta.

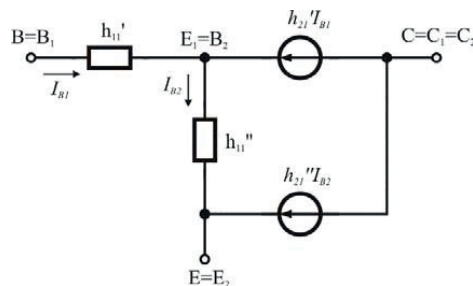


Figura 3.22: Skema ekuivalente e dy transistorëve bipolar në lidhjen e Darlingtonit.

Rryma e bazës e transistorit TR1 është I_{B1} , kurse rryma e kolektorit të tij do të jetë:

$$I_{C1} = h_{21}' I_{B1} \dots \dots \dots (3.57)$$

Kjo është në të njëjtën kohë edhe rryma e bazës I_{B2} e transistorit TR2, kurse rryma e kolektorit të tij do të llogaritet sipas;

$$I_{C2} = h_{21}'' h_{21}' I_{B1} = h_{21e} I_{B1}$$

$$h_{21e} = h_{21}' h_{21}'' \dots \dots \dots (3.58)$$

Koeficienti ekuivalent h_{21e} i lidhjes së Darlingtonit është i barabartë me prodhimin e koeficienteve h_{21} të transistorëve ndaras të lidhjes. Ai ka vlerë të madhe.

Rezistenca hyrëse e lidhjes së Darlingtonit është e madhe, më e madhe se rezistenca hyrëse e transistorit të parë në lidhje.

Lidhja e Darlingtonit përdoret për përforcues nga të cilët kërkohet përforcim i madh (rrymës dhe tensionit) dhe rezistencë hyrëse e madhe. Nga stabilizatorët me transistor kërkohet rrymë më e madhe dhe për këtë arsye përdoren dy transistorë bipolar në lidhje të Darlingtonit.

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesi me lidhje me emiter të përbashkët ka:
 - Përforcim të madh të tensionit;
 - Përforcim të rrymës të barabartë me koeficientin e përforcimit të rrymës së transistorit;
 - Përforcim të madh të fuqisë;
 - Rezistencë hyrëse të barabartë me rezistencën hyrëse të transistorit h_{ie} ;
 - Ka zhvendosje fazore të sinjalit në dalje në krahasim me sinjalin në hyrje për 180° ;
 - Rezistencë dalje në proporcional të kundërt me përçueshmërinë dalje të transistorit $1/h_{oe}$.
- * Përforcuesi në lidhje me kolektor të përbashkët (i njohur edhe ndjekës emiterial) e përforcon vetëm rrymën, kurse përforcimi i tensionit është i barabartë me 1. Ai ka rezistencë hyrëse të madhe, kurse rezistencë dalje të vogël dhe nuk fut zhvendosje në fazë.
- * Përforcimi i tensionit i përforcuesit në lidhje me bazë të përbashkët është i madh dhe përafërsisht është i barabartë përforcimin e tensionit të stadiit me emiter të përbashkët. Përforcimi i rrymës është 1, rezistenca hyrëse shumë e vogël, dalje shumë e madhe dhe nuk fut zhvendosje fazore.
- * Me lidhjen e Darlingtonit arrihet koeficient i madh i përforcimit të rrymës h_{fe} .

3.7.6. Përforcues me konfiguracion burim të përbashkët (source) të përbashkët

Skema elektrike e një përforcuesi me konfiguracion me burim të përbashkët me MOSFET me kanal-N është dhënë në **figurën 3.23**. Sinjali hyrës është i lidhur me gejtin, dalja merret nga drejti, kurse burimi është në potencialin e masës. Me rezistencat R_1 dhe R_2 polarizohet gejti, kurse me R_D drejti, kështu që në pika e punës të gjenden në rajonin aktiv, në zonën e pjesës lineare të karakteristikës dalëse. Me vendosje të kështillë të pikës së punës përcaktohen parametrat për sinjale të vogla.

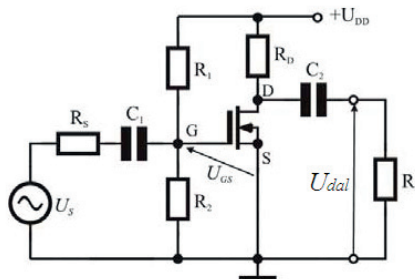


Figura 3.23: Skema elektrike e përforcuesit me MOSFET me konfiguracion me burim të përbashkët.

Për skemën ekuivalente të këtij përforcuesi më të përshtatshëm janë parametrat y . Skema ekuivalente e ka formën si në **figurën 3.24**.

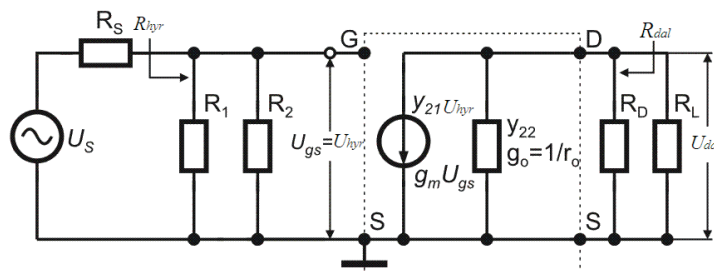


Figura 3.24: Skema ekuivalente e përforcuesit në konfiguracion me burim të përbashkët.

Ajo është vizatuar mbi bazën e sjelljeve tashmë të njohura të kondensatorëve elektrolitik C_1 dhe C_2 dhe burimit të tensionit të vazhduar U_{DD} për rrymë alternative. MOSFET-ti është prezantuar nga modeli i tij për sinjale të vogla, në të cilin figuron gjeneratori i varur i rrymës:

$$y_{21}U_{hyr} = g_m U_{gs} \dots\dots\dots (3.59)$$

dhe admitansa e daljes

$$y_{22} = g_o = \frac{1}{r_o} \dots\dots\dots (3.60)$$

Duke pasur parasysh faktin se rryma e gejtit është zero, qarku hyrës bëhet i hapur dhe skema fiton formë akoma më të thjeshtë (figura 3.25).

Tensioni i polarizimit të gejtit përcaktohet sipas:

$$U_{GS} = U_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(3.61)$$

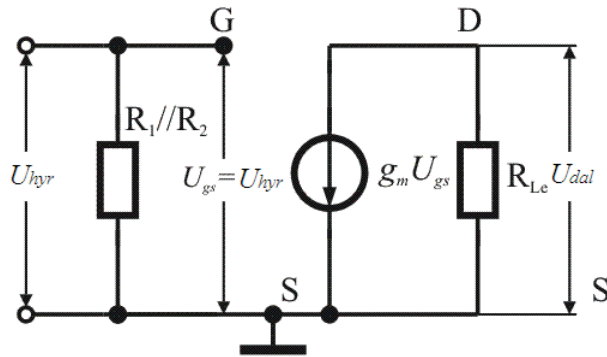


Figura 3.25: Skema ekuivalente e thjeshtuar.

Pika e punës qëndron diku në karakteristikën U_{GS} , e përcaktuar me këtë ekuacion dhe ajo e përcakton vlerën e rrymës I_D . Tash mund të caktohet tensioni i drejnit U_D :

$$U_D = U_{DD} - R_D I_D \dots\dots\dots(3.62)$$

me çka saktë është përcaktuar pozita e pikës së punës.

Parametrat g_m dhe g_0 të MOSFET-it për sinjale të vogla mund të maten sipas definicioneve:

$$g_m \approx \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} / \Delta U_{DS} = 0 \quad \text{dhe} \quad g_0 = \frac{1}{r_0} \approx \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{DS}} / \Delta U_{GS} = 0$$

ose të nxirren nga katalogët e prodhuesit.

Nga skema ekuivalente rrjedh:

$$U_{dal} = -g_m U_{gs} R_{Le} \dots\dots\dots(3.63)$$

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{-g_m U_{gs} R_{Le}}{U_{gs}} = -g_m R_{Le} \dots\dots\dots(3.64)$$

Me këtë përforcues futet zhvendosje në fazë prej 180° .

Rezistenca hyrëse e përforcuesit R_{hyr} është rezistenca ekuivalente totale e parë në hyrje të përforcuesit. Ajo është:

$$R_{hyr} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(3.65)$$

Rezistenca dalëse e përforcuesit R_{dal} është rezistenca e përgjithshme e shikuar prapa në skajet dalëse të përforcuesit, duke mos marrë parasysh asnjë lloj rezistence të jashtme:

$$R_{dal} = \frac{r_0 R_D}{r_0 + R_D} \dots \dots \dots (3.66)$$

Në qarkun e burimit mund të vendoset rezistencë në paralel me një kondensator elektrolitik, me detyrë të kryejë stabilizimin nga temperatura të pikës së punës në atë mënyrë që tashmë është përshkruar për përforcuesin me emiter të përbashkët (figura 3.26). Kjo mënyrë e polarizimit zbatohet për MOSFET me kanal të ndërtuar.

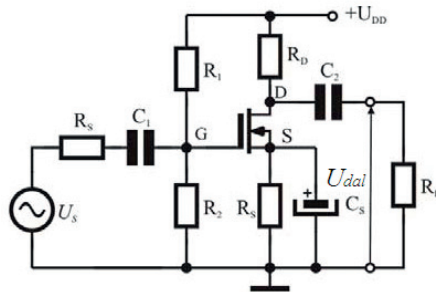


Figura 3.26: Skema elektrike me stabilizim të temperaturës të pikës së punës.

3.7.7. Përforcues me konfiguracion gejt (portë) të përbashkët

Skema kryesore e përforcuesit është dhënë në figurën 3.27. Përcaktimi i vendit të pikës së punës është bërë njëloj si për përforcuesin me lidhje me emiter të përbashkët, me atë që tash gejtji është në potencialin e masës. Hyrja është mes burimit dhe gejtjit, kurse dalja merret nga drejtni.

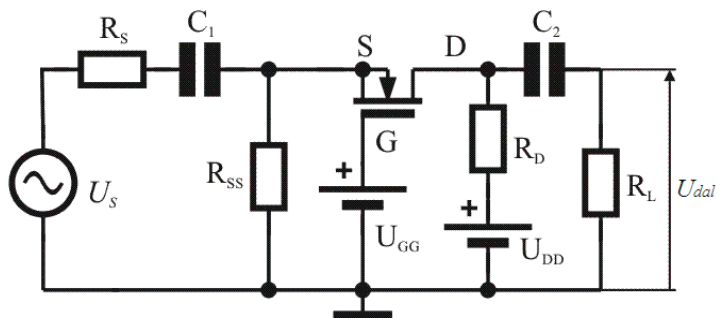


Figura 3.27: Skema parimore e përforcuesit në lidhje me gejt të përbashkët.

Pikën e punës do të vendosim në karakteristikën dalëse, duke zgjedhur vlerën e rrymës I_D . Shtegu i rrymës I_D është nga burimi U_{DD} , përmes R_D , përmes pjesës drejtni - burim të MOSFET-it dhe përmes R_{SS} . Rënia e tensionit në R_{SS} është:

$$U_{R_s} = I_D R_{SS} \dots \dots \dots (3.67)$$

kurse tensioni i gejtjit do të jetë:

$$U_{GS} = U_{GG} - U_{R_{SS}} \dots \dots \dots (3.68)$$

tensioni U_{GG} mund të fitohet me ndarësin e tensionit R_1, R_2 nga tensioni U_{DD} si:

$$U_{GG} = U_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \dots\dots\dots(3.69)$$

kurse tensioni U_{DS} si:

$$U_{DS} = U_{DD} - (R_D + R_{SS})I_D$$

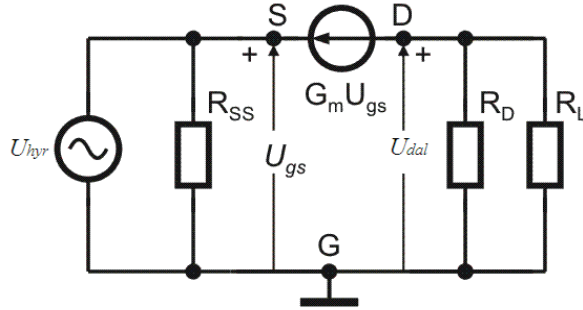


Figura 3.28: Skema ekuivalente e përforcuesit në lidhje me gejt të përbashkët.

Me këtë është caktuar pika e punës dhe mund të përcaktohen parametrat për sinjale të vogla të përforcuesit me ndihmën e skemës ekuivalente në figurën 3.28. Sinjali i hyrje U_{hyr} dhe i daljes U_{dal} caktohen sipas:

$$U_{hyr} = -U_{gs} \text{ dhe } U_{dal} = -g_m U_{gs} R_{Le}, \dots\dots\dots(3.70)$$

me çka:

$$R_{Le} = \frac{R_D R_L}{R_D + R_L} \dots\dots\dots(3.71)$$

Përforcimi i tensionit është:

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = g_m R_{Le} \dots\dots\dots(3.72)$$

Rezistenca hyrëse në këtë konfiguracion nuk është e pafundme. Nga përkufizimi i burimit të varur të rrymës $g_m U_{gs}$ rrjedh se ndryshimi i tensionit të hyrjes $U_{hyr} = U_{gs}$ shkakton ndryshim të rrymës së hyrjes të shprehur me $g_m U_{gs}$. Raporti i tensionit të hyrjes dhe rrymës së hyrjes e jep rezistencën e hyrjes të MOSFET-it si:

$$R_{mosfet} = \frac{-U_{gs}}{-g_m U_{gs}} = \frac{1}{g_m} \dots\dots\dots(3.73)$$

Rezistenca e hyrjes e përforcuesit është një lidhje paralele e R_{mosfet} dhe R_{SS} :

$$R_{hyr} = \frac{R_{SS} \frac{1}{g_m}}{R_{SS} + \frac{1}{g_m}} \dots\dots\dots(3.74)$$

Për përforcuesin në lidhje me gejt të përbashkët, përforcimi është pozitiv, domethënë nuk fut zhvendosje fazore prej 180° dhe ka një rezistencë të vogël të hyrjes. Qarku i përforcuesit mund të përdoret për të përshtat ndonjë stad me rezistencë të vogël të hyrjes me ndonjë stad tjetër me rezistencë të daljes të madhe, nëse vendoset mes tyre.

3.7.8. Përforcues në konfiguracion me drejn (derdhje) të përbashkët

Skema elektrike e përforcuesit me MOSFET me kanal-n është dhënë në **figurën 3.29**. Përforcimi i tensionit të këtij qarku është diçka më e vogël se 1. Me vendosjen e modelit të MOSFET-it në skemën ekuivalente për sinjale të vogla, siç është përshkruar tashmë më parë, fitohet:

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{g_m R_{Le}}{1 + g_m R_{Le}}.$$

.....(3.75)

Ky përforcues ka rezistencë hyrëse të madhe dhe rezistencë të vogël të daljes dhe nuk e inverton sinjalin (nuk fut zhvendosje në fazë).

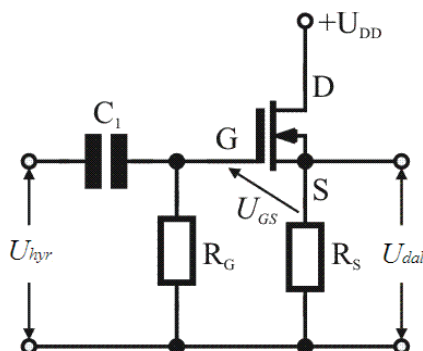


Figura 3.29: Skema elektrike e përforcuesit me MOSFET me kanal-n.

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesi me MOSFET me konfiguracion me burim të përbashkët ka përforcim të tensionit i cili varet nga vlera e rezistencës së ngarkesës, rezistenca hyrëse ka vlerë të madhe, kurse rezistenca dalëse varet nga vlera e rezistencës dalëse të MOSFET-it dhe e zhvendos në fazë sinjalin dalës për 180° .
- * Përforcuesi MOSFET me konfiguracion gejt të përbashkët nuk fut zhvendosje fazore të sinjalit dhe rezistenca hyrëse ka vlerë të vogël.
- * Përforcuesi me drejn të përbashkët ka përforcim të tensionit 1, rezistencë hyrëse të madhe dhe rezistencë dalëse të vogël, nuk fut zhvendosje fazore të sinjalit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si duhet të jenë të polarizuar kalimet PN të transistorit që ai të punoj si përforcues?
2. Me cilën rezistencë përcaktohet pozita e drejtëzës së punës?
3. Me cilën rezistencë sigurohet stabiliteti nga temperatura i pikës së punës?
4. Cili është roli i kondensatorëve C_1 dhe C_2 ?
5. Shkruaj ekuacionin e drejtëzës statike të punës.
6. Sqaro stabilizimin e pikës së punës me rezistencën R_E gjatë ndryshimit të temperaturave.
7. Nxire shprehjen analitike për përforcimin e tensionit dhe rrymës të transistorit me lidhje me emiter të përbashkët, bazë të përbashkët dhe kolektor të përbashkët.
8. Nxire shprehjen analitike për përforcimin e tensionit të transistori me lidhje me burim të përbashkët, gejt të përbashkët dhe drejn të përbashkët.

3.8. Përforcues të lidhur në kaskadë

Një stad përforcues definohet si qark përforcues i cili përdor një transistor. Kur sistemi kërkon përforcim më të madh se nga përforcimi që e jep një stad përforcues, është e nevojshme të përdoret përforcues me më shumë stade. Në përforcuesin me shumë stade, sinjali dalës nga stadi paraprak lidhet në hyrjen e stadi në vazhdim. Sinjal kalon me radhë nëpër çdo stad, me çka secili stad kontribuon në rritjen e përforcimit.

Shembulli i përforcimit të sinjaleve në frekuenca të ulëta në brezin prej 20 Hz deri në 20 KHz është dhënë në **figurën 3.30**. Burimi i sinjalit U_1 , jep sinjal me fuqi $10^{-6}W$ deri $10^{-10}W$.

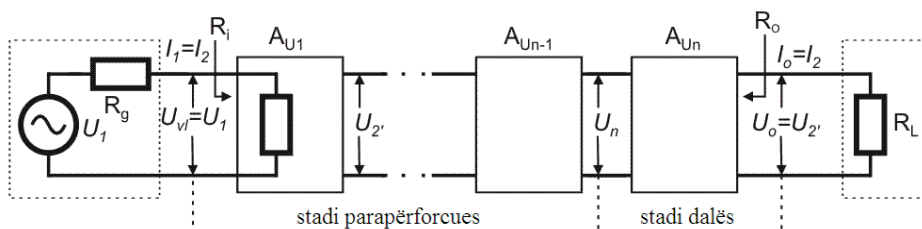


Figura 3.30: Lidhje kaskadë e përforcuesve.

Stadi i parë i kaskadës duhet të sigurojë përshtatje të burimit të sinjalit me rezistencën hyrëse të kaskadës. Sinjali pastaj përforcohet në stadet përforcuese 1 deri n të lidhur në kaskadë. Përforcuesi i fundit në kaskadë duhet të përshtatet në rezistencën e ngarkesës R_L në formë të altoparantit, kokës për incizim, relesë etj. Stadet përforcuese në këtë zinxhir, të cilët punojnë me sinjale me fuqi më të vogla quhen para-përforcues dhe detyra e tyre është të fitohet përforcim i tensionit me sa më pak shtrembërime të mundshme. Përforcuesit e daljes japin përforcim të fuqisë.

Fuqia dalëse mund të dallohet për lloje të ndryshme të ngarkesave, si për shembull, për altoparantë të vegjël prej 1W, deri në stacione prej disa qindra vatësh.

Nëse shënohet përforcimi i tensionit të staveve përforcuese me A_{U1} , A_{U2} , A_{U3} , ... A_{Un} , përforcimi i përgjithshëm i tensionit të kaskadës do të jetë:

$$A_{U_{TOT}} = A_{U_1} A_{U_2} A_{U_3} \dots A_{U_n}, \dots \dots \dots (3.76)$$

ku n paraqet numrin e përgjithshëm të staveve të përforcimit.

Për përforcimin e rrymës merret:

$$A_{I_{TOT}} = A_{I_1} A_{I_2} A_{I_3} \dots A_{I_n} \dots \dots \dots (3.77)$$

Përforcimi i përforcuesve shpesh paraqet numër të madh. Në atë rast, më e favorshme është që përforcimi i tensionit të shprehet në decibel sipas relacionit:

$$A_U(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} \right| = 20 \log |A_U| .$$

Kur përforcimi i staveve të caktuara është shprehur në decibel, për përforcimin e përgjithshëm merret:

$$A_{TOT} = A_{U_1}(\text{dB}) + A_{U_2}(\text{dB}) + A_{U_3}(\text{dB}) + \dots A_{U_n}(\text{dB}). \dots \dots \dots (3.78)$$

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çfarë konfiguracioni shfrytëzohet kur sistemi kërkon përforcim më të madh nga përforcimi që e jep një stad përforcues?
2. Çka duhet të sigurojë stadi i parë i kaskadës?
3. Çfarë përforcuesi duhet të jetë përforcuesi i fundit në kaskadë dhe çka duhet të sigurojë?

3.9. Llojet të bashkimeve mes përforcuesve

Përforcuesit në kaskadë mundet mes veti të lidhen në tre mënyra:

- me bashkim kapacitiv;
- me bashkim të drejtpërdrejtë;
- me bashkim me transformator.

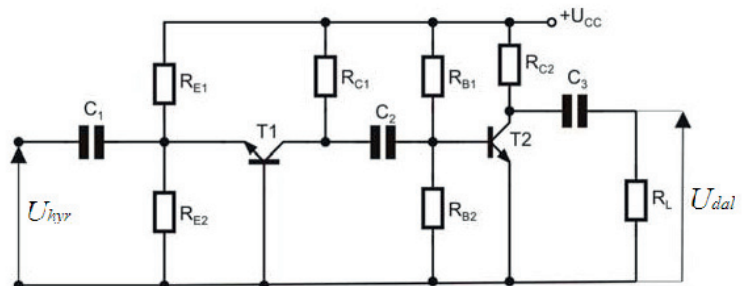


Figura 3.31: Bashkimi-RC i dy përforcuesve.

Bashkimi kapacitiv realizohet me kondensator të lidhur mes daljes së stadiit paraprak dhe hyrjes së stadiit të ardhshëm. Në **figurën 3.31** është treguar bashkimi kapacitiv me kondensatorin C_2 mes stadiit me bazë të përbashkët me transistorin T1 dhe stadiit me emtiter të përbashkët me transistorin T2. Përveç që siguron transmetimit të sinjalit alternativ nga stadi me T1 në stadin me T2, kondensatori C_2 mundëson pikat e punës të stadeve përforcuese të vendosen pavarësisht njëra prej tjetrës.

Në brezin e frekuencave të larta dhe të mesme të përforcuesve, kondensatori për lidhje ka impedancë shumë të vogël dhe i lëshon sinjalet pa i dobësuar. Impedanca e saj zmadhohet për frekuencat e ulëta dhe ai do ti lëshoj sinjalet vetëm deri në kufirin e caktuar kur përforcimi i sinjalit do të zvogëlohet për më tepër se gjysma.

Në formën e karakteristikës së frekuencës ndikim më të madh kanë anëtarët R_C të pranishëm në hyrje, në dalje dhe në vendet tjera në përforcues. Secili nga këto anëtar vepron si filtër lëshues i lartë në frekuenca të ulëta. Frekuenca e kufirit të poshtëm e filtrit të tillë është e përcaktuar nga vlerat e kapaciteteve dhe të gjithë rezistencave të lidhura paralel sipas:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{ekv} C_{ekv}} \dots \dots \dots (3.79)$$

Për përforcuesit me më shumë anëtar RC, si në figurën 3.31, frekuenca kufitare e ulët përcaktohet me frekuencën kufitare më të lartë të njërit prej tyre.

Analiza e njëjtë vlen edhe për përforcuesin me MOSFET.

Për **bashkimin me transformator** vetë emri tregon se sinjali mes dy stadeve përforcuese fqinje transmetohet me transformator (**figura 3.32**).

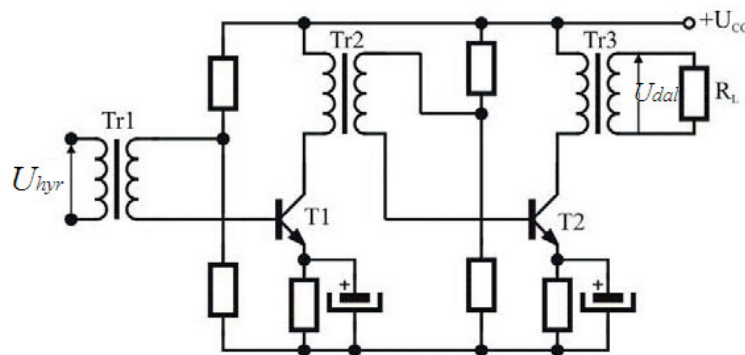


Figura 3.32: Bashkimi me transformator.

Bashkimi me transformator, njësoj si edhe kapacitiv, siguron vendosje të pavarur të pikave të punës të përforcuesit, sepse nuk lejon transmetim të komponentit të vazhduar, kurse siguron transmetim të komponentit alternativ të sinjalit. Me zgjedhjen e numrit të shprehjeve arrihet aftësimi i rezistencës hyrëse dhe dalëse të përforcuesit.

Bashkimi i drejtpërdrejtë në mes të përforcuesve sigurohet me rezistencë ose diodë zener në vend të kondensatorit për bashkim (figura 3.33). Me këtë bashkim është mundësuar transmetimi i komponentit të vazhduar, si edhe i sinjaleve me frekuencë shumë të ulët.

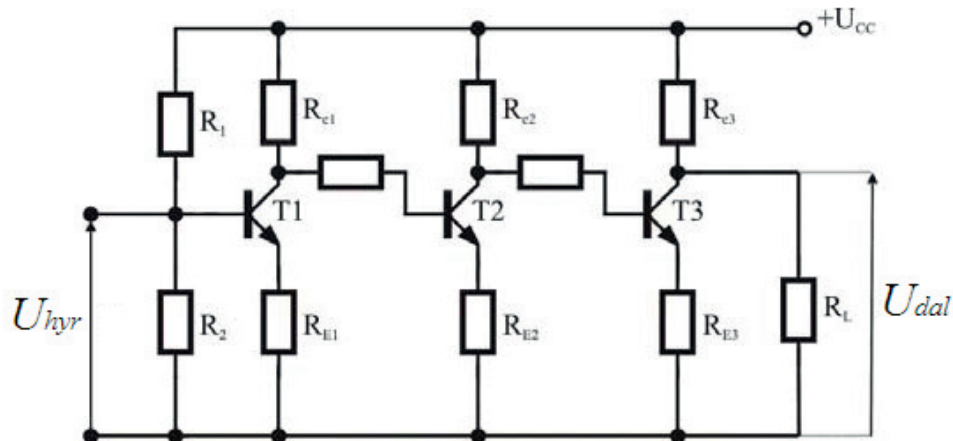


Figura 3.33: Bashkimi i drejtpërdrejtë.

Rezistenca bashkuese fut rënie të tensionit të sinjalit dhe sinjali dobësohet para se të transmetohet në stadin tjetër. Përveç kësaj, ndryshimi i pikës së punës sillet si sinjal i frekuencave të ulëta i cili transmetohet në stadin tjetër dhe përfaqëson sinjal të pengesës.

Mbrapsja e pikës së punës mund të shkaktohet nga ndryshimi i temperaturës së transistorit, e cila ndryshon sipas një ligji, ose mbrapsje me karakter rasti, të shkaktohet nga ndryshimi i tensionit të ushqimit, ose nga ndryshimi i parametrave të elementeve me kohën (amortizimi).

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilat janë mënyrat e lidhjes mes veti të përforcuesve në kaskadë?
2. Cili është roli i kondensatorit për bashkim në frekuenca të ndryshme?
3. Nga çka varet frekuenca kufitare e poshtme e përforcuesit me bashkim kapacitiv?
4. Si sigurohet bashkimi i drejtpërdrejtë?

3.10. Përforcuesi në frekuenca të larta

Në pjesën e mesme dhe më të lartë të brezit të frekuencave, reaktancat e bashkuesve dhe kondensatorëve për tejkalim (të vështirësive) janë të vogla dhe ata konsiderohen si lidhej e shkurtër. Por, me rritje të mëtejme të frekuencës, paraqiten kapacitete tjera të cilët kanë ndikim mbi karakteristikën e frekuencës. Kapacitetet të cilët e kufizojnë punën gjatë frekuencave të larta janë kapacitetet e vogla të lidhjeve të transistorit ose MOSFET-it, si edhe kapacitetet tjera të vogla parazitare. Vlerat e tyre zakonisht shprehen në pF, për ndryshim nga bashkuesit, të cilët arrijnë edhe deri në disa μF .

Përforcues me emiter të përbashkët

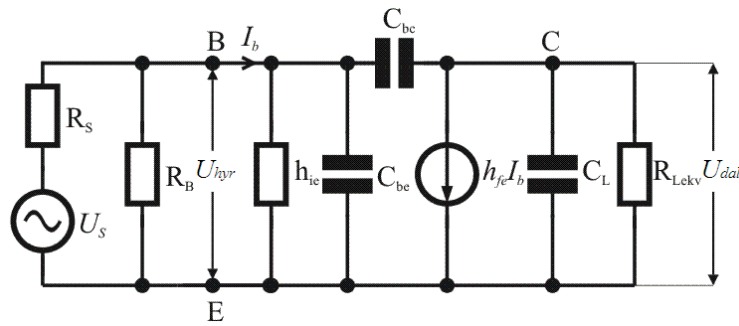


Figura 3.34: Skema ekuivalente e përforcuesit me emiter të përbashkët në frekuenca të larta.

Skema ekuivalente e qarkut përforcues me emiter të përbashkët për frekuencave të larta është dhënë në **figurën 3.34**. Përforcimi i tensionit në brezin e frekuencave të mesme është:

$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{-h_{fe} R_{Lekv}}{h_{ie}} \dots \dots \dots (3.80)$$

Frekuenca kufitare e sipërme është përcaktuar nga frekuenca kufitare e sipërme më e ulët e njërit prej anëtarëve R_C të qarkut. Roli dominant këtu ka kapaciteti C_{bc} , i cili luan rolin e lidhjes së kundërt.

Përforcues me bazë të përbashkët

Karakteristika e përforcuesit në sinjale të vogla me lidhje me bazë të përbashkët është më e shtrirë në frekuencat e larta në krahasim me karakteristikën e lidhjes me emiter të përbashkët. **Përforcuesi me lidhje me bazë të përbashkët nuk e zhvendos fazën e sinjalit dhe nuk ka kapacitet i cili krijon lidhje të kundërt.** Rezistenca e hyrjes është relativisht e vogël, r_e është më e vogël se r_b për faktorin $1+h_{fe}$. Ajo e bën konstantën hyrëse $r_e C_{be}$ më të vogël, kurse frekuencën kufitare të sipërme më lartë.

Qarku ekuivalent i përforcuesit në lidhje me bazë të përbashkët është dhënë në **figurën 3.35**.

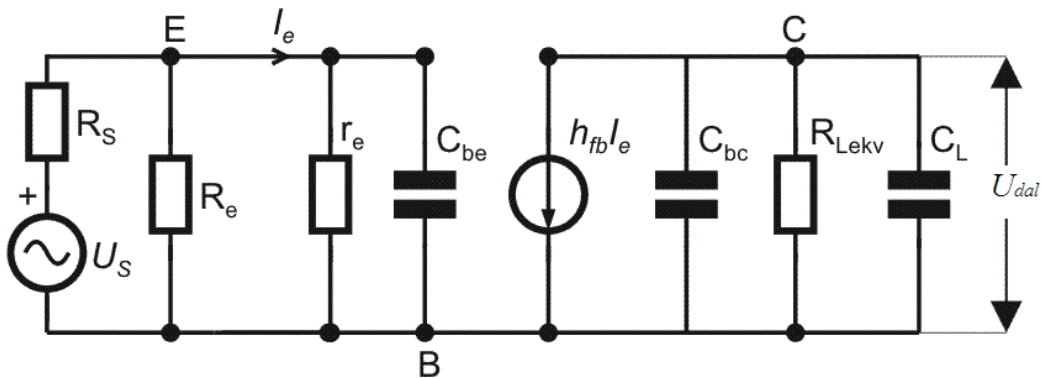


Figura 3.35: Skema ekuivalente e përforcuesit me bazë të përbashkët në frekuenca të larta.

Përforcuesi me burim të përbashkët

Skema ekuivalente e qarkut të përforcuesit në sinjale të vogla me lidhje me burim të përbashkët është dhënë në **figurën 3.36**. Në skemë është futur modeli i MOSFET-it nga figura 2.42, kurse përforcimi për frekuenca të mesme është:

$$A_U = -g_m R_{Lekv} \dots\dots\dots(3.81)$$

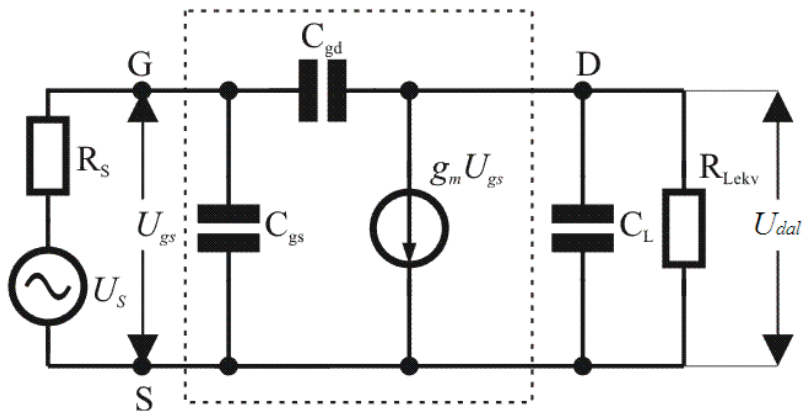


Figura 3.36: Skema ekuivalente e përforcuesit me burim të përbashkët në frekuenca të larta.

Në skemë është futur edhe kapaciteti i ngarkesës C_L në paralel me R_L . Numër më të madh të ngarkesave reale kanë komponentët kapacitivë. Frekuenca kufitare e sipërme është përcaktuar me qarkun e gejtit.

Përforcuesi me gejt të përbashkët

Qarku ekuivalent i përforcuesit me gejt të përbashkët është dhënë në **figurën 3.37**. Në këtë konfiguracion nuk ka kapacitete në rolin e lidhjes së kundërt dhe qarku i drejnit e përcakton frekuencën kufitare të sipërme. Brezi i lëshimit i këtij përforcuesi është më i gjerë se sa i mëparshmi me burim të përbashkët.

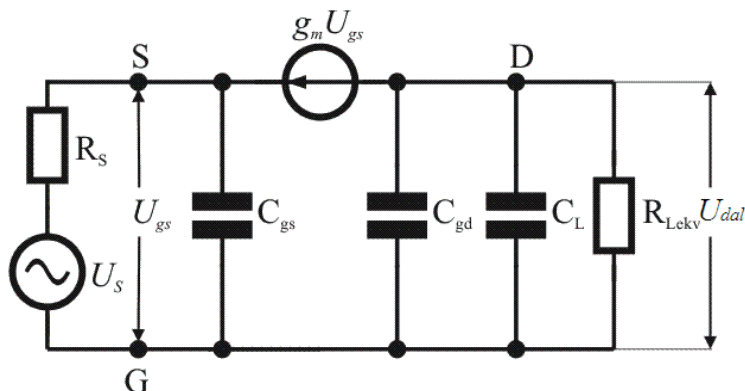


Figura 3.37: Skema ekuivalente e përforcuesit me gejt të përbashkët në frekuenca të larta.

Përforcues me kolektor të përbashkët dhe me drejn të përbashkët

Karakteristikë kryesore e këtyre konfiguracioneve është rezistenca dalëse e vogël dhe ato shpesh quhen ndjekës të tensionit, sepse përforcimi i tyre i tensionit është përafërsisht 1. Pjesa dalëse e këtyre qarqeve ka frekuencë kufitare të sipërme shumë të lartë, pothuajse të barabartë me frekuencën kufitare të transistorit, gjegjësisht MOSFET-it. Pjesa hyrëse mund të ketë rezistencë hyrëse të madhe, por kapaciteti i hyrjes është i vogël dhe ai mundëson frekuencë kufitare të sipërme mjaft të madhe. Si përfundim, këto qarqe nuk e kufizojnë karakteristikën e përgjithshme të frekuencës për frekuenca të larta në qarqe përforcuese me shumë stade.

MBAJ MEND!!!

- * Lidhja kaskadë përmban më shumë stade përforcuese duke përshtatur sinjalin e hyrjes, në dalje kah ngarkesa dhe përshtatjen mes veti të stadeve përforcuese.
- * Përforcimi i përgjithshëm i kaskadës është produkt i përforcimeve individuale të stadeve përforcuese. Nëse maten në dB, përforcimi i përgjithshëm është shuma e përforcimeve individuale të shprehur në dB.
- * Stadet përforcuese në kaskadë mes veti lidhen në mënyrë: kapacitive, drejtpërdrejtë ose me lidhje të transformatorit.
- * Kapacitetet e kalimeve PN të transformatorit dhe MOSFET-it e përcaktojnë frekuencën kufitare të sipërme të përforcuesve në frekuenca të larta.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cili kapacitet ka rol dominant në transistorin me lidhje me emiter të përbashkët gjatë frekuencave të larta?
2. A ka transistori me lidhje me bazë të përbashkët në frekuenca të larta kapacitete të cilët krijojnë lidhje të kundërt?
3. Cili qark e përcakton frekuencën e sipërme kufitare në transistorin në lidhje me burim të përbashkët, dhe cili në transistorin në lidhje me gejt të përbashkët?
4. Cilat konfiguracione quhen ndjekës të tensionit dhe pse?

3.11. Përforcuesit diferencial

Përforcuesi diferencial është përforcues me dy hyrje, njëra quhet invertuese dhe shënohet me "-" dhe tjetra joinvertuese dhe shënohet "+". Në të dy hyrjet barten dy sinjale të ndryshme, U_1 dhe U_2 . Përforcuesi ka vetëm një dalje.

Bloq-skema e përforcuesit diferencial është dhënë në **figurën 3.38**. Tensioni i ushqimit mund të jetë i vetëm, si në figurën 3.1, apo i dyfishtë, si në **figurën 3.38b**. Pika e masës në mënyrë "elektrike" caktohet mes vlerave $+U$ dhe $-U$.

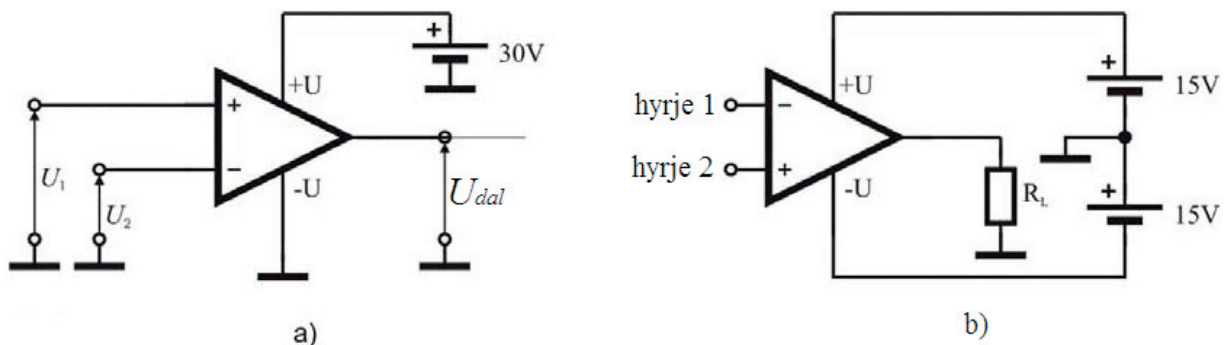


Figura 3.38: Bllok- skema e përforcuesit diferencial.

Në të dy hyrjet lidhen dy sinjale hyrëse dhe përforcuesi diferencial përforcon diferencën e tyre. Dallimi i dy tensioneve hyrëse quhet **tension diferencial** dhe shënohet me U_D .

Sinjali diferencial hyrës është:

$$U_d = U_2 - U_1, \dots\dots\dots(3.82)$$

kurse përforcimi diferencial A_d :

$$A_d = \frac{U_{dal}}{U_d}. \dots\dots\dots(3.83)$$

Sinjali në fazë i U_c definohet si vlerë mesatare e të dy tensioneve hyrëse:

$$U_c = \frac{U_1 + U_2}{2}, \dots\dots\dots(3.84)$$

kurse përforcimi i A_c në fazë si:

$$A_c = \frac{U_{dal}}{U_c}. \dots\dots\dots(3.85)$$

Tensioni i daljes i përforcuesit diferencial U_{dal} varet nga dy të llojet e sinjaleve të hyrjes sipas relacionit:

$$U_{dal} = U_d A_d + U_c A_c. \dots\dots\dots(3.86)$$

Secili nga sinjalet hyrëse ka ndikim të kundërt mbi daljen. Në **figurën 3.39** janë paraqitur në mënyrë grafike sinjalet hyrëse dhe dalëse të përforcuesit diferencial.

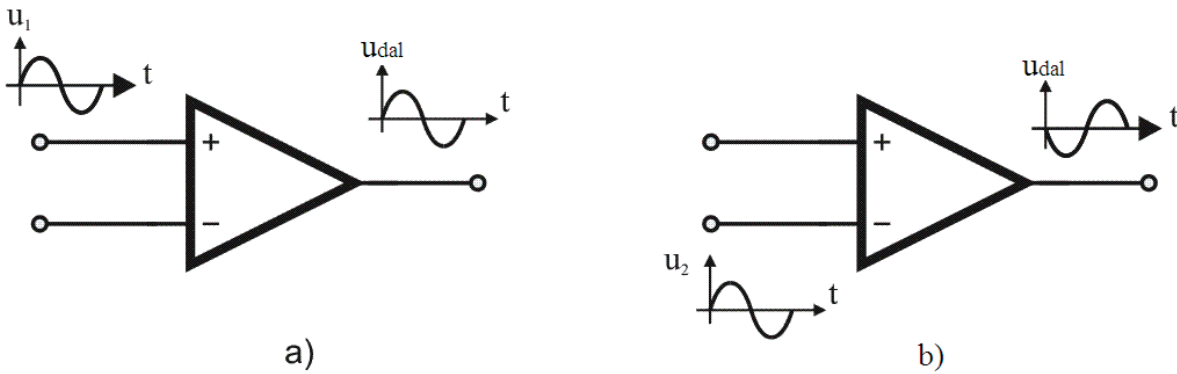


Figura 3.39: Shfaqja grafike e sinjaleve hyrëse dhe dalëse.

Për shkak të ndryshimit të fazës, hyrja (-) quhet **invertuese**, kurse hyrja (+) **joinverutes**. Analiza mund të përmblihet në mënyrën si vijon: kur polariteti i tensionit diferencial përputhet me shenjat hyrëse, dalja do të jetë pozitive, kurse kur është i kundërt, dalja është negative.

Detyra e përforcuesit diferencial është të forcojë diferencën- ndryshimin e tensioneve të sinjaleve hyrëse dhe të mos reagojë në ndryshimet e tensionit të cilat paraqiten në drejtim të njëjtë në të dy hyrjet. Për një përforcues diferencial ideal, përforcimi i në fazë është zero, tensioni i daljes nuk varet nga sinjali në fazë. Përforcuesi i mirë real duhet të ketë përforcim njëfazor shumë të vogël, kurse **faktori i shtypjes** i sinjali në fazë, i shprehur përmes:

$$\rho = \frac{|A_d|}{|A_c|} \dots\dots\dots(3.87)$$

duhet të jetë sa më i madh që të jetë e mundur.

Ky faktor mund të shprehet edhe në decibel si:

$$\rho(dB) = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_c|} \dots\dots\dots(3.88)$$

ose

$$\rho(dB) = A_d(dB) - A_c(dB). \dots\dots\dots(3.89)$$

Veti e rëndësishme e përforcues diferencial është sepse eliminon sinjalet e padëshiruara dhe zhurmën. Kur silltet sinjal diferencial nga një vend i largët, në të dy telat e furnizimit mund të induktohet sinjali i padëshiruar si sinjal në fazë. Nëse përforcimi në fazë është i vogël, ai do të eliminohet dhe sinjali i kërkuar diferencial do të përforcohet për faktorin Ad.

3.11.1. Karakteristika kalimtare e përforcuesit diferencial

Karakteristika kalimtare e përforcuesit diferencial jepet në **figurën 3.40**.

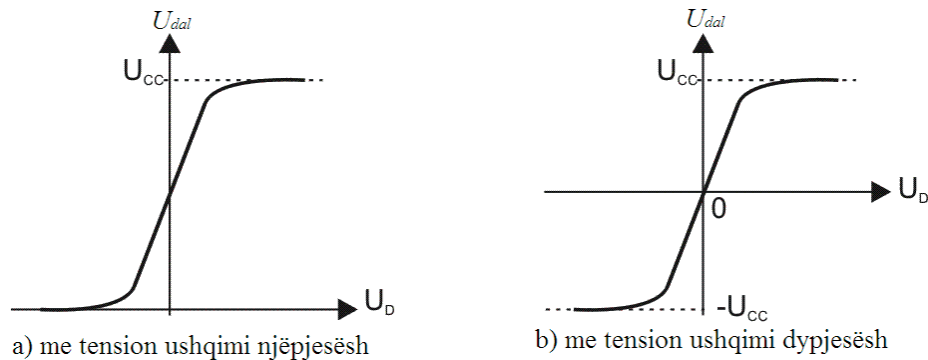


Figura 3.40: Karakteristika kalimtare e përforcuesit diferencial.

Zona e punës, e përcaktuar nga pozita e pikës së punës, është e vendosur në pjesën e pjerrët të karakteristikës. Për rajonin jashtë zonës së punës, përforcuesi është në zonën e ngopjes, që do të thotë sado që të rritet tensioni diferencial hyrës, tensioni i daljes nuk mund ta tejkalojë vlerën e tensionit të ushqimit në drejtimin negativ ose në drejtimin pozitiv.

3.11.2. Konfiguracioni real i përforcuesit diferencial

Qarku i përforcuesit diferencial themelore me transistor dypolar është dhënë në **figurën 3.41**. Qarku është simetrik ndaj vijës vertikale nëpërmjet mesit. I njëjtë është edhe qarku i krijuar me MOSFET.

Për caktimin e pozitës së pikës së punës përdoren dy burime të ushqimit $+U_{CC}$ dhe $-U_{EE}$. Nëse nuk ka sinjale në hyrje, U_1 dhe U_2 janë zero dhe bazat e të dy transistorëve janë në potencial të masës.

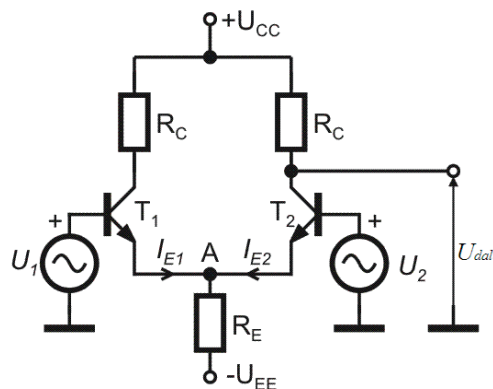


Figura 3.41: Skema elektrike e përforcuesit diferencial.

Kalimet e emiterit janë të polarizuara direkt, kurse emiterët janë në tension $-0,7$ V. Rryma përmes rezistencës R_E përcaktohet sipas:

$$I_{RE} = \frac{-0,7V - (-U_{EE})}{R_E} \dots\dots\dots(3.90)$$

Nëse transistorët janë simetrik (me karakteristika të barabarta), mund të shkruhet:

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{1}{2} I_{RE} \dots\dots\dots(3.91)$$

Kjo paraqet një moment të rëndësishëm për të kuptuar përforcuesin diferencial. Me tensionin $-U_{EE}$ dhe rezistencën R_E përcaktohet rryma e bazën në pikën e punës të secilit transistor, kurse me tensionet dalëse U_1 dhe U_2 përcaktohet se si rryma e bazës do të vendoset në mes të dy anëve të përforcuesit.

3.11.3. Përforcimi diferencial

Përforcuesi diferencial ka vetëm përforcim diferencial, kurse përforcimi i sinjaleve në fazë është e barabartë me zero. Në rastin e tillë kemi:

$$U_1 = \frac{U_d}{2} \text{ dhe } U_2 = -\frac{U_d}{2}$$

Dhe me zmadhimin e sinjalit diferencial, U_1 zmadhohet në drejtimin pozitiv, kurse U_2 në drejtimin negativ. Rryma e emiterit I_{E1} e njërit transistor do të rritet, kurse I_{E2} e transistorit tjetër do të zvogëlohet. Rryma e përgjithshme përmes R_E nuk ndryshon, tensioni në pikën A nuk ndryshon, sikur të jetë i masës. Për këtë arsye, pika A quhet masa virtuale për sinjal alternativ.

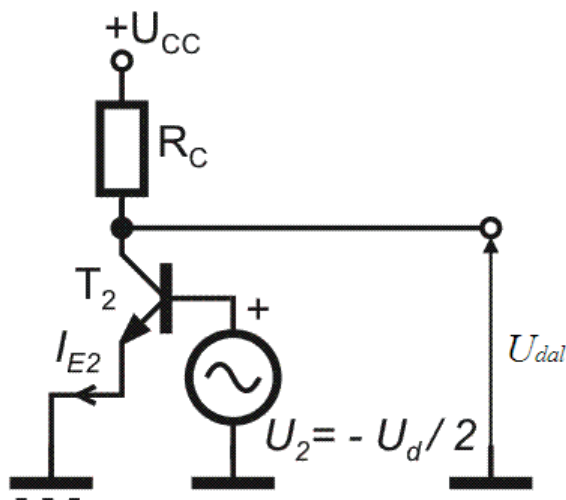


Figura 3.42: Gjysma e përforcuesit diferencial në lidhje me emiter të përbashkët.

Tani analiza thjeshtohet, kështu që gjysma e përforcuesit diferencial bëhet përforcues emiterial normal, i paraqitur në **figurën 3.42**. Përforcimi i tij është i madh, ai është përforcim diferencial i gjithë përforcuesit:

$$A_d \approx \frac{R_C}{2h_{ie}} \quad \dots\dots\dots(3.92)$$

Për qëllime të caktuara, dalja mund të jetë e lidhur me dy kolektorë, siç tregohet në **figurën 3.43**. Me këtë qark fitohet tension diferencial dalës, i definuar si:

$$U_{dal} = U_{O1} - U_{O2} \quad \dots\dots\dots(3.93)$$

dhe ai është dy herë më i madh se shembulli i mëparshëm. Përforcimi i këtij qarku është:

$$A_d \approx \frac{R_C}{h_{ie}} \quad \dots\dots\dots(3.94)$$

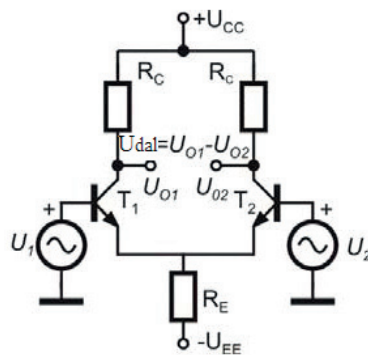


Figura 3.43: Përforcues diferencial me dalje në mes të dy kolektorëve.

3.11.4. Përforcimi në fazë të njëjtë

Për analizën e përforcimit në fazë rezistenca R_E e skemës nga figura 3.40 mund të ndahet në dy pjesë të barabarta, secila me një vlerë $2R_E$, siç është dhënë në **figurën 3.44**.

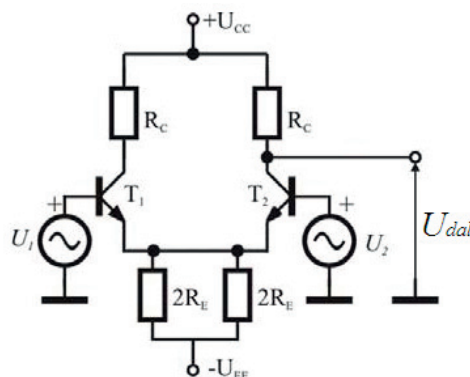


Figura 3.44: Përforcues diferencial për llogaritjen e përforcimit në fazë.

Përsëri, secila gjysmë e qarkut është përforcues me emiter të përbashkët, kurse me kushtin që vlera e R_E të jetë shumë më e madhe se h_{ie} , përforcimi në fazë do të jetë:

$$A_C \approx \frac{R_C}{2R_E} \dots \dots \dots (3.95)$$

Për vlerë më të madhe të faktorit të shtypjes duhet të rritet A_d duke rritur h_{fe} dhe R_C , ose të zvogëlohet A_C duke zmadhuar rezistencën R_E .

Rezistenca R_E nuk mund të zmadhohet pakufi, me atë zvogëlohet rryma nëpër transistor dhe përforcimi diferencial. Zgjidhje më e mirë fitohet në qoftë se në vendin e R_E dhe R_C ndërtohet gjenerator rryme, si në **figurën 3.45**. Ky konfiguracion shpesh përdoret në përforcuesit diferencial të integruar modern ose në përforcuesit operacional.

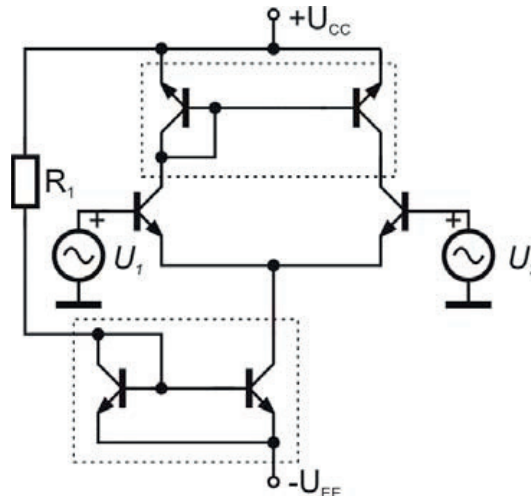


Figura 3.45: Përforcues diferencial me gjenerator rryme.

3.11.5. Gjeneratori i rrymës

Gjeneratori i rrymës është burim i rrymës konstante. Në sistemet analoge të integruara moderne me përdorimin e gjeneratorit të rrymës për polarizimin e transistorit, arrihet stabilitet më i madh i pikës së punës statike, kurse me rezistencën e saj dinamike të madhe rritet faktori i shtypjes ρ i përforcuesit diferencial.

Skema e gjeneratorit të rrymës me transistorë bipolar është dhënë në **figurën 3.46**.

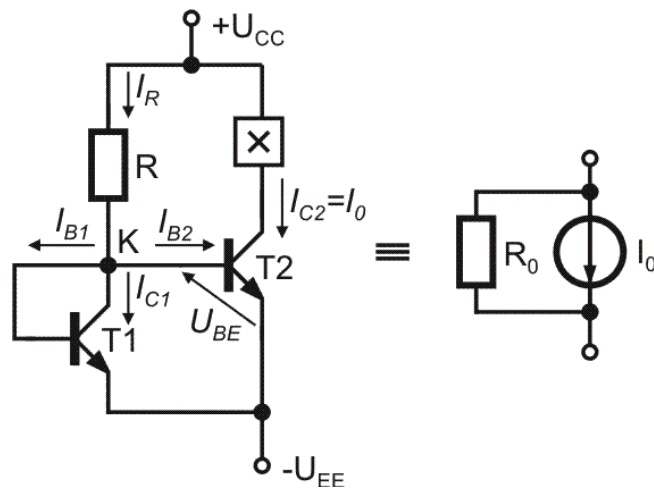


Figura 3.46: Skema elektrike e gjeneratorit të rrymës.

Transistorët e përdorur T_1 dhe T_2 janë identikë, që do të thotë se ata kanë të njëjtat rryma, $I_{B1} = I_{B2} = I_B$, $I_{C1} = I_{C2} = I_C$ dhe $U_{BE1} = U_{BE2} = U_{BE}$.

Rryma I_R nëpër rezistencën R llogaritet sipas:

$$I_R = \frac{(U_{CC} + U_{EE} - U_{BE})}{R} \dots \dots \dots (3.96)$$

Për njëjën, të shënuar me K vlen:

$$I_R = 2I_B + I_C \dots \dots \dots (3.97)$$

dhe nëse merret se $I_C = \beta I_B$, për rrymën I_C fitohet:

$$I_C = \frac{I_R}{1 + \frac{2}{\beta}} = I_0 \dots \dots \dots (3.98)$$

Me zgjedhjen e transistorëve me β të madhe, rryma I_C mbetet e barabartë me rrymën nëpër rezistencën I_R , gjegjësisht $I_C = I_R$. Nga të dy anët e vijave vertikale të ndërprera fitohen rryma identike, me çka ky qark quhet pasqyrë e rrymës. Rryma I_R ka një vlerë konstante dhe mundet dhe mund të përfundohet se transistori T_2 është burim i rrymës konstante për qarkun e përfshirë me vija të ndërprera. Skema ekuivalente e këtij qarku paraqitet si gjenerator i rrymës me rezistencë dinamike R_0 të lidhur në paralel.

3.11.6. Tensioni i korrigjimit (tensioni offset)

Proceset e prodhimit të transistorëve nuk mundësojnë që të bëhet qark i saktë i balancuar dhe të fitohet tension në dalje 0, kur në hyrje vendosen sinjale të njëjtë, por në kundër fazë. Prandaj, kërkohet tension i vazhduar i caktuar për balancim plotësues të hyrjeve të përforcuesit diferencial,

të quajtur tension i korrigjimit (tension offset). Ky tension ka një vlerë të vogël dhe fitohet me element shtesë jashtë përforcuesit diferencial.

Përforcuesi diferencial paraqet njërin nga konfiguracionet e rëndësishme me zbatim shumë të madh. Ai paraqet qark përforcues në hyrjen e përforcuesit operacional, pastaj në shumë instrumente përforcuese dhe komparatorë (krahasues).

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesi diferencial është qark përforcues me dy hyrje i cili e përforcon ndryshimin e tensioneve të sinjaleve hyrëse dhe nuk reagon në ndryshimet e tensionit në fazë të cilët paraqiten njëkohësisht në të dy hyrjet e tij.
- * Sinjali i hyrjes është diferencial kur të dy sinjalet e hyrjes ndryshojnë në drejtime të kundërta.
- * Sinjal në fazë kemi kur të dy sinjalet hyrëse ndryshojnë në të njëjtin drejtim.
- * Përforcuesi diferencial ideal ka vetëm përforcim diferencial, kurse ndryshimi në fazë është zero.
- * Me zbatimin e gjeneratorit të rrymës përmirësohet faktori i shtypjes së përforcimit në fazë.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Vizato bllok-skemën e përforcuesit diferencial dhe defino: sinjal diferencial hyrës, përforcim diferencial, sinjal në fazë dhe përforcim në fazë.
2. Sa përforcimi në fazë tek përforcuesit diferencial ideal?
3. Defino faktorin e shtypjes të sinjalit në fazë?
4. Cilat burime përdoren për përcaktimin e pozitës së pikës së punës?
5. Sa është përforcimi në fazë tek përforcuesit diferencial ideal?
6. Çka arrihet me përdorimin e gjeneratorit të rrymës për polarizim të transistorit?

3.12. Përforcues me lidhje të kundërt

Me nocionin lidhje e kundërt nënkuptohet përcjellja e një pjese të energjisë dalëse të përforcuesit në hyrjen e tij. Kjo do të thotë, një pjesë e tensionit të daljes ose rrymës së daljes kthehet nga dalja kah hyrja, ku së bashku me sinjalin hyrës eksitohet përforcuesi.

Lidhjet e kundërta mund të jenë parazitare ose konstruktive. Lidhjet parazitare vendosen përmes rrugëve rezistive, kapacitive ose induktive, pavarësisht nga dëshirat tona. Lidhjet konstruktive

realizohen në mënyrë të vetëdijshme, me qëllim të përmirësimit kualitativ të disa vetive ose parametrave të përforcuesit.

Blllok-skema kryesore e përforcuesit me lidhje të kundërt është treguar në **figurën 3.47**.

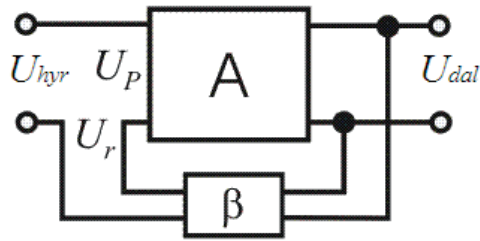


Figura 3.47: Blllok-skema e përforcuesit me lidhje të kundërt.

Qarku i lidhjes së kundërt është shënuar me β . Tensioni i lidhjes së kundërt U_r e shënon pjesën e sinjalit dalës, që kthehet në hyrje përmes qarkut të lidhjes së kundërt. Me U_p është shënuar sinjali eksitus, i fituar si sinjal rezultante e veprimit të përbashkët të tensionit të hyrjes U_{hyr} dhe tensionit të lidhjes së kundërt U_r .

Në rastin e përgjithshëm, përforcuesi A nuk është e thënë të jetë përforcues me një stad. Ai mund të jetë i përbërë nga më tepër stade. Faza e sinjalit të kthyer mund të përputhet me fazën e sinjalit hyrës U_{hyr} , ose mund të dallohet 180° . Nëse faza e sinjalit të hyrjes dhe faza e sinjalit të kthyer përputhen atëherë kemi **lidhje të kundërt pozitive**. Kur fazat e sinjalit hyrës dhe sinjalit të kthyer dallojnë për 180° lidhja e kundërt quhet **lidhje e kundërt negative**.

Lidhja e kundërt pozitive dhe negative kanë ndikime të ndryshme në karakteristikat e përforcuesit.

3.12.1. Përforcimi me lidhje të kundërt

Për përforcuesin me **lidhje të kundërt negative**, sinjali eksitues paraqet dallimin mes sinjalit hyrës dhe sinjalit të reagimit-të kthyer:

$$U_p = U_{hyr} - U_r, \dots\dots\dots(3.99)$$

kurse përforcimi me lidhje të kundërt është:

$$A_r = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}}. \dots\dots\dots(3.100)$$

Përforcimi i përforcuesit pa qarkun e lidhjes së kundërt është:

$$A = \frac{U_{dal}}{U_p}, \dots\dots\dots(3.101)$$

dhe nga kjo shprehje fitohet vlera e sinjalit eksitues si:

$$U_p = \frac{U_{dal}}{A}. \dots\dots\dots(3.102)$$

Qarku i lidhjes së kundërt definohet me **koeficientin e reagimit (thellësisë) β** , si raport i sinjalit dalës dhe të kthyer:

$$\beta = \frac{U_r}{U_{dal}}, \dots\dots\dots(3.103)$$

kurse për tensionin e kthyer U_r kemi:

$$U_r = \beta U_{dal}. \dots\dots\dots(3.104)$$

Koeficienti i lidhjes së kundërt β është më i vogël se 1, sepse tensioni U_r është pjesë e tensionit të daljes. Në praktikë, vlera e koeficientit të lidhjes së kundërt negative β sillet në kufijtë 0,05 deri në 0,2.

Me zëvendësimin e shprehjeve për tensioni U_p (93.94) dhe U_r (3.96) në (3.92) fitohet:

$$\frac{U_{dal}}{A} = U_{hyr} - \beta U_{dal}$$

ose

$$U_{hyr} = \frac{U_{dal}}{A} + \beta U_{dal} = \left(\frac{1}{A} + \beta \right) U_{dal} = \frac{1 + A\beta}{A} U_{dal}, \dots\dots\dots(3.105)$$

dhe përfundimisht, shprehja për përforsim i përforsuesit me lidhje të kundërt negative është:

$$A_r = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{A}{(1 + A\beta)}. \dots\dots\dots(3.106)$$

Emëruesi i kësaj shprehje është më i madh se 1, kështu që kemi:

$$A_r < A,$$

gjegjësisht përforsimi i përforsuesit me lidhje të kundërt negative është më i vogël se përforsimi i të njëjtit përforsues pa zbatimin e lidhjes së kundërt negative.

Përforsimi i përforsuesit me **lidhje të kundërt pozitive** mund të llogaritet në mënyrë pothuajse të njëjtë, nëse nisemi nga shprehja:

$$U_p = U_{hyr} + U_r, \dots\dots\dots(3.107)$$

gjatë së cilës në fund fitohet:

$$A_r = \frac{A}{(1 - A\beta)}, \dots\dots\dots(3.108)$$

dhe pasi që emëruesi është më i vogël se 1, rrjedh:

$$A_r > A.$$

Përforsimi i përforsuesit me lidhje të kundërt pozitive është më i madh se përforsimi i të njëjtit përforsues por pa lidhjen e kundërt pozitive.

Emëruesi në shprehjet për përforsimin me lidhje të kundërt quhet funksion i lidhjes së kundërt.

Vlerën e tij e përcakton prodhimi $A\beta$:

$$A\beta = \frac{U_{dal}}{U_p} \cdot \frac{U_r}{U_{dal}} = \frac{U_r}{U_p} \quad \dots\dots\dots(3.109)$$

Sinjali ekzistues U_p , i cili vepron në lidhjet hyrëse të përforcuesit, përforcohet A herë në vetë përforcuesin. Pastaj, ai transmetohet përmes qarkut të lidhjes së kundërt duke u shumëzuar me koeficientin e reagimit β . Në këtë mënyrë është bërë një shteg rrethor, kurse prodhimi $A\beta$ është quajtur përforcim rrethor.

Shpesh, fuqia e lidhjes së kundërt shprehet në dB si:

$$N = 20 \log \frac{A_r}{A} (dB) \quad \dots\dots\dots(3.110)$$

Për lidhjen e kundërt negative kemi:

$$N = 20 \log \frac{1}{1 + A\beta} < 0,$$

kurse për pozitiven:

$$N = 20 \log \frac{1}{1 - A\beta} > 0.$$

Kështu, për shembull, nëse fuqia e lidhjes së kundërt është shprehur me numrin -20, kemi të bëjmë për lidhje të kundërt negative dhe përforcimi është zvogëluar për 20 dB në raport me të njëjtin përforcues pa zbatimin e lidhjes së kundërt.

3.12.2. Llojet të lidhjeve të kundërta negative

Sipas mënyrës së lidhjes së qarkut për lidhje të kundërt në dalje, dallojmë lidhje të kundërt negative të rrymës dhe tensionit.

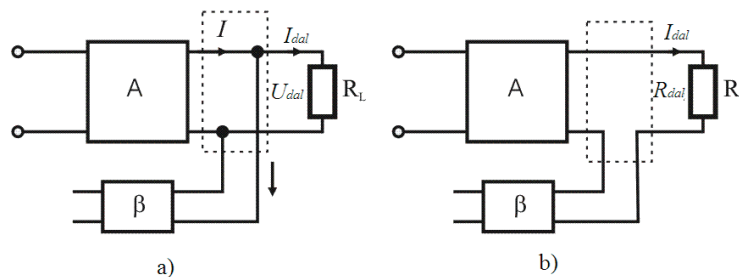


Figura 3.48: Voltage dhe elektrike reagime negative.

Lidhje të kundërt të tensionit kemi kur tensioni i lidhjes së kundërt është proporcional me tensionin e daljes (**figura 3.48a**). Impedanca hyrëse e qarkut për lidhje të kundërt duhet të jetë më e madhe nga impedanca e ngarkesës (R_L), që të mos e ngarkojë daljen e përforcuesit. **Lidhje të kundërt të rrymës** kemi kur tensioni i lidhjes së kundërt është proporcional me rrymën e daljes (**figura 3.48b**). Impedanca e hyrjes e qarkut për lidhje të kundërt duhet të jetë më e vogël se

impedanca e ngarkesës, që mos ta zvogëlojë rrymën e daljes. Lidhje të kundërt negative paralele kemi kur tensioni i lidhjes së kundërt U_r lidhet paralelisht në tensionin eksitues të hyrjes (figura 3.49a).

Lidhje të kundërt negative serike kemi kur tensioni i lidhjes së kundërt U_r lidhet në mënyrë serike me sinjalin hyrës U_{hyr} (figura 3.49b).

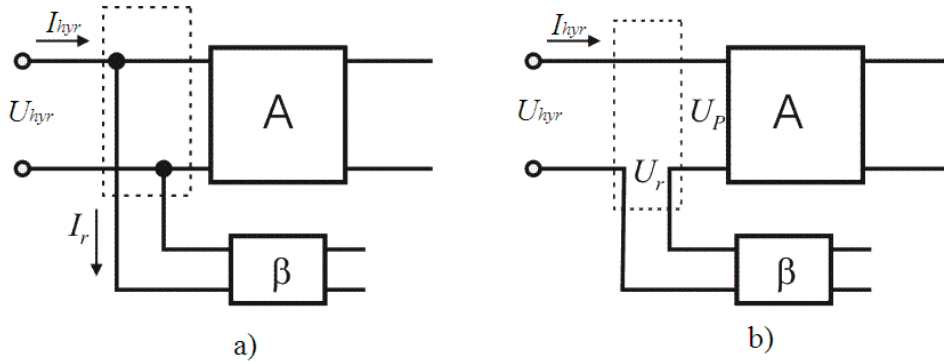


Figura 3.49: Lidhja e kundërt negative paralele dhe serike.

Qarku për lidhje të kundërt, nëpërmjet të cilit kthehet një pjesë e sinjalit të daljes në hyrje, mundet të ketë formë të ndryshme dhe të jetë i përbërë nga elemente aktive dhe pasive. Më shpesh hasen qarqe pasive për lidhje të kundërt.

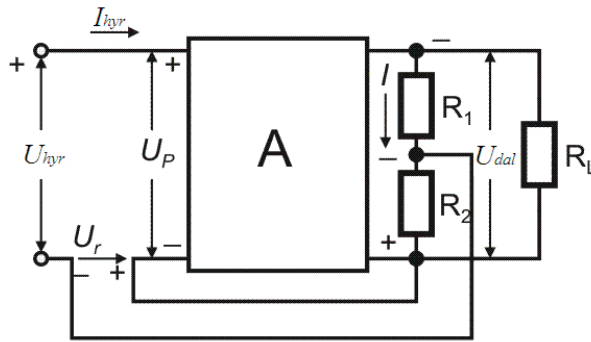


Figura 3.50: Lidhja e kundërt serike e tensionit.

Në figurën 3.50 tregohet lidhja e kundërt serike në raport me hyrjen, kurse e tensionit në raport me daljen. Qarku për lidhjen e kundërt është i përbërë nga ndarësit e tensionit R_1 , R_2 , kurse tensioni në skajet e tij është:

$$U_{DAL} = (R_1 + R_2)I . \dots\dots\dots(3.111)$$

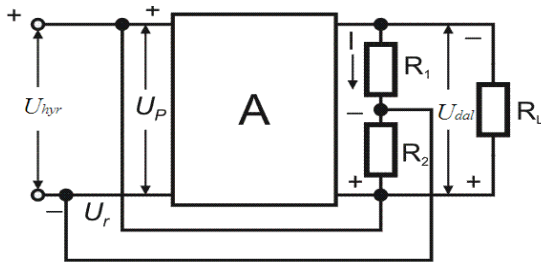
Tensioni i lidhjes së kundërt është:

$$U_r = R_2I . \dots\dots\dots (3.112)$$

Këtu supozohet se rryma e ndarësit I nuk rrjedh nëpër qarkun e hyrjes, për shkak të rezistencës së tij hyrëse të madhe. Koeficienti i lidhjes së kundërt është:

$$\beta = \frac{U_r}{U_{dal}} = \frac{R_2 \cdot I}{(R_1 + R_2) \cdot I} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (3.113)$$

Në **figurën 3.51**, qarku për lidhje të kundërt është i lidhur në paralel në raport me hyrjen, që do të



thotë se kemi lidhje të kundërt negative të tensionit.

Figura 3.51: Lidhja e kundërt paralele e tensionit

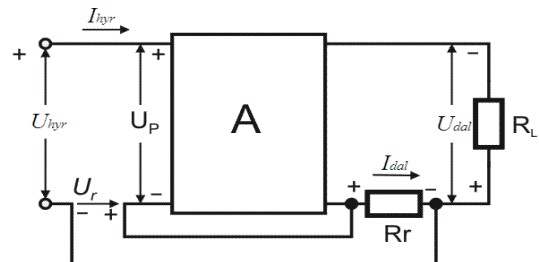


Figura 3.52: Lidhja e kundërt serike e rrymës

Në **figurën 3.52**, qarku i lidhjes së kundërt prezantohet me rezistencën R_r të lidhur në seri me ngarkesën R_L . Në të dy rezistencat rrjedh e njëjta rrymë dalëse, që do të thotë se në raport me daljen kemi lidhje të kundërt të rrymës. Koefficienti i lidhjes së kundërt është:

$$\beta = \frac{R_r \cdot I_{dal}}{R_L \cdot I_{dal}} = \frac{R_r}{R_L} \dots \dots \dots (3.114)$$

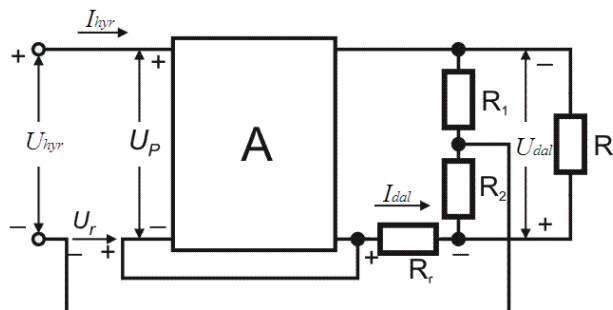


Figura 3.53: Lidhja e kundërt serike e kombinuar tension-rrymë.

Figura 3.53 paraqet reagim të kombinuar në raport me daljen. Këtu ekziston lidhja e kundërt serike tension-rrymë. Tensioni i lidhjes së kundërt është i përbërë nga tensionet e skajeve të rezistencave R_2 dhe R_r :

$$U_r = U_{R_2} + U_{R_r} \dots \dots \dots (3.115)$$

Për tensioni U_{R_2} kemi:

$$U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{dal} \dots \dots \dots (3.116)$$

kurse për U_{R_r} kemi:

$$U_{R_r} = R_r I_{dal} = R_r \frac{U_{dal}}{R_L} = \frac{R_r}{R_L} U_{dal} \quad \dots\dots\dots(3.117)$$

Me zëvendësimin e (3.115) dhe (3.116) në (3.117) kemi:

$$U_r = U_{dal} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_r}{R_L} \right),$$

kurse për koeficientin e lidhjes së kundërt:

$$\beta = \frac{U_r}{U_{dal}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_r}{R_L} \quad \dots\dots\dots(3.118)$$

3.12.3. Stabiliteti i përforcuesit me lidhje të kundërt

Me zbatimin e lidhjes së kundërt pozitive rritet përforcimi, i cila në shikim të parë mund të paraqet përparësi në krahasim me zbatimin e lidhjes së kundërt negative. Megjithatë, rreziku i fshehtë i lidhjes së kundërt pozitive qëndron në mundësinë e shfaqjes së vetëoshilimeve të përforcuesit, çka e bën të pa përshtatshëm për qëllimin për të cilin është vendosur.

Në qoftë se emëruesi në shprehjen për përforcimin me lidhje të kundërt pozitive $(1-A\beta)$ merr vlerën zero, kurse kjo ndodh kur $A\beta=1$, përforcimi bëhet pafundësisht i madh. Shikuar nga shprehja 3.92: $A_r=U_{dal}/U_{hyr}$ tensioni U_{hyr} bëhet i barabartë me zero, që do të thotë se përforcuesi jep dalje edhe pa pasur sinjal në hyrje. Kjo është karakteristikë për punën e oshilatorit.

Siç është e njohur, sinjali i daljes së një përforcuesi është i zhvendosur në fazë për π (180°) në krahasim me sinjalin e hyrjes. Varësia fazore mes tensionit të daljes dhe tensionit të hyrjes, e dhënë në figurën 3.9, tregon se për frekuencat e ulëta dhe të larta të brezit të lëshimit, vjen deri tek devijimi më i madh në fazë për dallim nga frekuencat e mesme. Tek shumica e stadeve përforcuesve, devijimet e dallimeve fazore për çdo stad mblidhen, çka mund të sjell në gjendjen që ata të arrijnë 2π ose 4π e kështu me radhë. Për përforcuesin me lidhje të kundërt negative kjo do të thotë kalim në regjimin me lidhje të kundërt pozitive dhe paraqitje të vetë oshilimeve.

Përveç zvogëlimit të përforcimit, kjo është edhe një dobësi serioze e lidhjes së kundërt negative.

3.12.4. Qëndrueshmëria e përforcimit të përforcuesit me lidhje të kundërt negative

Kur vlera e një cikli përforcimi $A\beta$ është shumë e madhe ($A\beta \gg 1$), përforcimi me lidhje të kundërt bëhet:

$$A_r = \frac{A}{A\beta} = \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots(3.119)$$

Përforcimi A_r , në këtë rast, bëhet i pavarur nga përforcimi i të njëjtit përforcues pa lidhje të kundërt negative A . Kjo do të thotë se përforcimi i përforcuesit me lidhje të kundërt negative nuk do të varet nga parametrat dhe elementet e ndryshueshëm të përforcuesit, por vetëm nga vetitë e qarkut për lidhje të kundërt.

Ky është një avantazh i rëndësishëm, i arritur me lidhjen e kundërt negative, sepse amortizimi, temperatura, zëvendësimi i elementeve aktive dhe pasive mund të shkaktojë ndryshim në përforcimin e përforcuesit pa lidhje të kundërt negative. Përforcimi tani varet vetëm nga karakteristikat e qarkut për lidhje të kundërt, dhe kjo zakonisht realizohet me elementet pasive të cilat mund të jenë me karakteristika të qëndrueshme.

3.12.5. Zgjerimi i brezit të lëshimit

Karakteristika e amplitudës e secilit përforcues, në rastin e përgjithshëm, tregon se përforcimi është më i vogël për frekuencat më të ulëta se sa frekuenca kufitare e poshtme f_p dhe për frekuenca më të larta se sa frekuenca kufitare e sipërme f_s (**figura 3.54a**). Sipas kësaj, nëse në hyrje vepron sinjal konstant për çfarë do lloj frekuence, në dalje do të fitohet sinjal që është uniform dhe më tepër i përforcuar në frekuenca të mesme, kurse në frekuenca të ulëta dhe të larta përforcimi do të jetë më i vogël. Nëse në këtë përforcues lidhet qark për lidhje të kundërt negative, përmes këtij qarku kthehet një pjesë e sinjalit dalës U_r , i cili ka fazë të kundërt nga sinjali i hyrjes. Amplituda e këtij sinjali zmadhohet për frekuencat e ulëta dhe të larta. Pas zbritjes së sinjalit të hyrjes, fitohet sinjal eksitues si në **figurën 3.54b**. Rezultati përfundimtar, i paraqitur në **figurën 3.54c** tregon se ka ardhur deri tek devijimi i frekuencës kufitare të sipërme dhe poshtme, ashtu që fitohet brez lëshimi i zgjeruar i përforcuesit.

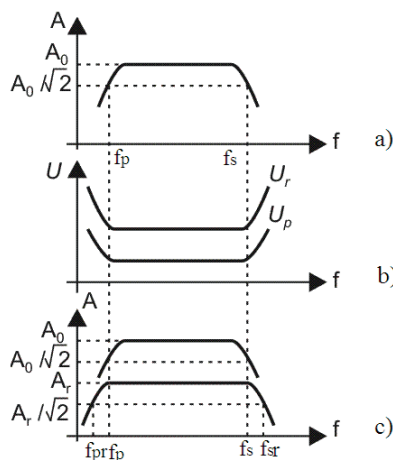


Figura 3.54: Zgjerimi i brezit të lëshimit.

3.12.6. Llojet e deformimeve

Shtrembërimi është ndryshim i formës së sinjalit të daljes në raport me sinjalin e hyrjes.

Shtrembërimet mund të jenë **lineare** dhe **jolineare**.

Shtrembërimet lineare paraqesin ndryshim të amplitudës dhe fazës së sinjalit, që do të thotë se ekzistojnë shtrembërimet lineare në amplitudë dhe fazë. Në brezin e lëshimit përforcimi i përforcuesit është konstantë dhe amplituda e sinjalit dalës për cilën do frekuencë në atë brez duhet të jetë më e madhe A-herë. Deri tek shtrembërimi linear i amplitudës vjen tek sinjalet frekuencat e të cilit janë jashtë brezit të lëshimit. Devijimi i fazës së sinjalit të daljes në krahasim me sinjalin e hyrjes, i treguar me karakteristikën fazore në figurën 3.9, përfaqëson shtrembërimet fazore lineare.

Shtrembërimet jolineare vijnë në shprehje për shkak të jolinearitetit të karakteristikave të elementit përforcues aktiv. Ata manifestohen në përforcimin e pabarabartë të gjysmë periodës pozitive dhe negative të sinjalit. Kur një përforcues pa lidhje të kundërt negative bashkohet me sinjal të pastër sinusoidal, i cili hyn në pjesën jolineare të karakteristikës së përforcuesit, përveç lakores-harmonikës kryesore të sinjalit hyrës të përforcuesit, në dalje do të paraqiten edhe komponentë të tjerë harmonik. Komponentët harmonik mund të jenë më të mëdhenj ose më të vegjël, çka varet nga pjesa jolineare e karakteristikës.

Vlera momentale tensionit periodik kompleks ka formën:

$$u = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + U_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots \quad (3.120)$$

ku :

U_{1m} është amplituda e tensionit e harmonikës së parë me frekuencë f ,

U_{2m} është amplituda e tensionit e harmonikës së dytë me frekuencë $2f$ e kështu me radhë. ,

Vlera efektive e tensionit periodik kompleks U_{ef} është:

$$U_{ef} = \sqrt{U_{1ef}^2 + U_{2ef}^2 + U_{3ef}^2 + \dots} \quad (3.121)$$

Madhësia e shtrembërimëve jolineare shprehet me faktorin e përgjithshëm të shtrembërimëve jolineare ose faktori klir (faktori i valës brehdëse) K si:

$$K = \frac{\sqrt{U_{2ef}^2 + U_{3ef}^2 + \dots}}{U_{1ef}} \quad (3.122)$$

Ndikim më të madh mbi faktorin K ka tensioni i harmonikut të dytë, tensionet e harmonikëve tjerë më të lartë mund të mos merren parasysh. Nëse mbështetemi vetëm në harmonikun e dytë , për shkak të thjeshtimit, për faktorin K të harmonikut të dytë K_2 fitojmë:

$$K_2 = \frac{U_{2m}}{U_{1m}} \quad (3.123)$$

Tensioni i harmonikut të dytë ekziston vetëm në dalje, kurse në hyrje nuk e kemi. Amplituda e tij nuk varet nga përforcimi, por vetëm nga jolineariteti i karakteristikës së përforcuesit.

3.12.7. Reduktimi i shtrembërimeve jolineare

Nëse vendoset lidhje e kundërt negative, sinjali i daljes do të zvogëlohet, që do të thotë se edhe tensioni i harmonikut të dytë do të zvogëlohet dhe do të bëhet:

$$U_{2mr} = U_{2m} - A\beta U_{2mr}, \dots\dots\dots(3.124)$$

gjegjesisht:

$$U_{2mr}(1 + A\beta) = U_{2m} \text{ ose}$$

$$U_{2mr} = \frac{U_{2m}}{1 + A\beta} \dots\dots\dots(3.125)$$

I dyti, si edhe çdo harmonik tjetër tek përforcuesit me lidhje të kundërt zvogëlohet në raport me harmonikun e dytë të përforcuesit pa lidhje të kundërt, ashtu siç zvogëlohet edhe përforcimi.

Nëse ndahet ekuacioni 3.109 me U_{1m} fitohet faktori K i harmonikut të dytë:

$$K_{2r} = \frac{K_2}{(1 + A\beta)} \dots\dots\dots(3.126)$$

ose për harmonikun e n-të:

$$K_{nr} = \frac{K_n}{(1 + A\beta)} \dots\dots\dots(3.127)$$

ku me K_2 është shënuar faktori klir i harmonikut të dytë pa lidhje të kundërt, kurse me K_{2r} faktori klir me lidhje të kundërt negative.

3.12.8. Ndikimi i lidhjes së kundërt negative mbi zhurmat

Zhurmat që paraqiten në dalje të përforcuesit, rrjedhin nga burimi i sinjal eksitues (nga stadet paraprake) dhe nga elementet e vet përforcuesit.

Tensioni i zhurmës U_N , i cili shkon së bashku me tensionin e sinjalit të dobishëm U_S , përforcohet njëjloj edhe si sinjali i dobishëm. Duke supozuar se përforcuesi nuk fut asnjë lloj zhurme, raporti sinjal-zhurmë U_S/U_N , i cili ekziston në hyrje të përforcuesit do të mbetet i pandryshuar edhe në dalje:

$$\frac{U_{Sdal}}{U_{Ndal}} = \frac{U_{Shyr}}{U_{Nhyr}} \dots\dots\dots(3.128)$$

Me futjen e lidhjes së kundërt negative zvogëlohet sinjali i dobishëm për $(1+A\beta)$ -herë. E njëjta do të vlejë edhe për sinjalin e zhurmës. Sipas kësaj, për raportin sinjal-zhurmë në dalje do të fitohet:

$$\frac{U_{S_{dal}}}{U_{N_{dal}}} = \frac{U_{S_{dal}}}{U_{dal}} \cdot \frac{1}{1+A\beta},$$

e cila tregon se kjo marrëdhënie edhe me aplikimin e lidhjes së kundërt negative nuk ndryshon. Megjithatë, i njëjti përfundim nuk vlen për zhurmat e krijuara në vetë përforcuesin. Ata do të jenë sinjalet të cilët nuk ekzistojnë në hyrje, kurse paraqiten në dalje. Për ata do të vlejë i njëjti përfundim, si edhe për shtrembërimet jolineare.

Tek përforcuesi pa lidhje të kundërt negative, për një vlerë të caktuar të sinjalit hyrës, në dalje do të ekzistoj A-herë sinjal më i madh, por do të ekzistoj edhe një vlerë e zhurmës, e cila në hyrje nuk ekzistonte. Në këto kushte në dalje ekziston vlerë e caktuar e raportit sinjal-zhurmë U_{SDAL}/U_N . Me futjen e lidhjes së kundërt negative, sinjali i daljes zvogëlohet $(1+A\beta)$ - herë, kështu që për raportin sinjal-zhurmë marrim:

$$\frac{U_{S_{dal}}}{U_N} = \frac{U_{S_{dal}}}{U_N} \cdot \frac{1}{1+A\beta},$$

që çon në përfundimin se edhe ky raport mbetet i pandryshuar. Por, nuk duhet të harrohet se sinjali i dobishëm në hyrje mund të rritet në atë vlerë që është e nevojshme në dalje U_{dal} me të njëjtën vlerë si pa lidhjen e kundërt. Për më tepër, sinjali i zhurmës bëhet për $(1+A\beta)$ -herë më i vogël, kurse raporti sinjal-zhurmë bëhet më i madh.

3.12.9. Ndikimi i lidhjes së kundërt mbi impedancën hyrëse dhe dalëse të përforcuesit

Qarku në lidhje të kundërt ka impedancën e tij hyrëse dhe dalëse. Ajo lidhet në mënyrë serike ose paralele në impedancën hyrëse, gjegjësisht dalëse të përforcuesit. Për këtë arsye, ndryshon impedanca hyrëse dhe dalëse e përforcuesit. Si do të jetë ai ndryshim, gjegjësisht impedanca do të rritet apo zvogëlohet, varet nga mënyra e lidhjes së qarkut të lidhjes së kundërt në raport me hyrjen dhe me daljen.

Impedanca e hyrjes e përforcuesit me lidhje të kundërt nga figura 3.53, Y_{hyrr} , definohet si:

$$Z_{hyrr} = \frac{U_{hyr}}{I_{hyr}} = \frac{(U_p + U_r)}{I_{hyr}} = \frac{(U_p + \beta U_{dal})}{I_{hyr}} = \frac{(U_p + A\beta U_p)}{I_{hyr}} = \left(\frac{U_p}{I_{hyr}} \right) (1 + A\beta). \quad \dots\dots\dots(3.129)$$

Impedanca hyrëse e përforcuesit pa lidhjen e kundërt është Z_{hyr} :

$$Z_{hyr} = \frac{U_p}{I_{hyr}}.$$

kështu që me zëvendësim fitohet:

$$Z_{hyrr} = Z_{hyr}(1 + A\beta). \quad \dots\dots\dots(3.130)$$

Me zbatimin e lidhjes së kundërt serike impedanca rritet për shumën e funksionit të lidhjes së kundërt.

Për një shumë të njëjtë rriten ose zvogëlohen impedancat e hyrjes dhe daljes për llojet tjera të paraqitjes së lidhjeve të kundërta. Për këtë arsye, në shqyrtimin e mëtuftjeshëm do të jetë e mjaftueshme vetëm të përfundohet se impedanca adekuate rritet apo zvogëlohet, e mandej menjëherë të shkruhet shprehja e saj matematikore.

Në rastin e lidhjes së kundërt negative paralele, vjen deri te zvogëlimi i tensionit mes lidhjeve të hyrjes dhe deri te zmadhimi i rrymës së hyrjes, pasi që impedanca dalëse e qarkut për lidhje të kundërt është e lidhur në paralel. Si rezultat, zvogëlohet impedanca hyrëse e përforcuesit me lidhje të kundërt në raport me impedancën e hyrjes të të njëjtit përforcues kur nuk ka lidhje të kundërt:

$$Z_{hyrr} = \frac{U_{hyr}}{I_{hyr}} = \frac{Z_{hyr}}{(1 + A\beta)}. \quad \dots\dots\dots(3.131)$$

Impedanca dalëse e përforcuesit me lidhje të kundërt të tensionit zvogëlohet në raport me impedancën dalëse pa lidhje të kundërt:

$$Z_{dalr} = \frac{Z_{dal}}{(1 + A\beta)}. \quad \dots\dots\dots(3.132)$$

Impedanca dalëse e përforcuesit me lidhje të kundërt negative të rrymës rritet në raport me impedancën dalëse pa lidhje të kundërt:

$$Z_{dalr} = Z_{dal}(1 + A\beta). \quad \dots\dots\dots(3.133)$$

MBAJ MEND!!!

- * Lidhja e kundërt paraqet transferimin e një pjese të sinjalit të daljes të përforcuesit në hyrjen e tij.
- * Kur sinjali i hyrjes dhe sinjali i kthyer janë të zhvendosur në fazë për 180° fitohet lidhje e kundërt negative.
- * Kur sinjali i hyrjes dhe sinjali i kthyer janë në fazë fitohet lidhje e kundërt pozitive.

- * Me zbatimin e lidhjes së kundërt negative:
 - Zvogëlohet përforcimi i përforcuesit,
 - Përmirësohet qëndrueshmëria e përforcimit,
 - Zgjerohet brezi i lëshimit,
 - Zvogëlohen shtrembërimet jolineare,
 - Zvogëlohet zhurma që futet me përforcuesin.
- * Me zbatimin e lidhjes së kundërt negative serike zmadhohet impedanca hyrëse e përforcuesit.
- * Me zbatimin e lidhjes së kundërt negative paralele zvogëlohet impedanca hyrëse e përforcuesit.
- * Me zbatimin e lidhjes së kundërt negative të tensionit zvogëlohet impedanca dalëse e përforcuesit.
- * Me zbatimin e lidhjes së kundërt negative të rrymës rritet impedanca dalëse e përforcuesit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çka nënkupton me termin lidhje e kundërt?
2. Kur lidhja e kundërt është pozitive e kur negative?
3. Defino koeficientin e lidhjes së kundërt β ?
4. Çfarë është përforcimi i përforcuesit me lidhje të kundërt negative në raport me përforcimin e të njëjtit përforcues pa zbatimin e lidhjes së kundërt negative?
5. Si quhet prodhimi $A\beta$?
6. Cili është kushti që përforcimi me lidhje të kundërt të jetë i pavarur nga përforcimi i të njëjtit përforcues pa lidhjen e kundërt negative?
7. Sqaro zgjerimin e brezit të lëshimit të përforcuesit me lidhje të kundërt.
8. Çka është shtrembërimi dhe çfarë lloje të shtrembërimeve ka?
9. Çfarë lloje të lidhjeve të kundërta negative ekzistojnë sipas mënyrës së lidhjes së qarkut për lidhje të kundërt në dalje?
10. Si mund të jetë lidhja e qarkut për lidhje të kundërt në raport me hyrjen?
11. Si është ndikimi i lidhjes së kundërt kthyesë negative mbi impedancën e hyrjes dhe daljes.

3.13. Përforcuesit e fuqisë

Përforcuesit e fuqisë zakonisht janë stadi dalëse në përforcuesit e frekuencave të ulëta. Ata duhet të japin fuqi të dobishme për ngacimin e altoparllantit, kokës së magnetofonit, relesë elektromagnetike dhe rezistencave të ngjashme të ngarkesës.

Përforcuesi i fuqisë punon në regjimin e sinjaleve të mëdha dhe analiza e tij bëhet me metodat grafike-analitike duke përdorur karakteristikat statike të transistorit.

Para përforcuesit parashtrohen kërkesat e mëposhtme bazë:

a) të sigurojë fuqi të dobishme për konsumatorin. Për përforcuesit e sinjaleve tonike fuqia e dobishme sillet në kufijtë prej disa qindra mW deri në disa qindra W.

b) fuqia maksimale e përforcuesit lidhet me koeficient të caktuar të shtrembërimeve jolineare. Në një përforcues me shumë stade, shtrembërimet më të mëdha jolineare i jep stadi dalës. Kështu, për shembull, për radiomarrësit e lëvizshëm shtrembërimet jolineare arrijnë deri në 10%, radiomarrësit më kualitativ dhe përforcuesit e zërimit nga 2 deri në 6%, kurse përforcuesit e kualitetit të lartë (Hi - Fi High Fidelity) deri në 1% e më pak.

c) të sigurojë karakteristike adekuatë të frekuencave. Në përforcuesin me më shumë stade, përforcuesi dalës në masë të madhe i kufizon frekuencat e larta. Prandaj, në përforcuesit kualitativ zbatohet lidhja e kundërt negative.

d) të sigurojë kosto të leverdishme në raport me harxhimin e energjisë elektrike nga burimi i ushqimit. Kostoja definohet me **faktorin e veprimit të dobishëm (rendimenti i përforcuesit)**:

$$\eta = \frac{P_k}{P_0},$$

ku me P_d shënohet fuqia dalëse, kurse me P_0 fuqia e konsumuar nga burimi i rrymës së vazhduar.

e) të ofrojë punë të sigurt dhe të qëndrueshme në një interval të paracaktuar të temperaturës së mjedisit.

Stadi dalës mund të punojë në klasën A, klasën B dhe klasën AB dhe në të gjitha tre llojet e lidhjeve, me emiter të përbashkët, bazë të përbashkët, kolektor të përbashkët, gjegjësisht me burim të përbashkët, gejt të përbashkët dhe drejn të përbashkët. Më shumë është në përdorim lidhja me emiter të përbashkët, gjegjësisht me burim të përbashkët, sepse ka përforcim më të madh në krahasim me dy llojet tjera të lidhjeve.

3.13.1. Stadi dalës në klasën A me transistor bipolar

Stadi dalës në klasën A zbatohet atje ku janë të lejuara shtrembërime të vogla. Megjithatë, ky stad me një transistor në klasën A më rrallë haset si stad dalës, kurse më shpesh si stad eksitues ose si stad paraprak që i paraprinë stadi dalës.

Në raportin energjetik, ky stad karakterizohet me faktor të veprimit të dobishëm (rendimet) më të vogël, që do të thotë shfrytëzim minimal të transistorit në raport me fuqinë e tij. Kushtet e punës diktojnë që nëpër transistor vazhdimisht të rrjedh rrymë, pavarësisht nëse në hyrjen e tij ka sinjal eksitues.

Skema themelore e përforcuesit në klasën A me transistor në lidhje me emiter të përbashkët është dhënë në **figurën 3.55**. Për analizën e këtij stadi mund të zbatohet komplet analiza e bërë në kapitullin 3.6- Analiza grafike e përforcuesit me transistor.

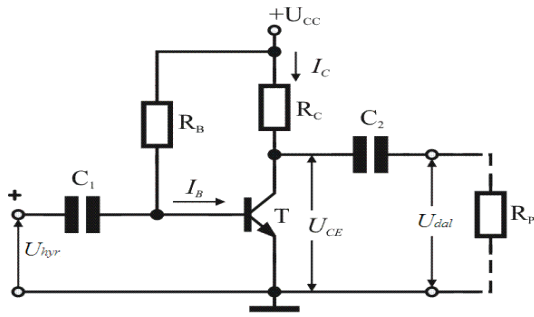


Figura 3.55: Përforcues i fuqisë në klasën A.

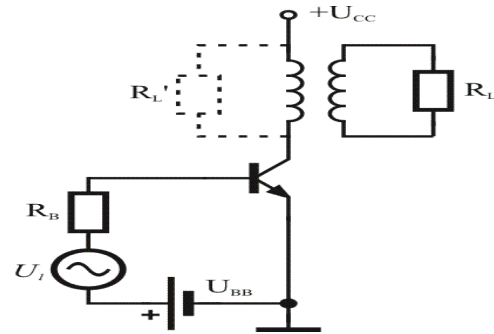


Figura 3.56: Përforcues i fuqisë në klasën A me transformator

Në një numër të caktuar të përforcuesve dalës, lidhja me ngarkesën ose me stadin dalës përfundimtar vijues realizohet përmes transformatorit, siç tregohet në **figurën 3.56**. Duke zbatuar transformatorin arrihen kushte më të favorshme të punës. Së pari, shmanget që rryma e vazhduar të rrjedh nëpërmjet konsumatorit, me çka përmirësohet faktori i veprimit të dobishëm të transistorit (rendimenti). Rezistenca e mbështjelljes së transformatorit për komponentin e vazhduar të rrymës është e vogël dhe humbjet e tensionit dhe fuqisë së rrymës së vazhduar janë të pa rëndësishme. Së dyti, transformatori ofron mundësinë e përshtatjes më të mirë të ngarkesës me daljen e transistorit, që të mos përcillet fuqia e dobishme maksimale kah konsumatori. Kjo ka të bëjë me sistemet e mëdha për zërim tek të cilët altoparlantët janë të shpërndarë në vende të largëta (stadiume, salla sportive, stacione hekurudhore dhe stacione të autobusëve, etj).

Rezistenca e ngarkesës R_L pasqyrohet në anën primare të transformatorit, sipas formulës:

$$R'_L = R_L \cdot n_p^2 = R_L \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \dots\dots\dots(3.134)$$

ku me n_1 dhe n_2 janë shënuar numrat e mbështjellësve të primarit dhe sekondarit, kurse me n_p raporti (rendimenti) i transformimit.

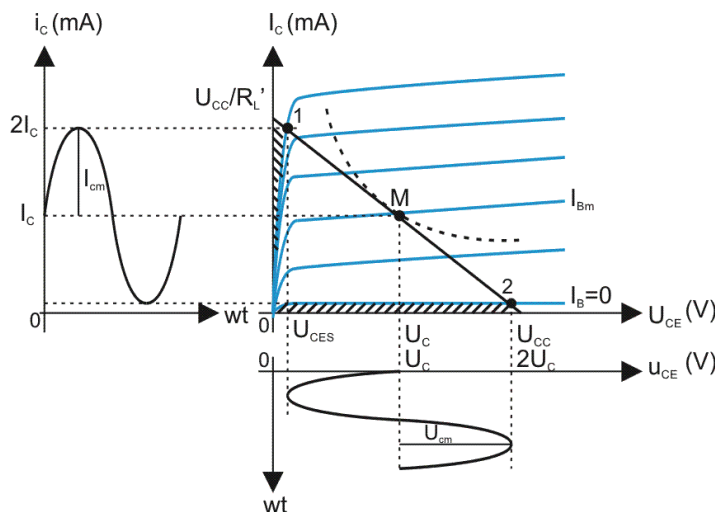


Figura 3.57: Pika e punës dhe drejtëza e punës e përforcuesit në klasën A.

Me rezistencën ekuivalente të ngarkesës R_L' definohet këndi i pikës dinamike të punës. Këndi më i përshtatshëm përfaqësohet me vijën me të cilën fitohen gjysmë-perioda simetrike të ndryshimit sinusoidal të tensionit të kolektorit (**figura 3.57**).

Në këtë rast kemi fuqi të dobishme maksimale pa shtrembërime për pikën e dhënë të punës M. Fuqia e dobishme llogaritet sipas:

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot I_{cm} \cdot U_{cm}, \dots\dots\dots(3.135)$$

kurse fuqia e konsumuar nga burimi është:

$$P_0 = U_{CC} I_{CM} \cdot \dots\dots\dots(3.136)$$

Për regjimin e zgjedhur të punës kemi:

$$I_{cm} = I_{CM} \text{ dhe } U_{cm} = U_{CC}.$$

Tani për faktorin e veprimit të dobishëm kemi:

$$\eta = \frac{P_k}{P_0} \cdot 100 = \frac{\frac{1}{2} \cdot I_{cm} \cdot U_{cm}}{I_{CM} \cdot U_{CC}} \cdot 100 = 0,5 \cdot 100 = 50\% \cdot \dots\dots\dots(3.137)$$

Vlera teorike maksimale e faktorit të efektit të dobishëm (rendimentit) është 50%, që do të thotë fuqia e zhvilluar në transistor si nxehtësisë (disipacion) është e barabartë me fuqinë e dobishme të krijuar në ngarkesë.

Kur amplituda a rrymës së bazës është dy herë më e vogël, fitohen edhe amplituda dy herë më vogla të tensionit të kolektorit dhe të rrymës së kolektorit. Në këtë rast, fuqia e dobishme P_d do të jetë katër herë më e vogël, kurse me këtë edhe rendimenti do të jetë katër herë më i vogël, sepse fuqia e konsumuar P_0 mbetet e njëjtë.

Dallimi në mes të fuqisë totale të konsumuar nga burimi dhe fuqisë së dobishme konvertohet në nxehtësi në lidhjet e transistorit. Pjesa më e madhe shpërndahet në kalimin e kolektorit dhe për disipacionin e kolektorit mund të shkruhet:

$$P_D = P_O - P_K \dots\dots\dots(3.138)$$

Disipacion (shpërndarje) maksimal kemi kur fuqia e dobishme është e barabartë me zero. Kjo është një nga të metat thelbësore të stadiit dalës në klasën A. Për këtë stad janë të nevojshëm transistor me fuqi të madhe, por efikasiteti është i keq.

3.13.2. Përforcues simetrik të fuqisë

Duke i lidhur dy transistorë mund të fitohet fuqi më e madhe në dalje me faktor më të madh të veprimit të dobishëm (rendimentit). Lidhja e transistorëve mund të jetë paralele ose simetrike. Përforcuesit simetrik janë të njohur si kundër-aktiv ose push-pull përforcues.

Përforcuesit simetrik mund të punojnë në klasën A, klasën B dhe klasën AB dhe në tre konfiguracionet e mundshme: me lidhje me emiter të përbashkët, me bazë të përbashkët dhe kolektor të përbashkët. Eksitimi (ngacmimi) i transistorëve bëhet me tension, të kthyer në fazë për 180° . Nëse sinjal eksitues ka formë sinusoidale, në bazën e njërit transistor do të vijë gjysmë-perioda pozitive, kurse në të njëjtën kohë në bazën e transistorit do të vijë gjysmë-perioda negative. Faza kundërshtuese e sinjalit nxitës mundësohet me transformator me sekondar të ndarë, me çka secila gjysmë e sekondarit lidhet në bazën e secilit transistor ose me stad transistori me rezistencë në qarkun e kolektorit dhe emiterit, me çka përdoret vetëm njëra dalje e kolektorit, kurse tjetri, me fazë të kundërt, nga emiteri.

Përforcuesi simetrik me transistor në lidhje me bazë të përbashkët ka disa veti të mira. Ai mund të japë një fuqi dalëse të caktuar me shtrembërime të vogla, me çka të ketë faktor të veprimit të dobishëm më të madh nga përforcuesi me një transistor në lidhje me emiter të përbashkët. Përdorimi i transistorëve me një ndryshim të vogël të koeficientëve h_{21b} jep asimetri më të vogla nga përdorimi i koeficientëve h_{21e} .

E metë themelore a lidhjes me bazë të përbashkët është përforcim i vogël i fuqisë, ajo është h_{21e} herë më e vogël se përforcimi në lidhjen me emiter të përbashkët. Kjo do të thotë, për të njëjtën fuqi dalëse stadi në lidhje me bazë të përbashkët kërkon 20 deri në 100 herë fuqi ensitues më të madhe, në varësi të vlerës së parametrin h_{21e} .

Vetitë e mira të cekura, në krahasim me të metat janë të parëndësishme, kështu që lidhja me bazë të përbashkët nuk ka zbatim praktik. E njëjta vlen edhe për lidhjen me kolektor të përbashkët. Me lidhjen simetrike zvogëlohen shtrembërimet jolineare në atë mënyrë që eliminohen komponentët harmonik çift.

3.13.3. Përforcuesit simetrik në klasë B

Kur stadi përforcues punon në klasën B, në qarkun e kolektorit rrjedh rryma vetëm gjatë kohës njëjës gjysmë-periodë të sinjalit hyrës, gjë që siguron fuqi dalëse më të madhe dhe faktor të veprimit të dobishëm më të mirë. **Por, në klasën B shtrembërimet janë shumë më të mëdha se në klasën A.** Për këtë arsye, përforcuesit në klasën B bëhen vetëm në lidhje simetrike.

Skema themelore e përforcuesit simetrik në klasën B është dhënë në **figurën 3.58**. Skema është dhënë me transistor-PNP, kurse për skemën me transistor-NPN duhet të ndryshojë vetëm polarizimi i U_{CC} dhe drejtimet e rrymave të kolektorit.

Në mungesë të sinjalit në hyrje, në qarkun e kolektorit rrjedh rryma I_{CEO1} , gjegjësisht I_{CEO2} . Nëse transistorët kanë karakteristika të njëjta, rrymat I_{CEO1} dhe I_{CEO2} nëpër rezistencën e ngarkesës janë të njëjta.

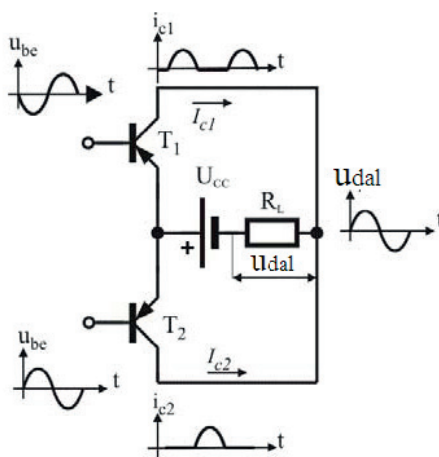


Figura 3.58: Përforcuesi simetrik në klasën B.

Eksitimi bëhet me tensione të barabarta me fazë të kundërt për hyrjet e të dy transistorëve.

Funksionimi i këtij përforcuesi gjatë kohës së njëjës periodë të sinjalit sinusoidal eksitues rrjedh në mënyrën e mëposhtme: gjatë kohës së gjysmë-periodës negative të sinjalit të hyrjes, përçon transistori T1. Në qarkun e kolektorit të T1 rrjedh rryma I_{C1} . Në të njëjtën kohë, transistori T2 do të jetë i bllokuar.

Gjatë kohës së gjysmë-periodës pozitive të tensionit eksitues, gjithçka ndodh si edhe për negative por vetëm me drejtim të kundërt: transistori T2 do të përçojë, kurse transistori T1 do të jetë i bllokuar. Rezultat përfundimtar është tension i përforcuar, i njëjtë në formë me tensioni e hyrjes.

Parimi i funksionimit të stadiit simetrik në klasën B grafikisht është treguar përmes karakteristikave hyrëse dhe dalëse të bashkuara. Karakteristikat e hyrjes të bashkuara janë dhënë në **figurën 3.59a**.

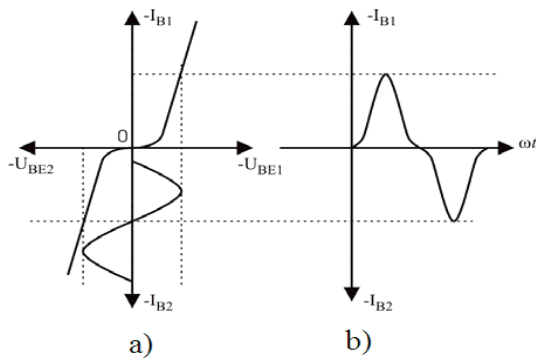


Figura 3.59: Karakteristikat e bashkuara hyrëse

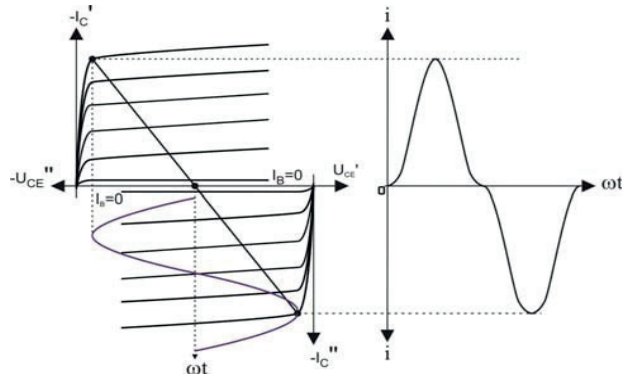


Figura 3.60: Karakteristikat e bashkuara dalëse

Karakteristika e hyrjes e transistorit T1 është në sistemin koordinativ $-I_{B1}=f(-U_{BE1})$, kurse e transistorit T2 $-I_{B2}=f(-U_{BE2})$. Origjina e koordinative e të dy sistemeve është e përbashkët, kurse vetë sistemet vizatohen në drejtime të kundërta. Tensioni eksitues u_{be1} është i barabartë në amplitudë, kurse i kundërt në fazë me tensionin eksitues u_{be2} . Këto dy tensione mund të shfaqen në sistemin e karakteristikave të bashkuara me periodën e plotë.

Për shkak të jolinearitetit të karakteristikës hyrëse, rryma e bazës do të ketë formë të shtrembëruar (figura 3.59b). Rryma e kolektorit, gjithashtu, do të jetë e shtrembëruar, nëse supozohet se karakteristikat statike janë lineare. Në figurën 3.60 tregohen karakteristikat dalëse të bashkuara. Të njëjtat shtrembërime paraqiten edhe në tensionin e daljes.

3.13.4. Përforcuesi simetrik në klasë AB

Për të reduktuar shtrembërimet, në përforcuesit simetrik për zë dhe muzikë, në bazat vendoset tension i vogël negativ, me çka transistorët punojnë në klasën AB.

Pika e punës në klasën AB vendoset në atë mënyrë që për sinjale eksitues të vegjël në qarkun e kolektorit të njërit transistor rrjedh rryma gjatë kohës së periodës së plotë. Kur në hyrje do të vijë sinjal më i madh, rryma në kolektor do të rrjedh për kohë më të gjatë se gjysmë-perioda, por më shkurt se një periodë e plotë. Kjo do të thotë se, për sinjale të vogla, përforcuesit punon në klasën A, kurse për të mëdhenj në klasën B.

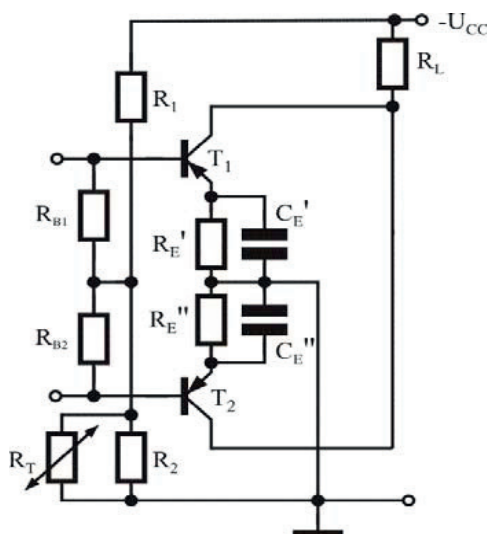


Figura 3.61: Skema e përforcuesit në klasën AB.

Skema e përforcuesit simetrik në klasë AB (**Figura 3.61**) ndryshon nga skema e përforcuesit në klasën B me atë që në qarkun e emiterit janë vendosur të lidhur paralel rezistenca R_E dhe kondensatori C_E . Me rezistencën ndarës R_1, R_2, R_T përcaktohet pozita e pikës së punës, ashtu që të gjendet në karakteristikën e dispacionit (shpërndarjes) të lejuar.

3.13.5. Përforcuesit komplementar simetrik

Transformatori dalës në përforcuesit simetrik ka karakteristika të tilla që fut shtrembërime lineare dhe jolineare në sinjal, veçanërisht në frekuenca të ulëta. Përforcuesi simetrik mund të ndërtohet edhe me transistor komplementar. Lidhja më e përdorur është lidhja e çifteve të përforcuesve dalës komplementar.

Çift i transistorëve komplementar janë dy transistor me karakteristika identike. Njëri është i llojit NPN, kurse tjetri i llojit PNP.

Skema themelore e përforcuesit të tillë në dy variante është dhënë në **figurën 3.62**. Në skemën e variantin të parë nën a) shfrytëzohen dy burime, njëri me tension pozitiv, kurse tjetri me tension negativ, ose burim i ushqimit me dalje të mesme. Në skemën e variantit të parë nën b) shfrytëzohet një burim i ushqimit, kurse rezistenca e ngarkesës lidhet përmes kondensatorit. Gjatë kohës së gjysmë-periodës pozitive të sinjalit eksitues, lidhja e emiterit të transistorit T_2 polarizohet drejt dhe përmes rezistencës së ngarkesës rrjedh rryma e kolektorit i_{C2} . Në të njëjtën kohë, Transistori T_1 është i bllokuar, pasi që lidhja emiteriale e tij është e polarizuar invers me gjysmë-periodën pozitive të sinjalit eksitues.

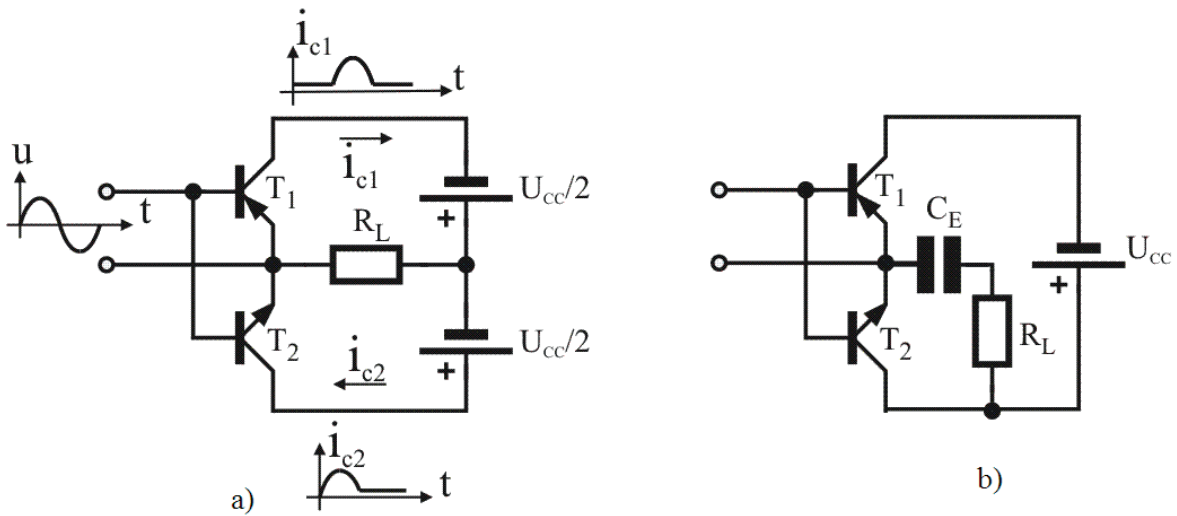


Figura 3.62: Skema themelore e përforcuesve komplementar simetrik.

Gjatë kohës së gjysmë-periodës negative, transistori T_1 bëhet i përçueshëm dhe rryma e tij e kolektorit i_{c1} do të rrjedhë përmes rezistencës së ngarkesës. Gjatë kësaj kohe, transistori T_2 është i bllokuar.

Nëse të dy transistorët kanë parametra të barabartë, rrymat e kolektorit të tyre do të jenë simetrike, kurse shtrembërimet jolineare minimale. Me veprimin kundër-fazor të transistorëve komplementar bie nevoja për konvertues të fazës.

Faktori i veprimit të dobishëm i përforcuesve simetrik komplementar mund të jetë edhe deri në 78%.

Stadet dalëse përforcuese të transistorëve sot përpunohen në formë të integruar me numër të vogël të elementeve të jashtme.

Në **figurën 3.63**, tregohet përforcues në lidhje simetrike-komplementare që mund të punojë në klasën B, gjegjësisht AB, varësisht nga zgjedhja e rezistencave $R1$ gjegjësisht $R1'$ dhe $R2'$.

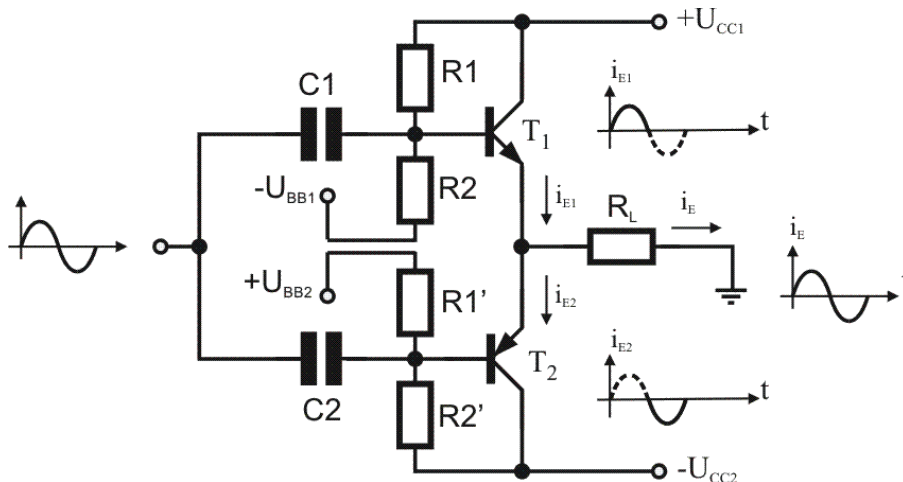


Figura 3.63: Përforcues në klasën B në lidhje simetrike-komplementare.

Termi simetrik-komplementar vjen nga nevoja për transistor të llojeve të ndryshme, PNP dhe llojit NPN por me karakteristika të njëjta. Përndryshe, gjysmëperioda pozitive dhe negative e sinjalit dalës nuk do të jenë me karakteristika të njëjta. Për realizimin e qarkun janë të nevojshëm katër burime. Numri i burimeve mund të reduktohet në dy nëse për furnizimin e $R1'$ përdoret burimi $+U_{CC1}$, kurse për furnizimin e $R1$ përdoret burimi $-U_{CC2}$.

Parimi i funksionimit të përforcuesit është i njëjtë me përforcuesin themelor në klasën B. Në gjysmëperiodat pozitive të tensionit hyrës do të përçojë transistori $T1$ dhe në ngarkesën R_L do të realizohet gjysmëperioda pozitive e tensionit të daljes. Në gjysmëperiodën negative, do të përçojë transistori $T3$, kështu që në ngarkesë do të realizohet gjysmëperioda negative e tensionit të daljes. Është e mundur edhe shfaqja e përforcuesve simetrik-komplementar edhe me një burim ushqimi. Në këtë rast, për sigurimin e njëres nga gjysmëperiodat e tensionit të daljes përdoret burimi, kurse për realizimin e gjysmëperiodës tjetër kondensatori që është i lidhur në seri mes përforcuesit dhe ngarkesës, siç tregohet në **figurën 3.64**.

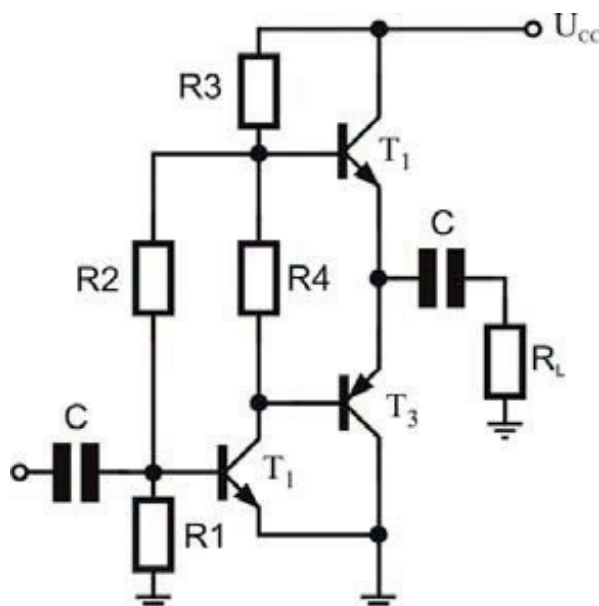


Figura 3.64: Përforcues në lidhje simetrike-komplementare me një burim të ushqimit në klasën AB.

Këtu duhet të vënë në dukje se, në vend të rezistencës $R4$, e cila siguron funksionimin e përforcuesit në klasën B, mund të përdoren edhe dy dioda nga i njëjti material si edhe transistorët $T2$ dhe $T3$ dhe me të njëjtat karakteristika si lidhjet bazë-emiter të këtyre transistorëve. Përkundër krijimit të tensioneve të nevojshme të polarizimit të transistorëve dalës, këto dioda kanë edhe detyrë të sigurojnë stabilitet në temperaturë të rrymave të emiterit të transistorëve dalës. Prandaj ata duhet të vendosen në të njëjtin trup të ftohjes si edhe transistorët me çka sigurohet që të gjithë ata të punojnë në të njëjtën temperaturë. Kondensatori C duhet të ketë kapacitet të madh të mjaftueshëm që të mund të sigurojë energjinë e duhur të gjysmëperiodës negative të tensionit, gjegjësisht rrymës së ngarkesës.

Në figurën 3.65, është treguar përforcues i fuqisë me transistor-NPN në daljen e të ashtuquajturës lidhje kuazi-komplementare (e ngjashme me komplementaren e klasës B). Në qark është përdorur një lidhje e Darlingtonit të cilën e përbëjnë transistorët T2 dhe T4 dhe një lidhje komplementare e Darlingtonit të cilën e përbëjnë transistorët T3 dhe T5.

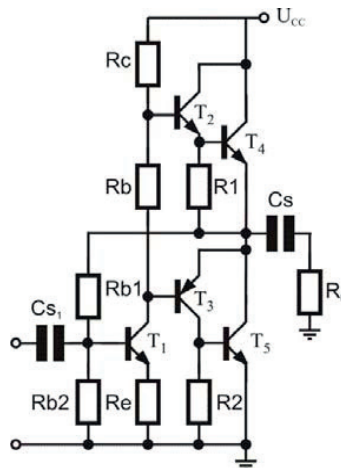


Figura 3.65: Përforcues me çift kvazi-komplementar të transistorëve.

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesit e fuqisë zakonisht janë stadet dalëse në kaskadën përforcuese.
- * Përforcues në klasën A me një transistor zakonisht punon si një para-stad, ka më pak shtrembërime, por edhe shkallë më të vogël të veprimit të dobishëm (rendiment) (deri në 50%).
- * Me përforcuesit simetrik të fuqisë reduktohen shtrembërimet jolineare dhe fitohet fuqi më e madhe me shkallë më të madhe të veprimit të dobishëm-rendimentit.
- * Përforcuesit simetrik përdorin dy transistorë me karakteristika identike.
- * Përforcuesit simetrik në klasën AB për sinjale hyrëse të vogla punojnë në klasën A, kurse për sinjale të mëdhenj në klasën B.
- * Me përforcues simetrik komplementar mënjanohet përdorimi i transformatorit dalës, kurse shkalla e veprimit të dobishëm është 78%.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilat janë kërkesat themelore para përforcuesit të fuqisë?
2. Cilat janë të metat e stadiit dalës në klasën A?
3. Cili konfiguracion më së tepër përgjigjet për përforcuesit simetrik të fuqisë?
4. Për çfarë arsye përforcuesit në klasën B përpunohen në lidhje simetrike?
5. Shpjego parimin e funksionimit të stadiit simetrik në klasën B?
6. Në çka dallohet skema e përforcuesit simetrik në klasën AB nga skema e përforcuesit në klasën B?

VERIFIKIMI TEMATIK**I Pyetje me rrethim****(Rretho përgjigjet e sakta)**

1. Vlerë më të madhe të përforcimit të rrymës dhe tensionit ka përforcuesi në lidhje me:

- a) emiter të përbashkët
- b) bazë të përbashkët
- c) kolektor të përbashkët

2. Tensioni i hyrjes dhe daljes janë të zhvendosur në fazë për 180^0 në përforcuesin me lidhje me:

- a) Gejt të përbashkët
 - b) Drejt të përbashkët
 - c) Burim të përbashkët
-

3. Përforcimi i përforcuesit me lidhje të kundërt negative është:

- a) më i madh
- b) i barabartë
- c) më i vogël

nga përforcimi i përforcuesit të njëjtë pa zbatimin e lidhjes së kundërt negative.

4. Përforcimi ciklik është dhënë me shprehjen:

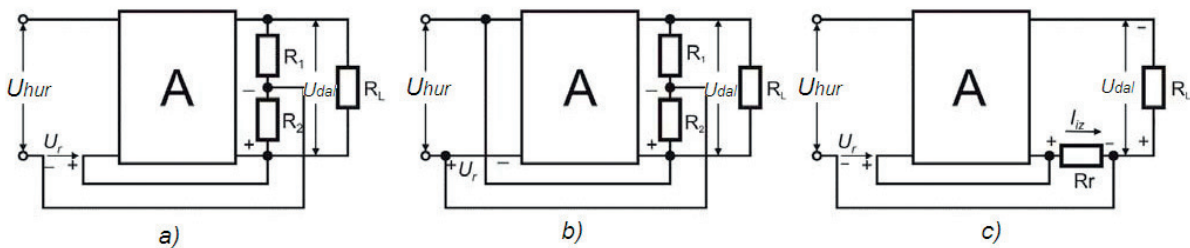
- a) β
- b) βA
- c) $1 + \beta A$.

II Pyetje me lidhshmëri

5. Lidh madhësinë e përforcimit me konfiguracionin e përforcuesit:

- | | | |
|------------|---|-------|
| 1. i vogël | a) Përforcues me lidhje me emiter të përbashkët | _____ |
| 2. i madh | b) Përforcues me lidhje me bazë të përbashkët | _____ |
| | c) Përforcues me lidhje me kolektor të përbashkët | _____ |

6. Lidh qarqet me lidhje të kundërt me llojet e lidhjeve të kundërta:



1. paralele- e tensionit _____
2. serike- e tensionit _____
3. serike- e rrymës _____.

7. Lidh konfiguracionin e përforcuesit me zhvendosje fazore të tensionit të daljes në krahasim me hyrjen:

1. Përforcues në lidhje me burim të përbashkët a) nuk ka _____
2. Përforcues në lidhje me drejt përbashkët b) 180° _____
3. Përforcues në lidhje me gejt të përbashkët.

III Pyetje me plotësimin

8. Kur përforcimi i tensionit është negative, tensioni i daljes dhe hyrjes janë të zhvendosur në fazë për _____.

9. Dallimi në mes të frekuencës kufitare të sipërme dhe të poshtme quhet _____ dhe shënohet me _____.

10. Frekuencën në të cilën përforcimi bie për 3dB në raport me përforcimin në frekuenca të mesme quhet _____.

11. Përforcuesi me lidhje me kolektor të përbashkët ka përforcim të tensionit me vlerë _____ kurse përforcimi i rrymës me vlerë prej _____.

12. Ndjekësi emiterial quhet përforcues me lidhje me _____ përbashkët.

13. Nëse fazat e sinjalit të hyrjes dhe e sinjalit të kthyer përputhen, lidhja e kundërt është _____, kurse nëse dallohen për 180^0 atëherë lidhja e kundërt është _____.

14. Me relacioni $A_r=A/(1-A\beta)$, definohet përforcimi i përforcuesit me lidhje të kundërt _____.

Ushtrime për mësim aktiv:



- Ndërto tabelë në të cilën do të vendosësh vlerat e parametrave të konfiguracioneve të ndryshme të përforcuesve dhe analizoje, përcaktoje zbatimin.

- Hulumto në internet për përforcuesit.

- Harto projekt në temën llojet e përforcuesve.

-Harto projekt për zbatimin praktik të përforcuesve.

QARQET E INTEGRUARA

Gjithçka që duhet të dish për qarqet e integruara do ta mësosh duke studiuar përmbajtjet nga kjo temë e elektronikë dhe do të mund :

- të theksosh nevojën për zhvillimin e qarqeve të integruara;
- të shpjegosh karakteristikat e llojeve të ndryshme të qarqeve të integruara;
- të dalluar procedurat themelore për ndërtimin e qarqeve të integruara;
- të njohësh përparësitë e përdorimit masiv të qarqeve të integruara;
- të njohësh zbatimin e qarqeve të integruara.



Nevoja e miniaturizimit, reduktimi i dimensioneve të qarqeve elektrike dhe elementeve dhe përparimi në mikroelektronikë, kanë çuar në shfaqjen e qarqeve të integruara, në të cilat më shumë elemente elektronike, mes veti të lidhur dhe të vendosur në shtëpizë të përbashkët, kryejnë funksion të veçantë. Me paraqitjen e qarqeve të integruara dhe pllakave me lidhje të shtypura, në masë të madhe është ndryshuar mënyra e projektimit dhe përpunimit të qarqeve elektronike.

Në këtë kapitull është bërë përpjekje për të sqaruar disa procedura në përpunimin e qarqeve të integruara, me qëllim që të fitohet një pasqyrë e përgjithshme çfarë qarqesh të integruara ka dhe çka përmban si tërësi një "çip", term në qarqet e integruara, i cili haset në terminologjinë profesionale.

4.1 Karakteristika të llojeve të veçanta të qarqeve të integruara

Qarqet e integruara mund të ndahen, sipas funksioneve të tyre, në dy grupe të mëdha: **analoge dhe digjitale**. Sipas teknologjisë së elementeve aktive të aplikuar në qark, kemi qarqe të integruara me transistorë bipolarë dhe qarqe të integruara MOS.

Qarqet analoge në përgjithësi bëhen me transistorë bipolar. Qarqet analoge MOS janë relativisht të kohëve të fundit, më bashkëkohor. Kështu, për shembull, qarqet e integruara të serisë 7400 përdorin transistor bipolar. Qarku me transistor bipolar ka një konsumim më të madh nga qarku me MOS transistor dhe nuk i plotëson kërkesat e qarqeve digjitale të integruara komplekse. Për qarqe të tilla, në të cilët përfshihen mikroprocesorët dhe memoriet e mëdha dhe të cilat përmbajnë miliona elemente aktive, ekskluzivisht përdoret vetëm teknologjia-MOS. Qarqet e integruara ndahen në dy lloje themelore: digjitale dhe lineare. **Të gjitha qarqet e integruara, në të cilat përfshihen qarqet digjitale, duke filluar nga portat logjike më të thjeshta e deti tek mikroprocesorët më kompleks, klasifikohen në digjital, kurse të gjithë të tjerët në qarqe digjitale lineare.**

Ekzistojnë shumë lloje të familjeve të qarqeve logjike:

- RTL (RESISTOR-TRANSISTOR LOGIC): logjike me rezistencë-transistor;
- DTL (DIODE-TRANSISTOR LOGIC): logjike me diodë-transistor;
- TTL (TRANSISTOR-TRANSISTOR LOGIC): logjike me transistor-transistor;
- ECL (EMITTER COUPLED LOGIC): logjike me emiter të bashkuar;
- IIL (I^2L) (INTEGRATED INJECTION LOGIC): logjike me injektim të integruar;
- MOS (METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR LOGIC): logjike me transistorë MOSFET;
- CMOS (COMPLEMENTARY METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR LOGIC): logjike me transistorë komplementar MOSFET.

TTL - familja është e njohur si seria 74, të cilat përfaqësojnë dy shifrat e para në shënimin e tyre, me çka vijën dy ose tre numra. Karakteristika themelore e sajë është të punojë në tension të ushqimit (furnizimit) prej 5V. Seria e parë mban shenjën 74xx, por ajo shpejt mbetet e vjetruar dhe është zëvendësuar me familjen tjetër TTL - me dy shkronja të shtuara LS, kështu që fitojmë qark me shenjën 74LSxx. Me shkronjat LS shënohen qarqet Shotki me fuqi të vogël, që karakterizohen me shpejtësi të madhe të vendosjes së skajit përpara dhe të fundit të sinjalit. Kështu, për shembull, qarku origjinal 7432 gjendet si 74LS32.

Seria e parë e qarqeve **CMOS** mban shenjën 40xx dhe ajo punon me tension të ushqimit prej 3 deri në 15V. Nga seria 74 me HC shënohen qarqet CMOS me shpejtësi të lartë dhe me HCT qarku CMOS i cili punon me nivele-TTL normale. Seria e qarkut 74 CMOS ka shpejtësi më të madhe nga seria 40xx, kurse dalja e tyre mund të jap rrymë edhe deri në 25mA, e cila, për shembull, është e mjaftueshme për të aktivizuar një LED. Megjithatë, qarqet 74HC mund të punojnë me tension të ushqimit vetëm prej 2 deri në 6V. Qarqet 74HC dhe 74HCT kanë shpërndarje të barabartë të gjilpërave (kontakteve) si qarku nga seria 74LS.

Një nga karakteristikat e qarqeve të integruara CMOS është mundësia e dëmtimit të tyre me veprimin e elektricitetit statik. Kur jemi në lëvizje, trupi dhe rrobat tona vazhdimisht ngarkohen me elektricitet statike. Intensiteti i rrymës së shkarkimit të këtij elektriciteti nuk është aq i madh që të nxis dëmtimin, por tensioni mund të arrijë edhe deri në disa qindra volt.

Kur komandojmë me komponente normale, siç janë rezistencat dhe transistorët bipolar, mundësia është shumë e vogël që ata të dëmtohen me këtë tension. Por, qarqet CMOS janë të ndërtuar me FET të cilët u nënshtrohen dëmtimeve nga tensione të tilla. Për këtë arsye, kur komandohet një qark CMOS, paraprakisht duhet të shkarkohet elektriciteti statik, kështu që me dorë të preket ndonjë objekt metalik i tokëzuar.

Kur bëhet fjalë për qarqe të integruara të shtrenjta, rekomandohet që në dorë të mbahen shirita për tokëzim. Ata kanë rezistencë të madhe e cila e kufizon rrymën e shkarkimit dhe mundëson që tensionet e larta statike të sigurta të largohen nga trupi në tokëzim.

Numër i madh i qarqeve të integruara, të cilët nuk u takojnë këtyre dy serive, siç janë mikro-kontrolluesit, mikroprocesorët dhe qarqe të ndryshme interface, janë të renditur në dy ose tre nënkategori. Në kategorinë e qarqeve të integruara lineare përfshihen qarqe të ndryshme audio, video-qarqe, qarqe radio dhe të komunikacionit, tajmerë, oshilatorë dhe numër i madh i pajisjeve me destinacion të veçantë.

4.2. Qarqet e integruara hibride

Ekzistojnë dy lloje themelore të qarqeve të integruara: **hibride dhe monolite**.

Qarqet e integruara hibride përpunohen nga elementet mikroelektronike aktive dhe pasive, të fiksuara në një substrat-bazë të përbashkët. Lidhjet mes elementeve përpunohen në teknikën e

filmit të hollë. Kjo është një teknikë e vendosjes së materialit përçues në substrat qeramike, në të cilën është e vendosur maska me vrima në ato vende ku duhet të jenë lidhjet, ose elementet pasive. Materiali përçues gjendet në gjendjen e metalit të vluar dhe vendoset në shtëpizë të nxehtë për depozitimin. Trashësia e filmit të depozituar sillet rreth 1 μm .

Elementet aktive përpunohen në teknikën planare difuzive ose epitaksiale dhe inkorporohen në pllakën e qeramikës tashmë të përgatitur. Në fund, e gjithë kjo mbyllet në një shtëpizë plastike ose qeramike.

Qarqet e integruara hibride kanë karakteristika më të mira nga qarqet elektronike përkatëse me elemente diskrete. Dendësia e paketimit të elementeve sillet mes 30 dhe 100 elemente për 1cm^2 dhe zakonisht përdoren si stadi dalëse me fuqi dalëse më të madhe.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si ndahen qarqet e integruara sipas funksioneve të tyre?
2. Çfarë transistorë përdoren për prodhimin e qarqeve të integruara digjitale?
3. Në cilën teknikë përpunohen elementet aktive në qarqet hibride?
4. Sqaro nevojën për zhvillimin e qarqeve të integruara.
5. Shpjego karakteristikat e qarqeve të integruara analoge.

4.3. Qarqet e integruara monolite

Qarqet e integruara monolite përpunohen në material të kristalit të vetëm ose monolit, me çka arrihet densitet i madh i paketimit të pjesëve përbërëse. Në prodhimin e këtyre qarqeve zbatohen disa dhjetëra operacione. Shumica e operacioneve ekzekutohet automatikisht në numrin më të madh të qarqeve të integruar, numri i tyre arrin deri në 1000.

Prodhimi i qarqeve të integruara duhet të bëhet në hapësirë ideale të pastër, pa praninë e grimcave të pluhurit, polenit ose primesave (papastërtive) tjera në ajër. Grimca e zakonshme nga pluhuri, e pranishme në sipërfaqen e përpunimit me dimensione më të vogla se 1 μm , duket si shkëmb.

4.3.1. Përpunimi i bazës

Në teknologjinë e gjysmëpërçuesve janë të nevojshme materiale gjysmëpërçuesi shumë të pastra në formë monokristali. E gjithë pjesa e gjysmëpërçuesit patjetër duhet të ketë prejardhjen nga një kristal me strukturë kristalore homogjene. Lënda e parë themelore për përfitimin e germaniumit dhe

silicit janë dyoksid germaniumi dhe dyoksid silici. Ata pastrohen deri në atë shkallë që në 10^{10} atome germaniumi ose silici kemi vetëm një atom të primesës (papastërtisë).

Procedura e pastrimit realizohet me gjysmëpërçues të shkrirë që gradualisht ftohet, kurse papastërtitë mblidhen në pjesën e tretur-shkrirë. Në këtë mënyrë, në materialin e ftohur përqindja e primesave mbetet shumë e vogël. Monokristalet formohen me procedurën e nxjerrjes. Në pajisjen për nxjerrje, gjysmëpërçuesi i pastruar përsëri shkrihet në ambient të mbushur me gaz inert, me copëz të kristalit preket sipërfaqja e masës së shkrirë dhe ngadalë rrotullohet dhe tërhiqet lartë dhe kështu rritet monokristali i gjysmëpërçuesit në formë cilindri.

Në procesin e krijimit të qarqeve të integruara, cilindrat e monokristalit prehen në disqe të holla me prerje tërthore prej rreth 50-70 mm dhe trashësi prej 250 deri 400 μm . Në sipërfaqen e diskut formohet rrjetë nga kuadrate me dimensione 2x2 mm (figura 4.1).

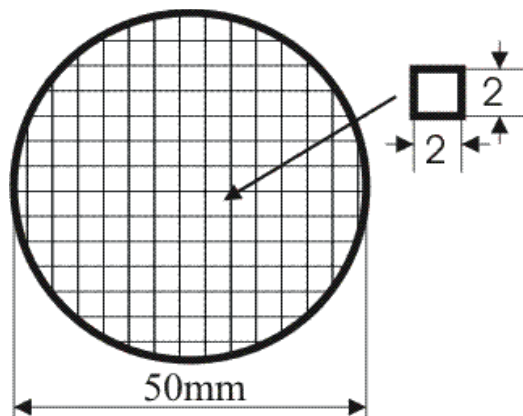
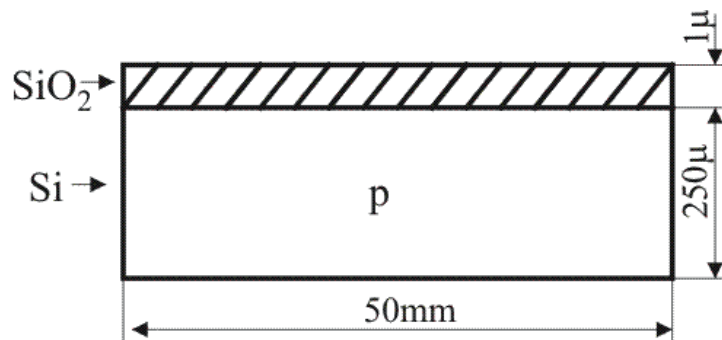


Figura 4.1: Disk i prerë nga monokristali i silicit.

Secila nga këto kuadrate shërben si mbështetje ose bazë në të cilën formohen qarqe të integruara identike, pasi që të gjitha operacionet ekzekutohen në të njëjtën kohë në të gjithë diskun. Pastaj bëhet oksidimi i sipërfaqes së diskut ke çka formohet shtresë e hollë e dioksid silicit. Kjo realizohet në komorë (dhomëz) e cila nxehet në temperaturë të lartë prej 800 deri 1200°C. Dioksidi i silicit, i cili është qelq, ka veti të izoluesit të mirë elektrik, kurse shërben edhe si shtresë mbrojtëse nga ndikimet kimike mbi diskun. Prerja tërthore e diskut pas oksidimi është paraqitur në figurën 4.2.



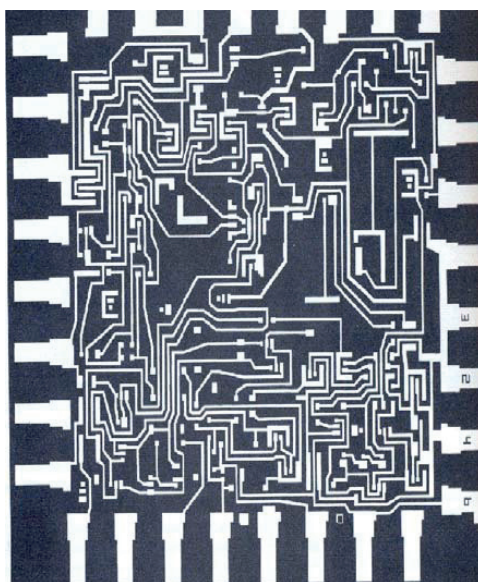
4.2: Prerja tërthore e diskut pas oksidimi.

4.3.2. Fotolitografia

Të akomodohen miliona transistorë në hapësirë të vogël, mes veti të lidhen në qark kompleks, për të funksionuar si çip memorie ose mikroprocesor, është i nevojshëm proces special, i quajtur fotolitografi.

Struktura e qarkut të integruar është e përbërë nga më shumë shtresa, çdo shtresë vendoset në vend të caktuar me hap të veçantë në procesin e prodhimit të qarkut. Shpërndarja e këtyre shtresave përcaktohet me të ashtuquajturat maska. Maska është analoge me negativin fotografik dhe përmban pamjen e shpërndarjes së fushave për aplikimin e shtresave. Ajo zakonisht bëhet në pllakë qelqi, dhe pastaj zvogëlohet në sipërfaqen prej 2x2mm dhe përsëritet që të fitohet e njëjta shpërndarje si në **figurën 4.1**.

Procesi fotolitografik është shumë i ngjashëm me procesin e përpunimit të fotografive bardh e zi. Një shembull i maskës tipike për formimin e një shtrese është paraqitur në **figurën 4.3**.



4.3: Maska për formimin e një shtrese të qarkut të integruar.

Procesi Fotolitografik fillon duke vendosur një pikë të materialit të ndjeshëm-fotografik të lëngshëm, të quajtur foto-rezistent në mesin e diskut. Pastaj, disku rrotullohet me shpejtësi të madhe dhe emulsioni i ndjeshëm-fotografik shpërndahet në mënyrë të njëtrajtshme mbi sipërfaqen e diskut, me çka fitohet shtresë me trashësi rreth 700 μm . Kjo shtresë më tutje thahet dhe piqet para se të ekspozohet në dritë.

Maska vendoset në disk, ashtu që fushat e maskës dhe të diskut të përputhen. Drita me intensitet të madh lëshohet përmes maskës në shtresën e ndjeshme-fotografike të diskut. Me maskën përcaktohet cilat pjesë të diskut do të ndriçohen dhe cilat do të ngelin në errësi.

Foto-rezistenti është polimer organik, i cili mund të jetë pozitiv ose negativ. Me foto-rezistentin negativ zonat e ekspozuara në dritë bëhen të polimerizuara dhe të forta. Pas zhvillimit, këto zona mbetet në sipërfaqen e diskut, kurse pjesët e pa ekspozuara largohen. Me këtë procedurë, në disk fitohet shpërndarje e kundërt nga ajo e maskës. Fotorezisti pozitiv reagon në mënyrë të kundërt.

Ekspozimin i fotorezistit në dritë mund të bëhet përmes maskës së vendosur direkt në kontakt me diskut, ose maska të vendoset në largësi në një distancë, me çka mbrohet nga gërvishtjet. Në kohën e sotme zbatohet ekspozimi me projektion, me çka imazhi i maskës projektohet përmes sistemeve precize optike në sipërfaqen e diskut. Në këtë mënyrë mund të arrihet zvogëlimi i mëtejshëm i dimensioneve të imazhit nga maska përmes optikës për projektim.

Në projektimin e shpërndarjes së elementeve të maskës shkohet kah zvogëlimi maksimal i distancës mes pjesëve përbërëse madje deri atje sa dimensionet afrohen në gjatësinë valore të dritës së dukshme, çka paraqet pengesë kryesore. Për këtë arsye, sistemet fotolitografike përdorin dritën ultravjollcë, deri edhe rezet-X të cilët kanë gjatësi valore më të vogla.

Zhvillimi i fotorezistentit të ndriçuar përmes maskës bëhet me acide në disa herë. Me zhvillimin e parë largohen pjesët nga fotorezistenti që nuk ishin të ndriçuara. Pastaj disku zhytet në acid tjetër, i cili nuk reagon me fotorezistentin e mbetur, por e tret shtresën e dyoksidit të silicit, e cila është zbuluar me zhvillimin e mëparshëm. Me zhvillimin e tretë hiqet edhe pjesa e mbetur e fotorezistit.

Procedura litografike e formimit të „dritares,, vetë si ilustrim është treguar në **figurën 4.4**.

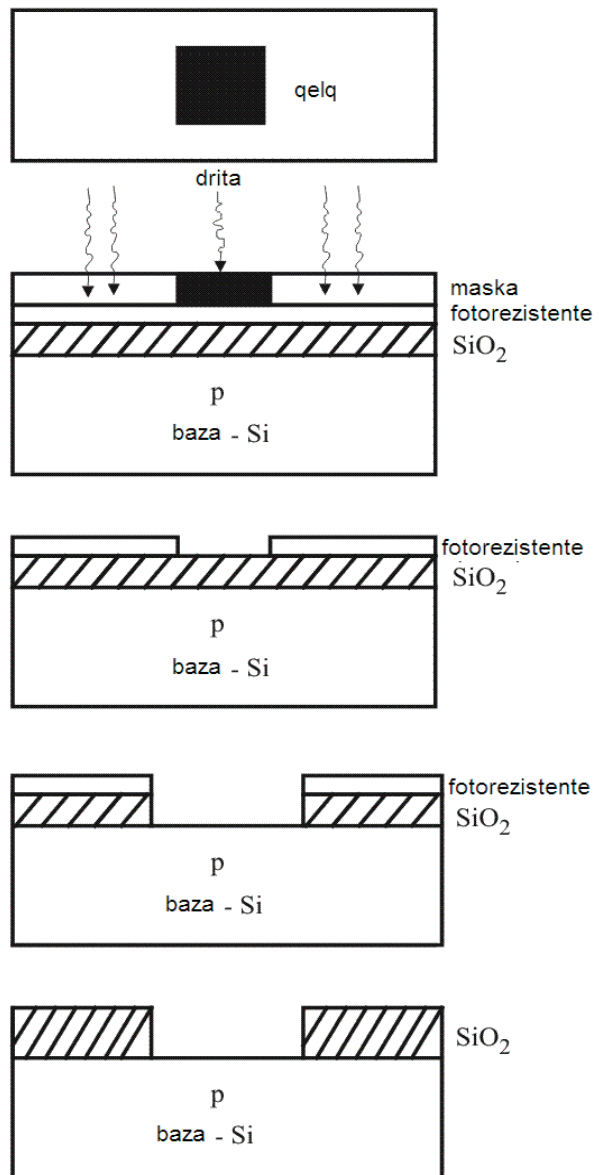


Figura 4.4: Proceduar litografike E formimit të "dritares"

4.3.3. Difuzioni

Procesi i difuzionit paraqet procesin e futjes së primesave- papastërtive në sipërfaqen e diskut. Disku nxehet në temperaturë të lartë, 800°C për germaniumit dhe 1200°C për silicin, kurse primesat në gjendje të lëngët ose në formë të avullit, sillen në sipërfaqen e diskut. Përmes rrugës së difuzionit, atomet e primesave depërtojnë në shtresën sipërfaqësore përmes hapjeve të përgatitura në disk dhe formojnë kalim-PN. Thellësia në të cilën përhapen primesat definohet me temperaturën dhe kohën për të cilën disku është i lënë në furrën për difuzionit. Me përsëritje të procesit disa herë fitohet struktura gjysmëpërçuese shumë-shtresore. Difuzioni përmes shtresës okside nuk është i mundshëm.

Paraqitja skematike e difuzionit është treguar në **figurën 4.5**. Pas përfundimit të difuzionit, në bazën e llojit-p formohet zonë e llojit-n. Pas këtij difuzioni të parë, pason i dyti, i treti për fitimin e qarikut të integruar kompleks.

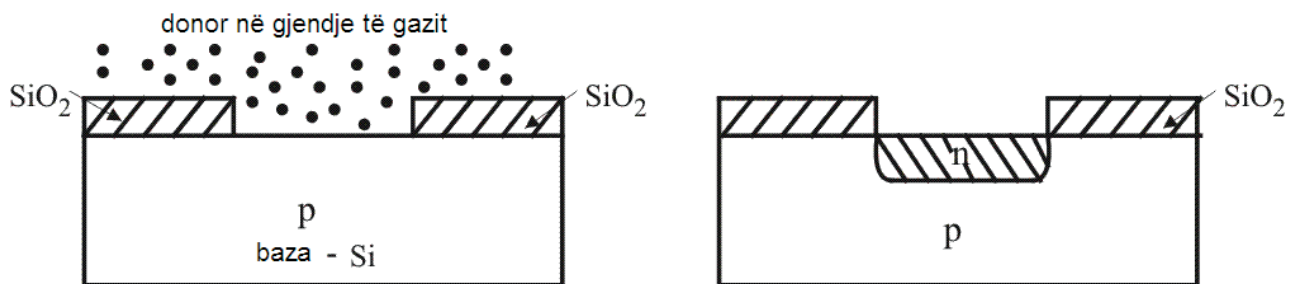


Figura 4.5: Paraqitja skematike e difuzionit.

Me procesin e difuzionit, përqendrimi më i madh i primesave është gjithmonë në sipërfaqen e diskut. Depërtimi në thellësi i kontrolluar i atomeve të primesave në diskut e silicit arrihet me implantim jonik. Ai është procesi i formimit të burimit të joneve të primesave të përsheptuara dhe orientim i tyre kah sipërfaqja e diskut. Jonet e përsheptuara godasin në sipërfaqe si plumba dhe e pasurojnë shtresën e bazës me sasinë e kërkuar të primesave. Në këtë mënyrë kontrollohet sasia dhe depërtimi i primesave me precizitet të madh.

4.3.4. Rritja epitaksiale

Procesi i shtimit në bazën e silicit të diskut i shtresës gjysmëpërçuese plotësuese të llojit të kundërt quhet rritje epitaksiale. Ajo bëhet në një furrë epitaksiale të veçantë në të cilën nxehet disku dhe lëshohet gaz i cili përmban dy ose më shumë kompozime të silicit me primesat. Ata

treten, kurse silici me primesat e llojit p ose të llojit n depozitohet në sipërfaqen e diskut. Shtresa e depozituar e silicit ka strukturë kristalore të njëjtë si baza dhe me të paraqet monokristal unik. Me këtë procedurë mundet saktësisht të kontrollohet trashësia dhe përbërja e shtresës epitaksiale (figura 4.6).

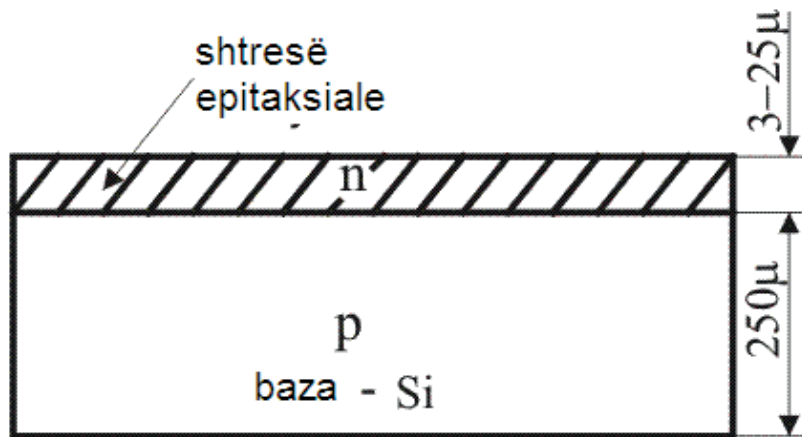


Figura 4.6: Prerja tërthore e diskut pas përfundimit të procedurës së rritjes epitaksiale

Lidhjet mes elementeve të qarkut të integruar janë bërë duke aplikuar një plast-film të hollë nga materiali përçues. Procedura e vendosjes quhet depozitim dhe realizohet në dhomë me vakum të lartë. Në dhomë futet alumin, i nxehur deri në avullim, së bashku me gaz inert dhe me rrjedhjen e gazit alumini shpërndahet nëpër disk dhe depozitohet në hapje të përgatitura në sipërfaqen e diskut, duke krijuar lidhje të përçueshme mes elementeve.

Në mënyrë të ngjashme bëhen edhe shtresat e holla të rezistencave me vlera të mëdha të rezistencës. Në vend të aluminit, si material për depozitim përdoret nikel-kromi, krom-silici ose molibden-silici.

Pas përfundimit të procesit të formimit të qarkut të integruar, kemi operacionet përfundimtare në të cilat përfshihen: kontrollimi, ndarja dhe vendosja në shtëpizë.

Gjatë kohës së një procesi teknologjik në një disk prodhohen deri 150, por edhe më shumë qarqe të integruara monolite të ngjashme. Pas përfundimit të përpunimit të diskut, bëhet testimi i çdo qarku të integruar në veçanti, kurse qarqet me të meta shënohen. Me prerëse diamanti prehen vijat ndarëse të qarqeve të veçanta dhe ata mund të ndahen duke i thyer, ngjashëm me prerjen e qelqit. Qarqet e integruara vendosen në substrat- pllakë, kontaktet metalike lidhen me daljet adekuate me përçues të hollë dhe e gjithë kjo vendoset në shtëpizë metalike, qeramike apo plastike. Shtëpizat mund të jenë të formave të ndryshme dhe me numër të ndryshëm të daljeve.

4.4. Zbatimi i qarqeve të integruara

Qarku i integruar paraqet pajisje të vogël elektronike, e përbërë nga materiali gjysmëpërçues. Qarku i parë i integruar u shfaq në vitin 1950. Me qarqet e integruara nis epokë e re në botën e elektronike. **Qarku i integruar paraqitet me nocionet: mikroqark, mikroçip, çip silici ose vetëm çip.**

Integrimi i një numri të madh të transistorëve në një çip të vogël përfaqëson një progres të madh në krahasim me përpunimin me dorë të qarqeve elektronike me qarqe elektronike diskrete. Përparësitë e qarqeve të integruara në krahasim me qarqet me elemente diskrete janë çmimi dhe karakteristikat. Çipet me të gjitha komponentet shtypen në një substrat, me çka komponentet janë në një distancë më të afërt, kanë kohë të shkurtër të ndryshimit të regjimit të përçarjes dhe kanë konsumim më të vogël të energjisë. Sipërfaqja e çipit sillet nga disa dhjetëra deri në 350 mm², me dendësi prej 10⁶ transistorësh në një mm².

Në bazë të numrit të transistorëve të integruar dhe komponenteve të tjera elektronike, qarqet e integruara mund të ndahen në grupet e mëposhtme:

- **qarqe me shkallë të ultë të integrimit (SSI)**, në këtë grup bien qarqet me deri në 100 komponente në çip, që siguron, për shembull, disa porta logjike;
- **qarqe me shkallë të mesme të integrimit (MSI)** prej 100-3000 komponente, me të cilat sigurohet ndërtimi i sistemeve më komplekse për një çmim diçka pak më të lartë, si për shembull të tilla si RAM memoriet prej 1Kb, çipet për kalkulatorët elektronike dhe mikroprocesorët e parë me më pak se 4000 komponente ;
- **qarqet me një shkallë të lartë të integrimit (LSI)** nga 3000 deri në 100.000 komponente ku bien memrojet themelore të kompjuterëve me rreth 10 000 transistorë dhe mikroprocesorët e gjeneratës së tyre;
- **qarqe me shkallë shumë të lartë të integrimit (VLSI)** çipe me memorie RAM prej 1 Mbit me më tepër se 1 milion transistorë.

Përveç këtyre grupeve, paraqiten edhe loje të reja, siç është ,, gjithçka në një çip,, në të cilat bëjnë pjesë të gjitha komponentet e nevojshme për një kompjuter, ose mikro-kontrollues, si edhe ,,qarqet e integruara tre-dimensionale,, me dy ose më shumë shtresa të komponenteve elektronike, të integruar vertikalisht dhe horizontalisht në një qark.

Qarqet e integruara ndërtohen për aplikime standarde sipas standardeve specifike ose qëllime të veçanta, siç është, për shembull, telefoni celular. Qarqet sipas standardeve të caktuara zbatohen në fushën e kompjuterëve, komunikimeve, proceset prodhuese, sistemet e transportit dhe të tjera. Çipet e qarqeve të integruara paketohen në shtëpiza qeramike ose plastike. Daljet mund të renditen në një radhë në një anë të shtëpizës, në dy radhë në dy anë të kundërta ose si rrjetë përreth gjithë anëve të shtëpizës. Formë rrjete të daljeve kanë qarqet nga grupi VLSI.

Në mesin e qarqeve të integruara në të njohura mund të cekem:

NE 555, timer-i dhe multivibrator-i, përforcuesi operacional UA741, seria logjike TTL 7400, Seria CMOS 4000 (këtu bëjnë pjesë edhe seria 74HC00), mikroprocesori i parë INTEL 4004, paraardhësi i 8080CPU e tjerë, mikroprocesori në teknologjinë MOS 6502 dhe 380, mikroprocesorët motorola seria 6800, paraardhësit e 68000 dhe 88000. Për rëndësinë e qarqeve të integruara mund të shërbejë informacioni se kompjuteri i parë i ndërtuar me 18000 gypa elektronik vakumi, i njohur me emrin ENIAC, kishte peshë prej 30 tonësh dhe konsum prej 200KW.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cila është vetia themelore e qarqeve të integruara monolite?
2. Cila procedurë përdoret për të formuar monokristale?
3. Si bëhet oksidimi i sipërfaqes së diskut?
4. Si është procedura e fotolitografisë?
5. Çka paraqet procesi i difuzionit?
6. Çfarë është ritja epitaksiale?
7. Cilat janë procedurat bazë për ndërtimin e qarqeve të integruar?
8. Ku zbatohen qarqet e integruara?
9. Si ndahen qarqet e integruara në bazë të funksioneve të tyre?

MBAJ MEND!!!

- * Qarqet e integruar përmbajnë një numër të madh të elementeve elektronike të cilat në mes veti janë të lidhura dhe të vendosura në një shtëpizë të përbashkët dhe kryejnë funksion të veçantë.
- * Qarqet e integruara, sipas funksioneve të tyre, mund të ndahet në: analoge dhe digjitale.
- * Qarqet e integruara, në bazë të përbërjes, mund të ndahet në: hibride dhe monolite.
- * Qarqet e integruara hibride përpunohen me elemente mikro-elektronike aktive dhe pasive.
- * Operacionet themelore gjatë ndërtimit të qarqeve të integruara monolite janë: përgatitja dhe oksidimi i bazës, fotolitografia, difuzioni, ritja epitaksiale dhe operacionet përfundimtare.

VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim

(Rretho përgjigjet e sakta)

1. Qarqet e integruara të ndjeshëm ndaj elektricitetit statik janë:

- a) Qarqet CMOS
- b) Qarqet TTL
- c) Qarqet RTL.

II Pyetje me lidhshmëri

2. Lidh shënimet me llojet e familjeve të qarqeve logjike:

- | | | |
|---------|--|--------|
| 1. RTL | a) Logjik me transistor MOSFET | _____ |
| 2. DTL | b) Logjik me emiter-të bashkuar | _____ |
| 3. TTL | c) Logjik me transistor-transistor | _____ |
| 4. ECL | d) Logjik me diodë-transistor | _____ |
| 5. IIL | e) Logjik i integruar-injektim | _____ |
| 6. MOS | f) Logjik transistor-rezistiv | _____ |
| 7. CMOS | g) Logjik me transistorë MOSFET komplementar | _____. |

3. Lidh shkallën e integritetit të qarqeve të integruara me numrin e transistorëve të integruar:

- | | | |
|--|--------------------------|--------|
| 1. Qarqe me shkallë të ulët të integritetit | a) nga 100 deri në 3000 | _____ |
| 2. Qarqe me shkallë të mesme të integritetit | b) më tepër se 10^6 | _____ |
| 3. Qarqe me shkallë shumë të lartë të integritetit | c) nga 3000 deri 1000000 | _____ |
| 4. Qarqe me një shkallë të lartë të integritetit | d) deri në 100. | _____. |

III Pyetje me plotësimin

4. Seria e parë e familjes TTL ka shenjën _____.
5. Seria e parë e familjes CMOS ka shenjën _____.
6. Procesi i futjes së primesave në sipërfaqen e diskut quhet _____.
7. Procesi i shtimit në bazën e diskut të silicit të shtresës gjysmëpërçuese shtesë të llojit të kundërt quhet _____.

Hulumto dhe mëso më tepër:

- Hulumto në internet për llojet dhe karakteristikat e qarqeve të integruara dhe në bazë të hulumtimit përpuno projekt.
- Në katalogun e qarqeve të integruara gjej familjen e qarqeve të integruara logjike TTL dhe analizo shenjat e tyre.
- Në katalogun e qarqeve të integruara gjej familjen e qarqeve të integruara logjike CMOS dhe analizo shenjat e tyre.



PËRFORCUESIT OPERACIONAL

Duke studiuar përmbajtjen e kësaj teme do të fitosh njohuri bazë për përforcuesit operacional dhe do të mund:

- të kuptosh rolin e përforcuesit operacional;
 - të përshkruash karakteristikat themelore të përforcuesit operacional;
 - të dallosh përforcues operacional real dhe ideal;
 - të kuptosh termin lidhje e shkurtër virtuale;
 - të interpretosh bllok-diagramin e përforcuesit operacional real ;
 - të analizosh skemën elektrike të përforcuesit real ($\mu A741$);
 - të llogarisësh parametrat në konfiguracione të ndryshme të përforcuesve operacional;
 - të shpjegosh lidhjen e kundërt të përforcuesit operacional;
 - të njohësh zbatimin praktik të përforcuesve operacional.
-

5. PËRFORCUESIT OPERACIONAL

Përforcuesi operacional është njëri nga elementet kryesore që mund të plotësojë numër të madh të kërkesave për ndërtimin e sistemeve elektronike analoge. Në kombinim me elemente të ndryshme të jashtme, përforcuesi operacional mund të kryejnë numër të madh të funksioneve analoge, të tilla si përforcimi, mbledhja, integrimi, diferencimi dhe të tjera. Përdorimi i gjerë i përforcuesit operacional mundësohet me integrimin e tij në një çip.

Përforcuesi operacional është një përforcues tensioni me shumë stade me lidhje të drejtë-direkte, me hyrje diferenciale dhe me përforcim shumë të madh.

Simboli elektrik i tij është dhënë në **figurën 5.1**, kurse skema ekuivalente në **figurën 5.2**. Skema ekuivalente është e përbërë nga një përforcues tensioni ideal dhe vlera të fundit të rezistencës së hyrjes dhe daljes së përforcuesit.

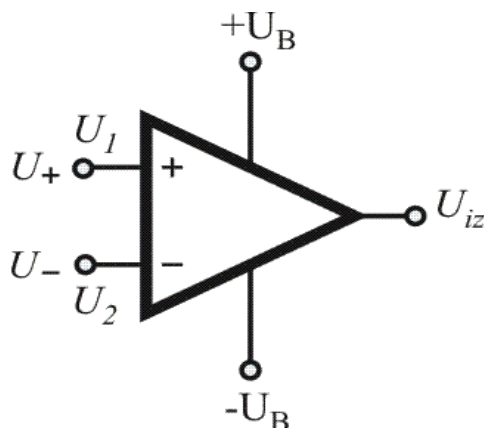


Figura 5.1: Simbol elektrik i përforcuesit operacional

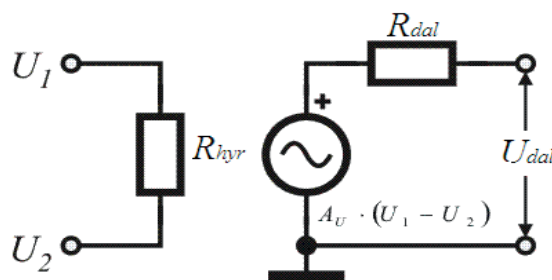


Figura 5.2: Skema ekuivalente përforcuesit operacional real

Hyrjet e përforcuesit operacional janë dy lidhje të shënuara me "+", si hyrje jo-konvertues, dhe me "-", si hyrje invertuese dhe tensioni i daljes U_{dal} është në raport të drejtë me diferencën e tensioneve të hyrjes U_- dhe U_+ (njëlloj si tek përforcuesit diferencial):

$$U_{dal} = A_U (U_1 - U_2) = A_U (U_+ - U_-), \dots\dots\dots(5.1)$$

ku me A_U është shënuar përforcimi i përforcuesit operacional me lak të hapur (pa lidhje të kundërt). Tensioni i daljes është i zhvendosur në fazë për 180° në raport me tensionin U_2 i cili vjen në hyrjen "-" për atë ajo edhe quhet hyrje invertuese. Tensioni i hyrjes U_{1+} në hyrje me shenjën "+" është në fazë me tensionin e daljes për atë arsye edhe quhet hyrje jo-invertuese.

5.1. Përforcuesi operacional ideal

Për të thjeshtuar operacionet matematikore për përcaktimin e shprehjes së përforcimit përdoret përforcuesi operacional ideal. Një përforcues operacional i ka karakteristikat e mëposhtme:

1. Përforcimi i tensionit pakufi i madh $A_U = \infty$. Funkzioni primar i përforcuesit është që përforcimi të jetë sa më i madh që të jetë e mundur. Përforcimi gjithmonë mund të zvogëlohet me qark të jashtëm me lidhje të kundërt.
2. Rezistenca hyrëse pafundësisht e madhe, $R_{\text{hyr}} \rightarrow \infty$, që stadi eksitues të mos jetë i mbingarkuar, që do të thotë rrymat e të dy hyrjeve të jenë zero.
3. Rezistenca dalëse është zero, $R_{\text{dal}} = 0$, përforcuesi operacional atëherë mund të japë rrymë të tillë të madhe, aq sa është e nevojshme për ngarkesën.
4. Koha e vonesës mes hyrjes dhe daljes të jetë zero, dalja të paraqitet në të njëjtën kohë me hyrjen invertuese. Zhvendosja fazore të jetë 180° . Karakteristika e frekuencës të jetë e sheshtë, kurse brezi i lëshimit të jetë i pafund, sinjali hyrës alternativ është vetëm një nivel i vazhduar i ndryshueshëm.
5. Bilanc-Offset ideal (për $U_+ = U_-$, $U_{\text{dal}} = 0$). Dalja e përforcimit të jetë zero kur mes hyrjes invertuese dhe joinvertuese bartet sinjal zero.

Skema ekuivalente e përforcuesit operacional ideal është dhënë në **figurën 5.3**.

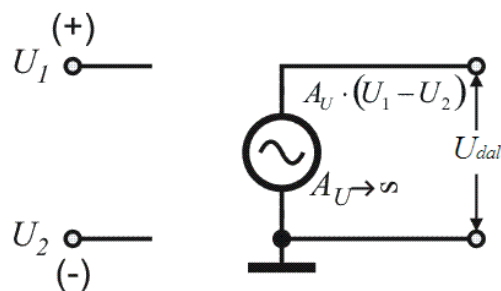


Figura 5.3: Skema ekuivalente e përforcuesit operacional ideal.

Në praktikë përforcimi i tensionit të përforcuesit operacional bëhet të jetë sa më i madh, ai shkon në kufijtë nga disa mijëra në disa qindra mijëra herë. Në analiza, gjithmonë supozohet përforcim pafundësisht i madh i përforcuesit operacional, kurse me komponentë të jashtëm për lidhje të kundërt arrihen karakteristikat e kërkuara. Rezistenca e daljes është zero, kështu që përforcuesi operacional mund të japë rrymë të nevojshme për ngarkesën, aq sa është e nevojshme. Përveç përforcimit, tek përforcuesi operacional real edhe karakteristikat tjera devijojnë në masë të caktuar nga ato të përforcuesit operacional ideal, por me qëllim që të thjeshtohet analiza e qarkut, përforcuesi real konsiderohet sikur të jetë përforcuesi operacional ideal.

5.2. Lidhja e kundërt e përforcuesit operacional

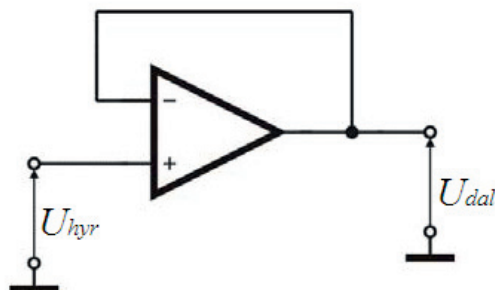


Figura 5.4: Kontakti përforcuesi operacional.

Nëse lidhet dalja e përforcuesit operacional me hyrjen invertuese të tij, kurse në hyrjen jo-invertuese lidhet sinjal tensioni (**Figura 5.4**), sinjali i daljes besnikërisht do të ndjekë sinjalin e hyrjes. Me zmadhimin e sinjalit të hyrjes zmadhohet edhe sinjali i daljes, në përputhje me definicionin e përforcimit diferencial. Megjithatë, në të njëjtën kohë zmadhohet edhe sinjali i kthyer i hyrjes invertuese, kurse veprimi i saj është zvogëlim i dallimit diferencial mes hyrjeve, me çka zvogëlohet tensioni i hyrjes. Për një vlerë të dhënë të tensionit të hyrjes U_{hyr} , tensioni në dalje do të bëhet shumë i afërt në vlerë me U_{hyr} (principi i ndjekësit të tensionit), por më i vogël mjaftueshëm, kështu që do të ekzistojë dallimi i tensionit mes U_{hyr} dhe hyrjes invertuese, e cila përforcohet dhe fitohet tension dalës. Qarku shpejt do të arrijë pikën e stabilitetit, në të cilën tensioni i daljes e fiton vlerën e saktë me të cilën rruhet dallimi diferencial i hyrjes.

Për shembull, në qoftë se përforcuesi operacional ka një përforcim prej 200 000 herë dhe nëse është $U_{hyr} = 6V$, tensioni i daljes do të jetë $5,9999700001499999V$, kurse tensioni diferencial i hyrjes do të jetë: $6 - 5,9999700001499999V = 29,99985 \mu V$. Për llogaritjet praktike vlera e $29,99985 \mu V$ nuk është e madhe dhe mund të llogaritet se tensioni diferencial mes dy hyrjeve mbahet me zbatimin e lidhjes së kundërt pikërisht në zero (**figura 5.5**).

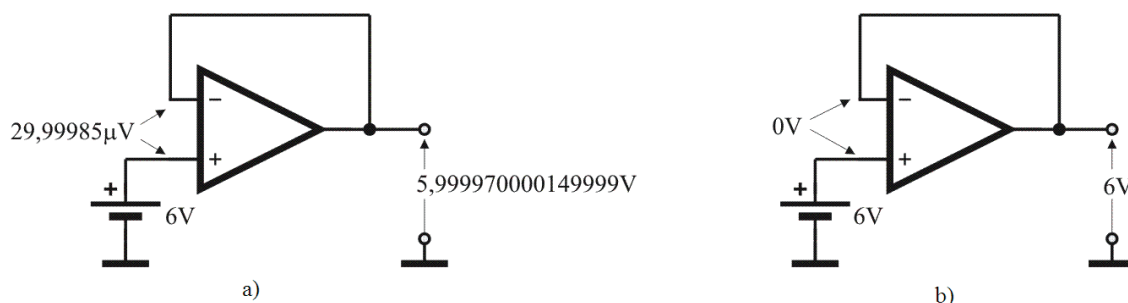


Figura 3.5.5: Efekti i lidhjes së kundërt dhe i thjeshtëimit.

Për llogaritjen e përforcimit të tensionit të qarkut, janë të nevojshme dy supozime:

1. Rezistenca e hyrjes e përforcuesit operacional është e pafundme dhe asnjë lloj rryme nuk rrjedh në hyrjet e tij.

2. Përforcimi i përforcuesit operacional është i pafund dhe me lidhjen e kundërt tensionet U_+ dhe U_- bëhen të barabartë.

Këto supozime do të përdoren në zgjidhjen e të gjitha problemeve në të cilat zbatohet përforcues operacional ideal.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino përforcuesin operacional.
2. Cila hyrje quhet invertuese dhe cila joinvertuese?
3. Cilat karakteristika i ka përforcuesi operacional ideal?

5.3. Konfiguracione të ndryshme të përforcuesve operacional

Njëri nga zbatimet më të përdorura të përforcuesve operacional është zbatimi si përforcues invertues.

5.3.1. Përforcuesi invertues

Me lidhjen e dy rezistencave, si në **figurën 5.6a**, është bërë një qark përforcues me përforcim i cili varet vetëm nga raporti i vlerave të dy rezistencave. Me rezistencën R_2 realizohet lidhja e kundërt negative me të cilën kthehet pjesë të tensionit të daljes në hyrjen invertuese. Hyrja jo-invertuese është e lidhur për masën.

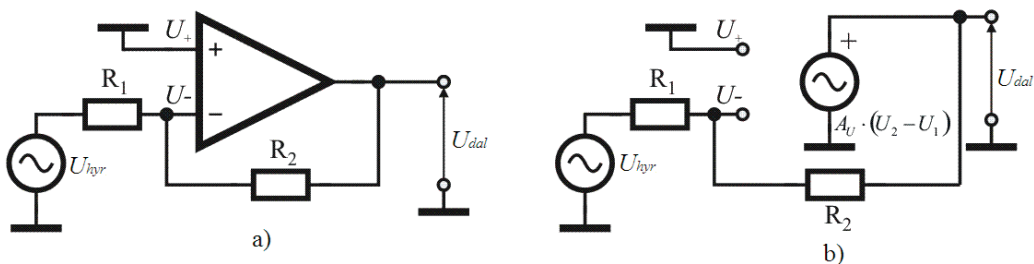


Figura 5.6: Përforcuesi investues dhe skema ekuivalente e tij.

Përforcimi i tensionit të qarkut është:

$$A_{inv} = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}}$$

Duke zëvendësuar përforcuesin operacional me skemën e tij ekuivalente, fitohet konfiguracion si në **figurën 5.6.b**. Qarku analizohet duke supozuar një vlerë përfundimtare të përforcimit A_U të përforcuesit operacional, dhe pastaj rezultati shprehet për vlerën e pafundme të A_U ($A_U \rightarrow \infty$).

Për rrymën e lidhjes së kundërt të rezistencës R_2 mund të shkruhet ekuacioni:

$$I_{R_2} = \frac{U_{dal} - U_{hyr}}{R_1 + R_2}, \dots\dots\dots(5.2)$$

kurse për tensionin e hyrjes invertuese:

$$U_- = U_{hyr} + R_1 \cdot I_{R_2}. \dots\dots\dots(5.3)$$

duke zëvendësuar shprehjen për I_{R_2} (5.2) në (5.3) fitohet:

$$U_- = U_{hyr} + R_1 \frac{U_{dal} - U_{hyr}}{R_1 + R_2}. \dots\dots\dots(5.4)$$

hyrja joinvertues është e lidhur për masën, kështu që kemi:

$U_+ = 0$ dhe $U_{dal} = -A_U U_-$, ose $U_- = -U_{dal}/A_U$ dhe me zëvendësimin e kësaj shprehje në 5.4. fitojmë:

$$U_{dal} = -A_U \left(U_{hyr} + R_1 \frac{U_{dal} - U_{hyr}}{R_1 + R_2} \right). \dots\dots\dots(5.5)$$

Tash për përforcimin e tensionit të qarkut fitohet:

$$A_{inv} = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = - \frac{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{1}{A_u} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}. \dots\dots\dots(5.6)$$

Në qoftë se në këtë shprehje futet supozimi për $A_U \rightarrow \infty$, gjegjësisht $1/A_U = 0$ fitohet shprehje e thjeshtë:

$$A_{inv} = - \frac{R_2}{R_1}. \dots\dots\dots(5.7)$$

Mund të vërehet se përforcimi i tensionit i qarkut të plotë rregullohet me raportin e vlerave të dy rezistencave në qark dhe se nuk varet nga përforcimi i përforcuesit operacional A_U , me kusht që A_U të ketë vlerë shumë të madhe. Shenja "-" tregon se tensioni i daljes është i zhvendosur në fazë për 180° në raport me tensionin e hyrjes dhe për këtë arsye ky përforcues quhet me invertues.

Përcaktimi i përforcimit të qarkut bëhet me raportin e vlerave të rezistencave të dy rezistencave. Ndikimi i të gjithë faktorëve të cilët shkaktajnë ndryshime në rezistencë, siç është temperatura e ambientit eliminohen, sepse ndryshimet ndodhin në të njëjtën kohë në të dy rezistencat njëkohësisht dhe janë proporcionalisht të barabartë, me çka raporti mbetet i pandryshuar.

Duke zëvendësuar rezultatin $\frac{U_{dal}}{U_{hjr}} = -\frac{R_2}{R_1}$ (5.7) në ekuacionin për tensionin e hyrjes

invertues U. (3.134) fitohet rezultat interesant: $U_- = 0$. Tensioni i hyrjes invertuese, në këto kushte, mbetet i barabartë me tensionin e hyrjes joinvertuese, në këtë rast zero. Në këtë mënyrë, në skajet e hyrjes të përforcuesit operacional sikur ekziston lidhje e shkurtë e quajtur **lidhje e shkurtër virtuale**.

Tash lehtë mund të përcaktohet rezistenca hyrëse R_{hjr} e qarkut, si rezistencë e shikuar kah qarku në vendin e tensionit të hyrjes U_{hjr} :

$$R_{hjr} = R_1.$$

Lidhja e shkurtër virtuale në hyrjen e përforcuesit operacional ekziston vetëm nëse ai ka të ndërtuar lidhje të kundërt. Nëse realizohet lidhje e kundërt nga dalja me hyrjen invertuese, kemi lidhje të kundërt negative, kurse nëse bëhet kjo me hyrjen joinvertuese lidhje të kundërt pozitive.

5.3.2. Përforcuesi joinvertues

Nëse kombinohet përforcues operacional ideal me dy rezistenca, siç tregohet në **figurën 5.7** fitohet përforcues operacional joinvertues, në të cilin sinjali i daljes dhe i hyrjes janë në fazë. Sinjali i hyrjes lidhet në hyrjen joinvertuese të përforcuesit operacional.

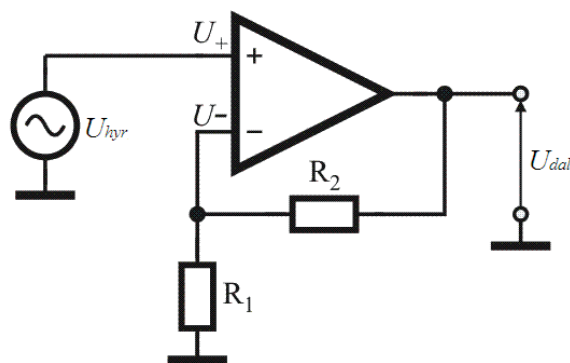


Figura 5.7: Përforcuesi joinvertues.

Me kusht që të mos rrjedh rryma në hyrjen invertuese edhe gjatë paraqitjes së lidhjes së shkurtër virtuale për shkak të ekzistimit të lidhjes së kundërt negative, shprehja për tensionin hyrjes investuese dhe joinvertuese do të jetë:

$$U_+ = U_- = U_{hjr} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{dal}, \dots\dots\dots(5.8)$$

kurse përforcimi i qarkut:

$$A_{noninv} = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(5.9)$$

Edhe këtu përforcimi i tensionit A_{noninv} përcaktohet nga raporti i vlerave të rezistencave të qarkut, eliminohen ndryshimet e rezistencave nga ndryshimi i temperaturës së ambientit, e me këtë edhe i përforcimit. Vlera minimale e përforcimit është 1, që fitohet kur $R_2=0$, për dallim nga përforcuesi invertues, i cili mund të ketë përforcim edhe më të vogël se 1, e cila nuk praktikohet shpesh.

5.3.3. Përforcuesi operacional me përforcim njësi

Në sistemet analog ka situata kur është i nevojshme stad-i mesëm për riaftësim ose ndarje dhe nga ai nuk kërkohet përforcim. Për qëllime të tilla mund të zbatohet përforcuesi operacional me konfiguracion si në **figurën 5.8**.

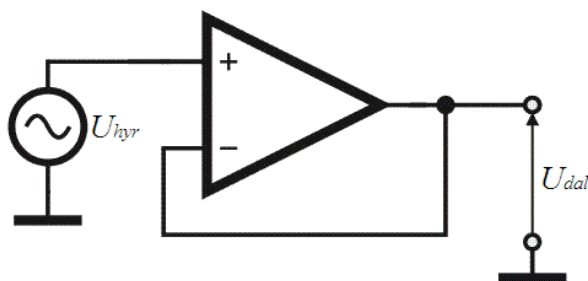


Figura 5.8: Përforcuesi operacional me përforcim njësi.

Tensioni i daljes i këtij qarku është i njëjtë me tensionin e hyrjes. Megjithatë, në mes të hyrjes dhe daljes të këtij qarku ekziston dallim shumë i rëndësishëm. Rezistenca e hyrjes është e madhe në ekstrem, kurse dalëse shumë e vogël, çka mundëson riaftësim të rezistencës dalëse shumë të madhe të stadiit paraprak në rezistencë hyrëse shumë të vogël të stadiit në vijim.

Nga esenca e tij, përforcuesi operacional me përforcim njësi është rast special i përforcuesit operacional joinvertues në të cilin i gjithë tensioni i daljes U_{dal} kthehet në hyrjen investuese U_{hyr} . Funkcioni i tij themelor është të transformojë impedancë të madhe në impedancë të vogël, gjegjësisht të pranoj sinjal nga burimi me impedancë të lartë dhe në dalje të sigurojë të njëjtin sinjal për qarkun në vazhdim me impedancë hyrëse të vogël. Ai jep përforcim rryme dhe zakonisht përdoret si përforcues „linjë“, i cili jep sinjal për linja të gjata apo kablo.

MBAJ MEND!!!

* **Përforcuesi operacional është përforcuesi i tensionit me më shumë stade me lidhje direkte, me hyrje diferenciale dhe me përforcim të madh.**

- * Me përforcuesin operacional ekzekutohen një numër i madh i funksioneve analoge, siç janë: përforcimi, mbledhja, integrimi, diferencimi dhe të tjerë.
- * Përforcuesi operacional ideal ka: përforcim tensioni pafundësisht të madh, rezistencë hyrëse pafundësisht të madhe dhe rezistencë dalëse të barabartë me zero.
- * Përforcuesi operacional real fitohet me zbatimin e elementeve të jashtme për lidhje të kundërt në përforcuesin operacional ideal.
- * Me përforcuesin operacional invertues, në daljen e tij fitohet sinjal hyrës i përforcuar me zhvendosje fazore prej 180° .
- * Me përforcues operacional joinvertues, në daljen e tij fitohet sinjal hyrës i përforcuar pa zhvendosje fazore.
- * Përforcuesi operacional me përforcim njësi shërben si transformator i impedancës hyrëse të madhe të përforcuesit burimor në impedancë të vogël të ngarkesës. Ai ka përforcim rryme të madhe dhe përforcim tensioni njësi.

5.3.4. Qarku për mbledhje

Qarku i paraqitur në figurën 5.9 është i ngjashëm me qarkun e përforcuesit operacional invertues. Dallimi është në atë se ky qark ka dy tensione të hyrjes U_{1A} dhe U_{1B} me rezistenca përkatëse R_{1A} dhe R_{1B} . Qarku funksionon si sumator – mbledhës dhe jep tension dalës proporcional me shumën e dy tensioneve të hyrjes.

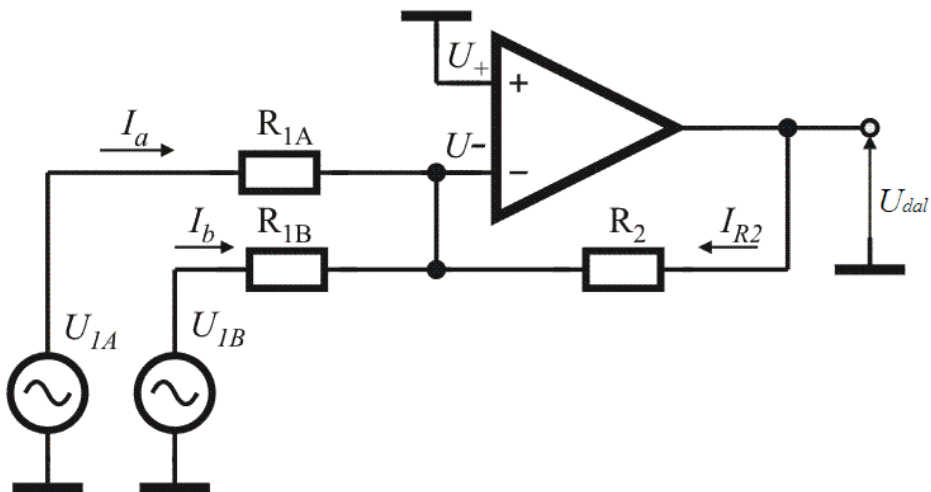


Figura 5.9: Skema e qarkut për mbledhje.

Në analizën e qarkut supozojmë përforcues operacional ideal me lidhje negative, që do të thotë ekzistenca e lidhjes së shkurtër virtuale mes hyrjeve të tij ($U_- = U_+ = 0$). Shprehjet për rrymat në qark janë:

$$I_A = \frac{U_{1A}}{R_{1A}}, \quad I_B = \frac{U_{1B}}{R_{1B}}, \quad I_{R_2} = \frac{U_{dal}}{R_2} \dots\dots\dots(5.10)$$

Për nyjen e hyrjes investuese, sipas ligjit të II të Kirkofit, mund të shkruhet:

$$I_A + I_B = -I_{R_2}, \dots\dots\dots(5.11)$$

kurse me zëvendësimin e (5.10) në (5.11) fitohet:

$$\frac{U_{1A}}{R_{1A}} + \frac{U_{1B}}{R_{1B}} = -\frac{U_{dal}}{R_2},$$

dhe më tej:

$$U_{dal} = -\left(\frac{R_2}{R_{1A}}U_{1A} + \frac{R_2}{R_{1B}}U_{1B}\right) \dots\dots\dots(5.12)$$

Ky ekuacion e definton daljen e qarkut për mbledhje me dy hyrje dhe dy rezistenca përkatëse. Qarku mbledhës i tre ose më tepër tensioneve të hyrjes dhe rezistencave mund të formohet me zgjerimin direkt të këtij rezultati. Përforcimi relativ i secilit nga tensionet e hyrjes në shumë përcaktohet nga raporti i vlerave të rezistencave.

5.3.5. Përforcuesit operacional diferencial

Skema e përforcuesit operacional diferencial, me të cilin përforcohet dallimi i sinjaleve, është dhënë në **figurën 5.10**. Njëri tension i hyrjes U_{1A} lidhet përmes rezistencës R_{1A} në hyrjen joinvertuese, kurse tjetri U_{1B} përmes rezistencës R_{1B} në hyrjen invertuese të përforcuesit operacional. Përforcuesi operacional ideal ka një lidhje të shkurtër virtuale në mes të hyrjeve.

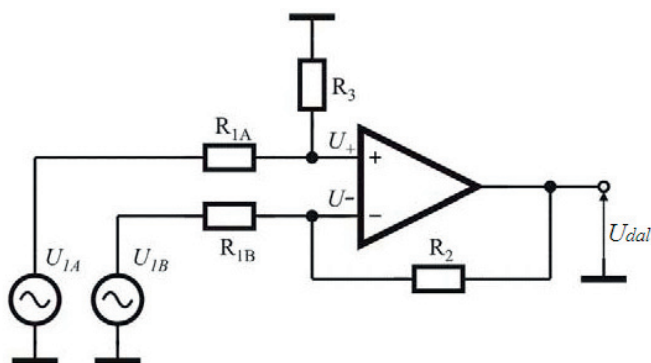


Figura 5.10: Përforcuesi operacional diferencial.

Tensioni i hyrjes joinvertuese U_+ përfaqëson pjesë të tensionit U_{1A} , i fituar me ndarësin e tensionit R_{1A} dhe R_3 :

$$U_+ = \frac{R_3}{R_{1A} + R_3}U_{1A} \dots\dots\dots(5.13)$$

Rryma në lidhjen e bashkuar rrjedh përmes rezistencave R_{1B} dhe R_2 dhe ajo është:

$$I_{R2} = \frac{U_{1B} - U_-}{R_{1B}} = \frac{U_- - U_{dal}}{R_2} \quad \dots\dots\dots(5.14)$$

Nga këto dy ekuacione llogaritet:

$$U_{dal} = -\frac{R_2}{R_{1B}} \left(U_{1B} - \frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{R_{1B} + R_2}{R_{1A} + R_3} U_{1A} \right) \quad \dots\dots\dots(5.15)$$

Vlerat e rezistencës së rezistorëve mund të zgjidhen në mënyrë që të jenë:

$$\frac{R_{1B}}{R_2} = \frac{R_{1A}}{R_3} \quad \dots\dots\dots(5.16)$$

dhe për tensionin e daljes do të fitojmë:

$$U_{dal} = -\frac{R_2}{R_{1B}} (U_{1B} - U_{1A}) \quad \dots\dots\dots(5.17)$$

Tensioni i daljes është proporcional me dallimin e tensioneve të hyrjes, kurse faktori i proporcionalitetit përcaktohet me raportin e rezistencës së reaksionit R_2 ndaj burimit të sinjalit për hyrjen invertuese R_{1B} .

5.3.6. Konvertuesi i rrymës në tension

Qarku i konvertuesit të rrymës në tension është i njohur edhe me emrin konvertues rrymë-tension.

Ekzistojnë disa zbatime për të cilat është i nevojshëm qarku për konvertim të rrymës së hyrjes në tension. Për këtë qëllim mund të përdoret qark i thjeshtë me përforcues operacional me rezistencë për lidhjen e kundërt negative. (**figura 5.11**).

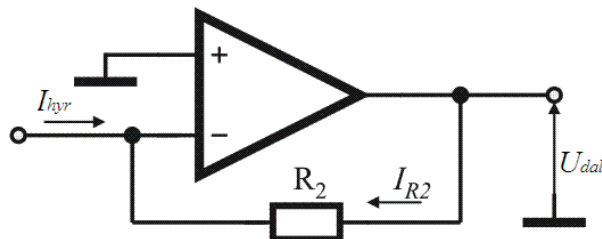


Figura 5.11: Konvertuesi i rrymës në tension.

Rryma e hyrjes nuk rrjedh nëpër përforcuesin operacional për shkak të rezistencës hyrëse të tij të pafundme, ajo rrjedh vetëm nëpër rezistencën për lidhje të kundërt R_2 . Tensioni i daljes është:

$$U_{dal} = I_{hyr} R_2 \quad \dots\dots\dots(5.18)$$

Për këtë qark nuk mund të definohet "përforcim tensioni" ose "përforcim rryme", sepse në hyrje kemi rrymë, kurse në dalje tension. Parametri me të cilin përshkruhet sa do të ndryshojë tensioni i

daljes me ndryshimin e rrymës së hyrjes do të mund të definohet si rezistencë transferuese (bartëse), me çka "transferimi" do të thotë se tensioni dhe rryma nuk maten në të njëjtin vend. Një shembull praktik i zbatimit të këtij përforcuesi është në matësin elektronik të ndriçimit. Fotodioda e lidhur në hyrje të konvertuesit të rrymës në tension (**figura 5.12**) jep rrymë proporcionale me intensitetin e dritës që bie në objektivin e saj. Kjo rrymë me konvertuesin shndërrohet në tension, proporcional me dritën e rënë, e cila matet me instrument adekuat.

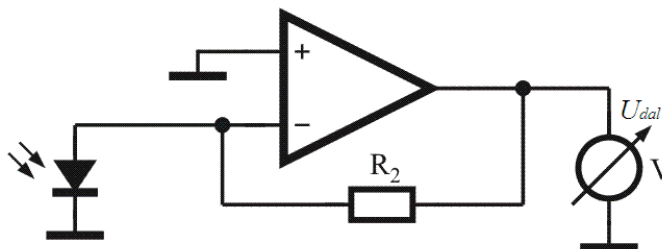


Figura 5.12: Matës i dritës me konvertim të rrymës në tensionit.

5.3.7. Konvertuesi i tensionit në rrymë

Edhe ky, si edhe konvertuesi paraprak, zakonisht përdoret në teknikat e matjes gjatë bartjes së sinjalit të matur në largësi. Për një bartje të tillë, sinjali i cili bartet ka shtrebbërime më të vogla nëse bartet si sinjal i rrymës. Qarku i këtij konvertori (**figura 5.13**) është i njohur edhe si konvertor tension-rrymë.

Tensioni i hyrjes lidhet në hyrjen joinvertuese të përforcuesit operacional kurse rryma e daljes rrjedh në rezistencat R_1 dhe R_2 . Lidhja e shkurtër virtuale edhe këtu është e pranishme, e cila e përcakton rrymën e daljes si:

$$I_{dal} = \frac{U_{hyr}}{R_1} \dots\dots\dots(5.19)$$

Rryma e daljes është proporcionale me tensionin e hyrjes dhe nuk varet nga vlera e rezistencës R_2 , e cila këtu e ka rolin e ngarkesës.

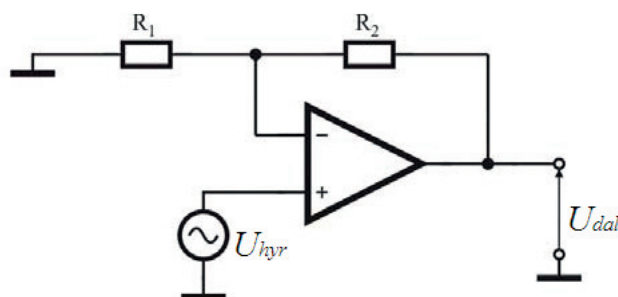


Figura 5.13: Konvertuesi i tensionit në rrymë.

5.3.8. Zhvendosësi i fazës

Nëse në vend të rezistencave në përforcuesin operacional invertues vendosen impedanca, të cilët përveç komponentëve aktiv përmbajnë edhe komponentë reaktiv, atëherë përforcimi do të jetë madhësi komplekse. Nëse modulet e impedancave kanë vlerë të njëjtë, $|Z_1| = |Z_2|$, atëherë moduli i përforcimit do të jetë njësi:

$$|A| = \left| -\frac{Z_2}{Z_1} \right| = 1$$

kurse dallimi në fazë në mes të tensionit të daljes dhe hyrjes do të jetë:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_{IM}}{A_{RE}} \dots \dots \dots (5.20)$$

ku:

A_{IM} -është pjesa imagjinare e përforcimit,

A_{RE} -është pjesa reale e përforcimit.

Skema e zhvendosësit të fazës është treguar në **figurën 5.14**.

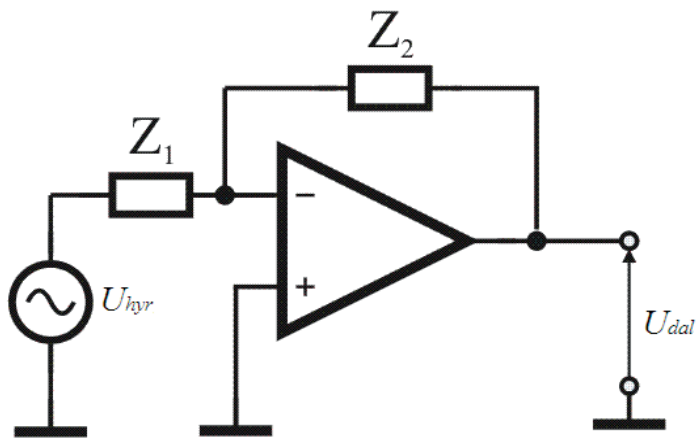


Figura 5.14: Zhvendosësi i fazës.

5.3.9. Integratori

Në qarkun e kontrollit automatik është e nevojshme që të realizohet funksioni i integrit të një tension alternativ.

Me termin integrim nënkuptohet ndryshimi i formës së tensionit të daljes në raport me tensionin e hyrjes në bazë të operacionit matematikor integralit.

Skema e qarkut të thjeshtë për integrim është paraqitur në **figurën 5.15**.

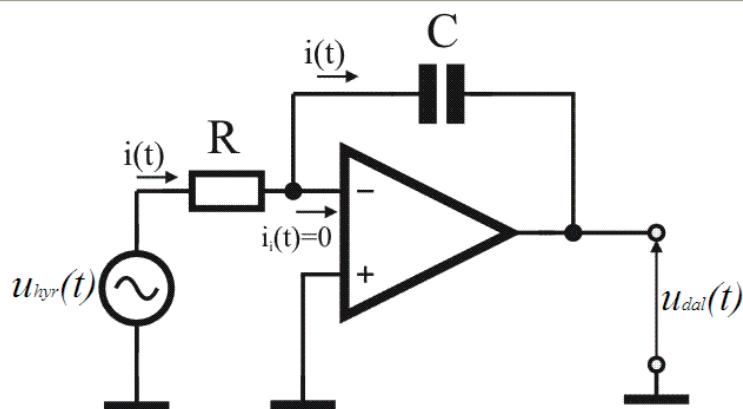


Figura 5.15: Integruesi.

Kondensatori C është i lidhur në mes hyrjes invertuese dhe daljes dhe me të është krijuar lidhja e kundërt negative. Për shkak të ekzistimit të lidhjes së shkurtër virtuale ($U_+ = U_-$, $i_i(t) = 0$) në hyrjen e përforcuesit operacional, rryma nëpër rezistencën R dhe nëpër kondensatorin C do të jetë e njëjtë. Gjatë kësaj, ajo nuk do të varet nga kapaciteti i kondensatorit C e as nga vlera e tensionit të daljes. Ajo rrymë është e përcaktuar nga ekuacioni:

$$i(t) = \frac{u_{hyr}(t)}{R}$$

Tensionet dhe rrymat janë shënuar si funksione të kohës t, me qëllim që të potencohet se ata janë të ndryshueshme në kohë. Tensioni i daljes $u_{dal}(t)$ është i barabartë me tensionin në skajet e kondensatorit C, por me shenjë të kundërt, shikuar në raport me rrymën e cila rrjedh nëpër kondensator. Me rrjedhjen e rrymës nëpër kondensator, ndryshohet ngarkimi elektrik i kondensatorit, dhe me të ndryshohet edhe tensioni në skajet e tij.

Në **figurën 5.16** janë dhënë disa shembuj që tregojnë se si ndryshon tensioni i daljes të integruetit për tensione të ndryshme të hyrjes.

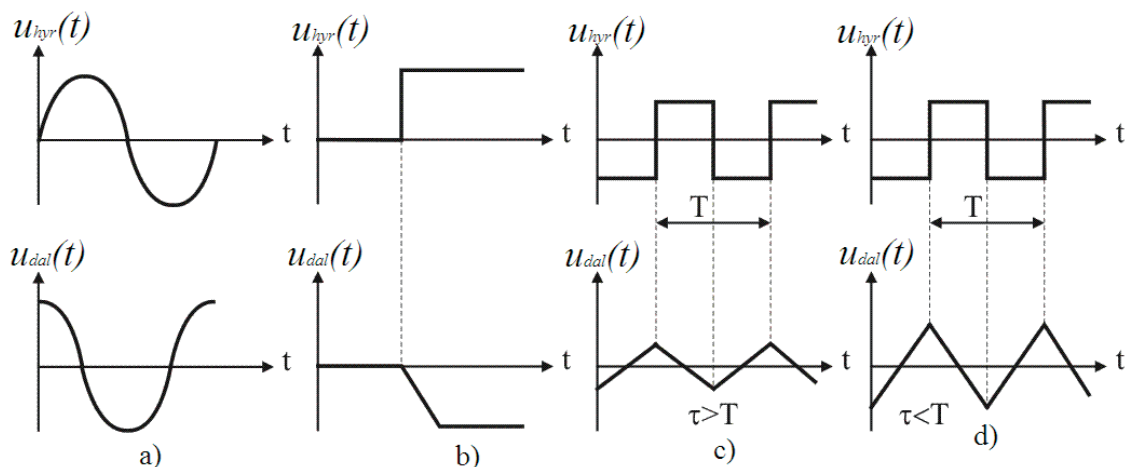


Figura 5.16: Ndryshimi në kohë i tensionit të daljes tek integrueti për tensione të ndryshme të hyrjes.

Nëse në hyrje të integruerit lidhet tension sinusoidal si në figurën 5.16a, në dalje do të fitohet e njëjta formë valore si edhe tensioni i hyrjes vetëm se është i zhvendosur në fazë.

Në figurën 5.16b është treguar një shembull kur tensioni i hyrjes ka formë shkallë. Derisa tensioni i hyrjes është zero edhe tensioni i daljes është zero. Kur do të vijë në kërcimin të tensionit të hyrjes, tensioni i daljes nuk do të ndryshojë menjëherë.

Në figurën 5.16c dhe 5.16d është dhënë shembull kur tensioni i hyrjes ka formë të valës kënddrejtë, për dy konstantat kohore të ndryshme të integralit τ në raport me periodën e tensionit kënddrejtë $\tau > T$ (figura 5.16c), dhe $\tau < T$ (figura 5.16d).

Me prodhimin $\tau = RC$ definohet konstanta kohore e integralit e cila e përcakton faktorin e proporcionalitetit të integruerit.

Diferenciatori

Skema e diferenciatorit (blokut diferencial) është dhënë në **figurën 5.17**. Tensioni i hyrjes është i lidhur në mes të hyrjes invertuese të përforcuesit operacional dhe masës përmes kondensatorit C. Në degën e lidhjes së kundërt është lidhur rezistenca R. Për shkak të ekzistencës të lidhjes së shkurtër virtuale ($U_+ = U_-$, $i(t) = 0$) në hyrjen e përforcuesit operacional, rryma e cila rrjedh nëpër kondensatorin C, do të jetë e njëjtë me rrymën nëpër rezistorin R.

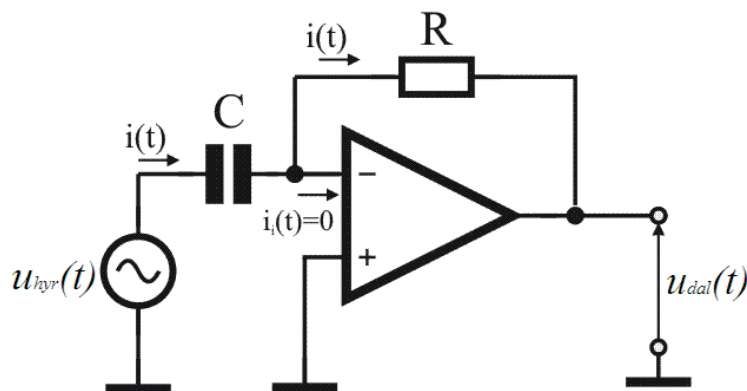


Figura 5.17: Diferenciatori.

Tensioni i daljes është proporcional me shpejtësinë e ndryshimit të tensionit të hyrjes. Me prodhimin $\tau = RC$ definohet konstanta kohore e diferenciatorit.

Në **figurën 5.18** tregohen ndryshimet e tensionit të daljes tek diferenciatori për tensione të ndryshme të hyrjes. Nëse tensioni i hyrjes tek diferenciatori është tension sinusoidal (figura 5.18a), tensioni i daljes do të ketë të njëjtën formë valore siç është tensioni i hyrjes, vetëm se është i zhvendosur në fazë. Nëse tensioni i hyrjes ka formë valore shkallë (figura 5.18b), në momentin e kërcimit të sinjalit të hyrjes, në dalje do të paraqitet kërcim me shenjë të kundërt me amplitudë të njëjtë si edhe kërcimi në hyrje. Pastaj tensioni i daljes bie në mënyrë eksponenciale deri në vlerën

zero. Në figurat 5.18c dhe 5.18d, janë dhënë shembuj kur tensioni i hyrjes ka formë valore kënddrejtë. Në qoftë se konstanta kohore e diferenciatorit është më e madhe se perioda e tensionit kënddrejtë $\tau > T$ (figura 5.18c), në dalje do të paraqiten shkallë të tensionit të cilat me kalimin e kohës bien gradualisht, por jo në vlerën zero. Në qoftë se konstanta kohore $\tau < T$ (figura 5.18d), në dalje do të paraqiten maja të holla në momentin kur tensioni i hyrjes ndryshon shpejtë dhe ata bien në vlerën zero. Qarku është diferencues i mirë nëse ka konstantë kohore të vogël në krahasim me kohën e ndryshimit të tensionit të hyrjes. (figura 5.18d).

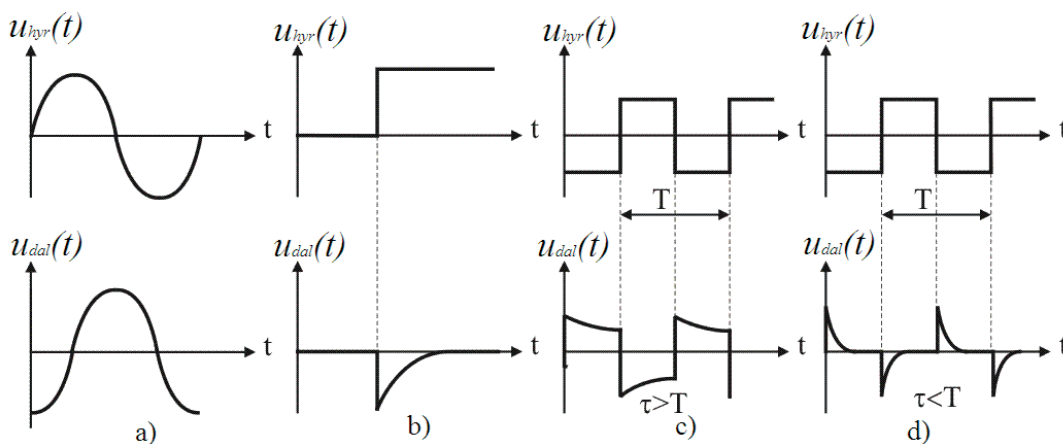


Figura 5.18: Ndryshimi në kohë i tensionit të daljes tek diferenciatori për tensione të ndryshme të hyrjes.

5.3.11. Përforcuesi logaritmik

Përforcuesi logaritmik është një qark në të cilin ekziston një varësi logaritmike mes tensionit të daljes dhe hyrjes. Një përforcues i tillë fitohet kur në lidhjen e kundërt të një përforcuesi operacional do të vendoset elementi i cili ka karakteristike rrymë-tension eksponenciale siç është dioda gjysmëpërçuese. Skema e përforcuesit logaritmik është paraqitur në figurën 5.17.

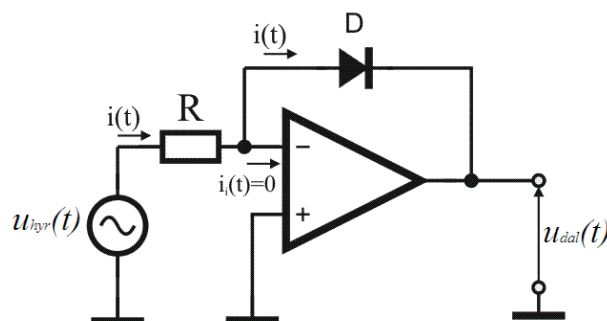


Figura 5.17: Përforcuesi logaritmik.

Tensioni i hyrjes është i lidhur në mes të hyrjes invertuese dhe masa përmes rezistencës R. Me diodën D, e cila është e lidhur në mes daljes dhe hyrjes invertuese, është krijuar lidhje e kundërt negative tek përforcuesi operacional.

Nga kushti për lidhje të shkurtër virtuale në hyrje të përforcuesit operacional ($U_+ = U_-$, $i(t) = 0$), rrymat nëpër rezistencën R dhe përmes diodës D janë të barabarta.

Rryma nëpër rezistencën R është dhënë nga ekuacioni:

$$i(t) = \frac{u_{hyr}(t)}{R} \dots\dots\dots(5.21)$$

kurse rryma nëpër diodën D me ekuacioni:

$$i(t) = I_S \left(e^{\frac{u_d(t)}{U_T}} - 1 \right); \dots\dots\dots(5.22)$$

ku: I_S është rryma inverse e ngopjes së diodës,

$u_d(t)$ është tensioni në skajet e diodës,

U_T është tensioni ekuivalent me temperaturën (në temperaturën e dhomës $U_T = 26\text{mV}$).

Nëse tensioni i hyrjes është pozitiv, dioda është e polarizuar drejt-direkt, anëtari $e^{\frac{u_d(t)}{U_T}}$ është shumë herë më i madh se njëshi ndërsa njëshi mund të mos merret parasysh. Për rrymën nëpër diodën D fitohet:

$$i(t) = I_S e^{\frac{u_d(t)}{U_T}} .$$

Nëse ky ekuacion shprehet përmes tensionit u_d , fitohet:

$$u_d(t) = U_T \ln \left| \frac{i(t)}{I_S} \right| \dots\dots\dots(5.23)$$

Për shkak të lidhjes së shkurtër virtuale, tensioni i daljes $u_{dal}(t)$ është i barabartë me tensionin e diodës D, por me shenjë të kundërt:

$$u_{dal}(t) = -u_d(t) \dots\dots\dots(5.24)$$

Duke zëvendësuar ekuacionet (5.25) dhe (5.23) në ekuacionin (5.26) fitohet:

$$u_{dal}(t) = -U_T \ln \left| \frac{u_{hyr}(t)}{RI_S} \right| \dots\dots\dots(5.25)$$

Tensioni i daljes është proporcional me logaritmin e tensionit të hyrjes për këtë arsye ky qark është quajtur përforcues logaritmik.

Tensioni i daljes së përforcuesit logaritmik është i varur nga temperatura përmes parametrave I_S dhe U_T . Me ndryshimin e temperaturës së diodës ndryshohet tensioni i daljes edhe pa ndryshim të tensionit të hyrjes. Për të kompensuar këtë varësi, shfrytëzohet skema e përforcuesit eksponencial e ndërtuar me transistor bipolar si në **figurën 5.18**.

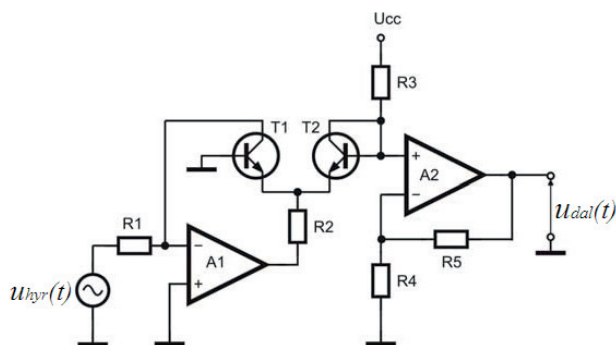


Figura 5.18: Përforcuesi logaritmik me kompensim temperature.

Përforcuesi A1 dhe transistori T1 kryejë operacionin themelor logaritmin, kurse përforcuesi A2 dhe transistori T2 shërbejnë për kompensim.

Përforcuesi logaritmik përdoret në qarqet për përpunimin e sinjaleve.

5.3.12. Përforcuesi eksponencial

Përforcues eksponencial është qarku në të cilin ka një varësi eksponenciale mes tensionit të daljes dhe hyrjes. Skema e përforcuesit eksponencial është paraqitur në figurën 5.19.

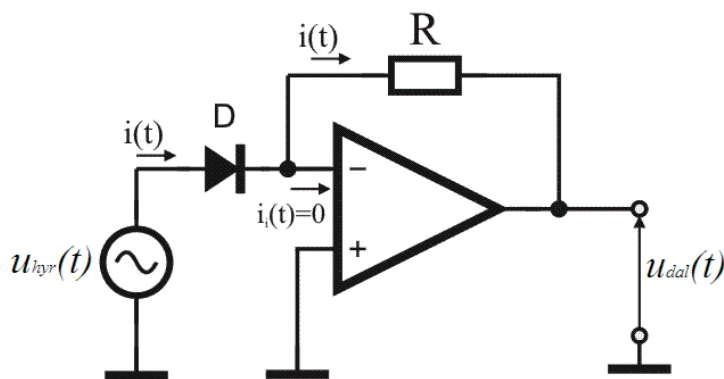


Figura 5.19: Përforcuesi eksponencial.

Tensioni i hyrjes është i lidhur mes hyrjes investuese dhe masës përmes diodës D. Me rezistencën R, që është i lidhur mes daljes dhe hyrjes invertuese, është realizuar lidhja e kundërt negative tek përforcuesi operacional.

Nëse tensioni i hyrjes është pozitiv, dioda është e polarizuar direkt dhe për rrymën nëpër të vlen:

$$i(t) = I_S \left(e^{\frac{u_d(t)}{U_T}} - 1 \right) \approx I_S e^{\frac{u_d(t)}{U_T}} \dots \dots \dots (5.26)$$

Për shkak të lidhjes së shkurtër virtuale në hyrjen e përforcuesit operacional, tensioni i hyrjes $u_{hyr}(t)$ është i barabartë me tensionin e diodës $u_d(t)$:

$$u_{hyr}(t) = u_d(t) \cdot \dots \dots \dots (5.27)$$

Gjithashtu, rryma e cila rrjedh nëpër diodën D rrjedh edhe nëpër rezistencën R. Tensioni i daljes është i barabartë me rënien e tensionit në rezistencën R por me shenjë të kundërt:

$$u_{dal}(t) = -Ri(t) \cdot \dots \dots \dots (5.28)$$

Me zëvendësimin e ekuacioneve (5.28) dhe (5.29) në ekuacionin (5.30) fitohet:

$$u_{dal}(t) = -RI_s e^{\frac{u_{hyr}}{U_T}}.$$

Tensioni i daljes eksponencialisht varet nga tensioni i hyrjes kështu që ky qark duhet edhe përforcues eksponencial.

Tensioni i daljes nga përforcuesi eksponencial është i varur nga temperatura përmes parametrave I_s dhe U_T . Për të eliminuar këtë varësi, përdoret skema e përforcuesit operacional e realizuar me transistorë bipolar si në **figurën 5.20**.

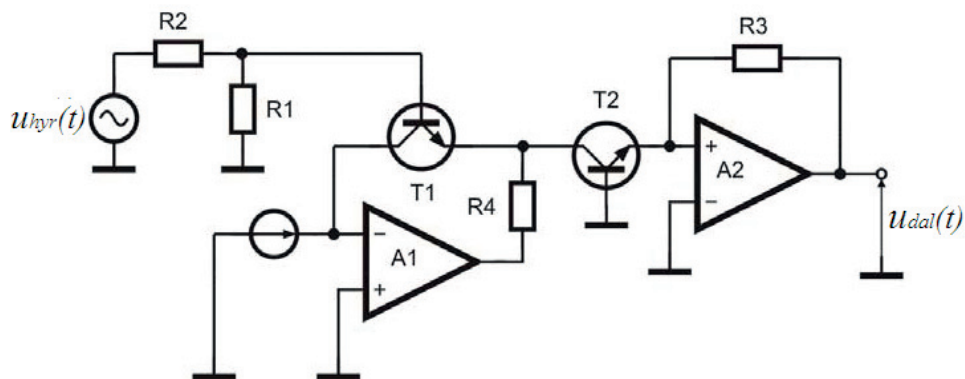


Figura 5.20: Përforcuesi eksponencial me kompensim temperature.

Funksionin kryesor të antilogaritmit e kryejnë transistori T2 dhe përforcuesi A2, kurse përforcuesi A1 dhe transistori T1 përdoret për kompensim.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Vizato përforcues invertues dhe paraqit shprehjen për përforcimin e tensionit me supozimin se $A_U \rightarrow \infty$.
2. Defino termin "lidhje e shkurtër virtuale".
3. Ku zbatohen përforcuesit operacional me përforcim njësi?
4. Shkruaj ekuacionin për tensionin e daljes të qarku për mbledhje.
5. Cili përforcues operacional përforcon ndryshim të sinjaleve?
6. Cili është përdorimi praktik i konvertuesit të rrymës në tension?

7. Cili përforcues operacional përdoret në teknikën e matjeve gjatë bartjes së sinjalit të matur në largësi?
8. Paraqite varësinë e tensionit të daljes nga tensioni i hyrjes tek përforcuesi eksponencial.
9. Cili përforcues operacional përdoret në qarqet për përpunimin e sinjaleve?
10. Të vizatohet skema e integritorit dhe të përshkruhet principi i punës.
11. Cila është mangësia e përforcuesit logaritmik dhe eksponencial dhe si eliminohet?

MBAJ MEND!!!

- * Me përforcuesin operacional për mbledhje fitohet dalje proporcionale me mbledhjen e tensioneve të hyrjes.
- * Përforcuesi operacional diferencial e përforcon dallimin e sinjaleve të hyrje.
- * Konvertuesit e rrymës në tension dhe tensionit në rrymë janë përforcues operacional me zbatim në teknikën e matjeve.
- * Integritori fitohet kur në lidhjen e kundërt të një përforcuesi operacional do të vendoset një kondensator.
- * Përforcuesi logaritmik përfitohet kur në lidhjen e kundërt të një përforcuesi operacional do të vendoset element që do të ketë karakteristikë rrymë-tension në formë eksponenciale siç është dioda gjysmëpërçuese.
- * Tek përforcuesit operacional tensioni i daljes varet në mënyrë eksponenciale nga tensioni i hyrjes. .

5.4. Përforcuesi operacional real

Përforcuesi operacional real, sipas karakteristikave të tij devijon nga ideali. Nga ana tjetër ai ka një strukturë komplekse të përbërë nga disa stadi dhe numër të madh të elementeve aktive. Karakteristika më të rëndësishme të përforcuesit operacional real janë:

1) Përforcim të sinjalit diferencial të hyrjes (Differential open-loop voltage gain)

Përforcuesi operacional real ka një përforcim që lëviz brenda kufijve 105-106. Përforcimi karakteristik për njërin nga përforcuesit operacional më të njohur (741) është $A_d \approx 200000$ (106dB), ndërsa vlera minimale e përforcimit të sinjalit diferencial të hyrjes është 5000 (74dB). Për këtë shkak shpesh mund të konsiderohet se përforcimi karakteristik $A_d \rightarrow \infty$.

2) Karakteristika kalimtare nuk është plotësisht lineare (nuk është drejtëz), dhe si pasojë e kësaj vjen deri tek shtrembërimet e sinjalit.

3) Kufizimet në karakteristikën e frekuencës

Brezi i frekuencës do të lëviz nga $f_p=0$, deri në një frekuencë kufitare të sipërme.

4) Faktori i shuarjes i sinjalit njëfazësh (Common mode rejection ratio-CMRR)

Ky është një numër që tregon se sa herë përforcimi i tensionit diferencial të hyrjes është më i madh nga përforcimi i tensionit njëfazor të hyrjes. Tek përforcuesit real ai ka një vlerë prej 70dB deri në 100dB.

5) Rezistenca e hyrjes (Input resistance)

Rezistenca e hyrjes në përforcuesin operacional real nuk është pafundësisht e madhe. Zakonisht silltet mes $100k\Omega$ dhe $1M\Omega$. Megjithatë, për shkak të ekzistencës së lidhjes së kundërt, rezistenca e hyrjes mund të mos merret parasysh. Këtu më tepër duhet të kemi kujdes në raportin mes rezistencës hyrëse dhe rezistencës së lidhjes së kundërt. Gjegjësisht, nëse rryma e hyrjes në vetë përforcuesin operacional, është shumë më e vogël nga rryma nëpër degën kthyese, gjegjësisht nëse rezistenca e hyrjes është shumë herë më e madhe se rezistenca e degës kthyese (të paktën 10 herë), mund të konsiderohet se rezistenca e hyrjes nuk ndikon në përforcim. Përforcuesit operacional me MOS transistorë, në përgjithësi, kanë rezistencë hyrëse pafundësisht të madhe. Megjithatë, në praktikë, për shkak të nevojës për të mbrojtur gejtin e MOSFET-it në raport me elektricitetin statik, që zakonisht bëhet me anë të diodave me polarizim invers, kjo rezistencë mund të jetë më e vogël.

6) Rezistencë dalëse (Output resistance)

Rezistenca e hyrje do të ketë ndikim më të vogël mbi përforcimin nëse rezistenca e degës kthyese është shumë herë më e madhe se e hyrjes, që është në kundërshtim me kërkesën në krahasim me rezistencën e hyrjes. Prandaj, gjatë projektimit të përforcuesit rezistenca në degën kthyese duhet të zgjidhet në atë mënyrë që të ketë një vlerë optimale, si në raport me rezistencën e hyrjes, ashtu edhe në raport me rezistencën e daljes. Për më tepër, vetë përforcuesi i përdorur operacional duhet të ketë sa të jetë e mundur rezistencë hyrëse më të madhe dhe sa të jetë e mundur rezistencë dalëse më të vogël. Përforcuesit operacional me transistor për përdorim të përgjithshëm kanë rezistencë dalëse nga 40 deri 100Ω .

7) Mospërshtatja e rrymës së hyrjes- ofset i rrymës (input offset current)

Që të sigurohet që tensioni i daljes të jetë zero kur në hyrje nuk kemi sinjal, që të kompensohen asimetritë në karakteristikat e elementeve, zakonisht duhet të sigurohet rrymë e ndryshme e polarizimit në transistorët e hyrjes. Ofseti i rrymës definohet si ndryshim i rrymave të hyrjes të polarizimit me kusht që tensioni i daljes të jetë zero.

8) Drejft i ofsetit të rrymës së hyrjes (Input offset current drift)

Përfaqëson koeficient të ndryshimit të ofsetit të rrymës së hyrjes dhe ndryshimit të temperaturës. Për përforcuesin operacional $\mu A 741$ ai është $0,1 \text{ nA}^\circ\text{C}$.

9) Mospërshtatja e tensioni të hyrjes- ofset i tensionit (input offset voltage)

Definohet si tension diferencial që duhet të lidhet mes dy hyrjeve (për hyrje simetrike), ose në mes të hyrjeve dhe masës (për hyrje asimetrike), të përforcuesit operacional ashtu që tensioni i daljes të pranojë vlerë zero. Quhet edhe tërheqje e tensionit të hyrjes kurse varet edhe nga temperatura.

Zakonisht, tek strukturat bipolare sillet nga $0,1$ deri në 2nV , ndërsa te qarqet-MOS nga 1 deri në 20mV .

10) Shtypja e ndryshimit të tensionit të ushqimit

(PSRR- power supply rejection ratio)

Për shkak të varësisë së parametrave të elementeve aktiv nga tensioni i ushqimit, sidomos nëse ndryshohet tensioni i vetëm njërit prej burimeve, gjatë ndryshimit të tensionit të ushqimit do të ndryshohet edhe tensioni i daljes. Për të kompensuar këtë ndryshim të tensionit të daljes, zakonisht është e nevojshme të bëhet ndryshimi i duhur i tensionit të hyrjes. Marrëdhënia në mes të ndryshimit të njërit prej burimeve të ushqimit dhe ndryshimit përkatës të tensionit të hyrjes që tensioni i daljes të mos ndryshohet quhet faktori i shtypjen i ndryshimit të tensionit të ushqimit. Vlerë tipike është $20\mu\text{V}/\text{V}$.

11) Shpejtësia e ndryshimit të tensionit të daljes (Slew rate)

Për shkak të ekzistencës së kapaciteteve parazitare në elementet aktive dhe lidhjet në qark, tensioni i daljes nuk është në gjendje për momentin të ndjek ndryshimet e tensionit të hyrjes. Shkalla e rritjes së tensionit të daljes (slew rate) definohet si raport i ndryshimit të tensionit daljes në kohën njësi gjatë eksitimit të hyrjes me impuls drejtkëndor. Vlera tipike është nga $1\text{V}/\mu\text{s}$ deri në $15\text{V}/\mu\text{s}$. Nëse përforcuesi ka një shpejtësi të vogël të ndryshimit të tensionit të daljes lehtë mundet impulset drejtkëndore të hyrjes, në dalje të paraqiten me formë trapezi, kurse sinjali sinusoidal i frekuencave të lartë të shtrembërohet dhe në dalje të fitojë formë të përafërt trekëndëshi.

12) Kompensimi i mospërshtatjes së përforcuesit operacional

Kompensimi i mospërshtatjes në hyrje (përputhje në "zero") më lehtë bëhet nëse përforcuesi operacional, me vetë konstruksionin, ka të paraparë mundësinë për operacion të tillë. Për shembull, përforcuesi operacional i llojit 741 ka të ndërtuar mundësinë për përshtatje me zero. Në të janë të ndërtuar lidhje për kompensim. Është e paraparë që mes këtyre lidhjeve të vendoset potenciometër, me çka treguesi-shigjeta i tij lidhet me masën. Duke rregulluar pozicionin e treguesit mund të realizohet që tensioni i daljes të ketë vlerën zero kur në hyrje nuk ka sinjal. Nëse përforcuesi operacional nuk ka të ndërtuar mundësi për përshtatje në zero ajo mund të arrihet me lidhjen e elementeve të veçanta për këtë qëllim. Gjatë kësaj është e nevojshme të sigurohet burim plotësues për krijimin e tensionit, gjegjësisht rrymës, për kompensim.

13) Brez maksimal i i ndryshimit të tensionit të hyrjes sinfazor

Brezi i ndryshimit të tensionit të hyrjes sinfazor është i kufizuar nga gjendja e transistorëve në stadin e hyrjes të një përforcuesit operacional. Në të vërtetë, të gjithë transistorët e stadi të hyrjes patjetër të jenë në zonën aktive normale në brezin mes tensionit të hyrjes sinfazor minimal dhe maksimal.

14) Tensioni i hyrjes së zhurmës dhe rryma e zhurmës (Input noise voltage, Input noise current)

Ato janë vlerat efektive të burimeve të tensionit dhe rrymës së zhurmës të përforcuesit, me çka kufizohet niveli më i vogël i tensionit të hyrjes që mund të përforcohet. Vlera tipike për

tensionin e zhurmës është , $\frac{10nV}{\sqrt{Hz}}$ kurse për rrymën e zhurmës është $\frac{0,2pA}{\sqrt{Hz}}$.

5.4.1. Bllok-skema e përforcuesit operacional real

Përforcuesit operacional kanë strukturë komplekse të brendshme të vendosur në një qark të integruar. Blloqet bazë nga të cilët është i ndërtuar një përforcues operacional janë: përforcues diferencial në hyrje, përforcues tensioni dhe përforcues fuqie në dalje. (figura 5.21). Kjo është baza mbi të cilën është ndërtuar sot përforcuesi operacional më i njohur 741 (UA741 ose $\mu A741$).

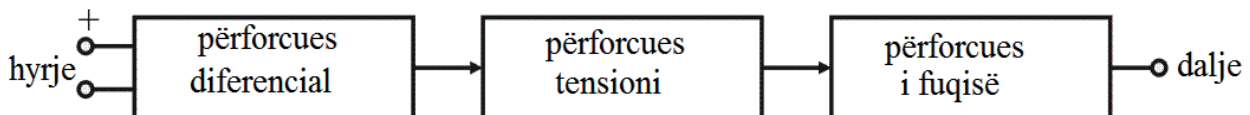


Figura 5.21: Bllok-skema e përforcuesit operacional.

Përforcuesi diferencial ka dy hyrje dhe një dalje, dhe është realizuar në atë mënyrë që të arrijë një faktor të madh të shtypjes të tensionit në fazë të hyrjes, rrymë të vogël të hyrjes dhe rezistencë të hyrjes të madhe, përforcim të madh stabil të pavarur nga ndryshimi i temperaturës së mjedisit.

Në bllokun e dytë është një përforcues tensioni me përforcim të tensionit të lartë. Në këtë pjesë zbatohet edhe kompensimi i karakteristikës së frekuencës së përforcuesit.

Blloku i tretë është një përforcues rryme në klasën AB. Ai siguron rrymë dalëse të nevojshme dhe rezistencë dalëse të ulët për të gjithë përforcuesin operacional, shtrembërim minimal dhe disipacion të vogël deri në 300mW.

Skema e thjeshtuar e përforcuesit operacional 741 është dhënë në figurën 5.22.

Përforcuesi diferencial hyrës është i përbërë nga transistorët T_1 dhe T_2 . Në qarkun e përbashkët të emiterit dhe kolektorit janë vendosur gjeneratorët e rrymave I_1 , I_2 dhe I_3 .

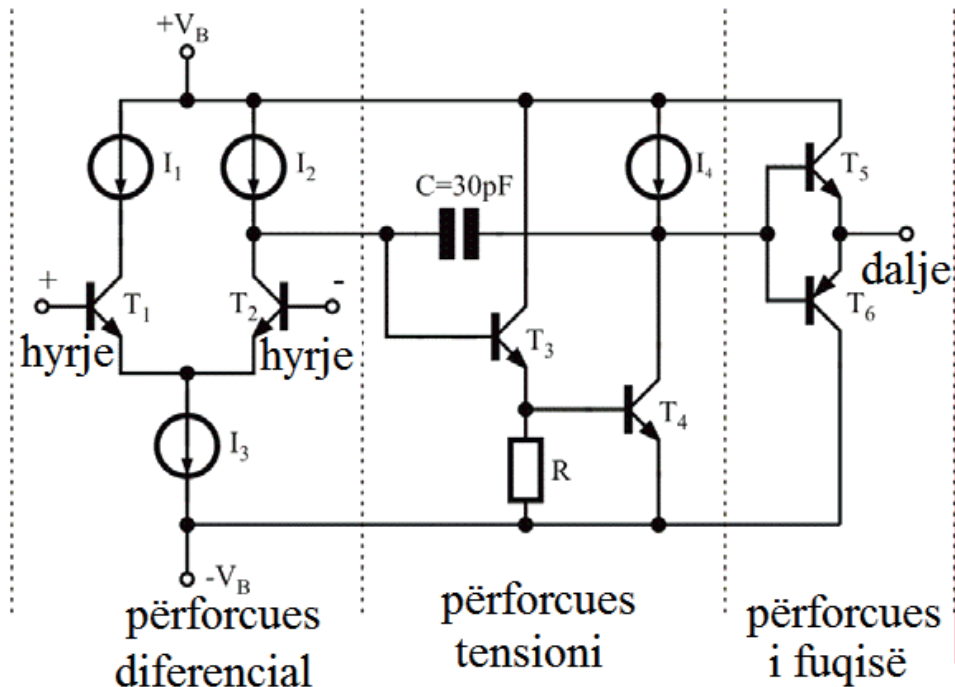


Figura 5.22: Skema e thjeshtuar e përforcuesit operacional 741

Me gjeneratorin e rrymës sigurohet që rryma e bazës të jetë shumë e vogël e rendit nanometër, çka siguron rezistencë hyrëse të madhe të përforcuesit operacional. Gjeneratorët e rrymave sigurojnë edhe stabilitet të madh nga temperatura.

Përforcuesi i tensionit është i formuar me transistorët T_3 , i cili punon në lidhje me kolektor të përbashkët, dhe T_4 , i cili është në lidhje me emiter të përbashkët. Në vend të rezistencës së kolektorit, transistori T_4 në qarkun e kolektorit ka gjenerator rryme I_4 . Me kondensatorin C realizohet lidhja e kundërt nga kolektori i transistorit T_4 në bazën e transistorit T_3 . Me këtë lidhje të kundërt negative është realizuar kompensimi i frekuencës, gjegjësisht zgjerimi i brezit të lëshimit të përforcuesit. Pasi që kemi të bëjmë me përforcues të vazhduar (njëkahësh), frekuenca kufitare e sipërme e saj është 10Hz. Mbetet edhe mundësia për përfshirjen e lidhjes së kundërt të jashtme.

Përforcuesi i fuqisë është realizuar me çift transistorësh komplementar T_5 dhe T_6 , në klasën B. Përforcimi i tensionit i këtij stadi është njësi, por ai siguron përforcim të rrymës së daljes.

Skema e plotë e përforcuesit operacional 741, e përbërë nga 24 transistorë bipolar, 11 rezistenca dhe një kondensator, të gjithë të vendosur në pllakë silici prej 1mm^2 , e vendosur në shtëpizë metalike cilindrike ose në çip standard të integruar, është dhënë në shtojcën 1 në fund të këtij kapitulli.

MBAJ MEND!!!

- * Përforcuesi operacional real ka përforcim i cili sillet brenda kufijve 105-106.
- * Rezistenca e hyrjes tek përforcuesit operacional real zakonisht sillet mes $100K\Omega$ dhe $1M\Omega$.
- * Ofseti i rrymës definohet si ndryshim i rrymave të hyrjes të polarizimit me kusht tensioni i daljes të jetë zero.
- * Drejft i ofsetit të rrymës së hyrjes paraqet herës të ndryshimit të ofsetit të rrymës së hyrjes dhe ndryshimit të temperaturës.
- * Mospërshtatja e tensionit në hyrje definohet si tension diferencial i cili duhet të lidhet mes dy hyrjeve (për hyrjen simetrike), ose mes hyrjeve dhe masës (për hyrje asimetrike), të përforcuesit operacional që tensioni i daljes të pranojë vlerë zero.
- * Raporti mes ndryshimit të njërit prej burimeve të ushqimit dhe ndryshimit përkatës të tensionit të hyrjes që tensioni i daljes të mos ndryshojë quhet faktor i shtypjes i ndryshimit të tensionit të ushqimit.
- * Shpejtësia e rritjes së tensionit të daljes (slew rate) definohet si raport i ndryshimit të tensionit të daljes në kohën njësi gjatë eksitimit të hyrjes me impuls kënddrejtë.
- * Bllloqet themelore nga të cilët është ndërtuar një përforcuesi operacional janë:
Përforcuesi diferencial në hyrje, përforcuesi i tensionit dhe përforcuesi i fuqisë në dalje.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino parametrat fizik të përforcuesit real,
2. Cilat janë bllloqet themelore nga të cilat është ndërtuar një përforcues operacional real?
3. Analizo skemën elektrike të përforcuesit operacional real ($\mu A741$).
4. Në cilën klasë punon çifti komplementar i transistorëve T_5 dhe T_6 në skemën e thjeshtuar të përforcuesit operacional 741?
5. Cili është roli i kondensatorit C në skemën e thjeshtuar të përforcuesit operacional 741?

VERIFIKIMI TEMATIK**I Pyetje me rrethim****(Rretho përgjigjet e sakta)**

1. Parametra të përforcuesit operacional me vlerë pafundësisht të madhe janë:
 - a) përforcimi i tensionit
 - b) rezistenca e daljes
 - c) rezistenca e hyrjes.

2. Për riaftësimin e rezistencës dalëse të madhe të stadiit paraprak në rezistencën e hyrjes të stadiit në vazhdim përdoret:

- përforcuesi operacional invertues
- përforcuesi operacional joinvertues
- përforcuesi operacional me përforcim njësi.

3. Tensioni i daljes është proporcional me ndryshimin e tensioneve të hyrjes tek:

- përforcuesi operacional invertues
- përforcuesi operacional diferencial
- përforcuesi operacional joinvertues.

4. Në matësin elektronik të ndriçimit përdoret:

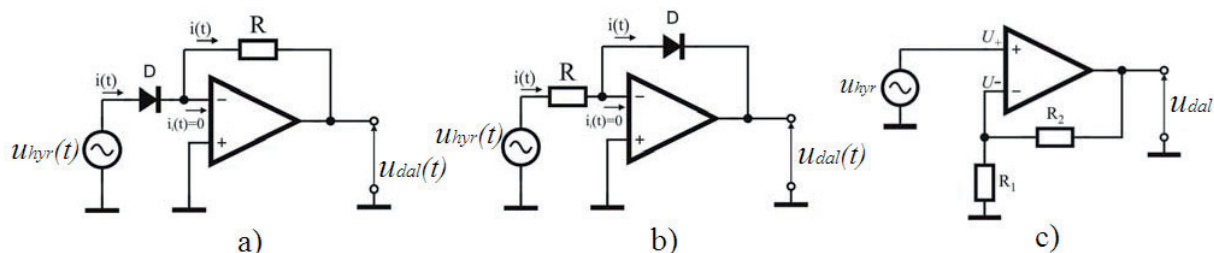
- konvertuesi i tensionit në rrymë
- konvertuesi i rrymës në tension
- përforcuesi operacional joinvertues.

5. Përforcuesi operacional joinvertues :

- ka lidhje të kundërt pozitive
- ka lidhje të kundërt negative
- nuk ka lidhje të kundërt.

II pyetje me lidhshmëri

6. Lidh skemat e përforcuesve operacional me llojet e përforcuesve operacional:



- Përforcues operacional joinvertues _____
- Përforcues operacional logaritmik _____
- Përforcues operacional eksponencial _____.

7. Lidh renditjen e stadeve në përforcuesin operacional real:

- | | | |
|--------------|---------------------------|--------|
| 1. Stadi I | a) Përforcues tensioni | _____ |
| 2. Stadi II | b) Përforcues diferencial | _____ |
| 3. Stadi III | c) Përforcues fuqie | _____. |

III Pyetje me plotësimin

8. Kur tensioni hyrjes invertuese është i barabartë me tensionin joinvertues atëherë në skajet e hyrjes të përforcuesit operacional ekziston lidhje e shkurtër e quajtur _____.

9. Në përforcuesin operacional invertues tensioni i daljes është i zhvendosur në fazë për _____ në raport me tensionin e hyrjes.

10. Qarku në të cilin ekziston varësi logaritmike mes tensionit të daljes dhe tensionit të hyrjes quhet _____.

11. Me shprehjen është $u_{dal}(t) = -RC \frac{du_{hyr}(t)}{dt}$ dhënë tensioni i daljes i përforcuesit operacional _____.

12. _____ është një numër i cili tregon se sa herë përforcimi i tensionit diferencial të hyrjes është më i madh se përforcimi i tensionit të hyrjes në-fazë.

13. Përforcuesi _____ përdoret në qarqet për përpunimin e sinjaleve.

Hulumto dhe mëso më tepër:

- Hulumto në internet për përforcuesit operacional.

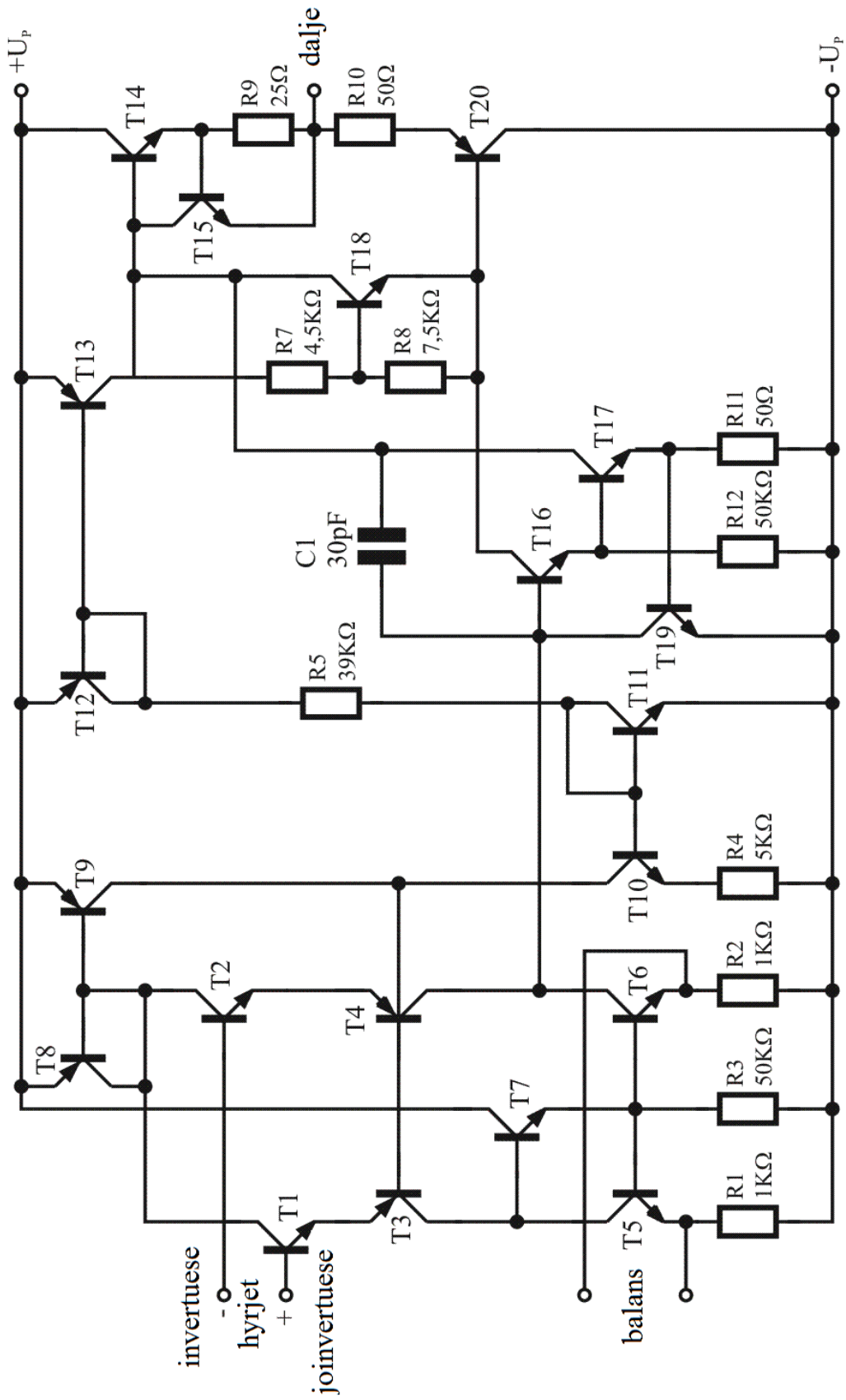
-Përpuno projekt në temën përforcuesit operacional.

- Hulumto në internet për skemat me përforcues operacional dhe për përdorimin praktik të tyre.



SHTOJCA 1

Skema e plotë e përforcuesit operacional 741



BURIME TË TENSIONIT TË VAZHDUAR-DC

Duke studiuar përmbajtjet e kësaj teme do të fitosh njohuri bazë për burimet e ushqimit (furnizimit) dhe do të mund:

- të njohësh struktura të ndryshme të burimeve të ushqimit;
 - të shpjegosh parimin e stabilizimit të tensionit;
 - të dallosh burime të ushqimit të stabilizuara dhe të pa stabilizuar;
 - të njohësh zbatimin e përforcuesit operacional si një burim të tensionit të vazhduar-DC;
 - të lexuar skema elektrike të burimeve të stabilizuar të ushqimit me transistor, përforcues operacional dhe stabilizator të integruar;
 - të njohësh zbatimin e burimeve të tensionit të vazhduar.
-

Për funksionimin e pajisjeve elektronike janë të nevojshme tensione të vazhduara të ushqimit. Tensionet e vazhduara fitohen nga pajisje të quajtura burime të ushqimit (furnizimit). Dallojmë tre lloje të burimeve të ushqimit, të cilët janë në përdorim masiv në të gjitha pajisjet elektronike:

- a) bateri dhe akumulatorë;
- b) pajisje të ushqimit nga rrjeta e tensionit alternativ me transformator rrjete;
- c) pajisje me sisteme komutimi të ushqimit;
- d) pajisje për dyfishim ose shumëfishim të tensionit.

Furnizimi nga bateritë apo akumulatorët përdoret kryesisht për pajisjet portative dhe për pajisjet për të cilat nuk lejohet asnjë lloj ndërprerje e furnizimit.

Pajisjet me sistem komutimi të ushqimit (SMPS - Switch Mode Power Supply) zbatohen për furnizimin e aparateve të ndryshme duke filluar diku nga mesi i shekullit të kaluar dhe me kalimin e kohës gjejnë zbatim gjithnjë e më të gjerë.

6.1. Pajisje të ushqimit nga tensioni i rrjetit

Deri tani përdorim më masiv kanë pajisjet e furnizimit nga rrjeti i qytetit i tensionit alternativ, i cili është në dispozicion pothuajse në çdo hap. Tensioni i rrjetit të qytetit, në rastin më të mirë, tek ne është 220V - 240V.

Në **figurën 6.1** është dhënë bllok-skema e një pajisje komplekse për furnizim nga rrjeti i tensionit alternativ me zbatim të transformatorit të rrjetit.

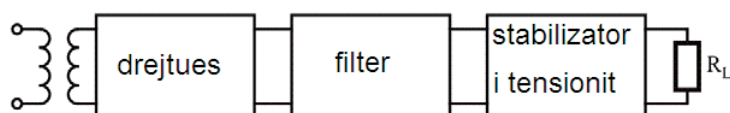


Figura 6.1: Skema Blloku i burimit të rrjetit të tensionit të energjisë.

Me këtë pajisje realizohen tre funksione kryesore: ndryshimi i tensionit të rrjetit me transformator, drejtimi dhe stabilizimi i tensionit të daljes.

Për sistemet më të thjeshta (të tilla si pajisjet për furnizim të njohura si "adapter") mund të bierë blloku i fundit për stabilizimin e tensionit.

Me transformator të rrjetit zvogëlohet, kurse më rrallë rritet, vlera e tensionit të rrjetit e cila i përgjigjet vlerës së duhur të tensionit në dalje. Transformatori ka një dalje primare dhe një ose më shumë dalje sekondare, nga të cilat fitohen tensione të ndryshme sekondare.

Tensionet sekondare fitohen si produkt i tensionit primar dhe në raportin e transformimit $n = \frac{N_{SEK}}{N_{PRIM}}$, η me N shënohet numri i daljeve.

Transformatori ka edhe një detyrë, e ajo është të bëjë ndarjen galvanike mes pajisjes që furnizohet dhe rrjetit. Tensioni sekondar është alternativ dhe ai me bllokun e drejtimit drejtohet dhe bëhet i vazhduar. Kështu tensioni i vazhduar i marrë nuk mundet menjëherë të përdoret si tension për furnizim, ai paraprakisht duhet të filtrohet me qark filtrues. Ky tension quhet tension i pa stabilizuar i furnizimit. Shumë pajisje elektronike kërkojnë që tensioni i furnizimit të ketë vlerë konstante dhe për këtë qëllim përdoret qark për stabilizim.

6.1.1. Drejtuesi (radrizatori) gjysmëvalor

Drejtimi gjysmëvalor është proces më i thjeshtë me të cilin tensioni alternativ shndërrohet në të vazhduar.

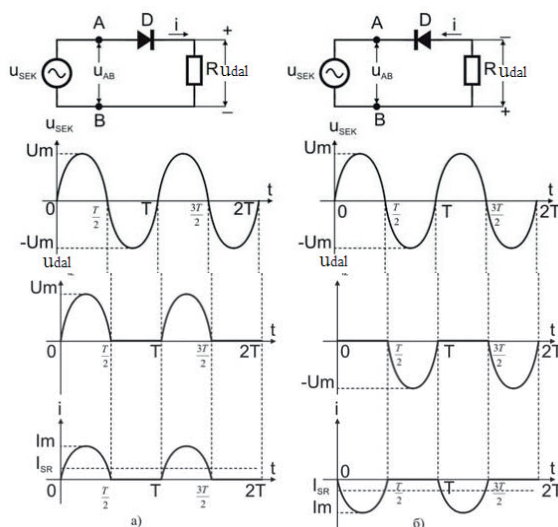


Figura 6.2: Drejtues gjysmë-valor.

Kjo realizohet me qark në të cilin një diodë drejtuese e lëshon vetëm njërën gjysmëperiodë të tensionit alternativ, kurse gjysmëperiodën tjetër e bllokun.

Qarku i drejtuesit gjysmë-valor është dhënë në **figurën 6.2**. Në këtë skemë tensioni i sekondarit është treguar me shenjën skematike të burimit të thjeshtë të tensionit alternativ. Për qarkun nën a), kur pika A është në potencial më të lartë nga pika B, e kjo është gjatë kohës së gjysmë-periodës pozitive të tensionit alternativ, dioda është e polarizuar direkt dhe nëpër rezistencën R rrjedh rryma në drejtimin, siç është treguar në skemë.

Për këtë shembull, rryma e ka të njëjtën formë me tensionin u_{dal} . Gjatë kohës së gjysmë-periodës negative, pika A është në potencial më të ulët nga pika B (**figura 6.2 b**), kurse dioda është e polarizuar invers, dhe nëpër rezistencën R nuk rrjedh rrymë. Në qark, në kohëzgjatjen e një periode, rrjedh njëfarë rryme e vazhduar me vlerë mesatare, e cila llogaritet sipas:

$$I_{MES} = \frac{I_m}{\pi} = 0.32I_m, \dots\dots\dots(6.1)$$

ku I_m është amplituda e rrymës, kurse tensioni i vazhduar sipas:

$$U_{VAZH} = \frac{U_m}{\pi}; \dots\dots\dots(6.2)$$

ku U_m është amplituda e tensionit alternativ të sekondarit.

Kjo rrymë mund të paraqiten sikur të jetë e përbërë nga një komponentë e vazhduar I_{MES} dhe nga më tepër komponentë harmonik, nga të cilat e para ka amplitudë më të madhe. Raporti i këtyre dy komponentëve e përcakton **koeficientin valor (të pulsimit)** si masë për kualitetin të pajisjes për furnizim. Për drejtues të mirë, koeficienti valor duhet sa më vogël që të jetë e mundur.

Drejtuesi gjysmë-valor ka koeficient valor 1,21 dhe rrymë mesatare të vogël gjë që e bën drejtues të klasës më të ulët dhe për këtë qëllim shërben vetëm për ngarkues të akumulatoreve me plumb. Rryma mesatare, si komponentë e vazhduar, e magnetizon bërthamën e transformatorit dhe e bart në ngopje me çka zmadhohen humbjet në hekur.

6.1.2. Drejtuesi i valës së plotë

Drejtuesi i valës së plotë mund të bëhet në dy variante: me dy dioda drejtuese dhe me katër dioda drejtues mes veti të lidhura në konfiguracionin e urës, të njohur si **lidhja e Grecit**.

Në **figurën 6.3** është treguar drejtuesi i valës së plotë me dy dioda. Për këtë konfiguracion përdoret transformator me sekondar i cili ka burim të mesëm B, të lidhur në masën.

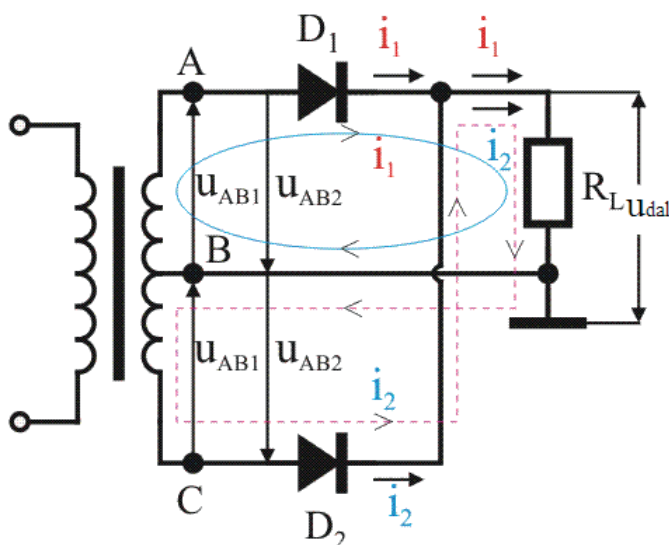


Figura 6.3: Drejtuesi i valës së plotë me dy dioda.

Tensionet sekondare U_{AB} dhe U_{CB} kanë amplituda të njëjta dhe faza të kundërta, kështu që kur gjysmëperioda pozitive është në pikën A, kurse në të njëjtën kohë, në pikën C kemi gjysmëperiodën negative të tensionit alternativ të sekondarit.

Gjatë kohës së gjysmëperiodës pozitive të tensionit U_{AB} , dioda D1 është e polarizuar direkt dhe përçon rrymën i_1 përmes rezistencës R_L . Në të njëjtën kohë, në pikën C është gjysmëperioda negative e tensionit U_{CB} , për të cilën dioda D2 është me polarizim invers dhe rryma i_2 është zero. Në gjysmëperiodën e ardhshme situata ndryshon, kështu që në pikën A kemi gjysmëperiodë negative dhe diodën D1 me polarizim invers, kurse në pikën C gjysmëperiodën pozitive dhe diodën D2 me polarizimi direkt me rrymë i_2 e cila rrjedh në rezistencën R_L . Të dy rrymat i_1 dhe i_2 rrjedhin në drejtimin e njëjtë, secila në çdo gjysmëperiodë (figura 6.4).

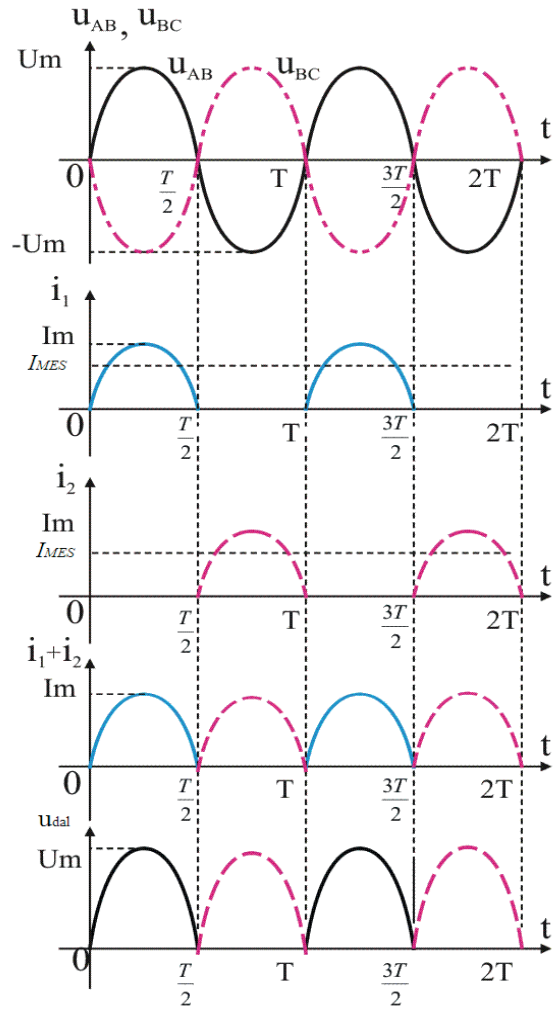


Figura 6.4: Format valore të drejtuesit të valës së plotë.

Vlera mesatare e rrymës nëpër ngarkesë është:

$$I_{mes} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,64I_m \dots\dots\dots(6.3)$$

Kjo rrymë është dy herë më e madhe se rryma mesatare e drejtuesit gjysmëvalor, që do të thotë se ka edhe koeficient valor më të mirë, i cili është 0,48.

Këto karakteristika tregojnë se drejtuesi i valës së plotë është shumë më i mirë nga ai gjysmëvalor, me atë dallim që përdor sekondar diç më të shtrenjtë me burim të mesëm. Por, përsëri, transformatori nuk ka "rrjedhje-të kotë", në sekondarin e transformatorit rrjedh rryma në të dy gjysmëperiodat edhe atë në kahe të kundërta, me çka bërthama e transformatorit magnetizohet me njërën dhe magnetizohet në drejtimin e kundërt me rrymën e kundërt gjatë secilës periodë të tensionit. Në këtë mënyrë zvogëlohen humbjet në hekurin dhe për fuqi të njëjtë ky transformator ka dimensione më të vogla dhe peshë në krahasim me transformatorin e drejtuesit gjysmëvalor.

Varianti i dytë i drejtuesit të valës së plotë me 4 dioda është treguar në **figurën 6.5**.

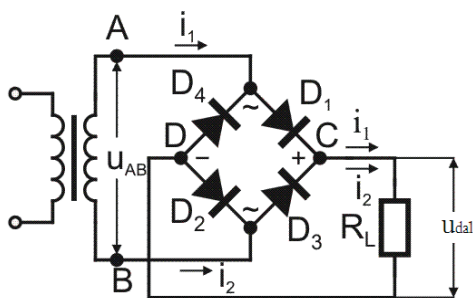


Figura 6.5: Drejtuesi i valës së plotë me katër dioda.

Përparësia e këtij drejtuesi është në atë që ka vetëm një sekondar. Diodat janë të lidhura në një urë, me çka në njërin diagonale të urës lidhen skajet e sekondarit të transformatorit, kurse në diagonalen tjetër rezistenca e ngarkesës R_L .

Gjatë kohës së gjysmëperiodës pozitive në pikën A, dioda D_1 është e polarizuar direkt dhe përçon rrymë i_1 në njërin skaj të rezistencës R_L . Qarku i rrymës mbyllet përmes rezistencës R_L dhe diodës D_2 , e cila gjithashtu, është e polarizuar direkt. Dy diodat tjera janë me polarizim invers. Gjatë kohës së gjysmëperiodës negative në pikën A, diodat D_3 dhe D_4 janë me polarizim direkt dhe në qark rrjedh rryma i_2 , kurse diodat D_1 dhe D_2 janë me polarizim invers.

Grafiku i rrymës nëpër ngarkesën është i njëjtë si në figurën 6.5, kurse e njëjtë është edhe vlera mesatare e saj dhe koeficienti valor, sikur tek drejtuesi me dy dioda.

Konfiguracioni i urës së diodave është i njohur si lidhje e Grecit dhe ai vendoset në shtëpizë me katër dalje: dy të shënuara me shenjën „~“, kurse dy të tjerat me „+“, dhe „-“. Në dalje të shenjës „~“, lidhet tensioni alternativ, kurse mes daljeve me shenjat „+“, dhe „-“, fitohet tensioni i vazhduar.

6.1.3. Filtri kapacitiv për drejtues

Tensioni i daljes i drejtuesit gjysmëvalor gjatë gjysmëperiodës zmadhohet nga zero deri në U_m dhe pastaj bie në zero. Kjo gjendje përsëritet 50 herë në sekondë. Kjo mund të jetë e pranueshme për disa qarqe për mbushje të baterive, por jo edhe për shumicën e sistemeve elektronike. Për furnizimin e sistemeve elektronike është i nevojshëm tension i vazhduar, i ngjashëm me tensionin e baterisë, e ai është tension konstant i cili ka ndryshime të vogla me kalimin e kohës, ose nuk i ka aspak.

Sistemet reale të furnizimit nuk japin plotësisht tension të barabartë. Duke aplikuar qarqe filtruese, tensioni i vazhduar mund tu afrohet kërkesave të tilla.

Filtrat për drejtim realizohen me komponentë reaktivë: kondensatorë dhe bobina. Këto elemente kanë veti të akumulojnë energji, dhe pastaj ta kthejnë në qark në momentin e caktuar.

Filtri më shpesh i përdorur për drejtim është filtri-RC, përfaqësuar me një kondensator me kapacitet të madh (kondensator elektrolitik), i lidhur në paralel në rezistencën e ngarkesës R_L . Skema elektrike e drejtuesit gjysmëmvalor me filtër kapacitiv është treguar në **figurën 6.6**.

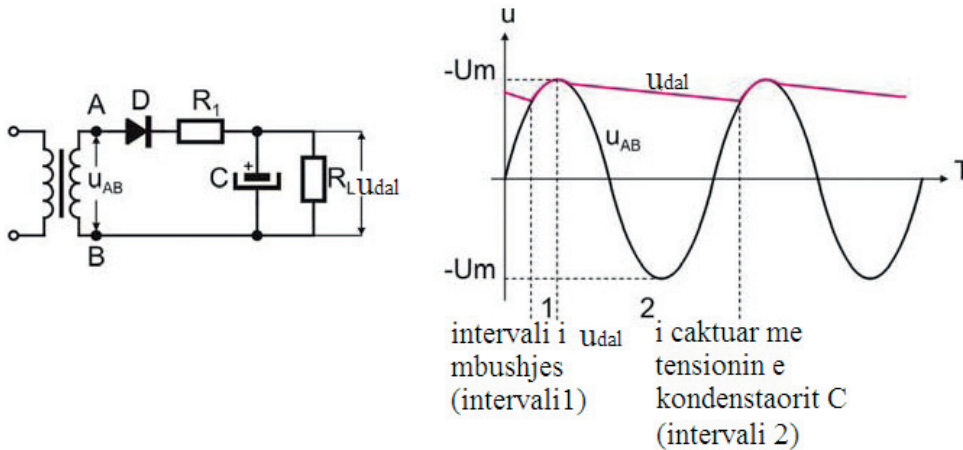


Figura 6.6: Drejtues gjysmëvalor me filtër kapacitiv.

Gjatë kohës së gjysmëperiodës pozitive të tensioni U_{AB} , dioda përçon dhe e mbush kondensatorin në vlerën përafërsisht të barabartë me U_m (intervali 1 në grafikun). Rezistenca R_1 është me vlerë relative të vogël dhe ka detyrë ta mbrojë diodën nga rryma më të mëdha të cilat rrjedhin në momentin e kyçjes, sepse në atë moment kondensatori është i zbrazët dhe paraqet lidhje të shkurtër. Në analizën e mëtejshme ai nuk do të merret parasysh.

Nga momenti kur kondensatori C është i ngarkuar deri në vlerën e tensioni U_m , ai e mban tensionin e daljes të lartë deri në gjysmëperiodën tjetër pozitive dhe ciklin e ardhshëm të ngarkimit. Kur tensioni U_{AB} do të bie nën vlerën e tensionit të kondensatorit, dioda bëhet me polarizim invers dhe shkyçet nga qarku deri në ciklin e ardhshëm, ku tensioni U_{AB} përsëri do ta tejkalojë tensionin e kondensatorit. Në këtë periodë, rrymën nëpër ngarkesë e jep kondensatori dhe ai, për shkak të vlerës së fundme të rezistencës së R_L , ngadalë shkarkohet. Tensioni i kondensatorit ngadalë bie në mes të dy cikleve të ngarkimit (intervali 2 në grafikun). Zbrazja ndodh praktikisht në një vijë të drejtë, ndërsa shpejtësia e zbrazjes është e përcaktuar me konstantën kohore τ :

$$\tau = R_L C . \dots\dots\dots(6.4)$$

Koeficienti valor i drejtuesit gjysmëvalor me filtër kapacitiv llogaritet sipas:

$$FB = \frac{0,0058}{CR_L} . \dots\dots\dots(6.5)$$

Për të marrë një koeficient valor më të madh, është e nevojshme që të zmadhohet kapaciteti i C. Por, edhe këtu ekzistojnë kufizime, pasi që rritet rryma e ngarkimit të kondensatorit dhe mundësia e djegies së diodës është më e madhe.

Për filtrin kapacitiv tek drejtuesit e valës së plotë vlen e njëjta analizë me atë që intervali 2 është më i shkurtër dy herë dhe koeficienti valor është më e mirë në krahasim me atë tek drejtuesi pa filtër.

MBAJ MEND!!!

- Furnizimi i pajisjeve elektronike mund të bëhet nga bateritë dhe akumulatorët, nga rrjeti i tensionit alternativ me transformator dhe nga rrjeti me sistem komutimi;
- Drejtimi gjysmëvalor bëhet me një diodë drejtuese;
- Drejtimi i valës së plotë bëhet me dy ose katër dioda drejtuese në lidhjen e Grecit;
- Me drejtimin e valës së plotë fitohet shfrytëzim më i mirë i transformatorit dhe koeficient valor më i vogël;
- Me zbatimin e filtrit kapacitiv për drejtim përmirësohet karakteristika valore, zvogëlohet prania e komponentëve alternative të tensionit në dalje të drejtuesit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çfarë lloje të burimeve të furnizimit (ushqimit) ekzistojnë?
2. Cila janë funksionet kryesore të pajisjeve për furnizim nga rrjeti me tension alternativ?
3. Cila është detyra e transformatorit të rrjetit?
4. Vizato drejtues gjysmëvalor dhe sqaro parimin e punës së tij.
5. Defino termin „ koeficient valore (të pulsimit)„.
6. Sa është vlera e koeficientit valor tek drejtuesi gjysmëvalor, e sa tek ai i valës së plotë.
7. Vizato lidhjen e Grecit dhe shpjegoje se si funksionon.
8. Cila është përparësia e drejtuesit të valës së plotë me katër dioda në krahasim me drejtuesin e valës së plotë me dy dioda?
9. Cili është funksioni i filtrit kapacitiv për drejtuesin?

6.2. Stabilizimi dhe rregullimi i tensionit

Pajisje e furnizimit (ushqimit), e përbërë nga transformator, drejtuesi dhe filtri paraqesin burim jostabil të furnizimit.

Pajisja ideale për furnizim mund të ketë rezistencë të brendshme zero (burimi ideal i tensionit), ose rezistencë pafundësisht të madhe të brendshëm (burim ideal i rrymës). Në burimin ideal të furnizimit tensioni i daljes ose rryma e daljes nuk varen nga rezistenca e ngarkesës.

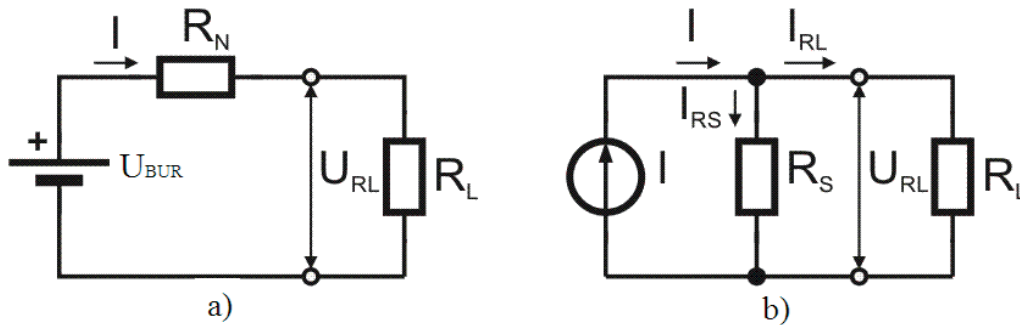


Figura 6.7: Burim ideal furnizimi i tensionit dhe rrymës.

Pajisja reale e furnizimit ka vlerë të fundme të rezistencës së brendshme dhe ai mund të përfaqësohet me një burim tensioni ideal dhe me rezistencën e brendshme R_N (figura 6.7a).

Nëse në ngarkesë rrjedh rryma I , tensioni i ngarkesës do të jetë:

$$U_{R_L} = U_{BUR} - R_N I . \dots\dots\dots(6.6)$$

Çdo ndryshim në rezistencën e ngarkesës R_L do të shkaktojë një ndryshim në rrymën I , e me të edhe të tensionit të ngarkesës U_{R_L} . Në rastin e fundit në lidhjen e shkurtër të daljes, rryma I e fiton vlerën maksimale, çka mund të shkaktojë dëmtim të ndonjërit element të pajisjes së furnizimit.

Nëse pajisjen reale për furnizim e paraqesim me një burim rryme ideal, i cili jep rrymë konstante dhe rezistencë të brendshme të lidhur në paralel R_S , e fitojmë qarkun e paraqitur në figurën 6.7b.

Si do që të jetë ndryshimi i rezistencës së ngarkesës, ndryshon rrymën I_{R_L} për llogari të rrymës I_{R_S} sipas shprehjes:

$$I = I_{R_S} + I_{R_L} . \dots\dots\dots(6.7)$$

Burimet e rrymës për furnizim hasen më rrallë në praktikë.

Kjo tregon se tek burimi real për furnizim tensioni i daljes ose rryma e daljes ndryshojnë me ndryshimin e rezistencës së ngarkesës.

Siç u tha, pothuajse çdo qark elektrik kërkon tension konstant të furnizimit. Kjo do të thotë se në dalje të burimit të pa-stabilizuar për furnizim duhet të vendoset qark për stabilizimin dhe të fitohet burim i stabilizuar për furnizim.

6.2.1. Stabilizimi i tensionit me diodë zener

Stabilizatori më i thjeshtë i tensionit përdor diodë zener, si element i cili në karakteristikën në zonën e ngopjes ka vetinë që në skajet të mbaj tension konstant. Mënyra e lidhjes së saj është dhënë në figurën 6.8.

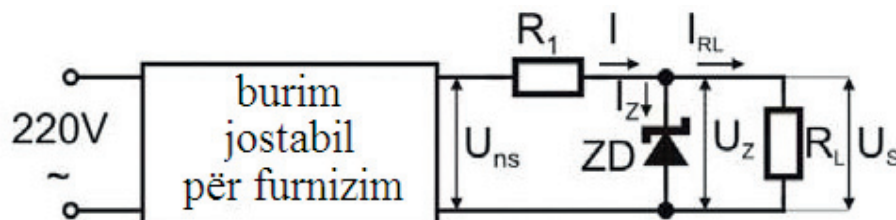


Figura 6.8: Stabilizator i tensionit me diodë zener.

Në figurë kemi burim jostabil të furnizimit, stabilizator të tensionit, të ndërtuar me rezistencën R_1 dhe diodën zener ZD dhe rezistencë të ngarkesës R_L . Tensioni i pa stabilizuar U_{ns} duhet të jetë më i madh se tensioni i stabilizimit të diodës zener U_z . Nëpërmjet rezistencës R_1 do të rrjedh rryma I , kurse nëpër diodën zener rryma I_z , me çka

$$I = I_z + I_{R_L}, \dots\dots\dots(6.8)$$

kurse tensioni i stabilizuar është:

$$U_S = R_L I_{R_L}, \dots\dots\dots(6.9)$$

Deri në ndryshimin e tensionit U_s mund të ndodhë me ndryshimin e tensionit të pa stabilizuar U_{ns} ose për shkak të ndryshimit të rrymës I_{R_L} , të shkaktuar me ndryshimin e rezistencës së ngarkesës R_L .

Nëse vjen deri tek rritja e tensionit të pa stabilizuar U_{ns} , do të rritet rryma I e rezistencës R_1 . Tash vjen në shprehje veprimi i diodës zener, ashtu që do të rritet rryma e saj I_z , kurse rryma I_{R_L} dhe tensioni U_s ngelin të pandryshuar. Në rastin e zvogëlimit të tensionit të pa stabilizuar, procesi rrjedh në drejtimin e kundërt, ashtu që zvogëlohet rryma e diodës zener.

Kur vjen deri te ndryshimi i rezistencës së ngarkesës R_L , tentimi për ndryshimin e rrymës I_{R_L} kompensohet me ndryshimin e rrymës së diodës zener I_z . Nëse zvogëlohet R_L , zvogëlohet rryma I_z , që rryma I_{R_L} të mbetet e pandryshuar dhe anasjelltas. Në të dy shembujt tensioni U_s ngelet i pandryshuar, gjegjësisht ai është stabilizuar.

Përdorimi i këtij stabilizatori është i kufizuar me rrymën e lejueshme të diodës zener, kurse zakonisht për rrymë prej disa mA jep rezultate të mira. Për sa i takon tensionit, diodat zener me të njëjtin intensitet të rrymës lejuar mund të lidhen në seri dhe me kombinim të duhur të fitohet tensioni i kërkuar.

6.2.2. Stabilizatori serik i tensionit me transistor

Në stabilizatorin me diodë zener gjithmonë ka një rënie të tensionit të rezistencës R_1 dhe fuqi e cila shndërrohet në nxehtësi. Kufizimet e rrymës mund të shmangen duke përdorur një element aktiv – transistor, në seri me ngarkesën. Qarku i një stabilizatori të tillë është dhënë në **figurën 6.9**.

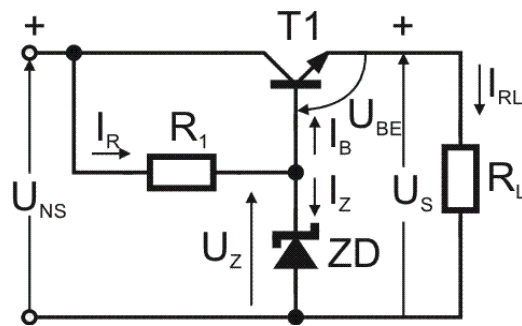


Figura 6.9: Stabilizator serik i tensionit me transistor.

Qark është i përbërë nga një stabilizator i tensionit me diodë zener, e cila tërheq rrymë prej disa dhjetëra miliamperësh dhe me të cilin stabilizohet tensioni i bazës së transistorit T1. Transistori punon si një përforcues në lidhje me kolektor të përbashkët ose ndjekës emiterial dhe mund të përçojë rrymë edhe deri në disa amper. Me rrymën I_B , transistori mbahet në gjendjen e përçueshmërisë dhe siguron rrymën I_{RL} për ngarkesën. Tensioni U_Z dhe tensioni i lidhjes së emiterit të transistorit U_{BE} janë konstant, kështu që për tensionin e daljes U_S mund të shkruhet:

$$U_S = U_Z - U_{BE}, \dots\dots\dots(6.10)$$

edhe ai është konstant. Efekti i stabilizimit mund të analizohet për ndryshimin e rezistencës së ngarkesës dhe për ndryshimin e tensionit të pa stabilizuar.

Nëse zvogëlohet rezistenca e ngarkesës R_L , do të rritet rryma e bazës I_B , e cila rrjedh përmes kësaj rezistence dhe do të shkaktojë ndryshim për $(1+\beta)$ herë të rrymës së kolektorit. Thjesht thënë: edhe një konsumator i lidhur në paralel kërkon rrymë më të madhe nga stabilizatori dhe e fiton në mënyrën e përshkruar automatikisht. Në rast të zmadhimit të rezistencës së ngarkesës (lidhje edhe të një konsumatori), zvogëlohet rryma e bazës, gjegjësisht e kolektorit dhe fitohet i njëjti tension i stabilizuar si edhe para saj.

Nëse zvogëlohet tensioni i pa stabilizuar U_{NS} , me veprimin e stabilizatorit zener rryma I_B mbetet e pandryshuar, me çka fitohet rrymë e kolektorit më e vogël dhe tension U_{CE} më i vogël në sasi të barabartë me atë që është zvogëluar tensioni i pa stabilizuar U_{NS} . Pasi që :

$$U_S = U_{RL} = U_{ns} - U_{CE}, \dots\dots\dots(6.11)$$

tensioni i daljes U_{RL} mbetet i pandryshuar. Për tension të madh U_{ns} , veprimi është i njëjtë, vetëm me drejtim të kundërt. Transistori serik në këtë stabilizues ka kushte më të rënda pune kur nuk ka ngarkesë, kur është i ekspozuar në tension maksimal dhe në rryma të mëdha të ngarkesës, kur ka disipacion të madh. Në këtë rast zbatohen masa për ftohje shtesë me ndërtimin e ftohësve në shtëpizën e transistorit.

Për stabilizator me rrymë më të madhe të transistorit serik përdoret lidhja e Darlingtonit, siç tregohet në **figurën 6.10**. Pa lidhjen e ngarkesës, rrjedh vetëm rryma e diodës zener.

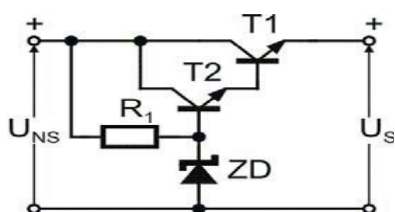


Figura 6.10: Stabilizator tensioni me lidhje të Darlingtonit

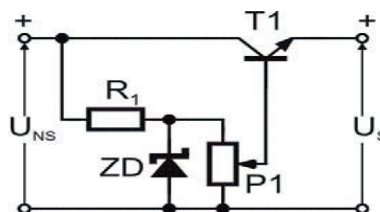


Figura 6.11: Stabilizator me rregullim të tensionit të daljes

Duke lidhur potenciometër paralelisht me diodën zener, si në figurën 6.11, mund të fitohet tension i stabilizuar me rregullim.

6.2.3. Stabilizator serik i tensionit me lidhje të kundërt

Mangësi e stabilizatorit të përshkruar më parë është se qarku i stabilizatorit nuk ka asnjë lloj informacioni kthyes për atë si është realizuar stabilizimi. Një informacion i tillë mund të realizohet me qarkun e lidhjes së kundërt, si në **figurën 6.12**.

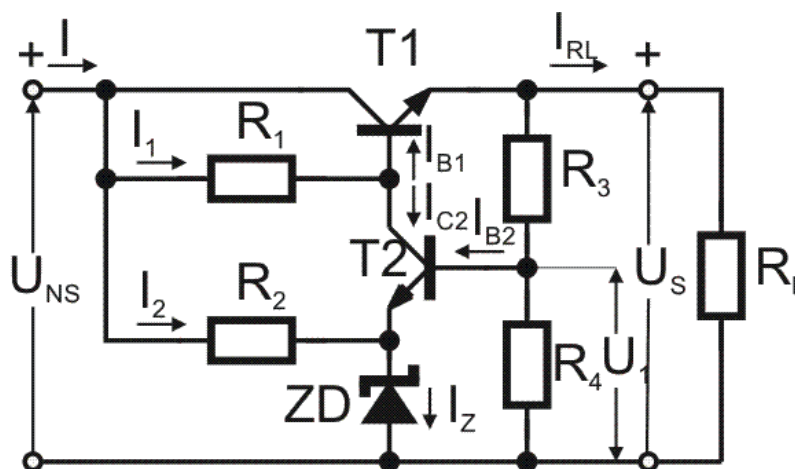


Figura 6.12: Stabilizatori i tensionit me lidhje të kundërt.

Me ndarësin e tensionit R3 - R4 fitohet e dhëna për madhësinë e tensionit të daljes dhe nuk bartet në bazën e transistorit T2. Emiteri i T2 mbahet në tension fiks dhe të stabilizuar, të fituar me diodën zener. Si do që të jetë, ndryshimi i tensionit të stabilizuar U_s shkakton ndryshim të tensionit U_1 . Një ndryshim i tillë quhet tension i gabimit dhe bartet në hyrjen e transistorit T2, i cili punon si përforcues i tensionit të vazhduar. Tensioni i gabimit i përforcuar në hyrje të stadi për rregullim të stabilitetit vjen në bazën e transistorit serik dhe e ndryshon rrymën e tij, në pajtim me tensionin e gabimit. Kjo do të thotë, nëse gabimi është në drejtimin negativ (zvogëlim i tensionit U_s) zvogëlohet rryma I_{C2} , zvogëlohet rënia e tensionit të rezistencës R1, tensioni në pikën B, gjegjësisht tensioni i bazës së T1 rritet, e me të edhe rryma e transistorit serik, me çka kompensohet zvogëlimi i tensionit U_s . E njëjta gjë vlen edhe për gabimin në drejtimin pozitiv, kur vjen deri te zvogëlimi i rrymës së transistorit serik dhe kthimin e tensionit të stabilizuar në vlerën e mëparshme.

Ky lloj i stabilizatorit quhet stabilizator kompensues i tensionit të vazhduar. Në praktikë ky qark jep përmirësim në stabilizimit deri edhe në 10 herë më të madh se qarku i mëparshëm.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilat janë elementet përbërëse të burimit të pa stabilizuar të furnizimit?
2. Çfarë ndodh me tensionin e daljes dhe rrymën e daljes te burimi real i furnizimit?
3. Pse përdoret dioda zener në stabilizatorët e tensionit?
4. Cila është përparësia e stabilizatorit të tensionit me transistor në krahasim me stabilizatorin e tensionit me diodë zener?
5. Cila është mangësia e stabilizatorit të tensionit me transistor që është tejkaluar me stabilizatorin serik të tensionit me lidhje të kundërt?
6. Cili stabilizator quhet stabilizator kompensues i tensionit të vazhduar?

6.3. Stabilizatorët linear të integruar të tensionit

Stabilizatorët linear të integruar të tensionit përmbajnë rregullator serik të rrymës dalëse dhe qark kontrollues me të cilin vëzhgohet tensioni i daljes dhe kontrollohet me rregullatorin serik që të mbaj tensionin e daljes në vlerën e kërkuar.

Skema e thjeshtuar e një stabilizator të integruar të tensionit është dhënë në **figurën 6.13**.

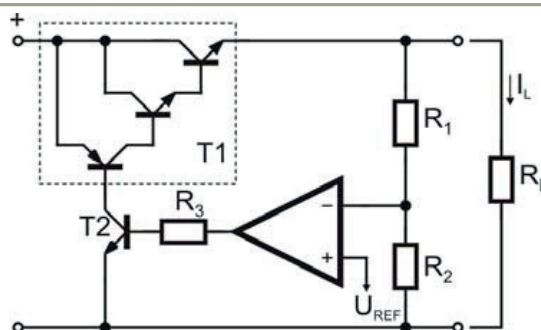


Figura 6.13: Skema e thjeshtuar e stabilizatorit të integruar të tensionit.

Tensioni i daljes kontrollohet nga një hyje e lidhjes së kundërt me stad të caktuar të kompensimit, që të sigurohet stabilitet i njëjës (të mos paraqiten vet-oshilime). Shumica e stabilizatorëve linear kanë të ndërtuar kompensim dhe janë plotësisht të stabilizuar pa zbatimin e komponentëve të jashtme. Kompensimi zakonisht bëhet me kapacitet të lidhur në skajin dalës kah masa.

Me T1 dhe lidhjet e ndërprera është treguar rregullatori serik, i përbërë nga dy transistor-NPN në lidhjen e darlingtonit, i eksituar në transistor PNP. Rryma në rregullatorin serik, e cila del nga emiteri i transistorit në lidhjen e darlingtonit të transistorit, komandohet nga transistori T2 dhe me përforcuesin e tensionit të gabimit. Rryma e ndarësit të tensionit R1-R2 është shumë më e vogël se rryma e ngarkesës I_{RL} .

Nyja e lidhjes së kundërt, e cila komandon me lidhjen e kundërt, fillon me ndarësin e tensionit R1-R2, i cili duhet ta „lexojë„ tensionin e daljes. Tensioni i „lexuar„ bartet në hyrjen invertuese të përforcuesit të tensionit të gabimit. Hyrja joinvertuese është e lidhur në tensionin referent, që do të thotë se përforcuesi i tensionit të gabimit vazhdimisht e përshtat daljen e tij (rrymën nëpër T1) që ti bëjë tensionet e hyrjeve të tij të jenë të barabartë. Në këtë mënyrë, me veprimin e njëjës së lidhjes së kundërt mbahet tensioni i daljes në vlerë fikse, pa marrë parasysh ndryshimet e rrymave të ngarkesës.

Stabilizatori linear i integruar i tensionit pakëtohet në shtëpizë me tre dalje, kurse mënyra e lidhje së është dhënë në **figurën 6.14**.

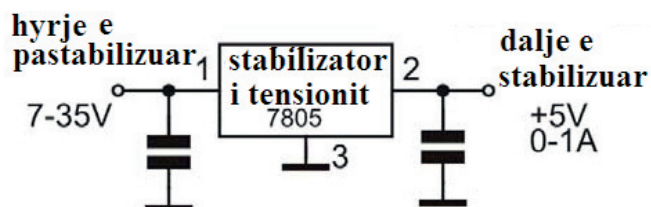


Figura 6.14: Lidhja e stabilizatorit të integruar të tensionit.

Në figurë është treguar një stabilizator konkret për +5V, i cili bie në familjen e stabilizatorëve 78xx për tension pozitiv dhe 79xx për tension negativ (nën shenjën xx futen vlerat e tensionit të stabilizuar për të cilin është destinuar stabilizatori, si për shembull, 05).

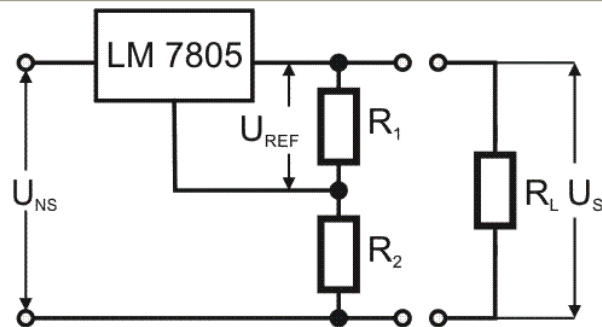


Figura 6.15: Stabilizatori i tensionit me ndarës tensioni.

Në figurën 6.15 është dhënë skema si lidhet stabilizatori i tensionit që të merret vlera e tensionit të daljes, e cila nuk është në vlerat standarde të prodhuesve. Me një ndarës të jashtëm tensioni R_1 , R_2 përcaktohet vlera e tensionit të daljes si:

$$U_S = \frac{U_{REF}(R_1 + R_2)}{R_1} \dots\dots\dots(6.12)$$

Nga të dhënat, e cekura në figurën 6.15, shihet se në vet stabilizatorin (në rregullatorin serik të tij) ekziston rënie e caktuar e tensionit, e caktuar si rënie mes tensionit të hyrjes të pa stabilizuar dhe tensionit të daljes të stabilizuar. Ekziston një vlerë minimale në këtë rënie të tensionit, nën të cilën rregullatori nuk mund të kryejë funksionin e stabilizimit dhe të rregullimit.

Vlera e rënies minimale të tensionit varet nga konfiguracioni i rregullatorit serik në stabilizator, kështu që sipas saj dallojmë:

- stabilizator standard (me transistorë në lidhjen e Darlingtonit si rregullator serik) dhe
- stabilizator baterie (me një transistor-PNP për rregullator serik).

Për stabilizatorin standard, rënia minimale e tensionit është 2,5 V - 3V, që do të thotë se për stabilizator për +5V, tensioni i hyrjes duhet të jetë më i madh se +8V. Sa më i madh të jetë rënia e tensionit, më e madhe është disipacioni i brendshëm në stabilizator, gjë që kërkon masa shtesë për të ftohur trupin e stabilizatorit. Stabilizatori standard është më i mirë për përdorim me burime furnizimi të rjetave.

Stabilizatori i baterive ka një rënie më të ulët të tensionit me një vlerë minimale prej 0,7V deri në 0,8V dhe ai varet drejtpërdrejtë nga rryma e ngarkesës. Për vlera të vogla të rrymës mund të arrij deri në 50mV. Përdoren zakonisht për mbushjen e baterive.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si shënohet familja e stabilizatorëve të integruar të tensionit për tension pozitiv, dhe si për tension negativ?
2. Çka paraqesin dy shifrat e fundit në etiketë?
3. Cili stabilizator përdor transistor darlingtoni si rregullator serik?
4. Cili transistor përdor një transistor-PNP për rregullator serik?

6.4. Stabilizatori i rrymës

Stabilizatori i rrymës paraqet burim të rrymës konstante nëpër ngarkesë edhe gjatë ndryshimit të rezistencës së saj. Rregullimi është i mundur për ndryshimin e rezistencës së ngarkesës brenda kufijve të caktuar.

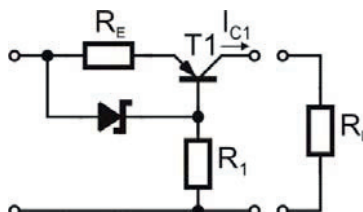


Figura 6.16: Burim i rrymës konstante
- qarku i stabilizimit të rrymës.

Qarku i thjeshtë i stabilizatorit të rrymës është dhënë në **figurën 6.16**. Me ndihmën e diodës zener dhe rezistencës në qarkun e emiterit mbahet rryma konstante në kolektorin e transistorit. Rryma e emiterit ndahet në dy komponentë: rryma e kolektorit dhe rryma e bazës. Nëse me ndryshimin e rezistencës së ngarkesës vjen deri te rritja e rrymës së kolektorit, rritet edhe rënia e tensionit në rezistencën e emiterit dhe deri te zvogëlimi i tensionit bazë-emiter, sepse tensioni i bazës mbahet në nivel konstant me diodën zener. Me zvogëlim të tensionit U_{BE} zvogëlohet edhe rryma e bazës, e cila, megjithatë, e zvogëlon rrymën e kolektorit dhe e kthen në vlerën paraprake.

Ky princip i stabilizimit të rrymës gjerësisht përdoret në qarqet e integruara, ku është i nevojshëm burim i rrymës me impedancë të lartë.

Rregullatori i rrymës me zbatim të qarkut të integruar në stabilizimin e tensionit është treguar në **figurën 6.17**.

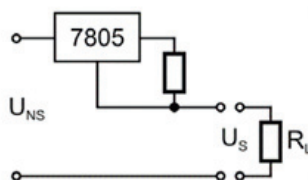


Figura 6.17: Rregullator i rrymës me stabilizator
të integruar të tensionit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Sqaro procesin e stabilizimit të stabilizatorit të rrymës.
2. Ku përdoret stabilizimi i rrymës?

6.5. Stabilizatori i tensionit me kufizim të rrymës

Nëse vendoset, nga çfarëdo lloj arsye, dalja e stabilizatorit të tensionit në lidhje të kundërt, nëpër transistorin serik do të rrjedh rrymë e madhe e cila mund ta shkatërrojë transistorin. Në këtë rast, është e nevojshme që të kufizohet rryma e ngarkesës në vlerë paraprakisht të përcaktuar, të cilën transistori serik do të mund ta përballoj pa u dëmtuar.

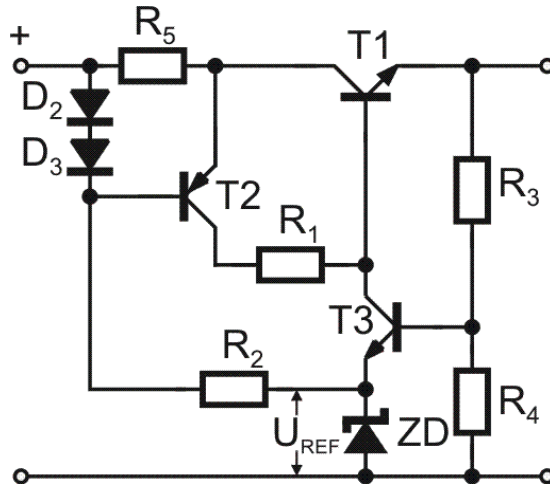


Figura 6,18: Stabilizatori i tensionit me kufizim të rrymës.

Në **figurën 6.18** është treguar skema elektrike e stabilizatorit të tensionit në të cilën janë shtuar elemente për kufizimin e rrymës. Me diodat D2 dhe D3 fitohet tension stabil prej 1,4V për bazën e T1, që ky stad të punoj si kufizues i rrymës. Në qoftë se rryma e ngarkesës rritet aq sa rënia e tensionit në R5 të bëhet më e madhe se 0,7V, fillon çarku për kufizim. Vlera e rezistencës e R5 është $0,7\Omega$ për kufizimin e rrymës prej 1A, $0,35\Omega$ për rrymën prej 2A e kështu me radhë.

Në **figurën 6.19** tregohet përdorimi i përforcuesit operacional si stabilizator i tensionit, bashkë me çarkun për kufizimin e rrymës.

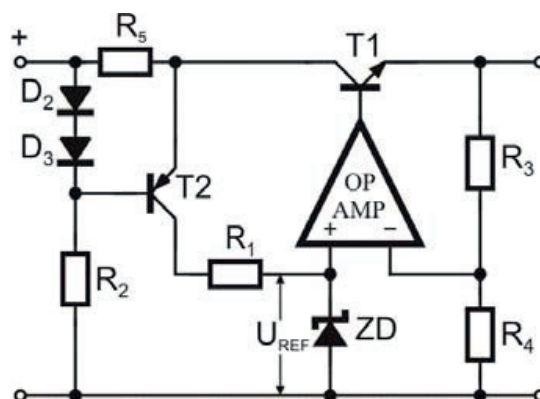


Figura 6.19: Stabilizator i tensionit me përforcues operacional.

6.6. Stabilizatori i saktë me përforcues operacional

Dioda zener si stabilizator nuk e jep plotësisht tensionin e stabilizuar në dalje, me ndryshimin e rrymës ndryshon edhe tensioni në lidhjet dalje të qarkut për stabilizim. Me kombinimin e diodës zener dhe përforcuesit operacional (figura 6.20) fitohet burim i tensioni shumë më stabil.

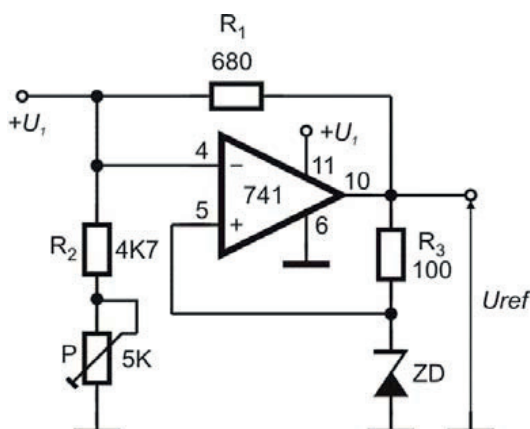


Figura 6:20: Stabilizator i saktë i tensionit me përforcues operacional.

Kusht themelor është që tensioni në hyrje të qarkut të jetë për 5V më i madh nga tensioni i stabilizuar i daljes është:

$$U_1 = U_{ref} + 5 \text{ V.}$$

Tensionin në dalje është pak më i madh se tensioni nominal i diodës zener dhe mund të bëhet rregullim i saktë i tensionit të daljes me potenciometrin P në kufijtë prej 0,5 deri në 1 V. Kështu, për shembull, për diodën zener me një tension nominal prej 5,6 V në dalje mund të fitohet tension prej 6V.

Tensionin në hyrje mund të sillet deri në 30V, me kusht që për 5V të jetë më i madh se ai dalës, kurse rryma maksimale që e jep ky burim i tensionit është 20 mA.

6.7. Drejtues i saktë i valës së plotë me përforcues operacional

Drejtues i saktë i valës së plotë është dhënë në figurën 6.21.

Përforcuesi operacional A1 me diodat D1 dhe D2 paraqet drejtues të saktë të valës së plotë, kurse përforcuesi operacional A2 mbledhës të tensioneve u_{hyr} dhe u_a . Kur tensioni i hyrjes është pozitiv, tensioni i daljes së drejtuesit është $u_a = u_{dal}$. Tensionin e daljes nga mbledhësi A2 është:

$$u_{dal} = -u_{hyr} - 2u_a = -u_{hyr} + 2u_{hyr} = u_{hyr}.$$

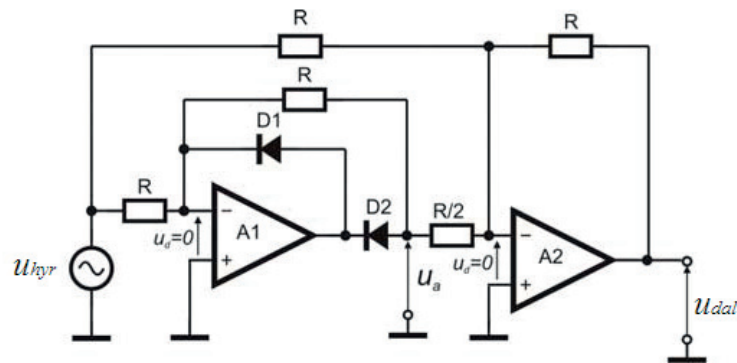


Figura 6.21: Drejtuesi i saktë i valës së plotë me përforcues operacional.

Derisa tensioni i hyrjes u_{hyr} është negativ, dalja e drejtuesit të saktë të valës së plotë $u_{\text{dal}}=0$. Tash tensioni i daljes nga mbledhësi A2 është:

$$u_{\text{dal}} = -u_{\text{hyr}}.$$

Pasi që tensioni i hyrjes është negativ, tensioni i daljes është pozitiv.

Me këtë tregohet se tensioni i daljes është vlerë absolute e tensionit të hyrjes, ose

$$u_{\text{dal}} = |u_{\text{hyr}}|.$$

MBAJ MEND!!!

- Pajisja për furnizim (ushqim), e përbërë nga transformatori, drejtuesi, filtri dhe stabilizatori paraqet burim të stabilizuar të ushqimit.
- Me ndryshimin e rezistencës së ngarkesës ndryshohet tensioni i daljes ose rryma e daljes së drejtuesit.
- Stabilizatori i tensionit bëhet me diodë zener me transistor të lidhur në seri dhe me stabilizator linear të tensionit.
- Stabilizator i rrymës është burim i rrymës konstante e cila nuk ndryshohet me ndryshimin e ngarkesës.

KONTROLLO NËS DIN

1. Çka ndodh nëse dalja e stabilizatorit të tensionit është në lidhje të shkurtër dhe çka duhet të kufizohet?
2. Vizatoni një stabilizator të tensionit me qark për kufizimin e rrymës i cili përmban përforcues operacional.

VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim

(Rretho përgjigjet e sakta)

1. Në dalje të stabilizatorit të integruar të tensionit me shenjë 7905 fitohet tension i stabilizuar me vlerë:
 - a) 79V
 - b) 5V
 - c) 7905V.
2. Në dalje të stabilizatorit të integruar të tensionit me shenjë 78xx fitohet:
 - a) tension pozitiv
 - b) tension negativ
 - c) tension alternativ.

II Pyetje me lidhshmëri

3. Lidh drejtuesin me madhësinë e faktorit valor :
 1. Drejtues gjysmëvalor _____ a) 1,21
 2. Drejtues i valës së plotë me dy dioda _____ b) 0,48
 3. Lidhja e Grecit _____
 4. Lidhu sipas renditjes stadet nga bllok skema e burimit të furnizimit:
 1. Stadi I a) Filtër _____
 2. Stadi II b) Drejtues _____
 3. Stadi III c) Stabilizator tensioni _____
 5. Lidh burimet ideale me madhësinë e rezistencave të tyre të brendshme:
 1. Burim rryme ideal a) Zero _____
 2. Burim tensioni ideal b) Pafundësisht e madhe _____
-

III Pyetje me plotësimin

6. Për stabilizimin e tensionit përdoret dioda zener në zonën e _____.
7. Transformatori i rjetës në burimet e furnizimit përveç rolit të transformimit të tensionit kanë edhe rolin e _____.
8. Pajisje për furnizim, e përbërë nga transformatori, drejtuesi dhe filtri paraqet _____.

Hulumto dhe mëso më tepër:



- Ndërto drejtues gjysmëvalor dhe të valës së plotë në paketën programore electronic workbench dhe të oshiloskopit, krahaso tensionin e daljes me të hyrjes.
 - Hulumto në internet për drejtuesit dhe në bazë të hulumtimit përpuno projekt.
 - Ndërto burim të stabilizuar të tensionit në paketën programore electronic workbench dhe të oshiloskopit, krahaso tensionin dalës të fituar nga burimi i pa stabilizuar i tensionit.
-

TIRISTORËT

Njohuri themelore për tiristorët do të fitosh duke studiuar përmbajtjet e kësaj teme nga elektronika dhe do të mund:

- **Të përshkruash mënyrën e punës së tiristorëve;**
- **Të njohësh karakteristikat themelore të tiristorëve;**
- **Të dallosh ndarjen e tiristorëve;**
- **Të njohësh zbatimin praktik të tiristorëve.**

Tiristorët janë një grup elementesh me konfiguracion prej katër ose më shumë materialeve gjysmëpërçuese, të renditur ashtu që të krijojnë së paku tre kalime PN dhe kanë më së paku dy dalje (figura 7.1). Njëri nga tjetri, tiristorët dallohen sipas numrit të daljeve, drejtimit të përçueshmërisë dhe formës së karakteristikave statike.

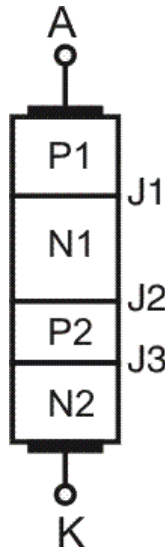


Figura 7.1: Konfiguracioni bazë i tiristorit.

7.1. Dinistori

Elementi me strukturë si në **figurën 7.1** është quajtur dinistor ose diodë Shokli. Daljet e sajë janë të shënuara me A-anoda dhe K-katoda.

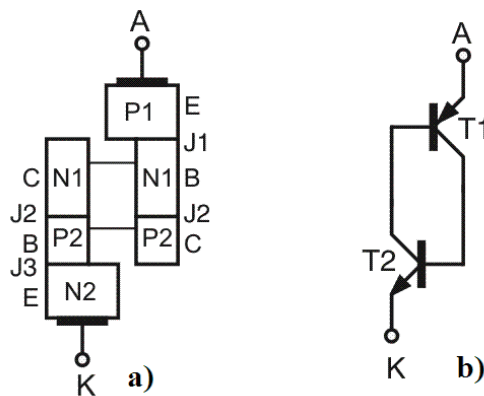


Figura 7.2: Struktura e skemës ekuivalente të dinistorit.

Kjo strukturë mund të shfaqet edhe në një mënyrë tjetër, e ndarë në dy struktura PNP dhe NPN, si në **figurën 7.2**. Shtresat gjysmëpërçuese nuk janë të të njëjtës gjerësi dhe përqendrim të primesave. Gjerësi më të madhe ka shtresa N1, kurse përqendrim më të madh të primesave kanë shtresat në skaje P1 dhe N2.

7.2. Tiristori

Më shtimin edhe të një dalje, të lidhur në shtresën e mesme-P në strukturën nga figura 7.1, fitohet elementi tiristor me tre dalje, i njohur si SCR (Silicon Controlled Rectifier- radrizator)-drejtues silici i komandueshëm ose thjesht tiristor, siç haset zakonisht në praktikë. Lidhjet e tij janë të shënuara si A-anoda, K-katoda dhe G –Gejt ose porta (**figura 7.3**). Anoda dhe katoda kanë të njëjtin rol si edhe te dinistori, kurse gejt ka rolin e elektrodës komanduese për kyçje të tiristorit.

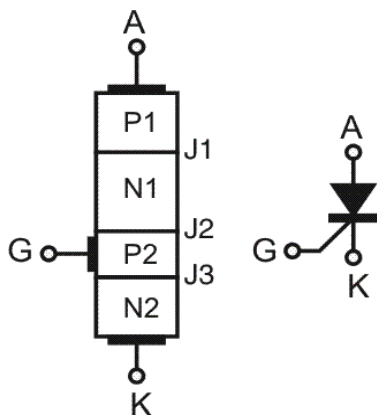


Figura 7.3: Struktura dhe simboli elektrike i tiristorit.

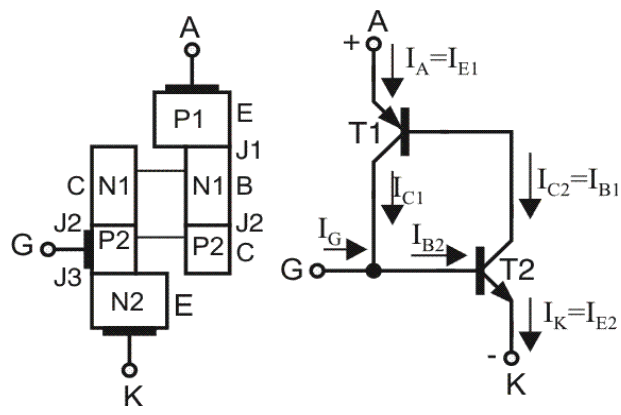


Figura 7.4: Skema ekuivalente e tiristorit.

Për analizën e punës së tiristorit do të shërbehemi, me skemën ekuivalente me dy tranzistorë (**figura 7.4**).

Kur qarku i gejtit është i hapur, tiristori sillet njëlloj sikur dinistori.

Të shohim se çfarë është ndikimi i gejtit kur tiristori është në gjendjen e jopërçueshmërisë direkte. Nëse mundësohet rrjedhje e rrymës në gejt, kjo rrymë do të zmadhoj edhe rrymën e bazës të tranzistorit të dytë I_{B2} dhe përmes shtegut të bashkimit pozitiv: I_{B2} e zmadhuar jep I_{B1} të zmadhuar, ajo jep I_{C1} të zmadhuar e kështu me radhë., rritet edhe rryma e anodës I_A dhe rënie e tensionit të tiristorit U_{AK} , deri në momentin kur ky tension nuk e arrin vlerën e tensionit të kyçjes, tiristori kthehet në gjendjen e përçueshmërisë direkte. Në këtë gjendje, në tiristor ka rënie të vogël të tensionit (rreth 1V) dhe nëpër tiristor rrjedh rrymë e madhe, e përcaktuar me tensionin e teristorit U_{AK} dhe rezistenca e ngarkesës e lidhur në qarkun e anodës.

Nga ky moment, qarku i gejtit nuk ka më asnjë lloj ndikimi në rrymën e tiristorit. Rryma e gejtit mund të ndërpritet, kurse rryma nëpër tiristor vazhdon të rrjedh. Kjo do të thotë se rryma e gejtit ka rolin vetëm të shtyj procesin e reaksionit pozitiv dhe përçueshmërinë e tiristorit dhe ajo mund të ketë karakter impulsiv. Tiristori mund të kyçet me impuls tensioni të shkurtë pozitiv.

Rryma e gejtit duhet të ketë vlerë të caktuar dhe kohëzgjatje që të mund të kyç tiristorin gjat një tensioni të caktuar U_{AK} . Me rritjen e rrymës të gejtit zvogëlohet tensioni i kyçjes së tiristorit U_{BO} , e kjo do të thotë se tiristori do të kyçet edhe në tension më të vogël se U_{AK} .

Shkyçja e tiristorit, ndodh vetëm kur rryma e tiristorit do të zvogëlohet nën vlerën e rrymës së mbajtjes I_H . Kjo do të thotë që duhet të ndalet qarku i rrymës së anodës, ose të zvogëlohet tensioni U_{AK} që rryma të bie nën vlerën I_H .

7.3. Karakteristikat statike të tiristorit

Tiristorët kanë dy qarqe të rrymave: qarkun e rrymës të **hyrjes** (komandues) dhe të **daljes** (kryesor), dhe sipas kësaj dy karakteristika rrymë-tension.

a) Karakteristikat statike dalëse

Këto karakteristika tregojnë varësinë e rrymës së anodës I_A nga tensionit mes anodës dhe katodës U_{AK} për vlera të ndryshme të rrymës së gejtit I_G (figura 7.5).

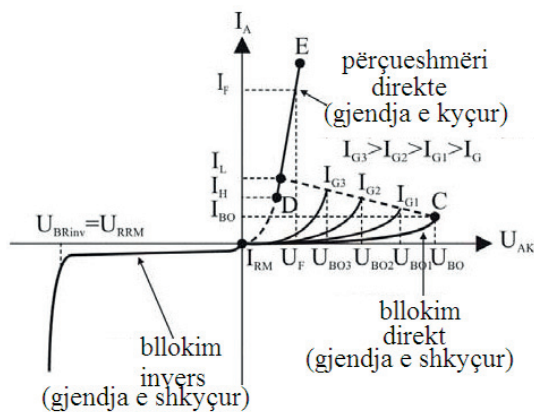


Figura 7.5: Karakteristikat statike e daljes e tiristorit

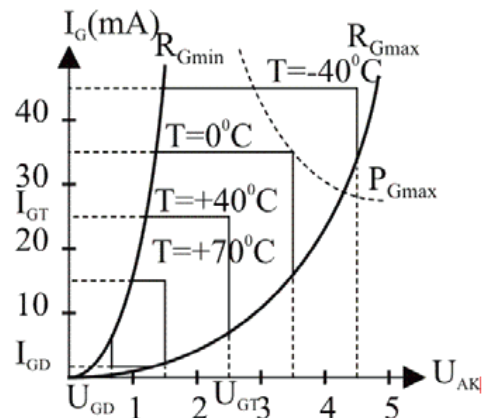


Figura 7.6: Karakteristika statike e hyrjes e tiristorit

b) Karakteristikat statike hyrëse

Këto karakteristika tregojnë varësinë e rrymës së gejtit nga tensioni mes gejtit dhe katodës U_{GK} . Kyçja e gejtit është e mundur vetëm nëse rryma e gejtit është pozitive, gjegjësisht kur qarku u hyrjes është i polarizuar pozitivisht.

Karakteristika e hyrjes ka të njëjtën formë si karakteristika e diodës së zakonshme. Por, të gjithë tiristorët e llojit të njëjtë nuk kanë karakteristika hyrëse të njëjtë, ekziston dallim i madh në karakteristikat e qarqeve hyrëse dhe për këtë ata tregohen si në figurën 7.6. Lakoret kufitare u përgjigjen shembujve me rezistencë minimale dhe maksimale të gejtit për llojin e dhënë të tiristorit.

MBAJ MEND!!!

- Tiristorët janë një grup i elementeve me konfiguracion prej katër ose më tepër kalimeve gjysmëpërçuese.
- Dinistori është element tiristorësh katërshtresor me tre kalime PN dhe me dy dalje (anodë dhe katodë).
- Tiristori ose drejtuesi i kontrollueshëm i silicit është element me tre dalje: anodë, katodë dhe gejt.
- Tiristori eksitohet me tension pozitiv në gejt.
- Tiristori mund të shkyçet nëse ndërpritet qarku i anodës, ose nëse zvogëlohet tensioni anodë-katodë nën vlerën e tensionit të kyçje së tiristorit.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Si fitohet struktura e tiristorit?
2. Si shkyçet tiristori?
3. Defino gjendjet e bllokimit direkt, përçueshmërisë direkte dhe bllokimit invers të tiristorit.
4. Si eksitohet tiristori?

7.4. Diaku

Me lidhjen paralele të dy dinistorëve, të vendosur në drejtime të kundërta, fitohet njëri prej elementeve të familjes së tiristorëve, i quajtur diak. Qarku ekuivalent (i barasvlershëm) dhe simboli elektrik i diakut është dhënë në figurën 7.7. I bërë në një pllakë silici, diaku paraqet element me strukturë pesë-shtresore NPNPN.

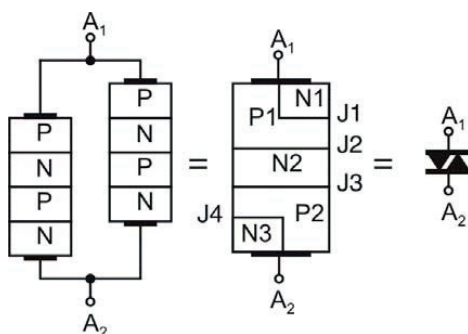


Figura 7.7: Struktura dhe simboli elektrik i diakut

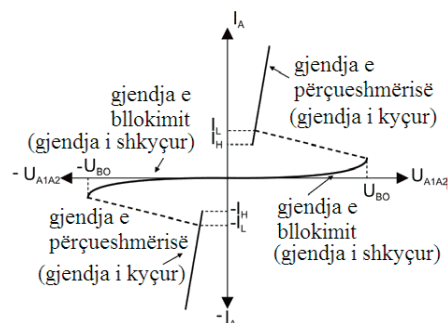


Figura 7.8: Karakteristika rrymë-tension e diakut

Kur është e lidhur në tension të vazhduar, diaku silllet si dinistor standard, ai do të përçojë në njërin drejtim nga skaji pozitiv drejt skajit negativ të tensionit të burimit. Nëse ndryshohen skajet e diakut, ai përsëri do të përçojë, që do të thotë se skajet e tij nuk sillen si anodë dhe katodë. Pasi që diaku përçon në të dy drejtimet skajet e tij shënohen me A1 dhe A2 ose me MT1 dhe MT2.

Si edhe të gjithë tiristorët, diaku do të fillojë të përçojë kur tensioni i skajeve të tij do të arrijë vlerën e tensionit të eksitimit. Sipas kësaj vlere ai dallohet nga diodat standarde, të cilat bëhen përçuese në vlerën e tensionit prej rreth 0,6V, kurse për diakun kjo vlerë është rreth 30-35V. Karakteristika rrymë-tension e diakut është dhënë në **figurën 7.8**.

Diaku rrallë përdoret i vetëm, zakonisht është i shoqëruar me elemente tjera tiristorësh.

7.5. Triaku

Me lidhje e dy tiristorëve në paralel, ngjashëm me lidhjen e dy dinistorëve, fitohet element i ri i tiristorëve, i njohur si triak. Triaku mund të definohet si tiristor dy drejtimesh i cili përçon në të dy drejtimet. Qarku i tij ekuivalent dhe simboli elektrik janë dhënë në **figurën 7.9**. Triaku përçon në të dy drejtimet dhe daljet e triakut janë të shënuara si anoda 1, anoda 2, dhe gejtji. Sinjali komandues i gejtjit mund të jetë edhe pozitiv edhe negativ në raport me A1. Po ashtu, edhe tensioni mes A1 dhe A2 mund të jetë pozitiv ose negativ.

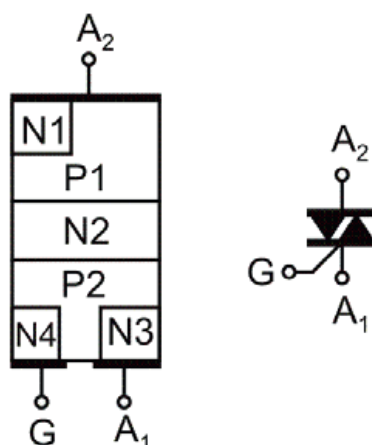


Figura 7.9: Struktura dhe simboli elektrik i triakut.

Edhe triaku silllet në gjendjen e përçueshmërisë nëse mundësohet rrjedhja e rrymës në gejt. Rryma e gejtjit mund të ketë drejtim të njëjtë ose të kundërt me rrymën kryesore. Rryma kryesore llogaritet për pozitive nëse rrjedh nga anoda 2 kah anoda 1, kurse negative nëse rrjedh nga anoda 1 kah anoda 2.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çka paraqet diaku?
2. Në çfarë dallohet diaku nga diodat standarde?
3. Si duket karakteristika rrymë-tension e diakut?
4. Si mund të definohet triaku?
5. Cili është dallimi në mes triakut dhe tiristorit?
6. Pse nuk mundet daljet anoda 1 dhe anoda 2 mes veti të zëvendësohen?

7.6. Zbatimi i tiristorëve

Funksioni kryesor i tiristorëve është që të komandojë me rrymën në dalje me intensitet të madh me ndihmën e rrymës së vogël në qarkun eksitues.

Rezistenca dhe rënia e vogël e tensionit, e me të edhe humbjet e vogla të fuqisë në gjendjen e përçueshmërisë dhe rezistenca e madhe dhe qëndrueshmëria në tensione të mëdha në gjendjen e jo-përçueshmërisë, i bëjnë tiristorët të përshtatshëm për përdorim si **komutues pakontakt në qarqet për rregullimin e rrymës dhe fuqisë**, veçanërisht për konsumatorët e mëdhenj.

Përveç për komutues, këta komponentë përdoren edhe **për rregullimin e vazhdueshëm të fuqisë elektrike, më shpesh si drejtues, inverter (për konvertimin e rrymës së vazhduar në rrymë alternative) ose konvertues frekuence për rregullim të vazhdueshëm të shpejtësisë së elektromotorëve.**

Sa për krahasim, lloje të caktuara të transistorëve mund të punojnë me fuqi mbi 500W, me rrymë më të madhe se 50A dhe tension më të madh 500V. Për dallim nga ata, tiristorët mund të punojnë me fuqi më të madhe se 250KW, me rrymë mbi 1000A dhe me tension mbi 2500V. Karakteristike është se fuqia eksituese për aktivizimin e transistorit është më e madhe nga ajo që është e nevojshme për tiristorin me të njëjtën fuqi dalëse. Disavantazh i tiristorëve është shpejtësia më e vogël e komutimit dhe për këtë arsye ata nuk mund të shfrytëzohen për komutim dhe rregullim të sinjaleve me frekuenca të larta.

Tiristorët kanë zbatim shumë të madh në elektronikën industriale dhe automatikë për kontrollimin e fuqisë së konsumatorëve të mëdhenj, siç janë elektromotorët, pajisjeve për ngrohje, reflektorëve elektrik, kurse në jetën e përditshme për rregullimin e intensitetit të ndriçimit në poqet elektrike, për rregullimin e shpejtësisë së motorëve elektrik në pajisje të ndryshme shtëpiake, për rregullimin dhe automatizimin e mbushjes së stacioneve akumuluese dhe shumë zbatime tjera.

Triaku përdoret për zbatime më të thjeshta me fuqi të vogël, kryesisht në pajisje për amvisëri, pajisje të ndryshme elektrike për rregullimin e shpejtësisë, ndërsa tiristorët gjejnë zbatim kryesisht për rregullimin e motorëve njëkahësh të fuqishëm në industri.

MBAJ MEND!!!

- * Diaku është element me strukturë pesë-shtresore dhe përçon në të dy drejtimet.
- * Diaku përdoret zakonisht i shoqëruar me elemente tjera tiristorësh.
- * Triaku është tiristor dy drejtimesh i cili përçon në të dy drejtimet dhe përdoret në qarqe me tension alternativ.
- * Triaku sillet në gjendjen e përçueshmërisë me rrymën e gejtit.
- * Tiristorët përdoren për komandim me rrymën me intensitet të madh me ndihmën e rrymës së vogël të gejtit.
- * Tiristorët kanë zbatim më të madh për kontrollimin e fuqisë së elektromotorëve, pajisjeve për ngrohje dhe reflektorëve elektrik, kurse triakët në pajisjet për amvisëri.

VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim**(Rretho përgjigjet e sakta)**

1. Tiristori është në gjendjen e shkyçur kur gjendet në:

- a) Përçueshmëri direkte
- b) Bllokim direkt
- c) Bllokim invers.

2. Për rregullimin e motorëve njëkahësh të fuqishëm në industri përdoret:

- a) Tiristori
- b) Diaku
- c) Triaku.

II Pyetje me lidhshmëri

3. Lidh simbolet skematike me elementet:



a)



b)



c)

- 1. Tiristor _____
- 2. Diak _____
- 3. Triak _____.

III Pyetje me plotësimin

4. Elementet elektronike me konfiguracion prej katër ose më tepër materialeve gjysmëpërçuese, të renditur ashtu që të krijojnë së paku tre kalime PN dhe kanë së paku dy dalje quhen _____.

5. Karakteristikat të cilat tregojnë varësinë e rrymës së gejtit nga tensioni mes gejtit dhe katodës U_{GK} janë karakteristika _____.

6. Tiristori dydrejtimësh që përçon në të dy drejtimet quhet _____.



Hulumto dhe mëso më tepër:

- Hulumto në internet për llojet e tiristorëve dhe bën krahasimin dhe analizën e karakteristikave rrymë-tension të tyre.
 - Mëso më tepër nga literatura tjetër dhe kërko ndihmë nga profesori për zbatimin praktik të tiristorëve.
-

ELEMENTET SPECIFIKE ELEKTRONIKE

Me studimin e përmbajtjeve të kësaj teme do të fitosh njohuri themelore për ndërtimin, karakteristikat dhe zbatimin e llojeve të ndryshme të elementeve elektronike dhe do të mund:

- të shpjegosh mënyrën e punës së termistorëve;
 - të shpjegosh rëndësinë e koeficientit të temperaturës së termistorit;
 - të dallosh rezistencat PTC dhe NTC;
 - të shpjegosh mënyrën e punës së elementeve fotoelektrike;
 - të dallosh elementet që i përkasin grupit të elementeve fotoelektrike dhe t'i përshkruash karakteristikat themelore;
 - të njohësh zbatimin praktik të elementeve fotoelektrike;
 - të kuptosh mënyrën e punës së releve;
 - të dallosh lloje të releve;
 - të njohësh zbatimin praktik të releve, sidomos në fushën e telekomunikacionit si element komutues.
-

8.1. Termistorët

Termistorët paraqesin grup të elementeve me rezistencë (rezistiv) të ndjeshme ndaj temperaturës, prej nga ajo edhe rrjedh emri i tyre, i përbërë nga shkurtesat e fjalëve „**termik** (**thermal**)" dhe „**rezistiv** "(**resistor**),,. Ekzistojnë dy lloje të termistorëve: **NTC** dhe **PTC**. **NTC** (**N**egativ **T**emperaturë **C**oeficient) janë termistor me koeficient temperature negativ, që do të thotë se rezistenca e tyre zvogëlohet me rritjen e temperaturës. Prandaj, ato përdoren si sensorë të temperaturës. **PTC** (**P**ozitiv **T**emperaturë **C**oeficient) janë termistorë me koeficient temperature pozitiv, me çka rezistenca e tyre rritet me rritjen e temperaturës. Kjo karakteristikë mundëson zbatimin e tyre në qarqe për rregullimin e rrymës elektrike.

Varësia mes rezistencës së termistorit dhe temperaturës ka karakter linear dhe mund të shprehet si:

$$\Delta R = k\Delta T ; \dots\dots\dots(8.1)$$

ku janë:

ΔR - ndryshimi i rezistencës

ΔT - ndryshimi i temperaturës

k – koeficienti i temperaturës së rezistencës.

Simboli elektrik i termistorit është dhënë në **figurën 8.1**.



Figura 8.1: Simboli elektrik i termistorit.

Koeficienti i temperaturës k i termistorit përfaqëson një ndryshim relativ të rezistencës gjatë ndryshimit të temperaturës për 1K (Kelvin). Ky koeficient është i varur nga koeficienti linear i temperaturës α .

zistenca e termistorit definohet nga:

$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T) \dots\dots\dots(8.2)$$

Në këtë formulë me R është paraqitur rezistenca e termistorit në temperaturën e matur T , T_0 është temperatura referente, kurse ΔT është dallimi në mes temperaturave T dhe T_0 . Me α është paraqitur koeficienti linear i temperaturës.

8.1.1. Termistori - NTC

Termistorët me koeficient temperature negativ arrijnë zhvillimin më madh dhe zbatim në mesin e shekullit të kaluar. Si shndërrues të temperaturës në informacion elektrik, karakterizohen me ndjeshmëri të madhe. Përdorimi më të madh gjejnë në matjen elektrike të temperaturës, në mjekësi, biologji, gjeologji dhe të tjerët. Karakteristika e varësisë së rezistencës nga temperatura është paraqitur në **figurën 8.2**.

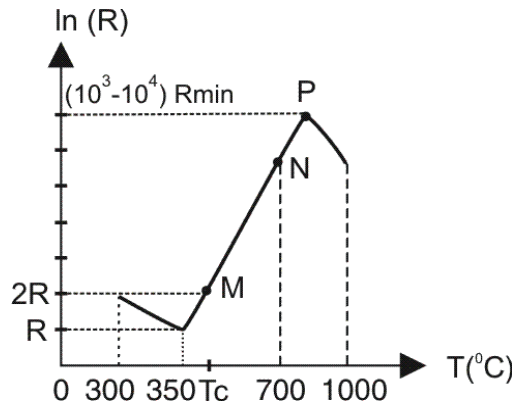


Figura 8.2: Karakteristika e varësisë së rezistencës nga temperatura e termistorit-NTC.

Me rritjen e temperaturës deri në vlerën e treguar në grafik me T_c , rezistenca zvogëlohet në një masë të papërfillshme. Në zonën nga pika M deri në pikën N, rezistenca rritet sipas funksionit eksponencial, kurse mbi pikën N ngadalësohet dhe arrin një maksimum dhe përsëri bie. Termistorët – NTC prodhohen nga oksidet e metaleve, kromi, mangani, kobalti, nikeli, bakri e të tjerë. Me kombinimin e disa llojeve të oksideve krijohet një përzierje nga e cila me procesin e shkrirjes në temperaturë mbi 1000°C formohen rezistencat me formë të topit, diskut apo cilindrit. Temperatura maksimale e punës është nga 300°C deri në 350°C , kurse sot përpunohen termistor edhe për temperaturën nga 700°C deri në 1000°C . Në fushën e temperaturave të ulëta, termistorët zbatohen deri në disa dhjetëra shkallë Kelvin.

8.1.2. Termistori - PTC

Termistorët me koeficient temperature pozitiv nuk përdoren për matjen e temperaturës. Sensorët me termistor-PTC për temperaturë të caktuar japin sinjale diskrete. Brezi i matjeve të termistorëve-PTC është i ngushtë, kurse ndjeshmëria është dhjetë herë më e mëdha në krahasim me termistorët-NTC. Material për prodhimin e termistorëve-PTC është barium-titanati, i cili bie në materialet me veti feromagnetike. Barium-titanati është një izolues, kurse rezistenca e tij bie duke futur primesa të donorëve.

Karakteristika e varësisë së rezistencës nga temperatura, deri në 100°C është dhënë në **figurën 8.3**.

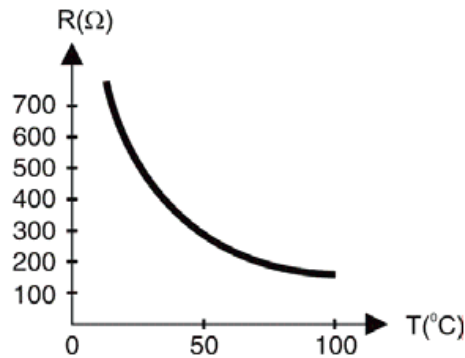


Figura 8.3: Karakteristika e varësisë së rezistencës nga temperatura e termistorit-NTC.

Sensorët-PTC rezistiv të silicit kanë brez matës relativisht të ngushtë (nga -50°C deri në 150°C). Në këtë brez punojnë një numër i madh i pajisjeve të industrisë ushqimore, kondicionerëve, meteorologji, pajisje shtëpiake, automobila dhe të tjerë. Karakteristika e tyre është dhënë në **figurën 8.4**.

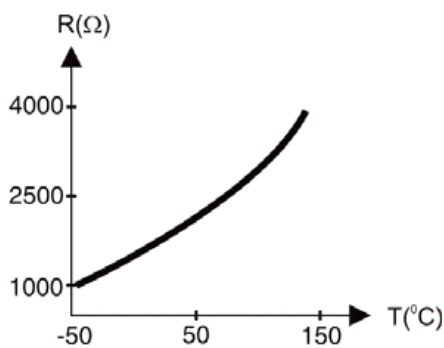


Figura 8.4: Karakteristika e varësisë së rezistencës nga temperatura në sensorët -PTC rezistiv.

Termistorët përpunohen nga pjesë të imta në materiale qeramike speciale (okside të ndryshme të metaleve), kurse në kohët e fundit për prodhimin e tyre përdoret edhe silici dhe germaniumi. Ndryshimi i rezistencës elektrike të termistorit mund të shkaktohet nga ndryshimi i temperaturës së ambientit, ose për shkak të rrjedhjes së rrymës elektrike në termistor. Termistorët si sensorë të temperaturës përdoren si elektroda të ndjeshme ndaj nxehtësisë së mjedisit në të cilin ata janë të vendosura. Ata e matin temperaturën e mjedisit nëpërmjet impulseve elektrike. Gjithashtu, ata marrin pjesë në kontrollimin e nxehtësisë, kështu bëjnë që pajisjet ku janë të lidhura të ngrohen më ngadalë. Sensorët me termistor zakonisht janë të përbërë nga më shumë shtresa të materialeve gjysmëpërçuesish të lidhur në trupin e termistorit. Këto materiale paraqesin rezistencë

në qarkun në të cilin është i lidhur termistori dhe kështu e regjistrojnë nxehtësinë e krijuar nga rryma elektrike. Termistorët kanë rezistencë të madhe për ndryshime të vogla të temperaturës dhe numri më i madh i tyre janë të bërë prej oksideve të manganit, kobaltit, nikelit dhe bakrit . Përveç prej këtyre materialeve, për prodhimin e termistorëve përdoret edhe silici dhe germaniumi. Termistorët përdoren për të mbrojtur qarqet elektronike nga mbingarkesa deri te e cila vjen kur pajisje e "ftohtë" vendoset që të arrihet ngrohje graduale.

Si sensorë të temperaturës, ata punojnë me saktësi të madhe në një brez temperature relativisht të vogël, në krahasim me sensorët tjerë të temperaturës. Sensorët e termistorëve hasen në termometrat digjital, telefoni, automjete, pajisjet TV dhe stereo. Dimensionet e vogla të tyre mundësojnë zbatimin e tyre në shumë pajisje tjera për kontrollin automatik dhe komandimin në shkencë dhe industri.

MBANI MEND!!!

- **Termistorët paraqesin elemente të ndjeshëm reziston në temperaturë.**
- **Tek termistorët -NTC (Negativ Temperatura Coeficient) rezistenca zvogëlohet me rritjen e temperaturës.**
- **Tek termistorët me koeficient temperature pozitiv rezistenca rritet me rritjen e temperaturës.**
- **Koeficienti i temperaturës k të termistorit paraqet ndryshimin relativ të rezistencës gjatë ndryshimit të temperaturës për 1K.**

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino termin termistor.
2. Çfarë lloje të termistorëve ekzistojnë?
3. Si definohet koeficienti i temperaturës së termistorit?
4. Ku kanë zbatim më të madh termistorët -NTC?
5. Ku zbatohen termistorët -PTC?
6. Si shprehet varësia mes rezistencës së termistorit dhe temperaturës?
7. Vizato karakteristikën e varësisë së rezistencës nga temperatura në termistorin-NTC dhe sqaroje atë.
8. Çfarë lloje të termistorëve ekzistojnë?
9. Çka ndodh në termistor gjatë ndryshimit të temperaturës së mjedisit?

8.2. Elementet fotoelektrike

Elementet fotoelektrike janë elemente vetitë elektrike të të cilëve varen nga ndryshimet e energjisë së rrezatimit të dritës.

8.2.1. Fotorezistorët

Fotorezistorët janë elemente elektronike të ndërtuar nga materiale gjysmëpërçuese. Karakteristika kryesore e fotorezistorëve është ndryshimi rezistencës elektrike gjatë ndryshimit të fluksit të ndriçimit i cili bie në sipërfaqen e tyre.

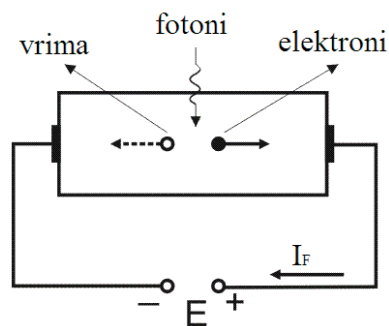


Figura 8.5: Fotorezistor në qark elektrik me burim ushqimi.

Kur vendoset në qark elektrik me burim ushqimi, fotorezistori lëshon rrymë I_{ϕ} proporcionale me vlerën e rezistencës së tij (**figura 8.5**). Nëse fotorezistori nuk rrezatohet, në qarkun në të cilin gjendet rrjedh rryma $I_{\phi 0}$ "rryma e errësirës". Kur në sipërfaqen e fotorezistorit bie drita, kuantet e dritës-fotonet ua dorëzojnë energjinë e tyre atomeve të materialit gjysmëpërçues nga i cili është ndërtuar rezistori dhe shkaktojnë shkëputjen e lidhjeve valente, duke krijuar numër të barabartë të elektroneve të lira dhe vrimave. Elektronet e lira dhe vrimat të bien nën ndikimin e fushës elektrike të burimit të ushqimit, të krijuar në rezistor. Elektronet e lira tërhiqen kah skaji pozitiv, kurse vrimat kah ai negativ i tensionit të rezistorit, me çka krijohet rrymë proporcionale në ndryshimin e fluksit të dritës. Kjo rrymë i shtohet „rrymës së errësirës,“ dhe fitohet rryma totale e fotorezistorit. Kjo do të thotë se ndryshimi i fluksit të dritës ka shkakuar ndryshimin e rezistencës së fotorezistorit dhe kështu është konvertuar në sinjal elektrik.

Procedura e prodhimit të fotorezistorit konsiston në futjen e materialit gjysmëpërçues të ndjeshëm në një substrat (shtresë) të pllakës qeramike. Futja bëhet me talogim të materialit të avullueshëm ose me sinterim të pluhurit gjysmëpërçues në temperaturë të lartë. Në skajet e pllakës vendosen kontakte metalike dhe mbi to përforcohen daljet me të cilat rezistori lidhet me qarkun elektrik. Një

pllakë e tillë e fituar vendoset në shtëpizë plastike ose metalike me pjesë të tejdukshme të ndërtuar nga qelqi ose plastika e cila e lëshon dritën të bie në sipërfaqen fotorezistive.

Fotorezistorët bëhen nga disa lloje të materialeve gjysmëpërçues, secili me karakteristike spektrale vetjake. Fotorezistor nga sulfid-zinku kanë ndjeshmëri më të madhe në fushën e rrezatimit ultraviolet, ato nga germaniumi dhe sulfid- bakrit në fushën e rrezatimit infrared, të silicit për rrezatim prej rreth 1000nm, kurse sulfidet-e kadmiumit në rrezatimin e dukshëm (**figura 8.6**).

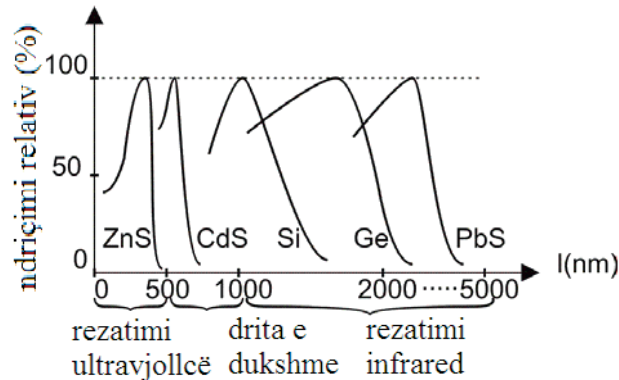


Figura 8.6: Karakteristikat spektrale të fotorezistorit për materiale të ndryshme gjysmëpërçuese.

Varësia e rrymës I_ϕ nga fluksi i dritës për vlera të ndryshme të tensionit të fotorezistorit është paraqitur në **figurën 8.7**. Kjo karakteristike nuk është lineare, ajo tregon ngopje të rrymës për vlera të mëdha të fluksit të dritës.

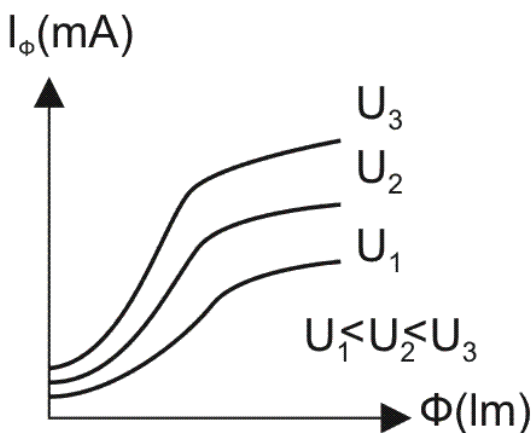


Figura 8.7: Diagrami i ndjeshmërisë së fotorezistorit.

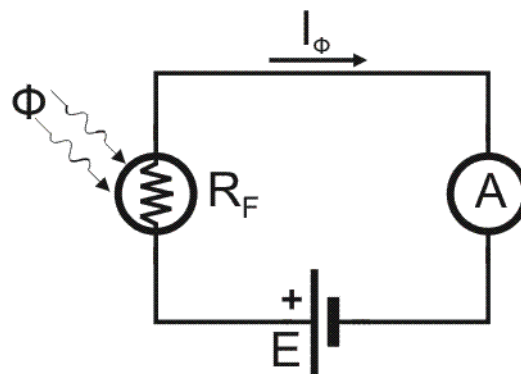


Figura 8.8: Skema elektrike e Dritëmatësit.

Fotorezistorët zbatohen në instrumente të thjeshta për matjen e ndriçimit, të ashtuquajturit dritëmatës (**figura 8.8**), dhe si detektorë të dritës në alarme të ndryshme dhe pajisje komanduese.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Çka ndodh në fotorezistorin i cili është i lidhur në qarkun elektrik me burim ushqimi, kur në sipërfaqen e tij bie drita?
2. Kur nëpër fotorezistor rrjedh „rryma e errësirës„?
3. Shpjegoje procedurën e prodhimit të fotorezistorit.
4. Cilët fotorezistor kanë ndjeshmëri më të madhe në fushën e rrezatimit të dukshëm?
5. Ku zbatohen fotorezistorët?
6. Sqaro ndërtimin e karakteristikave të fotorezistorëve.

8.2.2. Fotodiodat

Fotodioda, si edhe fotodetektorët tjerë, kanë detyrë të shndërrojnë rrezatimin e dritës në sinjal elektrik. Në rastin ideal, sinjali elektrik duhet të jetë proporcional me intensitetin e dritës e cila bie në diodë. Njëri prej përdorimeve kryesore është celulat solare (diellore).

Si materiale për përpunimin e fotodiodave zakonisht përdoret silici ose arsenid galiumi (GaAs), indiumantimonidi (InSb), indiumarsenidi (InAs), selenidi i plumbit (PbSe) dhe sulfati i plumbit (PbS). Këto materiale absorbojnë dritën e një brezi të caktuar të gjatësisë valore, për shembull, nga 250 nm deri në 1100nm për silicin, prej 800nm deri në 2 μ m për galiumarsenidin. Modeli dhe simboli për skemën elektrike të fotodiodës janë dhënë në **figurën 8.9**.

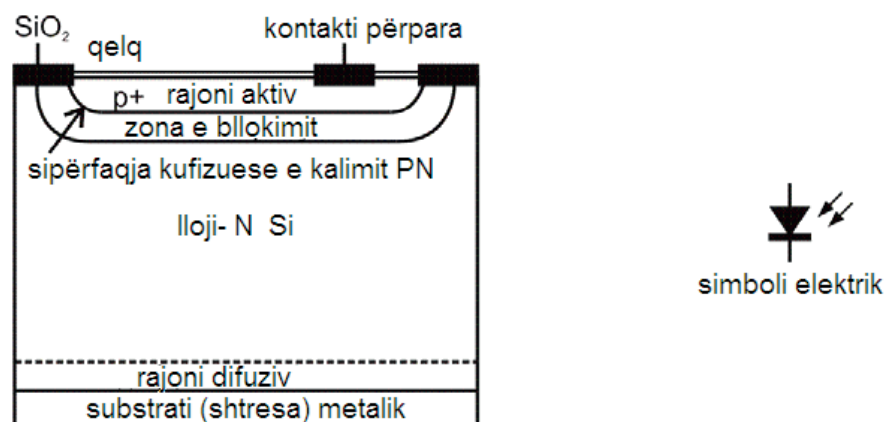


Figura 8.9: Modeli dhe simboli elektrik për skema elektrike i fotodiodës.

E dimë se një foton i dritës së absorbuar krijon një elektron dhe një vrimë. Në qoftë se ata ndahen, para se të kenë mundësi të rikombinohen dhe të fillojnë të lëvizin në drejtime të kundërta, do të fitohet rrymë elektrike, e quajtur foto-rrymë, kurse në lidhjet e jashtme tension, i quajtur foto-tension.

Fotodioda pa polarizim të jashtëm

Në fotodiodat pa polarizim të jashtëm drita futet në element përmes një shtrese të hollë të llojit-P. Ashtu siç futet më thellë në material intensiteti i saj zvogëlohet edhe atë sipas ligjit eksponencial. Fotoni i dritës, i cili është futur në barrierë, krijon elektron të lirë dhe vrimë. Elektronit dhe vrima bien nën ndikimin e fushës të brendshme elektrike të kalimit dhe kalojnë nëpër kalim. Elektronet dhe vrimat e krijuara jashtë barrierës lëvizin në mënyrë kaotike, shumë prej tyre hyjnë në barrierë, ndërsa të tjerat rikombinohen dhe humben pa arritur në të. Sa më i madh të jetë numri i elektroneve dhe vrimave në barrierë, e kjo do të thotë se intensiteti i dritës që bie mbi diodë është më i madh, aq më e madhe është edhe fotorryma.

Gjerësia e barrierës mund të rritet me nivelin e primesave të futura në gjysmëpërçues. Dioda e këtij lloji punon në regjimin e fototensionit, ajo paraqet burim të fototensionit dhe fotorrymës pa ndihmën e burimit të jashtëm të ushqimit. Dioda të tilla përdoren në fotoaparate për matjen e ndriçimit të objektit që incizohet dhe në celula solare (diellore).

Fotodiodat me burim të jashtëm për polarizim

Megjithatë, mënyrë më e lehtë për zgjerimin e zonës është duke zbatuar polarizim të jashtëm. Këtu dioda punon në regjimin e fotopërçueshmërisë me ndihmën e burimit të jashtëm të ushqimit. Fotodioda punon në regjimin me polarizim invers. Kur fotodioda nuk është e ndriçuar, në qark rrjedh vetëm rryma inverse e diodës, e quajtur rryma në erësi. Fotorryma e diodës ndryshon nga vlera e rrymës në erësi (dioda e pandriçuar) deri në vlerën e ndriçimit maksimal. Karakteristika e saj e varësisë së rrymës nga tensioni i polarizimit për nivele të ndryshme të ndriçimit është dhënë në **figurën 8.10**.

Fotodiodat zakonisht hasen në sistemet e alarmeve.

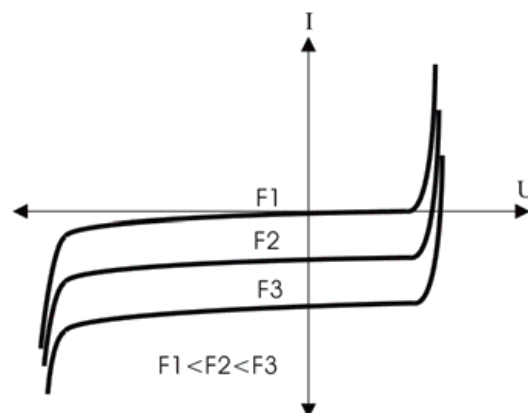


Figura 8.10: Karakteristika rrymë-tension e fotodiodës.

8.2.3. Fototransistorët

Fototransistori është një transistor bipolar me rrymë kolektori proporcionale me fluksin e dritës, i cili bie në sipërfaqen e kalimit të kolektorit. Specifika e saj është në atë se në anën e sipërme ka shtresë dritëlëshuese (transparente), në të cilën mund të ndërtohet edhe thjerrëz (lentë) me qëllim të rritjes së ndjeshmërisë.

Karakteristika e ndjeshmërisë relative të fototransistorit, e definuar si raport i fotorrymës I_ϕ për çfarëdo lloj të gjatësisë valore të dritës kundrejt vlerës maksimale $I_{\phi\max}$ është dhënë në figurën 8.11. Ajo tregon se si fototransistori reagon në dritën me gjatësi të ndryshme valore.

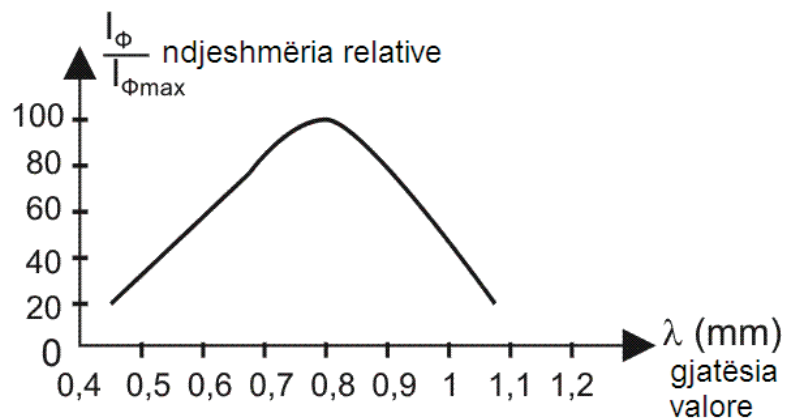


Figura 8.11: Karakteristika e ndjeshmërisë relative të fototransistorit.

Çfarëdo lloj transistori i fuqishëm bipolar me shtëpizë metalike mund të bëhet të jetë fototransistor, nëse i prehet pjesa e sipërme e shtëpizës dhe ashtu i hapur i ekspozohet dritës së diellit ose dritës së zjarrit të hapur. Drita bie në kalimin PN të kolektorit, i cili është i polarizuar invers dhe ka gjerësi më të madhe.

Mënyra e lidhjes së fototransistorit në qarkun elektrik është paraqitur në figurën 8.12.

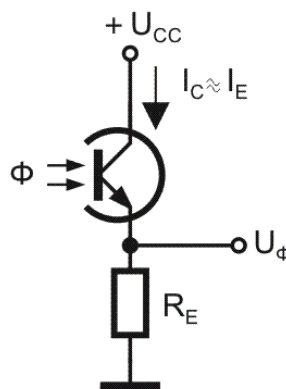


Figura 8.12: Fototransistori në qarkun elektrik.

Kolektori është i lidhur në skajin pozitiv të burimit U_{CC} , emiteri përmes rezistorit R_E në skajin negativ, kurse baza është e lidhur në qarkun e jashtëm, ajo është i lirë. Për këtë mënyrë të polarizimit, zona e bllokimit e kalimit të kolektorit është shumë më e gjerë se ajo e kalimit të emiterit. Me dritën, çiftet e krijuara elektron-VRIMË në zonën e bllokimit në kalimin e kolektorit ndahen, elektronet drejtohen kah kolektori, kurse VRIMAT kah emiteri. Lëvizja e tyre paraqet fotorrymën, e cila në rezistencën R_E krijon fototension dalës. Fotorryma I_ϕ është e përbërë nga dy komponente: njëra është rezultat i dritës që bie në fototransistor, kurse tjetra është rryma inverse I_{CE} nga kolektori drejt emiterit. Kur transistori nuk është i ndriçuar, do të rrjedhë vetëm rryma inverse dhe ajo e paraqet rrymën e „errësirës,„. Vlerat tipike të saj sillen rreth 10nA dhe ajo rritet me rritjen e temperaturës.

Lidhja fizike e bazës mund të mbetet e lirë, por mund të shfrytëzohet edhe për polarizim që të fitohet nivel stabil i sinjalit.

Fototransistorët zakonisht përdoren në qarqet komutuese, ku jolineariteti i tyre nuk krijon probleme.

MBAJ MEND!!!

- Fototransistori është transistor bipolar me rrymë të kolektorit proporcionale në fluksin e dritës.
- Qarku i bazës së transistorit është i hapur, kurse fotorryma krijohet në zonën e bllokimit në kalimin e kolektorit.
- Në fototransistorin e pandriçuar rrjedh rryma inverse, e quajtur „ rryma e errësirës,„.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Me çka është proporcionale rryma e kolektorit të fototransistorit?
2. Defino karakteristikën e ndjeshmërisë relative të fototransistorit?
3. Nga cilët komponentë është krijuar fotorryma?
4. Ku përdoren fototransistorët?

8.2.4. Fotogjeneratorët

Elementet gjysmëpërçues me aftësinë për të shndërruar energjinë e rrezatimit të dritës drejtpërdrejt në energji elektrike quhen fotogjenerator. Të përbërë nga një kalim -PN dhe kanë dy dalje. Prerja tërthore e fotogjeneratorit është paraqitur në **figurën 8.13**. Shtresa e bllokimit ka gjerësi shumë të vogël (rreth 20nm), ndërsa sipërfaqja e kalimit-PN është zmadhuar, me qëllim të

absorbimit më të madh të fotoneve nga rezet e dritës. Rajonet P dhe N janë me koncentrik më të madh të bartësve të lirë të ngarkesave elektrike.

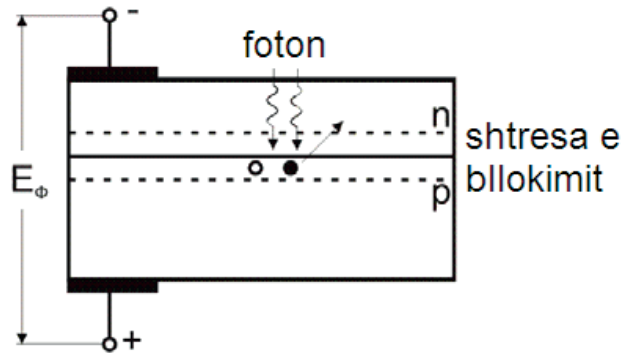


Figura 8.13: Struktura e fotogeneratorit.

Fotogeneratorët punojnë pa burime të jashtme të ushqimit. Fotonet nga rezet e dritës që bien në sipërfaqen e kalimit-PN të fotogeneratorit, e dorëzojnë energjinë e tyre elektroneve valente me çka krijohen çiftet elektron-vrimë. Me ç'rast zmadhohet numri i bartësve sekondar në shtresën e bllokimit të kalimit PN. Dallimi potencial i kontaktit krijon fushë elektrike e cila u mundëson bartësve sekondarë lirisht të lëvizin nëpër shtresën e bllokimit dhe e lëshojnë, ndërsa bartësit kryesor ngelin në rajonet e tyre. Gjatë kësaj në zonat P dhe N krijohet një përqendrim shumë i madh i bartësve kryesor, i cili indukton fuqi elektromotore E_ϕ e cila quhet tension në boshllëk derisa në daljet e fotogeneratorit nuk është lidhur rezistencë. Nëse lidhet rezistencë, nëpër të do të rrjedh rrymë elektrike proporcionale me fluksin e dritës i cili bie në sipërfaqen e fotogeneratorit.

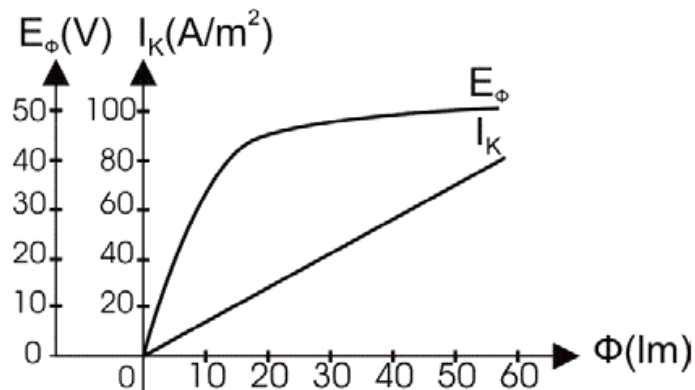


Figura 8.14: Karakteristikat e dritës të fotogeneratorit.

Në **figurën 8.14** janë dhënë karakteristikat e dritës të fotogeneratorit të cilat paraqesin varësi të tensionit të punës në boshllëk, E_ϕ , dhe rrymës së lidhjes së shkurtër, I_K , nga fluksi i dritës Φ .

Fotogeneratorët janë burimi kryesor i energjisë elektrike në fluturaket kozmike. Ata quhen celula diellore (solare), pasi që energjinë e rrezatimit të diellit e shndërrojnë në elektrike.

I madh është edhe përdorimi i celulave solare në sipërfaqen e tokës si burime alternative të energjisë elektrike.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilat elemente gjysmëpërçuese quhen fotogjeneratorë?
2. Shpjego parimin e funksionimit të fotogjeneratorit.
3. Defino karakteristikat e dritës të fotogjeneratorit dhe vizato diagramin.
4. Ku zbatohen fotogjeneratorët?
5. Vizato simbolin elektrik të fotodiodës!
6. Sqaro karakteristikat e fotogjeneratorëve.

MBAJ MEND!!!

- Fotorezistorët janë elemente fotoelektrike rezistenca elektrike e të cilëve ndërron me ndryshimin e fluksit të dritës që bie në sipërfaqen e tyre.
- Fotorezistorët përdoren në instrumente të thjeshta për matjen e ndriçimit, të ashtuquajturit matës drite dhe si detektor të dritës në alarme të ndryshme dhe pajisje komanduese.
- Fotodioda e shndërron rrezatimin e dritës në sinjal elektrik, proporcional me intensitetin e dritës e cila bie në diodë. Ajo punon në regjimin e polarizimit invers.
- Fotogjeneratorët janë elemente fotoelektrike me aftësi që energjinë e rrezatimit të dritës ta shndërrojnë drejtpërdrejt në elektrike.
- Fotogjeneratorët quhen celula solare pasi që energjinë e rrezatimit të diellit e shndërrojnë në energji elektrike.

8.2.5. Ekranet me kristale të lëngëta



Kristal i lëngët - LCD (Liquid Crystal Display) paraqet material i cili në temperaturë të caktuar ka veti edhe të lëngut edhe të kristalit. Ai mund të rrjedh nga njëri në vendin tjetër, kurse dritën e thyen në drejtime të ndryshme njëlloj si kristali. Një veti të tillë kanë disa materie kimike organike (grupi i holesterineve). Molekulat e këtyre substancave janë në formë të zgjatur të shkopinjve. Njëri fund i molekulës është me ngarkesë pozitive kurse tjetri me ngarkesë negative, kurse vetë molekula është neutrale. Prandaj, ato quhen molekula polare. Nëse gjenden në fushën elektrike, molekulat orientohen në drejtimin e fushës.

Kristalet e lëngëta punojnë në principin e refuzimit dhe thyerjes jo të njëjtë të dritës nga burimi i jashtëm. Ata janë burime aktive të dritës.

Ekрани mund të jetë me karaktere të errëta në sfondin e ndritshëm ose me karaktere të ndritshme në sfond të errët (**figura 8.15**), gjegjësisht me parimin e dispersionit dinamik të dritës ose me parimin e efektit të fushës elektrike.

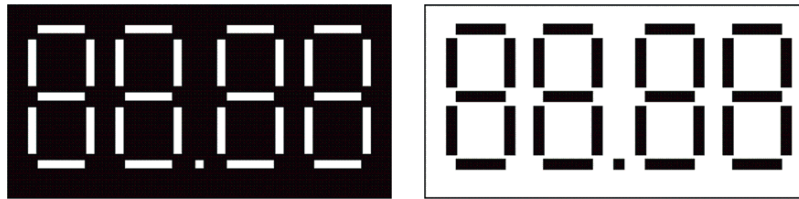


Figura 8.15: Lloje të ekraneve LCD.

Konstruksioni i ekranit me kristal të lëngët është i përbërë nga dy pllaka xhami dhe shtresës së hollë të kristalit të lëngët në mes tyre. Ana e jashtme e pllakës së poshtme të qelqit është mbuluar me shtresë nga alumini ose nikeli dhe paraqet pasqyrë. Ajo është e lidhur me skajin negativ të burimit. Në pjesët e brendshme të dy pllakave prej qelqi, në pozicion të njëjtë, janë bërë segmente me të cilët krijohen karakteret e ekranit. Segmentet janë formuar nga materiali i tejdkushëm i përçueshëm, siç është oksidi i plumbit, dhe bashkohen me kontakte metalike përkatëse në skajet e pllakave.

Molekulat e kristalit të lëngshëm janë të renditur në shtresa (**figura 8.16**). Të gjitha molekulat në njëren shtresë janë me orientim të njëjtë. Secila molekulë fqinje e shtresës tjetër është e rrotulluar për kënd të caktuar dhe kështu fitohet varg molekulash me formë të spirales.

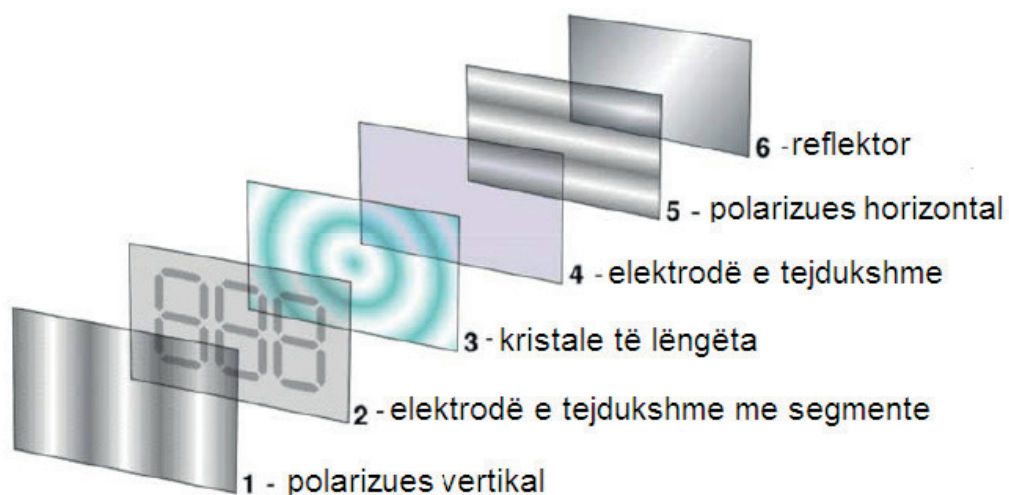


Figura 8.16: Shpërndarja e molekulave në kristalin e lëngët.

Një segment i kristalit të lëngët është i përbërë nga një polarizues vertikal, elektroda e parë e tejdkushme (segment), më tepër shtresave të kristaleve të lëngëta, elektroda e dytë e

tejudkshme (segment), polarizuesi horizontal dhe reflektori. Rrezet e dritës që vijnë në polarizuesin vertikal, oshilojnë në të gjitha drejtimet. Përmes polarizuesit kalojnë vetëm ato që oshilojnë në drejtimin vertikal. Kjo rreze dritë e polarizuar vertikalisht kalon nëpër elektrodën e parë transparente dhe hyn në vargun spiral të molekulave të vendosura të kristalit të lëngshëm. Në çdo shtresë të kristalit të lëngët ajo rrotullohen në të djathtë deri në shtresën e fundit, prej ku del me polarizim horizontal dhe kalon përmes elektrodës së dytë transparente dhe polarizuesi horizontal e deri në reflektor. Rrezja e kthyer nga reflektori kthehet përmes rrugës së njëjtë, kalon përmes polarizuesit horizontal, rrotullohet me shtresat e kristalit të lëngët deri në pozitën vertikale., kalon përmes polarizuesit vertikal dhe del në të njëjtën anë me rrezen hyrëse të dritës. Në këtë mënyrë, kur në rrugën e dritës nuk ka asnjë pengesë, fitohet sfond i ndritshëm.

Kur në segmentet metalike lidhet tension i vogël prej 3 deri në 5V, mes tyre krijohet fushë elektrike dhe molekulat e kristalit të lëngshëm renditen në drejtimin e kësaj fushe. Kështu të renditur, ata më nuk e kthejnë rrezen e dritës, nuk ia ndryshojnë planin e polarizimit dhe ai me polarizim vertikal vjen deri te polarizuesi horizontal. Rrezja e dritës me polarizim vertikal nuk mund të kalojë nëpër polarizuesin horizontal dhe ai humbi në kristalin e lëngët si në vrimë. Në vendin e segmentit nuk ka rreze drite të kthyer dhe mbetet i errët.

Ekrani me kristal të lëngët punon në tension alternativ në frekuencë prej 30 deri në 300Hz. Ai ka një formë impulsive me amplitudë në mes të 1 dhe 18V dhe bëhet me qarqe digjitale. Tensioni i vazhduar mund të bëjë elektrolizën e kristalit të lëngshëm dhe ta shkurtoj afatin e përdorimit të ekranit. Dendësia e rrymës së ekranit është shumë e vogël, rreth 1nA/cm^2 , që do të thotë konsumim i ulët i energjisë. Kjo e bën ekranin me kristale të lëngëta të përdorshëm për pajisje në miniaturë, siç janë orët e dorës, për të cilët nuk ka vend për bateri me kapacitet të madh. Më shumë përdoret për kalkulator portabël, orë digjitale, instrumente matëse digjitale dhe ekrane për monitor dhe pajisjet TV.

MBAJ MEND!!!

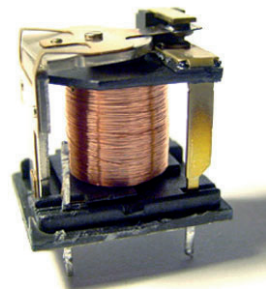
- Ekran LED parqet indikator, i përbërë prej shtatë segmenteve, i ndriçuar me LED dioda.
- Një segment i kristalit të lëngët është i përbërë nga një polarizues vertikal, elektroda e parë transparente (segment), më tepër shtresa të kristaleve të lëngëta, elektroda e dytë transparente (segment), polarizues horizontal dhe reflektor.
- Ekran me kristale të lëngëta përdoret për kalkulator portabël, orë digjitale, instrumente matëse digjitale dhe ekrane për monitorë dhe pajisje TV.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Cilat janë karakteristikat më të rëndësishme të kristaleve të lëngëta?
2. Shpjego konstruksionin e ekranit me kristal të lëngët.
3. Nga çka është i përbërë një segment i kristalit të lëngët?
4. Pse ekrani me kristal të lëngët nuk lidhet në tensionin e vazhduar?
5. Ku zbatohet ekrani me kristal të lëngët?

8.3. Reletë

Rele është një ndërprerës (komutator-çelës) elektrik i cili përdoret për shkyçjen ose kyçjen (komutimin) e qarkut elektrik. Nëse shkyçja bëhet me elektromagnet, bëhet fjalë për rele me elektromagnet. Por, ekzistojnë edhe rele elektronike, në të cilat hapjen dhe mbylljen e kontakteve të rrymës e bëjnë elemente gjysmëpërçuese. Reletë mundësojnë që qarqe elektrike me rrymë të vogël të komandojnë me rrjedhjen e rrymave të mëdha.



8.3.1. Mënyra e punës së releve elektromagnetike

Ekzistojnë shumë lloje të konstruksioneve të releve me 3, 4, 5 dhe 6 dalje, me ndërprerje të njëfishtë ose dyfishtë.

Të gjitha reletë punojnë në të njëjtin parim. Në rele ka dy qarqe: qarku komandues dhe ngarkesa. Në qarkun komandues ndodhet një bobinë e vogël me bërthamë hekuri, kurse në qarkun e ngarkesës janë kontaktet komutuese. Me elektromagnet komandohet hapja dhe mbyllja e kontakteve për ngarkesën.

Releja eksitohet kur rrjedh rryma në qarkun e elektromagnetit (daljet 1 dhe 3 në **figurën 8.17**), me çka krijohet fushë magnetike e caktuar me çka mbyllet çelësi mes daljeve 2 dhe 4. Çelësi është pjesë e qarkut të ngarkesës, kështu që në këtë mënyrë në qarkun e ngarkesës do të rrjedh rryma e ngarkesës.

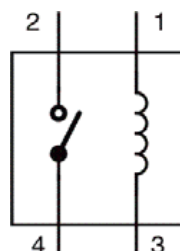


Figura 8.17: Rele elektromagnetike e pa eksituar

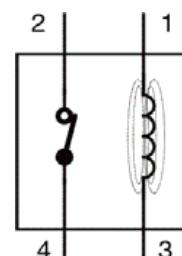


Figura 8.18: Rele elektromagnetike e eksituar.

kondensator, të lidhur në paralel me bobinën (**figura 8.21**). Për shuarjen me diodë, si në figurën 8.19, dioda lidhet në drejtimin invers, ashtu që të mos lëshoj rrymë kur releja është në gjendjen e eksituar, kurse bëhet përçuese në momentin e krijimit të kërcimit të tensionit. Rezultate më të mira në shuarje tregon dioda dhe ajo zakonisht përdoret për këtë qëllim.

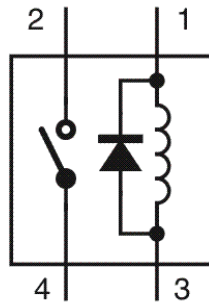


Figura 8.21: Rele me shuarjen e kërcimeve të tensionit.

Reletë përdoren atje ku është e nevojshme që të kontrollohet sinjal me fuqi të vogël ose kur komandohet me më shumë qarqe me një sinjal.

Në **figurën 8.22**, është dhënë konstrukcioni i relesë elektromagnetike.

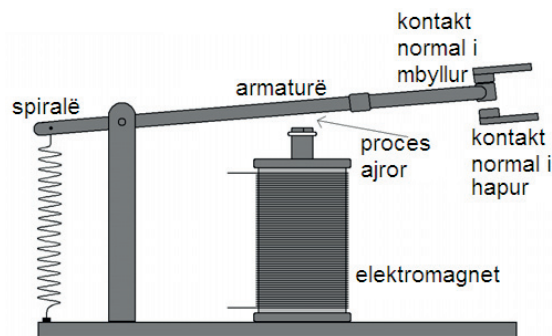


Figura 8.22: Konstrukcioni i relesë elektromagnetike.

8.3.2. Mënyra e punës së releve elektronike

Karakteristikat komutuese të transistorëve, tiristorëve dhe triakëve mund të përdoren për të kryer funksione ekuivalente të releve. Me zbatimin e këtyre elementeve fitohet pajisje e quajtur rele elektronike. Kjo pajisje përmban pjesën e kontrollit, të përbërë nga elemente elektronike me fuqi të vogël dhe pjesa komutuese, e përbërë nga elemente komutuese gjysmëpërçuese. Të dy pjesët janë të ndara fizikisht dhe elektrikisht nga njëri-tjetri. Pjesa komanduese mund të jetë e thjeshtë por edhe shumë kompleks, varësisht nga detyrat që duhet ti kryej releja elektronike. Për operacione më të ndërlikuara përdoren elemente elektronike më komplekse, siç janë mikroprocesorët. Sipas kësaj, pjesa komanduese mund ti kënaqë kërkesat për funksione mbrojtëse (mbrojtje nga tensioni ose rryma e tepërt e konsumatorit, tension ose rrymë e

ndryshueshme nga vlera minimale deri në vlerën maksimale në fillimin e kyçjes, ndryshimi i rrotullimit tek motorët si konsumator etj.) Pjesa komanduese mund të ketë tension të shkëputur të ushqimit nga pjesa komutuese.

Pjesa komutuese i përmban elementet gjysmëpërçuese të cilat funksionojnë si çelësa. Për një kontakt çelësi përdoret një element. Pjesa komutuese e rele së elektronike mund të lidhet në tension të vazhduar, ose rrjet të tensionit alternativ monofazor ose trefazor. Kur bëhet fjalë për lidhje trefazore pjesa komutuese përmban tre elemente gjysmëpërçues. Parimi i funksionimit të rele së elektronike është paraqitur në **figurën 8.23**. Me tensionin e komandimit eksitohet dioda LED e optokaplerit, kurse me fototransistorin hapet triaku i cili bëhet i përçueshëm. Optokapleri është element i përbërë nga dioda e dritës dhe fototransistori. Ata janë të vendosur në një shtëpizë në formë të qarkut të integruar. Kur dioda është e kyçur, ai emeton dritë kah fototransistori dhe e aktivizon (e kyç). Komanda për komandim me transistorin transmetohet përmes rrugës së dritës. Duke zbatuar optokaplerin fitohet shkëputje elektrike e pjesës komutuese nga pjesa komanduese e rele së.

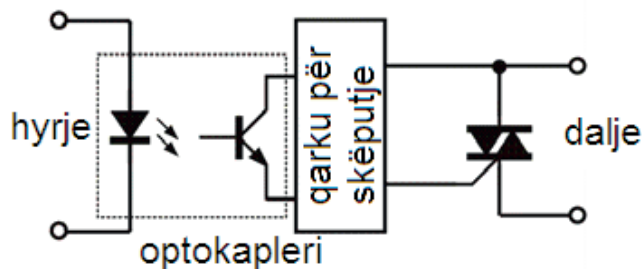


Figura 8.23: Skema elektrike e rele së elektronike.

Releja elektronike mund të vendoset në shtëpizën e saj, ose të jetë pjesë e një pajisje komplekse për komandim me konsumator të fuqishëm. Pajisje të tilla, për kontrollimin e motorëve elektrik, quhen inverter ose konvertues frekuencash. Me inverterët rregullohet shpejtësia drejtimi i rrotullimit, momenti rrotullues i motorit, mënyra e nisjes, kurse janë të përfshira edhe të gjitha llojet e mbrojtjes. Me zbatimin e inverterëve shmangen komutatorët e mëdhenj- kontraktorët, reduktohet konsumimi i energjisë, i shkaktuar nga tërheqja e elektromagneteve dhe niveli i zhurmave të kontakteve.

Avantazhi i releve elektronike në krahasim me ato elektromagnetike është harxhimi më i vogël i pjesës komanduese, nuk ka amortizim të pjesëve mekanike dhe shkëputje të kontakteve, dimensione më të vogla për rele me fuqi të madhe dhe mundësi më e madhe për funksione shtesë. Disavantazhet e tij janë: rënie e caktuar e tensionit të elementit komutues dhe humbje e energjisë, numri i kufizuar i kontakteve për element komutues dhe kyçje e pa dëshiruar gjatë paraqitjes së ndërhyrjes elektrike.

Simboli elektrik i rele së elektronike është paraqitur në **figurën 8.24**.

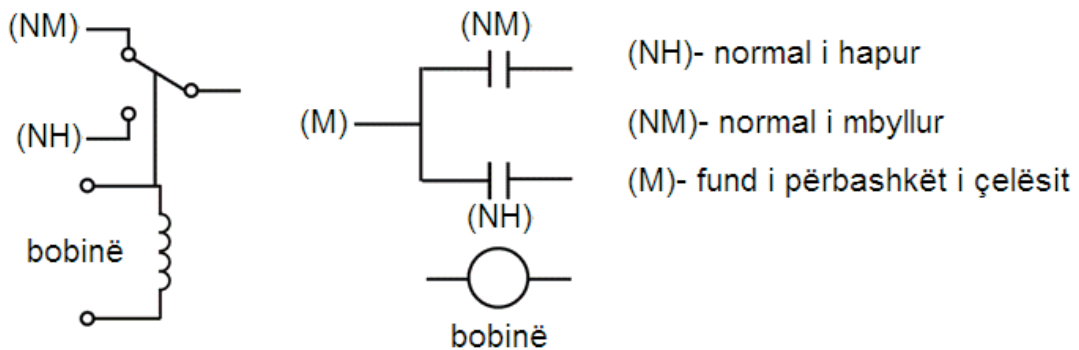


Figura 8.24: Simboli elektrik i relesë elektronike.

Ekzistojnë më tepër lloje të releve: elektromagnetike me spirancë tërheqëse, rele me kontakte në vakum ose në një gaz inert, të njohur si REED- reletë, reletë me kontakte të zhytura në merkur, rele të polarizuara, rele për mjetet të makinave me shumë kontakte, sot të zëvendësuar me kontrollorët PLC , kontraktorët për motorë elektrik, sot gjithnjë e më shumë zëvendësohen me pajisje tiristorësh dhe të tjera.

MBAJ MEND!!!

- Releja është çelës (komutator) elektrik i cili përdoret për shkyçjen ose kyçjen e qarkut të rrymës.
- Në relenë normale të hapur, kontaktet komutuese janë të hapura deri sa releja nuk është e eksituar.
- Releja normalisht e mbyllur ka kontakte të mbyllura kur releja nuk është e eksituar.
- Reletë përdoren atje ku ka nevojë të komandohet me sinjale me fuqi të vogël ose kur komandohet me më shumë qarqe me një sinjal.

KONTROLLO NËSE DIN

1. Defino termin rele.
2. Shpjego parimin e punës së relesë elektromagnetike.
3. Kur reletë janë të hapura normale dhe të mbyllura normale?
4. Vizato skematikisht konstruksionin e relesë me 3, 4 dhe 5 dalje.
5. Çfarë lloje të releve ekzistojnë?
6. Shpjegoje zbatimin e releve?
7. Për çfarë lloje të releve bëhet fjalë kur kyçjen dhe shkyçjen e kontakteve të rrymës e bëjnë elemente gjysmëpërçuese?
8. Shpjego metodën e hapjes dhe mbylljes së relesë elektromagnetike.

VERIFIKIMI TEMATIK

I Pyetje me rrethim

(Rretho përgjigjen e saktë)

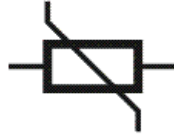
1. Elementet tek të cilat me ndryshimin e temperaturës ndryshon rezistenca e tyre janë:
 - a) fotorezistenca
 - b) fotodioda
 - c) termistor.
 2. Elementet që përdoren si sensorë të temperaturës janë:
 - a) fotogeneratorët
 - b) termistorët
 - c) fotodiodat.
 3. Elementet që përdoren si instrumente për matjen e ndriçimit janë:
 - a) fotodiodat
 - b) fotorezistencat
 - c) fototransistorët
 - d) fotogeneratorët.
 4. Elementet gjysmëpërçuese me aftësinë për të konvertuar energjinë e rrezatimit të dritës direkt në energji elektrike quhen:
 - a) fotogeneratorë
 - b) fotorezistenca
 - c) fototransistorë
 - d) termistorë.
 5. Si pjesë përbërëse e inverterëve përdoren:
 - a) fotodiodat
 - b) reletë
 - c) termistorët
 - d) fotorezistencat.
-

II Pyetje me lidhshmëri

6. Lidh simbolet skematike me elementet:



a)



b)



c)

1. Fotodiode _____
2. Fototransistori _____
3. Termistori _____.

7. Lidh elementet specifike elektronike me zbatimin e tyre si:

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1. Termistorët | a) Dritëmatës _____ |
| 2. Fotogjeneratorët | b) Sensorë temperature _____ |
| 3. Fotorezistencat | c) Celula solare _____ |

III Pyetje me plotësim

8. Tek termistorët NTC me zmadhimin e rezistencës temperatura e tyre _____.
9. Elementet specifike elektronike të cilët përdoren në sistemet e alarmeve janë _____.
10. _____ mundësojnë që qarqet elektrike me rrymë të vogël të komandojnë me rrjedhjen e rrymave të mëdha.
11. Elementet elektronike vetitë elektrike të të cilave varen nga ndryshimi i energjisë së rrezatimit të dritës quhen _____.
12. Releja normale e mbyllur ka _____ kontakte kur releja nuk është e eksituar.

Hulumto dhe mëso më tepër:



- Hulumto në internet dhe mëso më tepër për lloje të elementeve specifike elektronike.
 - Gjej skema në literaturë profesionale tjetër për zbatimin e elementeve fotoelektrike.
 - Përpuno projekt për zbatimin dhe mënyrën e punës të relesë elektromagnetike.

SHTOJCË

DETYRA

ME SHEMBUJ TË ZGJIDHUR

PËRMBAJTJA

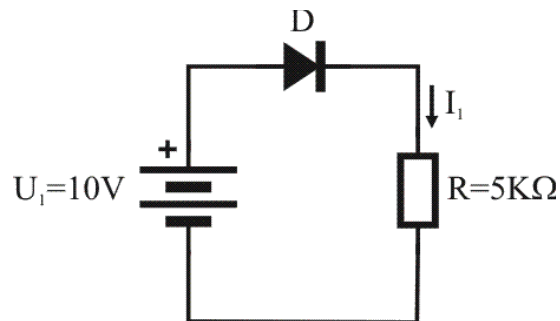
Faqja

Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga diodat gjysmëpërçuese	257-266.
Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga transistorët	268-274.
Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga përforcuesit	274-285.
Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga përforcuesit operacional	284-285.
Detyra nga burimet e tensionit të vazhduar	285.

Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga diodat gjysmëpërçuese

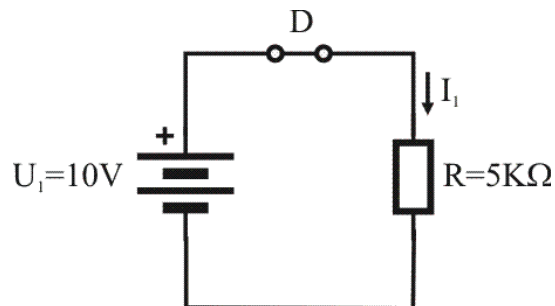
(Në detyra përdoret drejtimi teknik i rrymës)

1. Llogarit rrymën në qarkun me rezistencë dhe diodë ideale, të dhënë në figurë.



Zgjidhja:

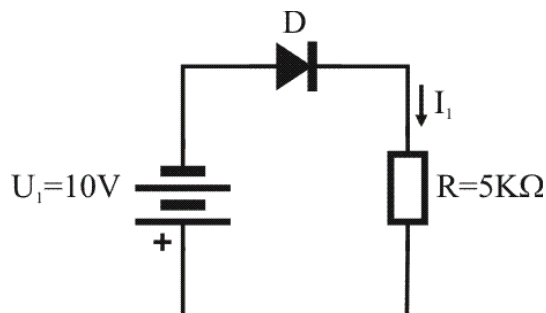
Së pari definohet polarizimi i diodës. Anoda e diodës është e lidhur me polin pozitiv të burimit, dioda është e polarizuar drejtë. Duke marrë parasysh se dioda është ideale, në qark do ta zëvendësojmë me çelës të mbyllur. Tash qarku e ka pamjen e mëposhtme:



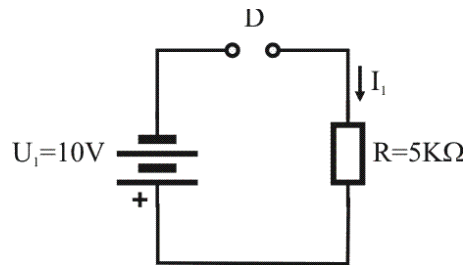
Rryma nëpër rezistencë mund të llogaritet sipas:

$$I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{10V}{5K\Omega} = 2mA.$$

2. Llogarit rrymën nëpër diodën e qarkut të dhënë, duke e marrë diodën si ideale



Zgjidhja: Dioda është me polarizim të kundërt (invers), ajo zëvendësohet me çelës të hapur.



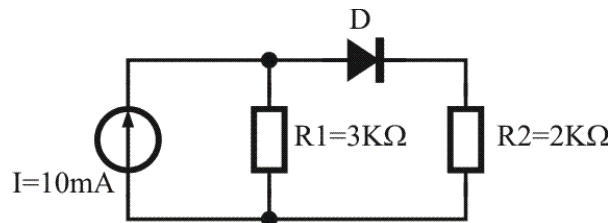
Rryma në qark $I_1 = 0$

3. Në qarkun me gjenerator rryme $I = 10\text{mA}$ dhe një diodë ideale D të llogaritet:

a) tensioni i rezistencës R_1 ;

b) rryma e diodës D .

(Zgjidhja: $U_{R1} = 12\text{V}$, $I_{D1} = 6\text{mA}$)

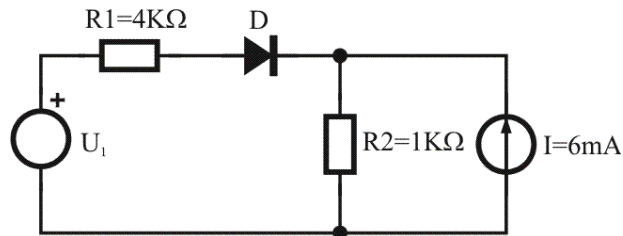


4. Për $U_1 = 10\text{V}$ llogaritet:

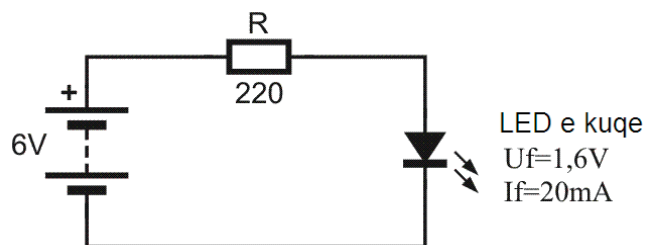
a) rrymën në diodën ideale D ;

b) tensionin në R_2 .

(Zgjidhja: $I_D = 0,8\text{mA}$, $U_{R2} = 8\text{V}$)



5. Të lidhet një LED e kuqe e cila ka rënie të tensionit prej $1,6\text{V}$ dhe rrymë prej 20mA , në burim të vazhduar prej 6V .



Zgjidhja:

Rënia e tensionit në rezistencë duhet të jetë:

$$U_R = 6\text{V} - 1,6\text{V} = 4,4\text{V},$$

Vlera e rezistencës së sajë është:

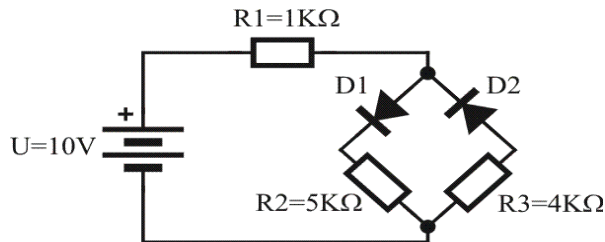
$$R = \frac{4,4V}{20mA} = 0,220K\Omega = 220\Omega .$$

Fuqia e rezistencës është:

$$P_R = U \cdot I = 4,4V \cdot 20 \cdot 10^{-3} A = 0,88W .$$

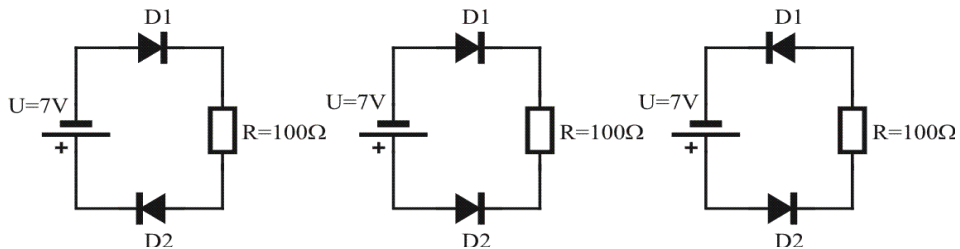
6. Për qarkun e figurës të llogariten rrymat nëpër diodat ideale D1 dhe D2.

(Zgjidhja: $I_{D1} = 1,7 \text{ mA}$, $I_{D2} = 0$)



7. Të llogaritet rryma e cila rrjedh nëpër rezistencën R për secilin prej tre qarqeve, me çka duhet të supozohet se diodat D1 dhe D2 janë ideale.

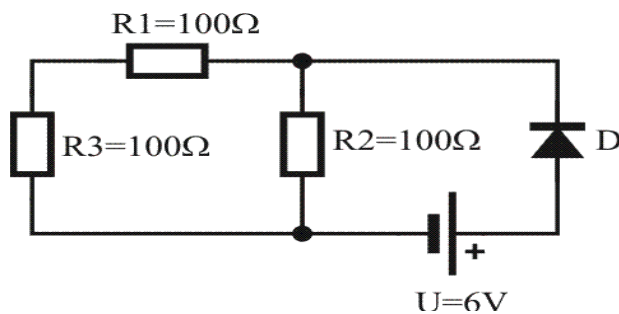
(Zgjidhja: $I_1 = 0$, $I_2 = 0$, $I_3 = 10mA$)



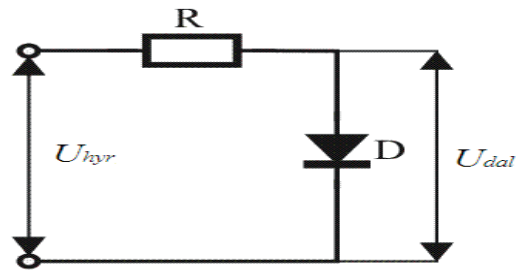
8. Për qarkun e figurës me diodë ideale:

- a) të llogaritet tensioni në R2;
- b) të përcaktohet se sa është rryma e diodës.

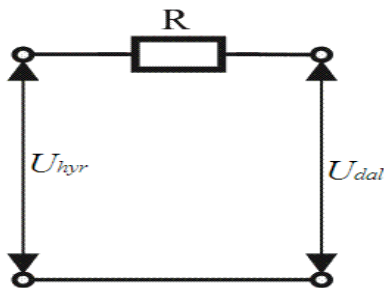
(Zgjidhja: $6V$, $90mA$)



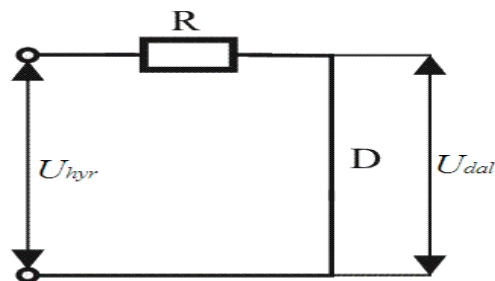
9. Për qarkun në figurë të vizatohet karakteristika kalimtare (e transmetimit).

**Zgjidhja:**

Së pari analizohet qarku kur në hyrjen e tij do të sillen tensione negative ($U_{hyr} < 0$). Në këtë rast, dioda është me polarizim të kundër, ekuivalentohet me çelës të hapur, me çka qarku do të marrë pamjen e mëposhtme:

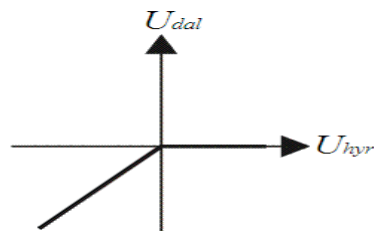


Tensioni i daljes do të ndjek tensionin e hyrjes $U_{dal} = U_{hyr}$.



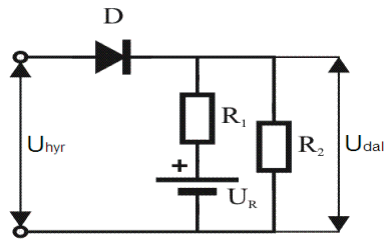
Skajet e diodës janë të lidhur shkurt, kështu që tensioni në skajet e tij është 0V ($U_{dal} = 0V$).

Karakteristika kalimtare e qarkut do të ketë formën e mëposhtme:

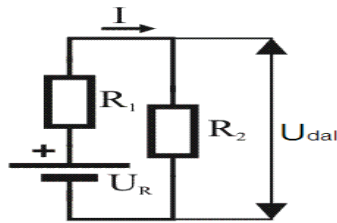


10. Për qarkun nga figura të vizatohet karakteristika kalimtare.

$$R_1 = R_2 = 6K\Omega \quad U_R = 15V$$

**Zgjidhja:**

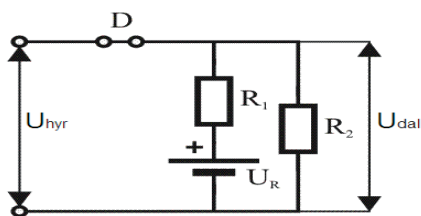
Të supozojmë se dioda është e shkyçur (me polarizim të kundërt). Në këtë rast qarku do të ketë pamjen e mëposhtme:



Rryma në qark mund të shprehet si: $I = \frac{U_R}{R_1 + R_2}$ kurse tensioni i daljes:

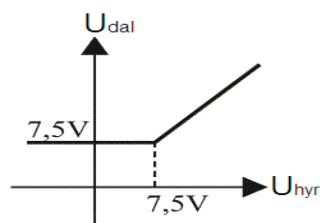
$$U_o = R_2 \cdot I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_R = \frac{6K}{6K + 6K} \cdot 15 = \frac{1}{2} \cdot 15 = 7,5V$$

Ky potencial gjendet në katodën e diodës. Ndryshim të polarizimit do të ketë kur tensioni i hyrjes do të jetë më i lartë se 7,5 V (kur potenciali i anodës do të jetë më i lartë se potenciali i katodës). Në këtë moment dioda do të kyçet, gjejësisht do të jetë me polarizim të drejtë. Qarku do të ketë pamjen e mëposhtme:



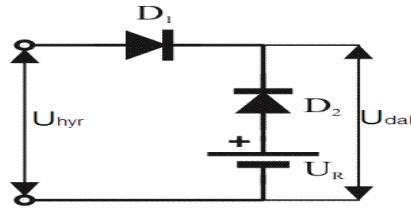
Në këtë rast tensioni i daljes e ndjek tensionin e hyrjes $U_{dal} = U_{hyr}$.

Karakteristika kalimtare do të ketë formën e mëposhtme:



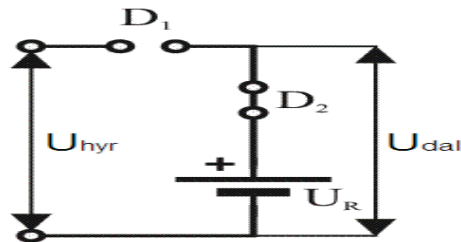
11. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare.

$$U_R = 10V$$

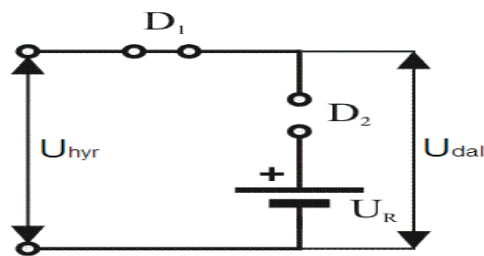


Zgjidhja:

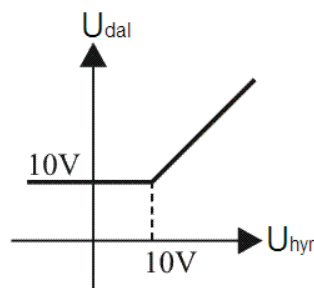
Për $U_{hyr} < 0$, dioda D_2 është e kyçur, pasi që në skajet e anodës ka një potencial të 10V. Në këtë moment katoda e diodës D_1 do të gjendet në të njëjtin potencial, me çka D_1 do të jetë e shkyçur. Tensioni i daljes do të jetë $U_{dal} = 10V$.



Dioda D_1 do të kyçet kur $U_{hyr} > 10V$, me çka dioda D_2 do të shkyçet. Në këtë rast $U_{dal} = U_{hyr}$.

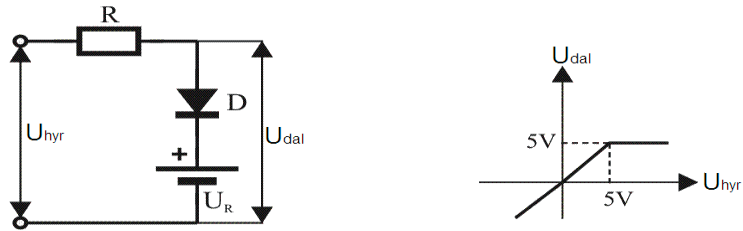


Karakteristika kalimtare do të ketë formën e mëposhtme:

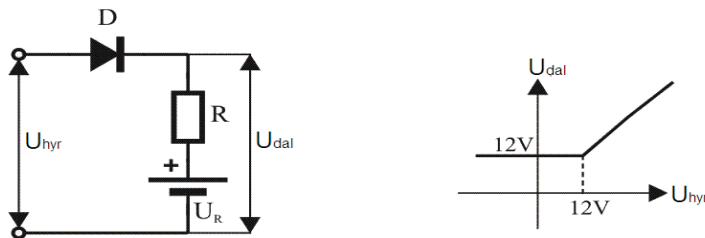


12. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare. ($U_R = 5V$)

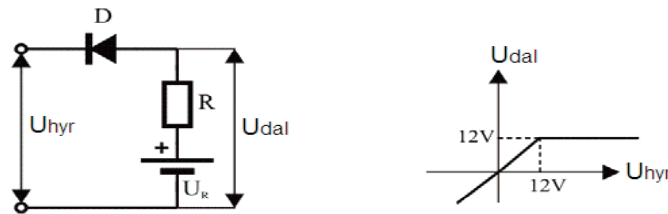
(Zgjidhja)



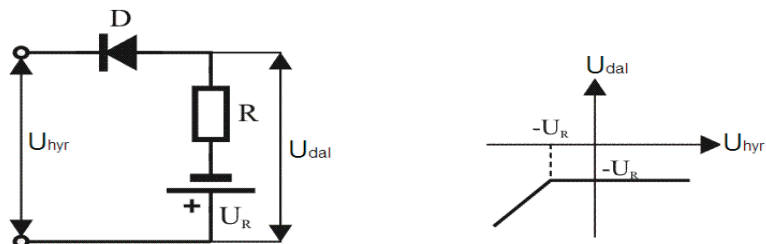
13. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare. ($U_R = 12V$)
(Zgjidhja)



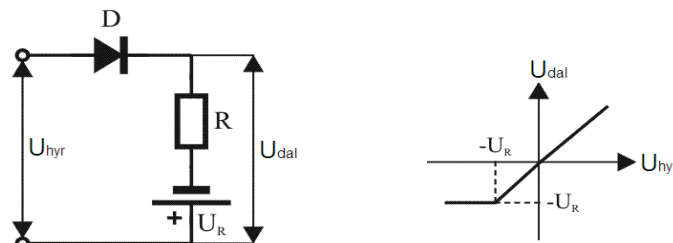
14. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare. ($U_R = 12V$)
(Zgjidhja)



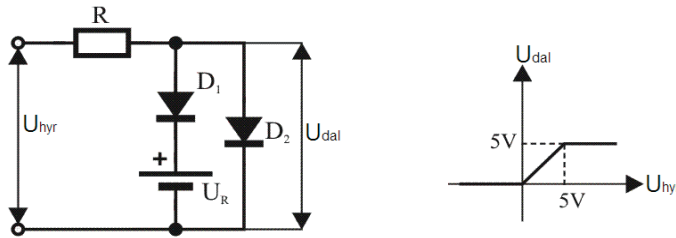
15. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare.
(Zgjidhja)



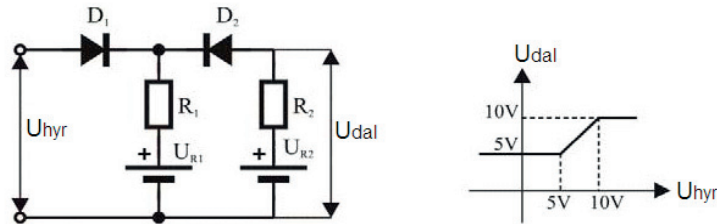
16. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare.
(Zgjidhja)



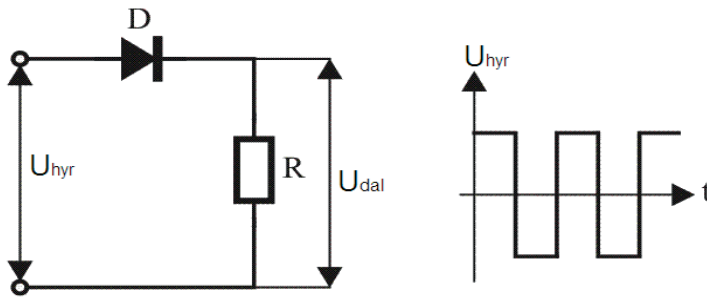
17 ^{*}. Për qarkun e figurës të vizatohet karakteristika kalimtare ku $U_R = 5V$
(Zgjidhja)



18 *). Për qarkun e figurës janë dhënë $R_1=20K\Omega$, $R_2 =20K\Omega$, $U_{R1}=2,5V$, $U_{R2}=10V$. Të vizatohet Karakteristika kalimtare e qarkut. (Zgjidhja)

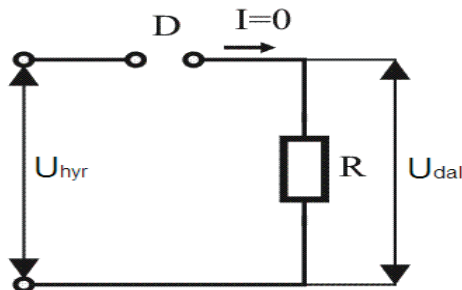


19. Për qarkun e figurës të vizatohet varësia e tensionit të daljes nga tensioni i hyrjes (karakteristika kalimtare) dhe forma e tensionit të daljes U_{dal} për tension të dhënë të hyrjes U_{hyr} .



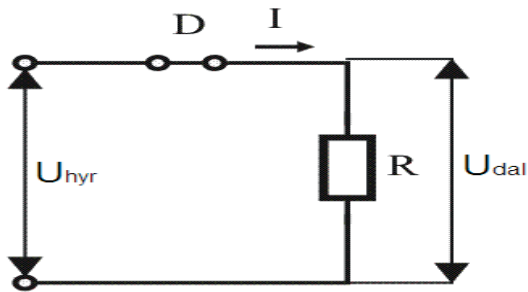
Zgjidhja:

Së pari analizohet qarku kur në hyrjen e tij do të silllet pjesa negative e tensionit të hyrjes ($U_{hyr} < 0$). Në këtë rast dioda është me polarizim të kundërt, ekuivalentohet me çelës të hapur, me ç`rast qarku e fiton pamjen e mëposhtme:



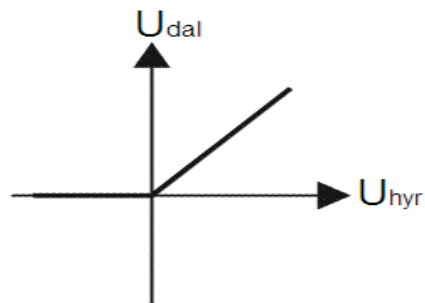
Pasi që në qark nuk rrjedh rrymë, nuk do të ketë rënie të tensionit në skajet e rezistencës dhe tensioni i daljes është i barabartë me 0. ($U_{dal} = 0$).

Deri në ndryshimin e qarkut do të vijë kur tensioni i hyrjes do të bëhet pozitiv. Në këtë rast anoda e diodës do të jetë në potencial më të lartë se katoda e cila është 0V. Tash dioda është polarizuar drejtë dhe qarku do të ketë pamjen e mëposhtme:

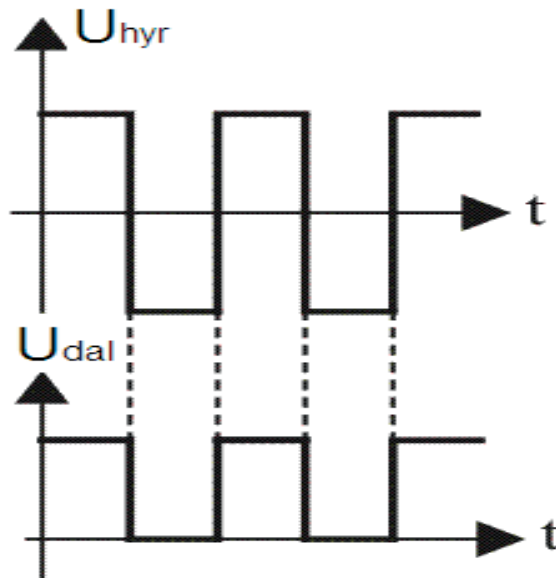


Tensioni i daljes e ndjek tensionin e hyrjes $U_{dal} = U_{hyr}$.

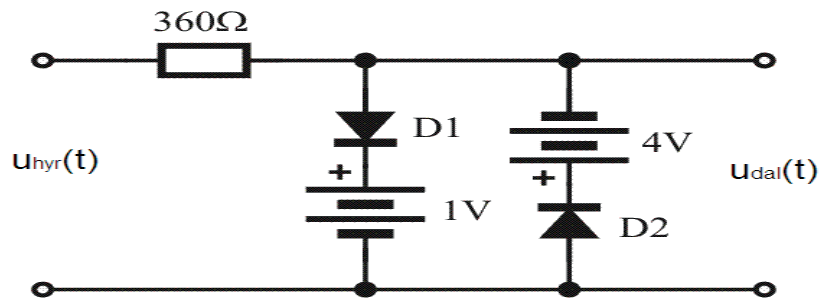
Karakteristika kalimtare do të ketë formën e mëposhtme:



Tensioni i daljes do të ketë formën e mëposhtme:



20 *. Nëse tensioni i hyrjes është $u_{hyr} = 5\sin\omega t$ (V), i sjellë në hyrjen e qarkut me dioda ideale nga figura, të vizatohet grafiku i të tensionit të daljes $u_{dal}(t)$.

**Zgjidhja:**

Në kushtet e përçueshmërisë:

nga $U_{D1} + 1V - u_{hyr} = 0$ fitohet kufiri i përçueshmërisë: $U_{D1} = 1V - u_{hyr}$

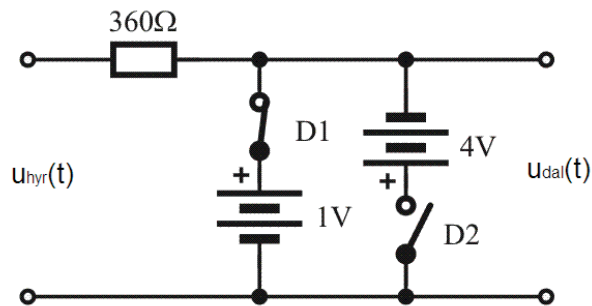
nga $U_{D2} + 4V + u_{hyr} = 0$ fitohet kufiri i përçueshmërisë: $U_{D2} = -4V - u_{hyr}$.

Së pari do të shohim rastin kur dioda D1 është e polarizuar drejtë, kurse D2 kundërt;

$U_{D1} > 0$, $u_{hyr} > 1V$,

$U_{D2} < 0$, $-u_{hyr} - 4V < 0$, $u_{hyr} > -4V$,

nga ku fitohet për $u_{hyr} > 1V$ se $u_{dal} = 1V$.

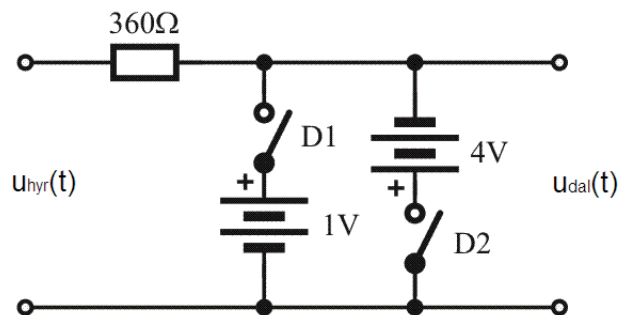


Pastaj do të shohim rastin kur D1 dhe D2 janë me polarizim të kundërt;

$U_{D1} < 0$, $u_{hyr} < 1V$,

$U_{D2} < 0$, $-u_{hyr} - 4V < 0$, $u_{hyr} > -4V$,

nga ku fitohet për $-4 < u_{hyr} < 1V$ se $u_{dal} = u_{hyr}$.

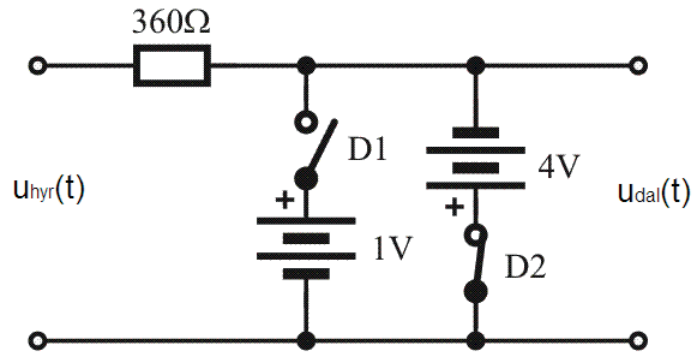


Pastaj do të shohim rastin kur D1 është me polarizim të kundërt kurse D2 me polarizim të drejtë;

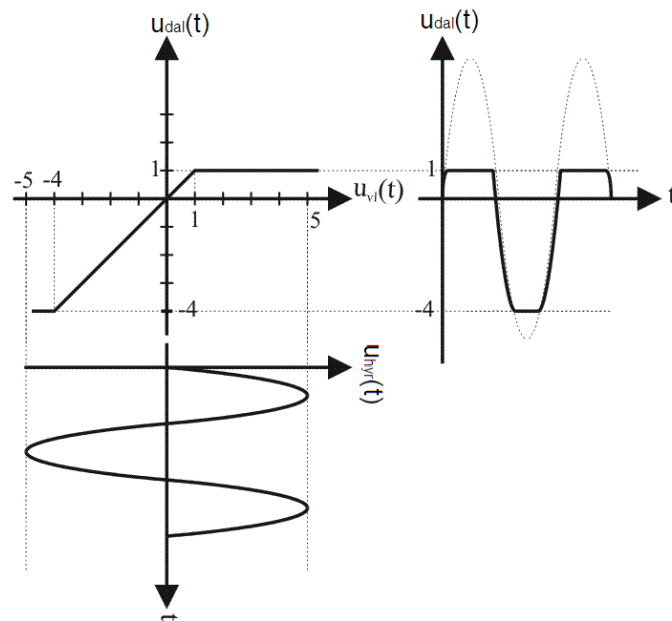
$U_{D1} < 0$, $u_{hyr} < 1V$,

$U_{D2} > 0$, $-u_{hyr} - 4V > 0$, $u_{hyr} < -4V$,

nga ku fitohet për $u_{hyr} < -4V$ se $u_{dal} = -4V$.



Forma e tensionit të daljes, si edhe karakteristika kalimtare janë dhënë në figurën e mëposhtme:



Mund të përfundojmë se ky qark kryen kufizimin e tensionit edhe nga „lartë,, edhe nga „poshtë,,. Kufizimi nga lartë është prej 1V kurse nga poshtë në -4V.

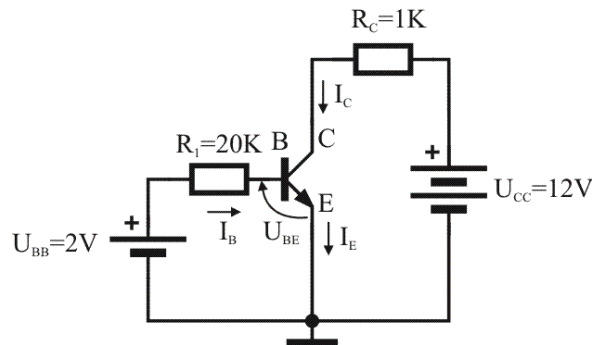
***) Njohuri të zgjeruara**

Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga transistorët

21. Transistori në qarkun nga figura ka $\beta=100$. Lidhja e emiterit është me polarizim të drejtë me burimin $U_{BB}=2V$ dhe ka tension $U_{BE}\approx 0,7V$.

Të caktohet:

- rryma e bazës;
- rryma e kolektorit;
- tensioni i kolektorit.



Zgjidhja:

a) Rryma e bazës caktohet nga qarku bazë-emiter:

$$U_{BB} - R_1 I_B - U_{BE} = 0$$

Pjek ku për I_B fitohet:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_1} = \frac{2 - 0,7}{20 \cdot 10^3} = 65 \mu A.$$

b) Rryma e kolektorit është:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 65 \cdot 10^{-6} = 6,5 mA.$$

c) Tensioni i kolektorit përcaktohet nga qarku emiter-kolektor:

$$U_{CC} - R_C I_C - U_{CE} = 0$$

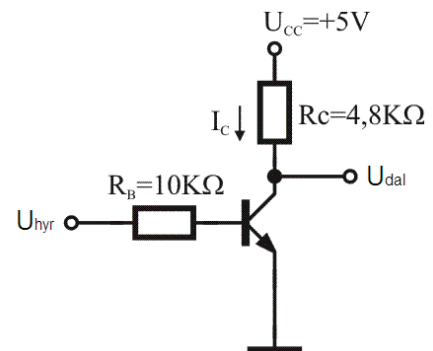
prej ku për U_{CE} fitohet:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} = 5,5V$$

22. Në figurën në qark, vë të cilën transistori punon si çelës, janë dhënë vlerat në vijim për transistorin: $U_{CES} = 0,2V$, $U_{BE} = 0,6V$ dhe $\beta=50$.

a) Përcakto vlerën minimale të tensionit të hyrjes për të cilin transistori sillet në ngopje;

b) Cakto vlerën e nevojshme të tensionit të hyrjes me të cilën transistori sillet në gjendjen e bllokimit.



Zgjidhja:

a) Rryma e kolektorit të transistorit kur hyn në ngopje është:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_C} = \frac{5 - 0,2}{4,8 \cdot 10^3} = 1 mA.$$

Rryma e bazës llogaritet sipas kushtit:

$$\beta \cdot I_B = I_{CS} \quad \text{prej ku} \quad I_B = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{50} = 0,02 \text{mA}$$

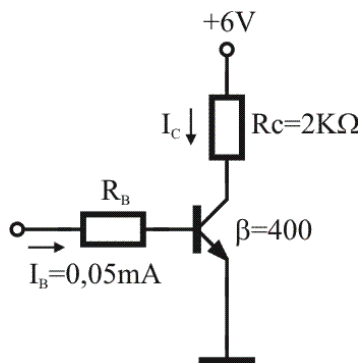
Vlerën minimale të U_{HYR} do ta përcaktojmë nëpërmjet:

$$U_{HYR} = R_B \cdot I_B + U_{BE} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} + 0,6 = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{V}$$

Për secilën vlerë të tensionit të hyrjes dhe rrymës së bazës më të madhe se të llogariturat, transistori do të jetë në ngopje të thellë. Me plotësimin e këtij kushti sigurohet zbatimi i secilit transistor nga lloji i zgjedhur me tolerancë të gjerë të faktorit β . Niveli i tensionit të daljess prej 0,2V llogaritet për nivel tensioni të ulët, kurse transistori si çelës i mbyllur.

b) Transistori do të jetë në prag të bllokimit kur rryma e bazës është zero, tensioni bazë-kolektor më i vogël se 0,7V. Vijon: tensioni i hyrjes është $U_{hyr} < 0,6 \text{V}$, rryma e kolektorit është $I_C \approx 0$, kurse për tensioni e kolektorit fitohet: $U_{CE} = U_{CC} \approx U_{DAL}$.

23. Llogarit rrymën nëpër rezistencën R_C kur transistori është në ngopje.



Zgjidhja:

Është e njohur se tek transistori i cili gjendet në regjimin e ngopjes, tension U_{CE} është 0,2 V. Sipas kësaj, nga ekuacioni i qarkut të kolektorit:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C$$

fitohet:

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{6 - 0,2}{2 \cdot 10^3} = 2,4 \text{mA}$$

Në qark është dhënë vlera e rrymës së bazës I_B kështu që me zbatimin e relacionit mes rrymave:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

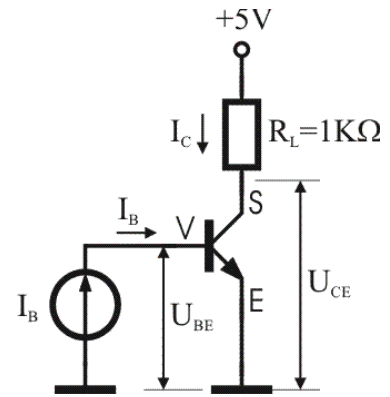
për I_C do të fitohet vlerë:

$$I_C = I_B \cdot \beta = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 20 \text{mA}$$

e cila paraqet gjendje të pamundur në të cilën për tensionin U_{ce} do të fitohet vlerë negative. Kjo na tregon se, kur transistori është në ngopje, rryma e kolektorit nuk kontrollon nga rryma e bazës.

Prandaj në rajonin e ngopjes, rrymën e kolektorit patjetër ta llogarisim nga qarku i kolektorit.

24. Në figurën me transistorin në qark kyçet dhe shkyçet poçi i cili ka rezistencë të fijos për ngrohje $1K\Omega$ dhe përfaqësohet nga rezistenca R_L . Transistori ka $\beta=50$ dhe tension $U_{BE}=0,7V$. Të llogaritet regjimi i punës së qarkut për rrymën e bazës prej 0, 40, 100 dhe $200\mu A$.



Zgjidhja:

Kur $I_B=0$,

atëherë edhe $I_C=0$, nuk ka rrymë nëpër rezistencën R_L , tensioni $U_{CE}=5V$ dhe $U_{RL}=0$, transistori nuk përçon.

Për $I_B=40\mu A$,

Rryma

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 2mA,$$

$$U_{CE} = 5V - R_L \cdot I_C = 5V - 2mA \cdot 1K\Omega = 5V - 2V = 3V$$

Tensioni $U_R=5-U_{CE}=5-3=2V$.

Lidhja e kolektorit akoma është me polarizim të kundërt:

$$U_{CB} = U_{CE} - U_{BE} = 3 - 0,7 = 2,3 V \text{ dhe transistori është në zonën aktive.}$$

Për $I_B=100\mu A$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 5mA,$$

$$U_{CE} = 5V - R_L \cdot I_C = 5V - 5mA \cdot 1K\Omega = 5V - 5V = 0,$$

$$U_{CB}=U_{CE} - U_{BE} = 0 - 0,7V = - 0,7V.$$

Lidhja e kolektorit është në kufirin e polarizimit të drejtë, kurse transistori në kufijtë e ngopjes.

Në poçin (rezistencën R_L) ka tension prej 5V.

$$I_C = I_{C_{max}} = \frac{5V}{1K\Omega} = 5mA$$

$$I_{B(NGOP)} = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{50} = 100\mu A.$$

Kjo është vlera e I_B që është e nevojshme për të sjellë qarkun në kufirin e ngopjes.

Për $I_B=200\mu A$,

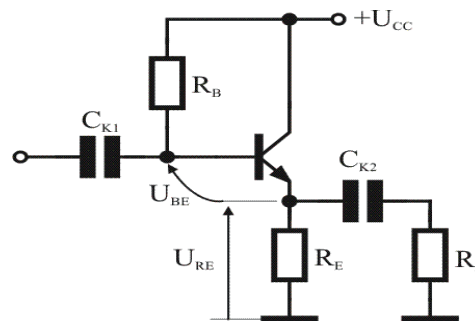
rryma e bazës e çon transistorin në ngopjet e thellë, I_C nuk mund të zadhohet mbi 5mA, transistori punon si çelës i mbyllur.

$$I_C = 5mA, I_B = 200\mu A, \beta_{sat} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-6}} = 25.$$

β_{sat} - faktori i përforcuar i ngopjes së rrymës gjithmonë është më i vogël se β në zonën normale aktive.

25. Të llogaritet vlera e rezistencës R_E për qarkun e dhënë.

$U_{CC}=6V$; $U_{RE}=2,4V$; $U_{BE}=0.6V$; $\beta=100$; $R_B= 300K\Omega$.



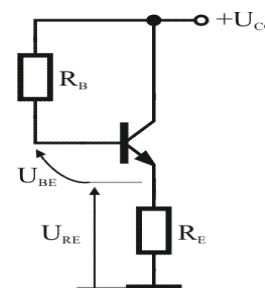
Zgjidhja:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}; \text{ prej ku për } I_C \text{ fitohet : } I_C = I_B \cdot \beta$$

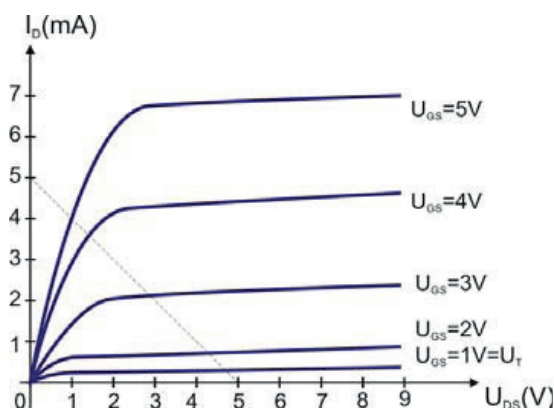
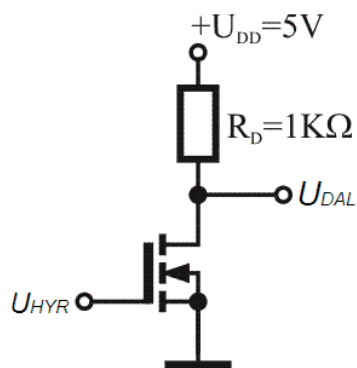
$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_{RE}}{R_B} = \frac{6 - 2,4 - 0,6}{300 \cdot 10^3} = 0,01mA = 10\mu A$$

$$I_C = I_B \cdot \beta = 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1mA$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C + I_B} = \frac{2,4}{1 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 10^{-3}} = 2,38K\Omega$$



26. Si punon qarku i dhënë me MOSFET me kanal të induktuar me karakteristika dalje të dhëna në figurë, nëse në hyrjen e tij silltet nivel i ulët ($U_{HYR}=0V$) dhe i lartë ($U_{DAL}=U_{DD}=5V$).



Zgjidhja:

Nëse në hyrjen e MOSFET-it me kanal-N silltet nivel i ulët:

$$U_{HYR}=U_{GS}=0V,$$

transistori ndodhet në zonën e bllokimit, rryma nëpër drejtn do të jetë $I_D \approx 0$, që do të thotë se edhe tensioni i rezistencës R_D do të jetë 0V.

Nga ekuacioni i tensionit të daljes fitohet

$$U_{DAL} = U_{DD} - U_{R_D} = U_{DD} = 5V.$$

Nëse të hyrje e MOSFET-it me kanal-N sillet nivel i lartë:

$$U_{HYR}=U_{GS}=5V,$$

transistori ndodhet në zonën omike ($U_{DS}<U_{GS}-U_T$), rryma nëpër drejn do të jetë maksimale, që do të thotë se edhe tensioni i rezistencës R_D do të jetë maksimal.

Për tensioni e daljes fitohet rrymë pozitive, por minimale përafërsisht e barabartë me zero.

Zgjidhjen mund ta tregojmë në tabelën e mëposhtme:

U_{HYR}	U_{DAL}
0V	5V
5V	0V

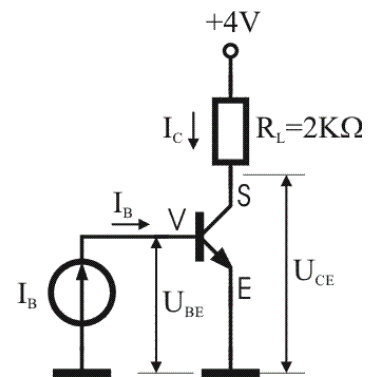
Prej ku mund të përfundojmë se qarku i këtyllë punon si invertor.

27. Përcakto U_{CE} dhe I_C për vlerat e dhëna të I_B dhe përcaktoje regjimin e punës së transistorit të qarkut të figurës.

- a) $I_B = 0$, b) $I_B = 20\mu A$,
 c) $I_B = 60\mu A$ d) $I_B = 100\mu A$

(Zgjidhja:

- a) $I_C = 0$, $U_{CE} = 4V$ bllokim,
 b) $I_C = 0,8mA$, $U_{CE} = 2,4V$ zona e bllokimit,
 c) $I_C = 2,4mA$, $U_{CE} = 0,2V$ në kufirin e ngopjes,
 d) $I_C = 4mA$, $U_{CE} = 0,2V$ në ngopje të thellë)

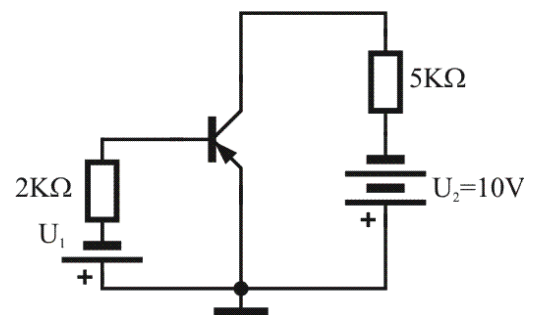


28. Transistori PNP në qarkun e figurës ka karakteristikat e mëposhtme $\beta = 75$ dhe të supozojmë vlerë për $U_{CE(ZAS)} = -0,1V$.

a) Sa rrymë e kolektorit rrjedh kur transistori është në ngopje?

b) Në qoftë se $U_{BE} = -0,6V$, çfarë vlerë është e nevojshme për U_1 që transistori të futet në ngopje?

(Zgjidhja: a) $I_C = 0,45mA$, b) $U_1 = 0,9V$).

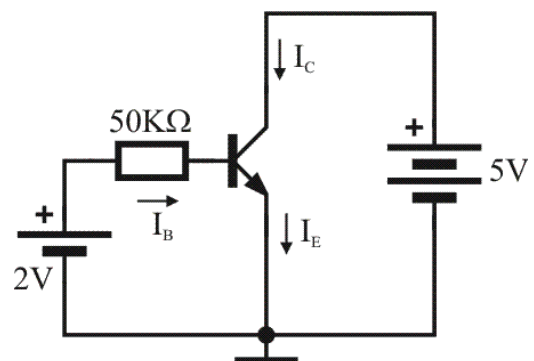


29. Transistori NPN nga figura ka $\beta = 100$, kurse lidhja e emiterit është e polarizuar drejtë me $U_{BE} = 0,6V$.

a) Në cilin regjim punon transistori?

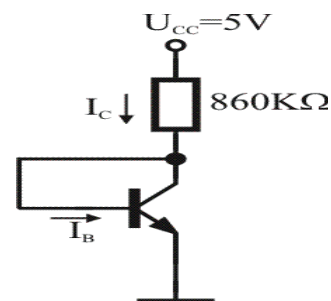
b) Llogarit rrymën e bazës, emiterit dhe kolektorit.

(Zgjidhja: a) $U_{CE} = 2,2V$, regjimi i përçueshmërisë b) $I_B = 28mA$, $I_C = 2,8mA$, $I_E = 2828mA$).



30. Figura tregon transistorin NPN të lidhur ashtu që të duket is diodë. Transistori punon në regjimin aktiv. Për verat e dhëna $U_{BE}=0,7V$ dhe $\beta=49$, llogarit rrymn e bazës dhe kolektorit.

(Zgjidhja: $I_B=0,1\mu A$, $I_C = 5 \mu A$).



31. Për qarkun e dhënë në figurë, $\beta=100$ dhe $U_{BE}=0,7V$,

a) Gjej U_{DAL} për $U_{HYR}=0,8$; 1,5; 2,0 dhe 2,5 V.

b) Për cilën vlerë të përafërt të U_{HYR} rryma e kolektorit do të përcaktohet më tepër me qarkun e polarizimit se sa me relacioni për β . Cili është ky regjim i punës?

c) Për $U_{HYR}=2,5V$ të përcaktohet raporti mes rrymës së kolektorit dhe bazës (β_{sat}) dhe të krahasohet me vlerën e dhënë të rajonit normal aktiv.

(Zgjidhja: a) për $U_{HYR}=0,8V$, $U_{DAL}=0,86V$,

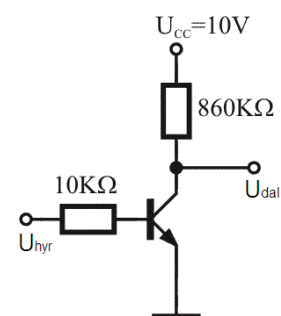
për $U_{HYR}=1,5V$, $U_{DAL}=3,12V$,

për $U_{HYR}=2V$, $U_{DAL}=0,2V$,

për $U_{HYR}=2,5V$, $U_{DAL}=0,2V$,

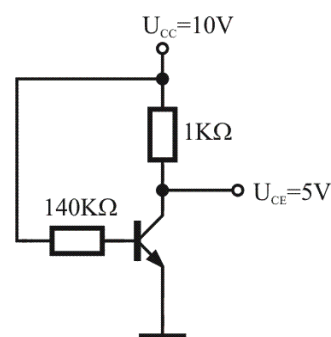
b) $U_{HYR}>0,8V$

c) $\beta_{sat} = 50 < 100$).

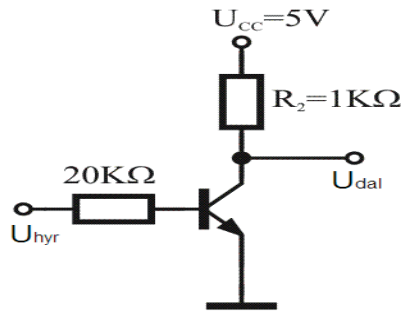


32. Nëse $U_{BE}=0,7V$, llogarit vlerën e β për transistorin në qarkun e figurës.

(Zgjidhja: $\beta=73$).



33. Në qarkun, e treguar në figurë, tensioni i kyçjes së lidhjes bazë emiter U_{BE} është 0,7V, U_{CES} është 0,1V, kurse β është 200. Gjej vlerën e tensionit të daljes për $U_{HYR}=0,8V$ dhe 1,0V dhe krahaso raportin e ndryshimit të tensioneve të daljes me raportin e ndryshimit të tensioneve të hyrjes.

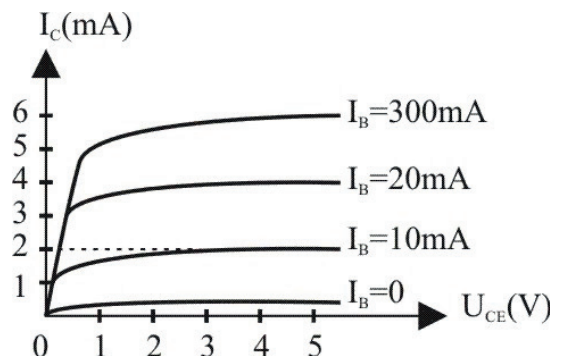
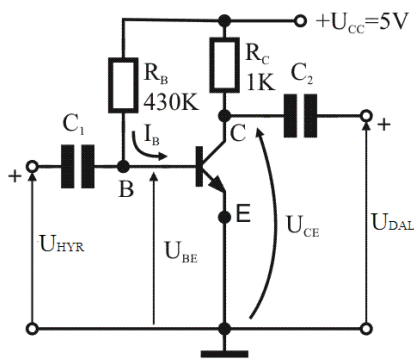


(Zgjidhja: për $U_{HYR} = 0,8\text{ V}$, $U_{DAL} = 4\text{ V}$, dhe për $U_{HYR} = 1\text{ V}$, $U_{DAL} = 3,5\text{ V}$,

$$\Delta U_{HYR} = 0,2 \quad \Delta U_{DAL} \left(\frac{\Delta U_{DAL}}{\Delta U_{HYR}} = -2,5 \right).$$

Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga përforcuesit (amplifikatorët)

34. Janë dhënë karakteristikat e transistorit-NPN, në lidhje me emiter të përbashkët. Të përcaktohet vendi i pikës së punës dhe i drejtëzës së punës. Transistori është në regjimin aktiv të punës dhe ka tension $U_{BE}=0,7\text{ V}$.



Zgjidhja:

Drejtëza e punës vizatohet në karakteristikën e daljes, pika e prerjes me boshtin U_{CE} është në $0,5\text{ V}$. Kurse me boshtin e rrymës në $U_{CC}/R_C=5\text{ mA}$.

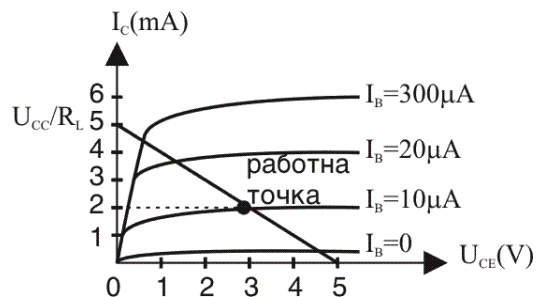
Nga:

$$U_{CC} = U_{BE} + R_B I_B$$

rryma e bazës I_B është:

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{430\text{ K}} = 10\ \mu\text{ A}.$$

Pika e punës shtrihet në drejtëzën e punës dhe karakteristikën për $I_B=10\ \mu\text{ A}$. Për pikën e punës fitohet $U_{CE} = 3\text{ V}$ dhe $I_C = 2\text{ mA}$.



Kur kapaciteti i kondensatorit është shumë i madh ($C \rightarrow \infty$), e ekuivalentojmë me ndërprerje të qarkut.

35. Për transistorin nga detyra 1 të llogaritet β (h_{FE}), për pikën e punës si në detyrë.

Zgjidhja:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \text{ për } U_{CE} = \text{const.}$$

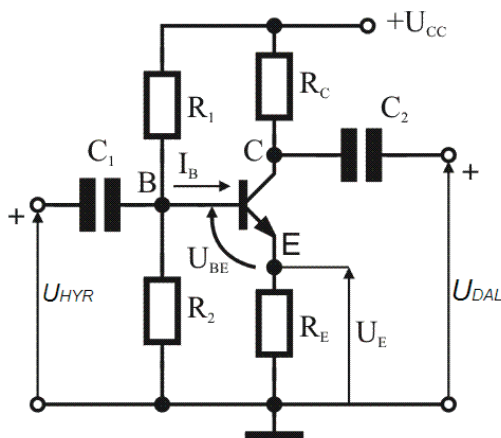
$$\beta = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6}} = 200.$$

Koment: Transistorët bipolar të prodhuara në një seri kanë vlera të ndryshme të β , të cilat mund të arrijnë dallime nga 50 deri në 100%. Nëse β ndryshon nga 100 deri në 400, në këtë shembull, për rrymë të bazës prej $10\mu\text{A}$, fitohet:

nëse $\beta=100$, $I_C=100 \times 10\mu\text{A}=1\text{mA}$,

nëse $\beta=400$, $I_C=400 \times 10\mu\text{A}=4\text{mA}$.

36. Për qarkun e gopjes me emiter të përbashkët, të dhënë në figurë, të caktohet rryma e emiterit nëse është dhënë: $R_1 = 3\text{K}\Omega$, $R_2 = 1\text{K}\Omega$, $R_C = 4\text{K}\Omega$, $R_E = 1,5\text{K}\Omega$.



Zgjidhja:

Me ndarësin e tensionit R1-R2 fitohet tensioni i bazës U_B (sipas shprehjes 3.22):

$$U_B = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{1\text{K}}{1\text{K} + 3\text{K}} = 2,5\text{V}$$

$$U_{BE} = 0,7\text{V}.$$

Nga ekuacioni: $U_B = U_{BE} + R_E \cdot I_E$ fitohet:

$$I_E = \frac{2,5 - 0,7}{1,5\text{K}} = 1,2\text{mA}$$

$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{10}{1\text{K} + 3\text{K}} = 2,5\text{mA}.$$

Vërehet se në këto llogaritje nuk futet vlera e β . Arsyeja është supozimi që tregon se rryma I_B nuk ndikon në vlerën e U_B . Nëse supozojmë vlerën 100 për β , fitojmë:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{100 + 1} = 0,012\text{mA} \ll 2,5\text{mA},$$

me çka tregohet vlefshmërinë e supozimit të cekur.

37. Transistori në qarkun e detyrës 40 ka $\beta = 25$, kurse elementet tjera janë:

$R_1 = 45\text{K}\Omega$, $R_2 = 30\text{K}\Omega$, $R_C = 3\text{K}\Omega$, $R_E = 30\text{K}\Omega$. Të caktohen vlerat e I_C dhe U_C .

Zgjidhja:

Me transformimin e bërë me zbatimin e teoremës së Tevenenit fitohet:

$$U_{BT} = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{30\text{K}}{30\text{K} + 45\text{K}} = 4\text{V}$$

$$R_{BT} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30\text{K} \cdot 45\text{K}}{30\text{K} + 45\text{K}} = 18\text{K}$$

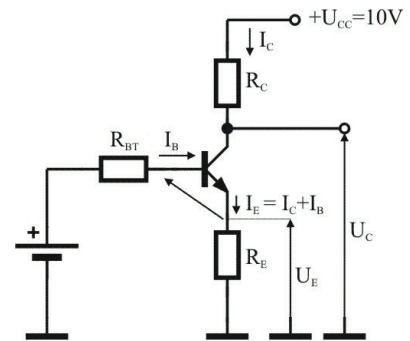
Nga ekuacioni: $U_{BT} - R_{BT} \cdot I_B - U_{BE} - R_E \cdot I_E = 0$, me zëvendësim për

$U_{BE} = 0,7\text{V}$, fitohet

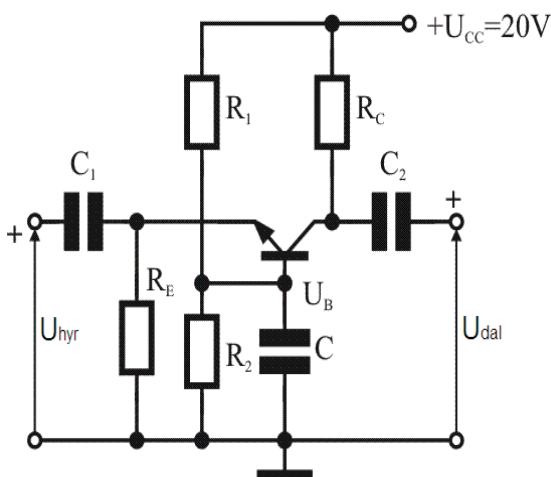
$$I_E = 1,23\text{mA}$$

$$I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot I_E = \frac{25}{26} \cdot 1,23 \cdot 10^{-3} = 1,18\text{mA}$$

$$U_C = U_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - 3 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 10^{-3} = 6,46\text{V}$$



38. Për qarkun e përforcuesit me bazë të përbashkët të dhënë në figurë, vlerat e elementeve janë, $R_1 = 6\text{K}\Omega$, $R_2 = 1\text{K}\Omega$, $R_C = 4,5\text{K}\Omega$, $R_E = 1,5\text{K}\Omega$. Faktori i përforcimit të rrymës të transistorit β ka vlerë të madhe. Të caktohet vendi i pikës së punës.



Zgjidhja:

Qarku i polarizimit ka formë të njëjtë si edhe në figurën 60, kështu që kemi;

$$U_B = \frac{1\text{K}}{7\text{K}} \cdot 20 = 2,86\text{V}$$

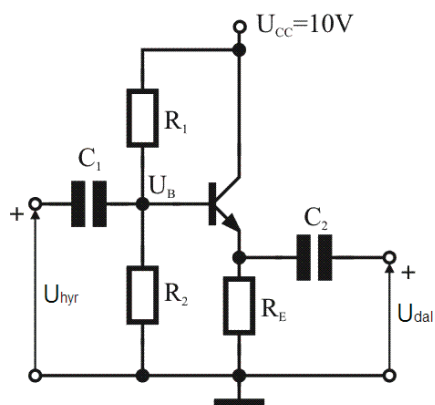
$$I_E = \frac{2,86 - 0,7}{1,5 \cdot 10^3} = 1,44\text{mA}$$

$$U_C = 20 - 1,44 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 \cdot 10^3 = 13,5\text{V}$$

$I_C \approx I_E$ kur β është e madhe.

39. Është dhënë përforcues me kolektor të përbashkët. Të llogaritet vlera e rrymës së kolektorit.

Janë dhënë vlerat e mëposhtme të elementeve të qarkut: $R_1 = 4\text{K}\Omega$, $R_2 = 2\text{K}\Omega$, $R_E = 1\text{K}\Omega$.



Zgjidhja:

$$U_B = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{2K}{4K + 2K} = 3,33V.$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 3,33 - 0,7 = 2,63V$$

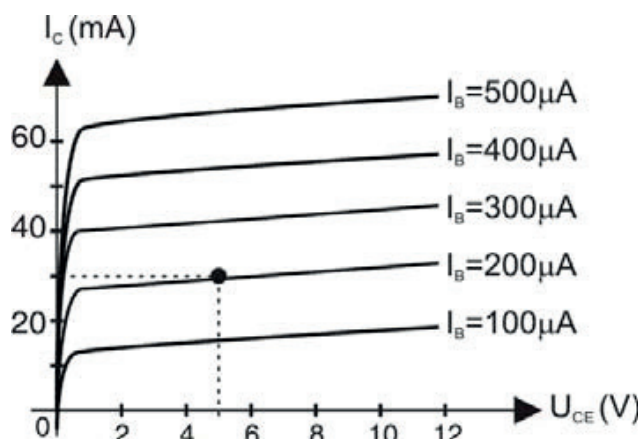
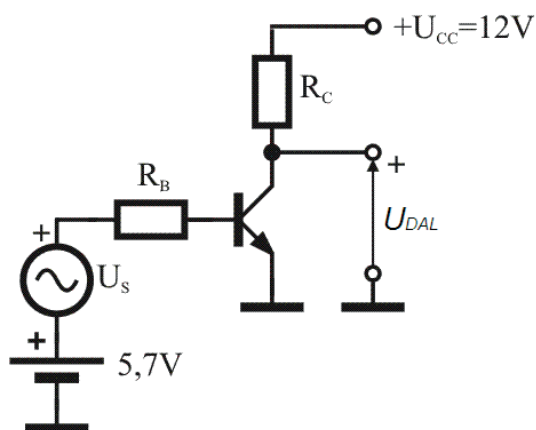
$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,63}{1 \cdot 10^3} = 2,63mA$$

$$I_C = I_E = 2,63mA.$$

Koment: Ky përforcues është i njohur si ndjekës emiterial, i cili ka përforcim tensioni më të vogël se 1. Zakonisht përdoret për transformimin e impedancës.

40. Në figurë është dhënë qarku me emiter të përbashkët dhe karakteristikat e tij. Pika e punës është zgjedhur të ketë $I_C=30mA$ dhe $U_{CE}=5V$. Për tensionin U_{BE} është konsideruar të jetë $0,7V$.

- të vizatohet drejtëza statike e punës;
- të llogaritet vlera e R_C ;
- të llogaritet vlera e R_B ;
- të llogaritet vlera β e transistorit;
- të llogaritet vlera e përforcimit të rrymës për sinjal të madh.



(Zgjidhja: a) për $I_C=0A$, $U_{CE} = 12V$, për $U_{CE}=0V$, $I_C=50mA$,

b) nga grafiku $R_C = 240\Omega$,

c) nga grafiku $I_B=200\mu A$, $R_B=25K\Omega$

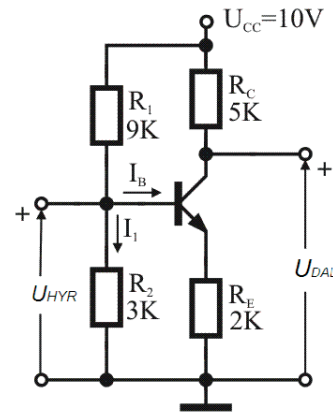
d) $\beta=150$,

e) $A_u = 1,44$).

41. Në figurë është treguar qarku përforcues me emiter të përbashkët. Me vlera të supozuara $I_B \ll I_1$, $\beta = 250$ dhe $U_{BE} = 0,7V$.

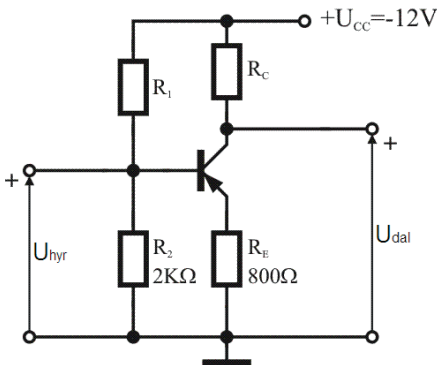
- a) llogarit vlerat e rrymave I_E , I_C dhe I_B ;
- b) llogarit vlerën e U_{CE} .

(Zgjidhja: a) $I_C = 225mA$, $I_B = 3,58\mu A$, $I_E \approx I_C$
 b) $U_{CE} = -1,57V$.)



42. Në figurë është dhënë përforcuesi me transistor-PNP. Për vlerat e $U_{BE} = -0,7V$ dhe $\beta = 120$.

- a) të llogaritet vlera e rezistencës R_1 për të cilën $I_E = -1,2$ mA;
- b) të llogaritet vlera e rezistencës R_C për të cilën $U_C = -6V$;



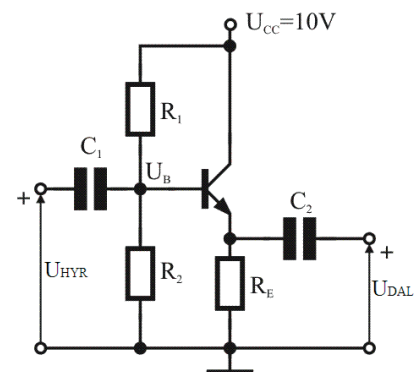
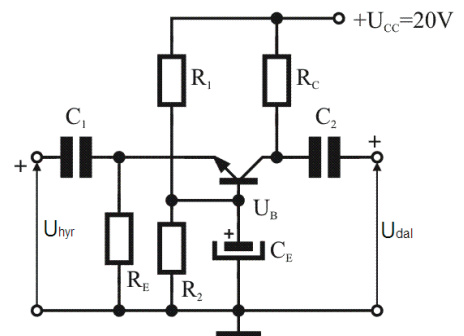
Zgjidhja: a) $R_1 = 12,45K\Omega$,
 b) $R_C = 5k\Omega$

43. Përforcuesi me bazë të përbashkët, i dhënë në figurë, është polarizuar me $U_{CC} = 20V$, $R_1 = R_2 = 3K\Omega$ dhe $R_E = 4K\Omega$. Transistori ka $\beta = 100$ dhe $U_{BE} = 0,7V$.

Të përcaktohet vlera e I_E dhe I_C ;

(Zgjidhja: $I_C = 2,3$ mA, $I_E \approx I_C$)

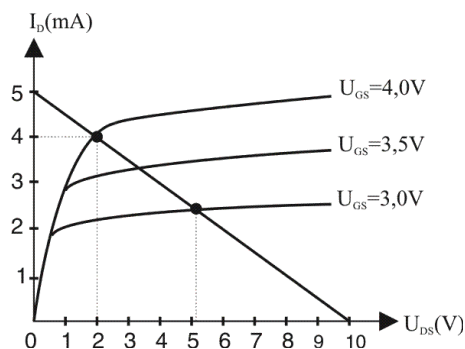
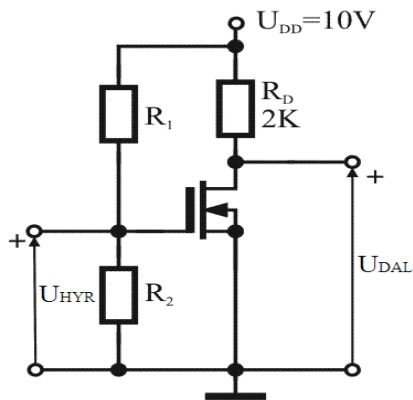
44. Qarku për polarizimin e përforcuesit me kolektor të përbashkët i dhënë në figurë është i përbërë nga $R_1 = 6K\Omega$, $R_2 = 4K\Omega$, dhe $R_E = 2,7K\Omega$. Në qoftë se $U_{BE} = 0,7V$ dhe β me vlerë të madhe, të llogaritet rryma e emiterit I_E .



(Zgjidhja: $I_E=1,22\text{mA}$)

45. Për qarkun e figurës janë dhënë karakteristikat e transistorit. Të përcaktohet:

- a) vlera e U_{DS} nëse $U_{GS}=2\text{V}$;
- b) vendi më i mirë i pikës së punës;
- c) vlerat e R_1 dhe R_2 për vendin e zgjedhur të pikës së punës.



Zgjidhja:

a) Nga grafiku për $U_{GS}=2\text{V}$ vijon $U_{DS}=8,2\text{ V}$

b) Nga grafiku për $U_{GS}=4\text{V}$ fitohet $U_{DS}=1,9\text{V}$.

Rezultatet nën a) dhe b) merren me përcaktimin e prerjes së karakteristikës adekuate dhe drejtëzës së punës.

Për amplituda të barabartë rreth pikës së punës dhe me amplitudë të barabartë pozitive dhe negative të tensionit të hyrjes, pika e punës duhet të vendoset në vendin ku $U_{GS}=3\text{V}$.

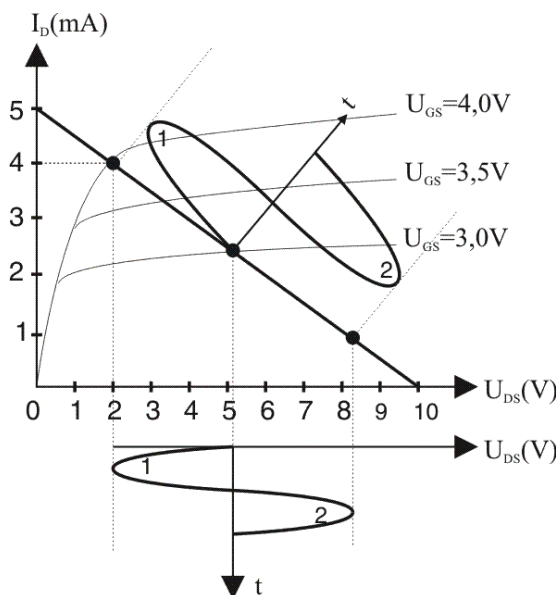
c) Me zbatimin e ekuacionit 3.61 fitohet:

$$3 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 10$$

Nëse zgjedhim një vlerë, për shembull, $R_2=10\text{K}\Omega$, për R_1 fitohet $23\text{K}\Omega$. Rezultati i përforcimit i sinjalit të madh është treguar në grafik. Kur tensioni i hyrjes U_{GS} ndryshon në mënyrë sinusoidale prej 3V deri në 4V dhe përsëri në 3V, pika e punës lëviz përgjatë drejtëzës së punës dhe e përcakton tensionin e daljes në kufijtë prej 5V do 1,9V, gjatë kohës së gjysmës së dytë të sinusoidës tensioni i hyrjes ndryshon nga 3V në 2V, kurse ai dalës ndryshon nga 5V deri në 8,2V. Përforcimi është:

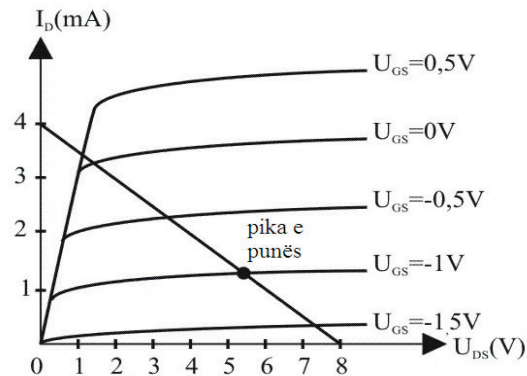
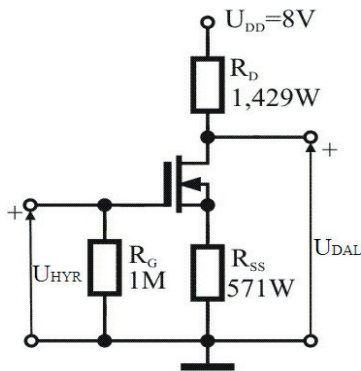
$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = \frac{-6,3}{2} = -3,15$$

Shenja negative tregon se përforcuesi e inverton sinjalin e hyrjes.



46. Për një MOSFET me kanal të ndërtuar është i nevojshëm tension negativ U_{GS} . Ai mund të fitohet me rezistencën R_{SS} në qarkun e burimit. Me këtë rezistencë rritet tensioni i burimit, ashtu që të jetë më i madh se tensioni i gejtit. Janë dhënë karakteristikat dalëse të MOSFET-it. Pika e punës duhet të shtrihet në karakteristikën $U_{GS} = -1V$, në prerjen e drejtëzës së punës për rezistencë $2K\Omega$ në qarkun drejn-burim.

Të përcaktohet vlera e rezistencës e R_{SS} e cila duhet të vendoset në qarkun e burimit.



Zgjidhja:

Që të kënaqet kërkesa është e nevojshme që rezistenca e qarkut drejn - burim të ndahet në R_D dhe R_{SS} , me çka kemi $R_D + R_{SS} = 2K\Omega$.

Tensioni i gejtit është $0V$ sepse në R_G nuk rrjedh rrymë. Tensioni i rezistencës R_{SS} është dhënë me:

$$U_{RSS} = I_D \cdot R_{SS},$$

kurse tensioni U_{GS} tensionit me:

$$U_{GS} = -I_D \cdot R_{SS} = -1.$$

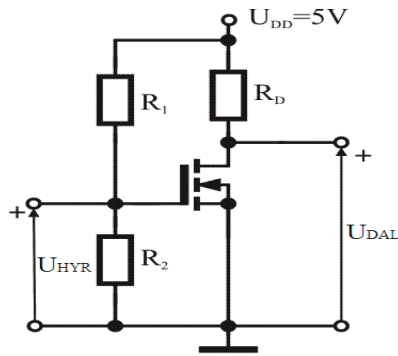
Rryma I_D për pikën e punës është $I_D = 1,75 \text{ mA}$

$$U_{GS} = -1 = -R_{SS} \cdot 1,75 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{SS} = \frac{U_{GS}}{I_D} = \frac{1}{1,75 \cdot 10^{-3}} = 571\Omega$$

$$R_D = 2 \cdot 10^3 - 571 = 1429\Omega.$$

47. Në figurë është dhënë qarku i përforuesit të MOSFET-it me kanal-N me kanal të induktuar. Të caktohet vlera e rezistencës R_2 për $U_{GS}=2V$, nëse R_1 ka vlerë $150K\Omega$.

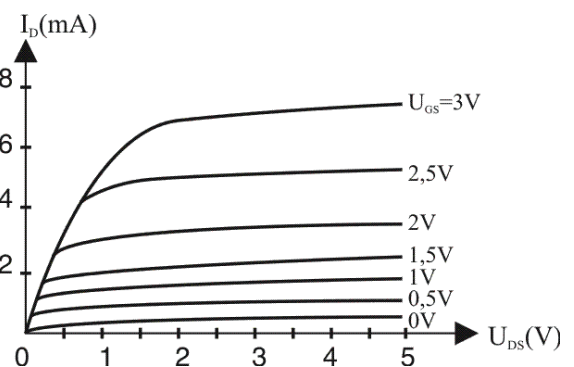


(Zgjidhja: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{2}, R_2 = 100K\Omega$.)

48. Në grafik janë dhënë karakteristikat dalëse të MOSFET-it me kanal-N me kanal të induktuar.

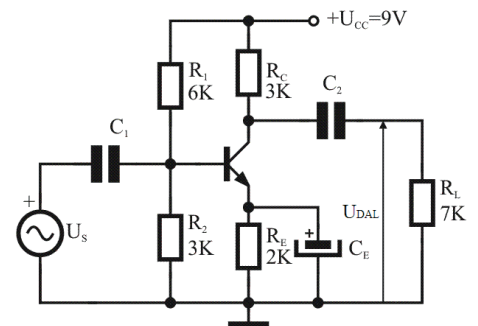
Transistori është vendosur në përforcues me burim të përbashkët, të dhënë në detyrën 47 me $R_1=100K\Omega$, $R_2=30k\Omega$ dhe $R_D=1,25K\Omega$.

- a) Të ndërtohet drejtëza e punës për këtë qark.
- b) Të përcaktohet pozita e pikës së punës.
- c) Të gjendet përforcimi i tensionit për sinjale të mëdha.



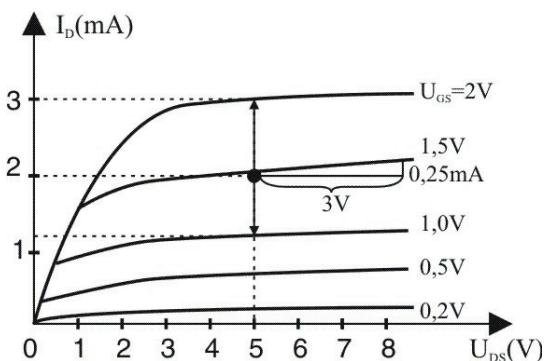
Zgjidhja: a) Për $I_D=0$, $U_{DS}=5V$, për $U_{DS}=0$, $I_D=4mA$,
 b) do të shtrihet në $U_{GS} = 1,5 V$,
 c) $A_U=1,65$.)

49. Në qark përforcues me emiter të përbashkët është përdor transistor me $h_{fe}=50$ dhe $h_{ie}=2K\Omega$. Sa është përforcimi i tensionit për sinjale të vogla?



(Zgjidhja: $A_U=-52,5$.)

50. Në grafik janë dhënë karakteristikat e daljes të MOSFET-it, për të cilin duhet të përcaktohen parametrat për sinjale të vogla g_m dhe g_0 dhe të llogaritet përforcimi i tensionit të përforcuesit për sinjale të vogla në lidhje me emiter të përbashkët, gjatë së cilës përforcuesi është ngarkuar me rezistencën R_L prej $8K\Omega$.



Zgjidhja:

$$g_m \approx \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{1,75 \cdot 10^{-3}}{1} = 1,75 \text{ mS}.$$

Nga grafiku shihet se ndryshimi i U_{GS} për $\pm 0,5\text{V}$ ($\Delta U_{GS}=1\text{C}$), ndryshimi i rrymës I_{DS} është $1,75\text{mC}$.

Për g_m dhe g_0 fitojmë:

$$g_0 \approx \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{DS}} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{3} = 83,3 \mu\text{S}.$$

Për llogaritjen e përforcimit të tensionit duhet të gjendet rezistencë ekuivalente R_{Leq} , si kombinim paralel i g_0 dhe i ngarkesës ë jashtme prej $8\text{K}\Omega$:

$$R_{Leq} = \frac{\frac{1}{g_0} \cdot R_L}{\frac{1}{g_0} + R_L} = \frac{\frac{1}{83,3 \cdot 10^{-6}} \cdot 8 \cdot 10^3}{\frac{1}{83,3 \cdot 10^{-6}} + 8 \cdot 10^3} = 4,8 \text{ K}\Omega$$

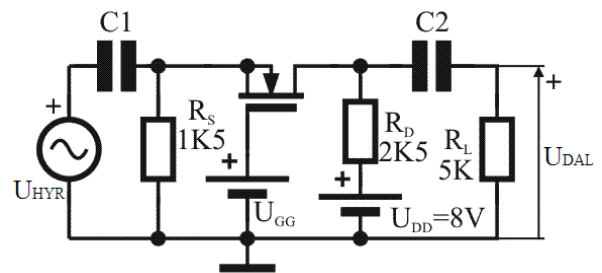
$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = -\frac{U_{GS} \cdot g_m \cdot R_{Leq}}{U_{GS}} = -\frac{1 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 4,8 \cdot 10^3}{1} = -8,4.$$

51*). Në figurë është dhënë qarku i MOSFET-it në lidhje me gejt të përbashkët, për të cilin është matur rryma e gejit prej 1mA .

a) Të përcaktohet vlera e tensionit U_{GG} me të cilin fitohet $U_G = 1\text{V}$.

b) Të vizatohet qarku ekuivalent i përforcuesit.

c) Të gjendet përforcimi i tensionit, nëse janë dhënë $g_0=0$ dhe $g_m=5\text{mS}$.

**Zgjidhja:**

a) Shtegu i komponentës së vazhdueshme të rrymës së drejnit kalon përmes U_{DD} , R_D , MOSFET (drejtn-burim) dhe R_S , kështu që kemi:

$$U_S = I_D \cdot R_S = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 1,5\text{V},$$

pasi që U_{GS} duhet të jetë 1V , marrim:

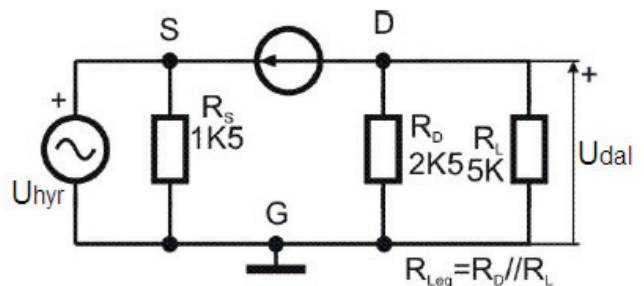
$$U_{GG} = U_G = U_{GS} + U_S = 1 + 1,5 = 2,5\text{V}.$$

b) g_0 është 0 dhe nuk duket (paraqitet) në skemën ekuivalente.

d) Në rezistencën R_{Leq} rrjedh vetëm komponenta alternative e rrymës dhe ajo është $g_m U_{GS}$. Sipas kësaj:

$$U_{hyr} = -U_{GS}$$

$$U_{dal} = -g_m \cdot U_{GS} \cdot R_{Leq}$$

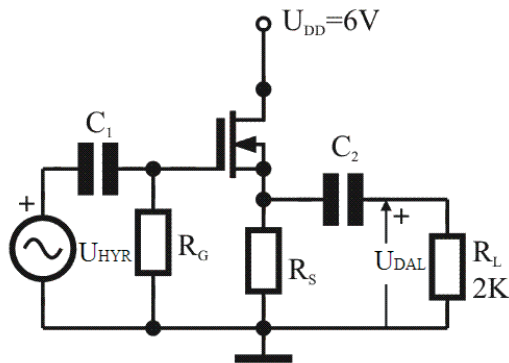


$$A_U = \frac{U_{dal}}{U_{hyr}} = g_m \cdot R_{Leq} = 8,33.$$

52 *). Në qarkun e përforcuesit me drejtnë të përbashkët, të dhënë në figurë, MOSFET-i ka $g_m=3\text{mS}$ kurse $R_S=3\text{K}\Omega$.

a) Të llogaritet përforcimi i tensionit për sinjale të vogla.

b) Të llogaritet përforcimi i tensionit në qoftë se vendosim MOSFET tjetër me $g_m = 30\text{ms}$.



(Zgjidhja: a) $A_U = 0,86$,
b) $A_U = 0,98$.)

*) Njohuri e zgjeruar

53. Në lidhjen kaskadë të dy staveve përforcuese, stadi i parë ka përforcim tensioni $A_{U1}=100$, kurse tjetri $A_{U2}=1000$. Të shprehet përforcimi i secilit stad në decibel, dhe pastaj të gjendet përforcimi total.

Zgjidhja:

$$A_{U1} = 100; \quad 20\log(100) = 20 \cdot 2 = 40\text{dB}$$

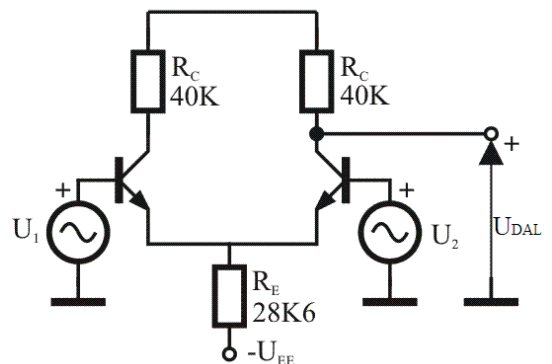
$$A_{U2} = 1000; \quad 20\log(1000) = 20 \cdot 3 = 60\text{dB}$$

$$A_{TOT} = 40 + 60 = 100\text{dB} \text{ или}$$

$$A_{TOT} = 100 \cdot 1000 = 100000;$$

$$20\log(100000) = 20 \cdot 5 = 100\text{dB}.$$

54. Për përforcues diferencial, i cili ka përforcim diferencial 60dB dhe përforcim në fazë -20dB, të gjendet vlera e faktorit të shtypjes të sinjalit në fazë ρ .



(Zgjidhja: 80dB.)

53. Në figurë është dhënë qarku i përforcuesit diferencial.

Transistorët kanë $U_{BE}=0,7V$ dhe $h_{ie}=2K\Omega$.

Rryma e vazhdueshme R_E është $0,5\text{ mA}$.

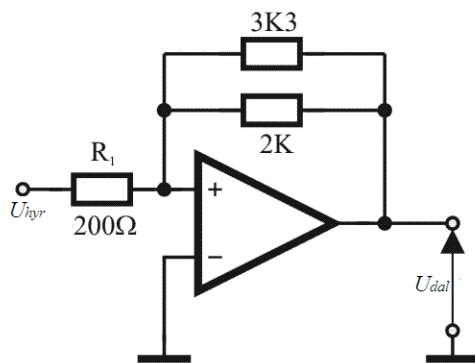
- Të gjendet përforcimi diferencial.
- Të gjendet përforcimi në fazë të njëjtë.
- Të gjendet faktori i shtypjes.

(Zgjidhja: a) $A_d = 10$,

b) $A_c = -0,7$

c) $\rho = 14,28$)

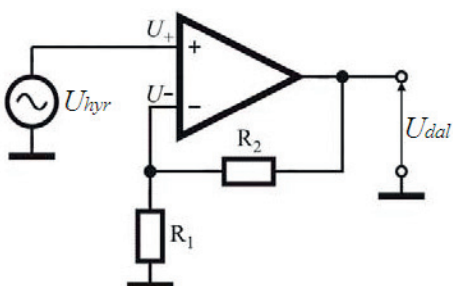
Detyra dhe shembuj të zgjidhur nga përforcuesit operacional



54. Për qarkun me përforcues operacional ideal në figurë të llogaritet përforcimi i tensionit.

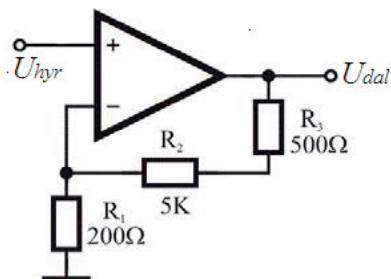
(Zgjidhja: $A_u = 6,2$.)

55. Të llogaritet përforcimi i tensionit për qarkun e figurës, nëse $R_1=200\Omega$ dhe $R_2=4K\Omega$.



(Zgjidhja: $A_u = 41$)

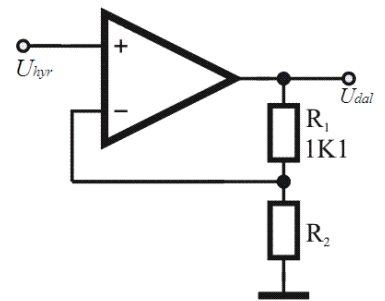
56. Për qarkun me përforcues operacional ideal nga figura të llogaritet përforcimi i tensionit.



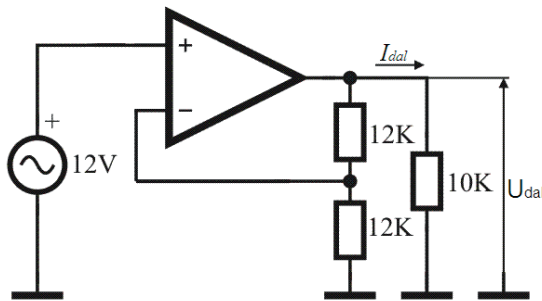
(Zgjidhja: $A_u = 28,5$.)

57. Për qarkun me përforcues operacionale ideal nga figura të llogaritet vlera e rezistencës R_2 me të cilën qarku jep përforcim 30.

(Zgjidhja: $R_2 = 38K\Omega$.)



58. Qarku në figurë paraqet konvertor tension-rrymë. Me përforcues operacional ideal të gjendet vlera e rrymës së daljes.

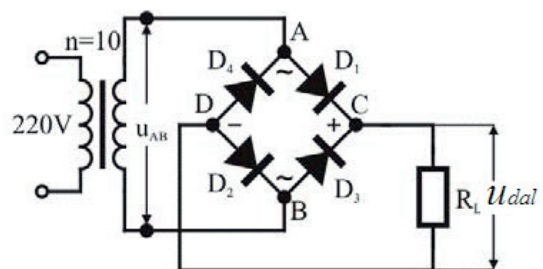


(Zgjidhja: $I_{dal} = -1\text{mA}$ (rrjedh në drejtimin e kundërt nga ai i treguar).)

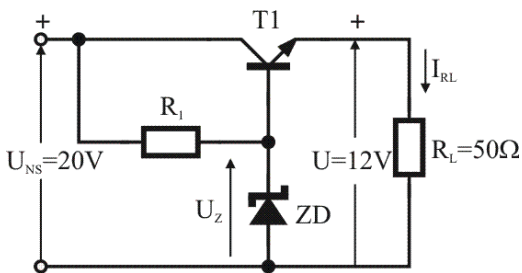
Detyra nga burimet e tensionit të vazhdueshëm

59. Sa është vlera mesatare e tensionit të daljes të qarkut nga figura nëse koeficienti i transmetimit i transformatorit është 10?

(Përgjigje 19,8 V).

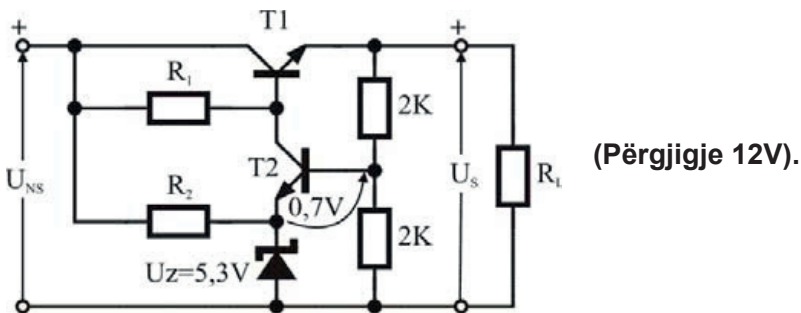


60. Sa është fuqia e disipacionit (shpërndarjes) së konsumatorit nga figura?



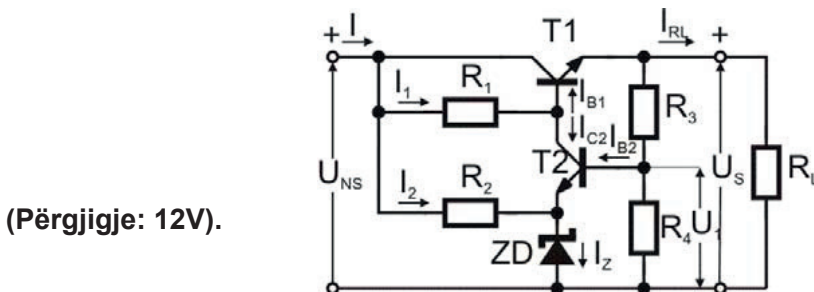
(Përgjigje 2,88 W).

61. Sa është tensioni i stabilizuar në qarkun e figurës?



(Përgjigje 12V).

62. Për qarkun e figurës është dhënë: $U_z = 5,3 \text{ V}$, $R_3 = R_4 = 2\text{K}\Omega$. Sa është tensioni i daljes?

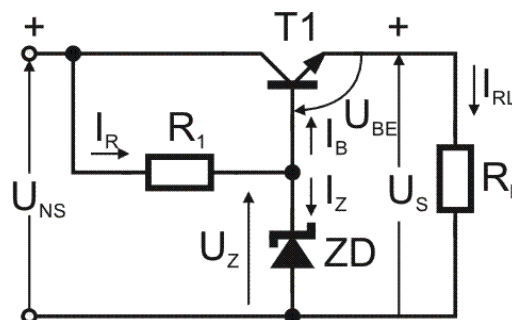


(Përgjigje: 12V).

63. Për qarkun e detyrës së mëparshme, janë dhënë $R_3 = R_4 = 2\text{K}\Omega$, dhe $U_s = 15\text{V}$. Sa është tensioni i diodës Zener? (Përgjigje: 6,8 V).

64. Për qarkun e dhënë në figurë, njihen vlerat: $U_{NS} = 16\text{V}$ dhe $U_s = 12\text{V}$. Sa mund të jetë vlera minimale e rezistencës R_L , nëse transistori mund të përballojë disipacion maksimal prej 10W.

(Përgjigje: 4,8Ω).



FILLIMET E ELEKTRONIKËS

Si filloi revolucioni i elektronikës?

Lirisht mund të themi se ai filloi në gjysmën e dytë të shekullit 19 me identifikimin e elektronit nga ana e fizikanit anglez **Tomson (Joseph John Thomson)** dhe me matjen e ngarkesës së tij elektrike në **vitin 1909**, nga fizikani amerikan **Miliken (Robert Andrews Milikan)**.

Zbulimi i **Maksvellit (James Clerk Maxwell)**, në **vitin 1864** për ekzistimin e valëve elektromagnetike është bazë për zhvillimin e radio komunikimit.



James Clerk Maxwell

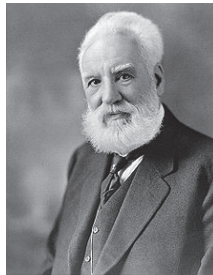
Në **vitin 1875**, **Tomson** emiton sinjalet e para pa tela.



Joseph John Thomson

Në **vitin 1876**, **Bell (Alehandër Graham Bell)** ndërton telefonin e parë dhe e hap fushën për bartjen dhe

shndërrimin e zërit në sinjal elektrik.



Alehandër Graham Bell

Në **vitin 1877**, **Edison (Thomas Alva Edison)** ndërton fonogramin, pajisje e parë për regjistrimin dhe riprodhim të zërit.

Në **vitin 1883**, **Edison** zbulon lëvizjen e elektroneve në vakum nga një elektrodë që gjendet në potencial më të lartë kah tjetra (Efekti Edison).

Në **vitin 1888**, **Herc (Heinrich Herz)** eksperimentalisht vërteton ekzistimin e radio valëve.



Heinrich Herz

Në **vitin 1897**, **Braun** e ndërton tubin e katodës dhe e zbaton në oshiloskop.

Në **vitin 1904**, **Fleming (John Fleming)**, duke zbatuar efektin Edison ndërton gyp elektronik me dy elemente dhe e quan diodë. Tubat elektronik bëhen pajisje themelore për fitimin e rezeve-X, radiosinjaleve, detektorëve dhe antenave (transmetuesve).



Dioda

Demonstrimet e para të komunikimeve pa tela (radio) i bëri **Nikolla Tesla** në **vitin 1894**.



Nikola Tesla

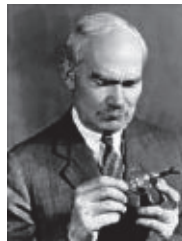
Zbatimi i parë i gypave elektronik është në radio komunikimet.

Viti 1940, instituti për licenca e ndërron vendimin, me të cilën Nikolla Tesllës i njihej licenca për radio komunikim dhe këtë licencë ia njej **Markonit (Guglielmo Marconi)**. Markoni konsiderohet si pjesëmarrës i parë në zhvillimin e telegrafit pa tela më 1896 dhe në zhvillimin e radio komunikimeve në distanca të mëdha në **vitin 1901**.

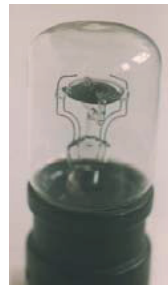


Guglielmo Marconi

Në **vitin 1906, Le De Forest (Lee De Forest)** zbulon triodën, tub vakumi e cila përdoret për zbatime të ndryshme elektronike.



Lee De Forest



Trioda

Gjysma e parë e shekullit 20 paraqet epoka e përdorimit të tubave të vakumit në elektronikë. Përdorimi i tyre mundësoi zhvillimin e radio pajisjeve, telefonisë në distanca të mëdha, televizionit, por edhe kompjuterët e parë.

Në **vitin 1912, Majsner** ndërton oscilator elektronik.

Në **vitin 1918, Armstrong (Edwin Armstrong)** shpik marrësin super-heterodin.

Duke u bazuar në këtë zbulim, nga viti 1920 vjen deri te zhvillimi i hovshëm në radio emetimet.

Në **vitin 1920** paraqitet imazhi i parë televiziv, por televizioni nuk përdoret në masë deri në vitin 1947. Format e para të imazhit televiziv janë fituar me mjete elektromekanike.

Për "Baba" të televizionit megjithatë konsiderohet **Vladimir Zvorikin**, i cili në vitin **1929** shpik tuba elektronik për kamerë ikonoskop, kurse inxhinierët e laboratorit Bell promovojnë tubin e katodës për pajisje TV bardh-e zi.



Vladimir Zvorikin

Në **vitin 1935, Armstrong** zbaton modulimin në frekuencë, si përplotësim të modulimit në amplitudë të përdorur deri atëherë.

Lufta e parë dhe lufta e dytë botërore nxisin një ngritje të madhe në zhvillimin e elektronikës në industrinë e luftës. Numër i madh i llojeve të ndryshme të tubave elektronik edhe më tutje paraqesin pjesë themelore të sistemeve elektronike të asaj kohe.

Gjatë kohës së Luftës së dytë botërore, në **vitin 1940** është zbuluar radari, pajisje për matjen e distancës dhe drejtimin e lëvizjes duke u bazuar në reflektimin e radio mikrovalëve.

Në **vitin 1946** është kompletuar kompjuteri më i njohur me tuba elektronik ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer).

Kufizimet dhe mangësitë e tubave elektronik janë faktor të cilët çuan deri te paraqitja e „revolucionit të gjysmëpërçuesve“, në vitin 1947, me paraqitjen e transistorëve nën udhëheqjen e shkencëtarëve **Berdin, Brtein dhe Shokli (John Bardeen, Walter Houser Brattain, William B.**

Shockley), por duhet të pranohet se tubat elektronik nuk janë hedhur plotësisht nga përdorimi deri edhe në ditët e sotme.



John Bardeen

Në **vitin 1948 Bretej**n dhe **Berdin** zbuluan triodën gjysmëpërçuese- transistorin (**TRANS**fer **resISTOR**), element përforcues i ri gjysmëpërçues me tri elektroda dhe dy kalime-PN.



Walter Houser Brattain

Në **vitin 1951** fizikani amerikan **Shokli** përmirëson vetitë e transistorit dhe e

krijon transistorin me lidhje-kalim sipërfaqësor.



William B. Shockley



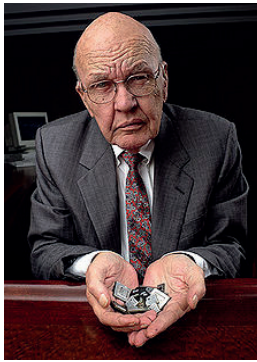
Transistori

Në **vitin 1952**, fizikani amerikan **Shokli** dha bazën teorike dhe idenë e transistorëve me efekt fushë të cilët u prodhuan dhe zbatuan disa vite më vonë.

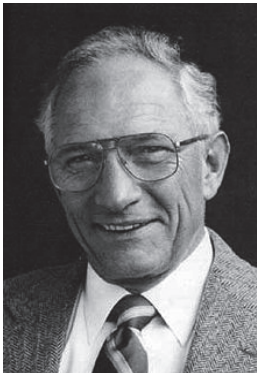
Në **vitin 1950** në SHBA u konstruktua kamera TV-ve dhe pajisje TV me ngjyra.

Bota bëhet dëshmitare e arritjeve më të mëdha në historinë e elektronikës, paraqitja e elementeve elektronike gjysmëpërçuese, të bëra nga germaniumi dhe

silici. Të vegjël për nga dimensionet, me karakteristika precize dhe me çmime të ulëta të prodhimit, elementet gjysmëpërçuese nga viti 1960 i zëvendësojnë tubat elektronik pothuajse në të gjitha pajisjet elektronike. Ky fakt, si edhe nevojat e miniaturizimit, veçanërisht tek sistemet raketore, çojnë kah paraqitja e qarqeve të integruara, si rezultat i hulumtimeve të pavarura të Kilbit (960 për të shtypur elektron-Ski tuba në pothuajse të gjitha pajisjet elektronike. Ky fakt, dhe ka nevojë për të-kafshoj minijaturizacija, veçanërisht në sistemet e raketave, që çon në shfaqjen e leshit, qarqeve të integruara, si rezultat hulumtimit të pavarur **Kilbi (Jack Kilby)** nga kompania Teksas Instrument (Texas Instruments) në **vitin 1958**, dhe i **Hernit dhe Nojsit (Jean Hoerni, Robert Noyce)** nga kompania Ferçajld Semikonduktor (Fairchild Semiconductor) në **vitin 1959**.



Jack Kilby



Robert Noyce

Në **vitin 1962** u paraqit sistemi elektronik laserik i parë.

Nga qarqet e para të integruara me disa dhjetëra transistor, në vitin 1970 numri i transistorëve rritet edhe deri në 1000 në një chip.

Në **vitin 1971** është prodhuar mikroprocesori i parë, si rezultat i punës së vështirë të fizikanëve, inxhinierëve të elektronikës dhe makinerisë. Kjo ngjarje konsiderohet si fillimi i kompjuterizimit dhe prodhimit të elektronikës digjitale.

Që nga vitet e shtatëdhjeta të shekullit të kaluar e deri më sot, qarqet e integruara digjitale janë në zhvillim të vazhdueshëm.

Përmbajtja

faqe.

1. DIODAT GJYSMËPËRÇUESE	5
1.1. Lënda dhe ndarja e elektronikës	7
1.2. Struktura atomike e materies	8
1.3. Materialet gjysmëpërçuese	11
1.3.1. Vetitë elektrike të materialeve gjysmëpërçuese	12
1.3.2. Gjysmëpërçuesi i llojit -N... ..	15
1.3.3. Gjysmëpërçuesi i llojit-P.....	17
1.4. Kalimi -PN	19
1.4.1. Polarizimi i kalimit-PN.....	20
1.4.2. Kalimi-PN në fushën e jashtme elektrike	21
1.5. Diodat gjysmëpërçuese	24
1.5.1. Karakteristika statike	25
1.5.2. Shpimi i kalimit të diodës	26
1.6. Llojet dhe zbatimi i diodave gjysmëpërçuese	27
1.6.1. Diodat me kalim pikë	29
1.6.2. Diodat me kalim sipërfaqësor	30
1.6.2.1. Diodat drejtuese	30
1.6.2.2. Diodat zener	31
1.6.2.3. Diodat pulsive	32
1.6.2.4. Diodat LED	33
1.6.2.5. Diodat PIN	34
1.6.2.6. Dioda tunel	34
1.6.2.7. Dioda Varikap	35
1.6.2.8. Dioda GUN	35
2. TRANSISTORËT	41
2.1. Transistori NPN	43
2.2. Transistori PNP.....	46
2.3. Rryma e kundërt-inverse.	48
2.4. Karakteristika të transistorit	49
2.4.1. Regjimi statik i punës	49
2.4.2. Karakteristikat statike	50
2.4.3. Parametra të transistorit	53

2.4.3.1. Rezistenca dalëse e transistorit	53
2.4.3.2. Koeficienti i përforcim të rrymës të transistorit	54
2.4.3.3. Drejtëza e punës	55
2.4.4. Kufizimet gjatë punës së transistorit.....	57
2.5. Regjimi dinamik i punës	59
2.5.1. Skema ekuivalente e transistorit me parametra-h	60
2.6. Transistori si element përforcues.....	63
2.6.1. Vetit të transistorit në frekuenca të larta	64
2.7. Transistori si element komutues (çelës)	65
2.7.1. Qarku komutues me transistor në lidhje me emiter të përbashkët	66
2.7.1.1. Regjimi i bllokimit	67
2.7.1.2. Regjimi i ngopjes-saturimit.....	67
2.7.1.3. Regjimi kalimtar	68
2.8. Transistorët njëpolar- transistorët me efekt fushe	70
2.8.1. Struktura dhe parimi i funksionimit të FET-it..	71
2.8.2. Karakteristikat statike të FET-it	73
2.8.3. FET-i në regjimin dinamik të punës	74
2.8.3.1. Skema ekuivalente e FET-it...	76
2.9 ... MOSFET-i	77
2.9.1. Struktura dhe parimin i punës së MOSFET-it me kanal të induktuar	78
2.9.2. Karakteristikat statike	80
2.9.3. MOSFET me kanal të ndërtuar	81
2.9.4. MOSFET-i si element komutues -----...	82
2.10. Zbatimi i transistorëve	85
3. PËRFORCUESIT-AMPLIFIKATORËT	89
3.1. Përforcimi dhe roli i përforcuesit	91
3.2. Ndarja e përforcuesve	92
3.3. Përforcuesi si një katërpolar aktiv	94
3.4. Përcaktimi i parametrave të përforcuesit	95
3.5. Karakteristika e frekuencës dhe fazore e përforcuesit	96
3.6. Analiza grafike e përforcuesit me transistor	98
3.7. Llojet e konfiguracioneve të përforcuesve	101
3.7.1. Përforcuesi me konfiguracion-emiter të përbashkët	101
3.7.2. Metoda analitike për llogaritjen e parametrave të përforcuesve	104
3.7.3. Përforcuesi me konfiguracion-kolektor të përbashkët	107

3.7.4. Përforcuesi me konfiguracion- bazë të përbashkët	109
3.7.5. Lidhja e Darlingtonit	111
3.7.6. Përforcues me konfiguracion –burim (source) të përbashkët	113
3.7.7. Përforcuesi me konfiguracion gejt (portë) të përbashkët	115
3.7.8. Përforcuesi me konfiguracion drejn (derdhje) të përbashkët	117
3.8. Përforcues të lidhur në kaskadë	118
3.9. Llojet të bashkimeve mes përforcuesve.	119
3.10. Përforcuesi në frekuenca të larta	121
3.11. Përforcuesit diferencial	125
3.11.1. Karakteristika kalimtare e përforcuesit diferencial	127
3.11.2. Konfiguracioni real i përforcuesit diferenciale	127
3.11.3. Përforcimi diferencial	128
3.11.4. Përforcimi në fazë të njëjtë	129
3.11.5. Gjeneratori i rrymës	130
3.11.6. Tensioni i korigjimit (offset)	131
3.12. Përforcuesit me lidhje të kundërt	132
3.12.1. Përforcimi me lidhje të kundërt	133
3.12.2. Lloje të lidhjeve të kundërta negative	135
3.12.3. Stabiliteti i përforcuesit me lidhje të kundërt	137
3.12.4. Qëndrueshmëria e përforcimit të përforcuesit me lidhje të kundërt negative	138
3.12.5. Zgjerimi i brezit të lëshimit	139
3.12.6. Llojet e deformimeve	139
3.12.7. Reduktimi i shtrembërimeve jo-lineare	140
3.12.8. ndikimi i lidhjes së kundërt negative mbi zhurmat	141
3.12.9. Ndikimi i lidhjes së kundërt mbi impedancën hyrëse dhe dalëse të përforcuesit	142
3.13. Përforcuesit e fuqisë	144
3.13.1. Stadi dalës në klasën A me transistor bipolar	145
3.13.2. Përforcuesi simetrik i fuqisë	147
3.13.3. Përforcuesi simetrik në klasën B	148
3.13.4. Përforcuesi simetrik në klasën AB	150
3.13.5. Përforcuesi komplementar simetrik	151
4. QARQET E INTEGRUARA.....	159
4.1. Karakteristika të llojeve të veçanta të qarqeve të integruara	161
4.2. Qarqet e integruara hibride	162
4.3. Qarqet e integruara monolite	163

4.3.1. Përpunimi i bazës	163
4.3.2. Fotolitografia	164
4.3.3. Difuzioni	167
4.3.4. Rritja Epitaksiale	167
4.4. Zbatimi i qarqeve të integruara	168
5. PËRFORCUESIT OPERACIONAL	173
5.1. Përforcuesi operacional ideal	176
5.2. Lidhja e kundërt e përforcuesit operacional	177
5.3. Konfiguracione të ndryshme të përforcuesve operacional	178
5.3.1. Përforcuesi invertues	178
5.3.2. Përforcuesi joinvertues	180
5.3.3. Përforcuesi operacional me përforcim njësi	181
5.3.4. Qarku për mbledhje	182
5.3.5. Përforcuesi operacional diferencial	183
5.3.6. Konvertuesi i rrymës në tension	184
5.3.7. Konvertuesi i tensionit në rrymë	185
5.3.8. Zhvendosësi i fazës	186
5.3.9. Integratori	186
5.3.10. Diferenciali	188
5.3.11. Përforcuesi logaritmik	189
5.3.12. Përforcuesi eksponencial	191
5.4. Përforcuesi operacional real	193
5.4.1. Bllok-skema e përforcuesit operacional real	196
6. BURIME TË TENSIONIT TË VAZHDUAR-DC	203
6.1. Pajisje të ushqimit nga tensioni i rrjetit	205
6.1.1. Drejtuesi (radrizatori) gjysmëvalor	206
6.1.2. Drejtuesi i valës së plotë	207
6.1.3. Filtri kapacitiv për drejtues	209
6.2. Stabilizimi dhe rregullimi i tensionit	212
6.2.1. Stabilizimi i tensionit me diodë zener	213
6.2.2. Stabilizatori serik i tensionit me transistor	214
6.2.3. Stabilizatori serik i tensionit me lidhje të kundërt	215
6.3. Stabilizatorët linear të integruar të tensionit	216
6.4. Stabilizatori i rrymës	219

6.5. Stabilizatori i tensionit me kufizim të rrymës	220
6.6. Stabilizatori i saktë me përforcues operacional	221
6.7. Drejtuesi i saktë i vals së plotë me përforcues operacional	221
7. TIRISTORËT	225
7.1. Dinistori	227
7.2. Tiristori	228
7.3. Karakteristikat statike të tiristorit	229
7.4. Diaku	230
7.5. Triaku	231
7.6. Zbatimi i tiristorëve	232
8. ELEMENTET SPECIFIKE ELEKTRONIKE	235
8.1. Termistorët	237
8.1.1. Termistori-NTC	238
8.1.2. Termistori-PTC	238
8.2. Elementet fotoelektrike	241
8.2.1. Fotorezistorët	241
8.2.2. Fotodiodat	243
8.2.3. Fototransistorët	245
8.3.4. Fotogjeneratorët	246
8.2.5. Ekranet me kristale të lëngëta	248
8.3. Reletë	251
8.3.1. Mënyra e punës së releve elektromagnetike	251
8.3.2. Mënyra e punës së releve elektronike	253

LITERATURA E PËRDORUR

1. David Irwin David Kerns: Introduction to Electrical Engineering, Prentice Hall International Editions, 1995
2. Методија Камиловски: Електроника за III година,електротехничка струка, Просветно дело 1995
3. Milman – Halkias: Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, 1972
4. Миле Ј. Станковски, Татјана Д. Колемишевска-Гугуловска: Компјутерско водење на процеси, Електротехнички факултет - Shkup, 2006
5. Милутин Петковиќ: Електроника, учебник за III степен на занимањата од електротехничката струка со насока слаба струја и автоматика, Просветно дело 1993
6. Зоран Тасиќ: Електроника I за II клас на електротехничките училишта, Просветно дело 1972
7. Зоран Тасиќ: Електроника II за електротехничките училишта, Просветно дело 1982
8. Др Ратко Опачиќ: Електроника I за II разред средњег образовања, Завод за издавање учебника Нови Сад
9. Artikuj dhe të dhëna nga interneti.