

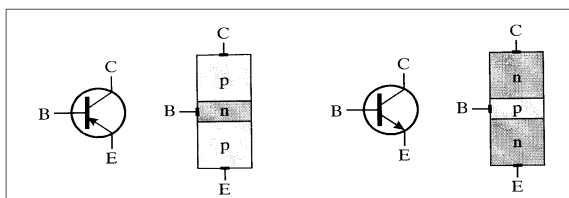
Polprevodniki in uporaba

TRANZISTOR

Bipolarni tranzistor je trielektrodni polprevodniški elektronski sestavni del, ki je namenjen za ojačevanje električnih signalov.

Zgrajen je iz treh plasti polprevodnika (silicija z različnimi primesmi), ki se izmenoma menjajo. Odvisno od razporeditve polprevodniških plasti, dobimo dva tipa tranzistorja:

Tranzistor ima tri priključke, ki se imenujejo BAZA, KOLEKTOR in EMITOR.



a) PNP tranzistor

b) NPN tranzistor

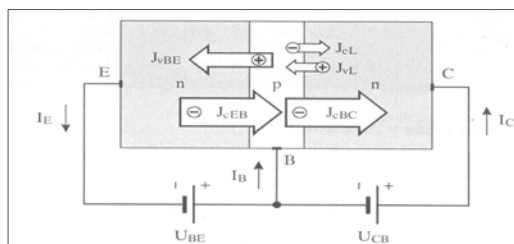
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

TRANZISTOR

Zanj sta značilna dva PN (diodi) - spoja: emitorski med bazo in emitorjem in kolektorski med bazo in kolektorjem.

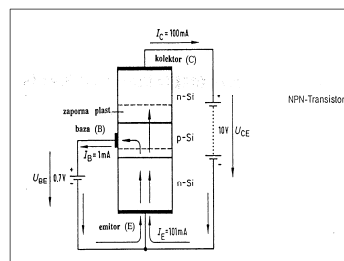
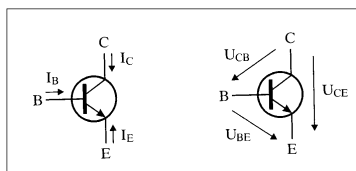
Bipolarni tranzistor dela v aktivnem področju tako, da je spoj med emitorjem in bazo priključen v prevodni smeri, spoj med bazo in kolektorjem pa v zaporno smer. Tedaj elektrine, ki stečejo zaradi prevodne napetosti iz emiterja v bazo, nadaljujejo pot v kolektor, ker jih privleče zaporno priključena napetost kolektorskega spoja. Baza je izdelana tehnološko zelo ozka in ima malo prostih nosilcev.



S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Napetosti in tokovi tranzistorja



Emitorski PN spoj tranzistorja mora biti priključen na prevodno napetost, da bo dioda emitor – baza prevajala in bodo nosilci elektrine tekli iz emitorja v bazo. Tok bomo imenovali I_E . Napetost med bazo in emitorjem imenujemo U_{BE} in je pri silicijevih tranzistorjih 0,7V. V bazo se zaključuje majhen bazni tok I_B . Za zaporno napetost kolektorskega spoja poskrbi napetost U_{CE} , ki mora biti večja od napetosti U_{BE} , da bo kolektor pozitivnejši od baze. Tok, ki ga poganja ta napetost skozi tranzistor imenujemo kolektorski tok I_C .

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Napetosti in tokovi tranzistorja

Za vozlišče, ki ga predstavlja tranzistor velja enačba:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{kratkostični tokovni ojačevalni faktor (=0,99)}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \text{kratkostični tokovni ojačevalni faktor (=100)}$$

V vezje se tranzistor priključuje kot dvovhodni element (četveropol): dve sponki za vhod in dve sponki za izhod. Ker pa ima tranzistor tri priključke, mora eden biti skupen vходу in izhodu. Glede na skupno sponko ločimo različne vezave oziroma orientacije tranzistorja:

S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Napetosti in tokovi tranzistorja

Glede na skupno sponko ločimo različne vezave oziroma orientacije tranzistorja:

a) orientacija s skupnim emitorjem

b) orientacija s skupno bazo

c) orientacija s skupnim kolektorjem

S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Napetosti in tokovi tranzistorja

Tranzistor uporabljamo v najrazličnejših elektronskih vezjih:

- kot ojačevalnik,
- kot stikalo v digitalni tehniki (računalniki),
- za pretvorbe izmeničnih signalov,

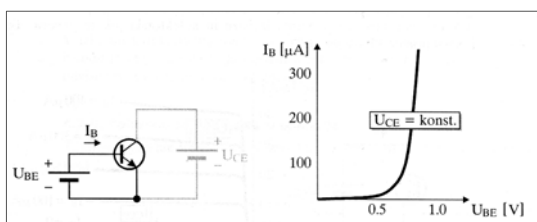
U_{BE}	napetost med bazo in emitorjem
U_{CB}	napetost med kolektorjem in bazo
U_{CE}	napetost med kolektorjem in emitorjem
U_{CC}	napetost baterije (izvora napajanja)
I_B	bazni tok
I_C	kolektorski tok
I_E	emitorski tok
I_{CB0}	tok nasičenja med kolektorjem in bazo (tok manjšinskih nosilcev)
I_{CE0}	tok nasičenja tranzistorja (tok manjšinskih nosilcev - odvisen od temperature)

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Vhodna in izhodna karakteristika tranzistorja

Vhodni PN - spoj (dioda) tranzistorja je med bazo in emitorjem in je prevodno priključen. Vhodna karakteristika bo zato enaka kot karakteristika diode v prevodni smeri. Prevajanje se začne šele pri napetosti kolena, nato pa tok strmo narašča.

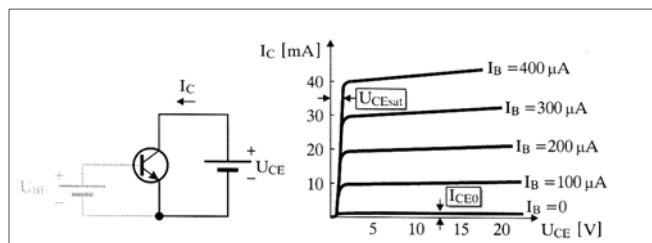


S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Vhodna in izhodna karakteristika tranzistorja

Izhodna karakteristika nam podaja razmerje med napetostjo U_{CE} in kolektorskim tokom I_C . Kolektorski tok je zaporno polariziran. Če ni baznega toka, dobimo na izhodu samo tok nasičenja I_{CE0} . Z naraščanjem baznega toka pa se bo večal tudi kolektorski tok, v skladu z enačbo, ki podaja povezavo med baznim in kolektorskim tokom:



S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Vhodna in izhodna karakteristika tranzistorja

Ko je napetost U_{CE} manjša, kot je napetost med bazo in emiterjem U_{BE} , takrat med kolektorjem in bazo ni več zaporne napetosti, ki bi privlačila elektrine iz baze, temveč postane celo prevodna.

Napetost U_{CE} , pri kateri začne kolektorski tok strmo upadati, pravimo napetost nasičenja U_{CEsat} . Področje imenujemo področje nasičenja.

S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Vhodna in izhodna karakteristika tranzistorja

Delovanje tranzistorja je omejeno s prevelikim tokom, ki povzroča pregrevanje povezav v tranzistorju, s preveliko napetostjo na kolektorskem spoju, zaradi katere pride do preboja, in preveliko porabo moči, pri kateri pride do toplotnega uničenja tranzistorja.

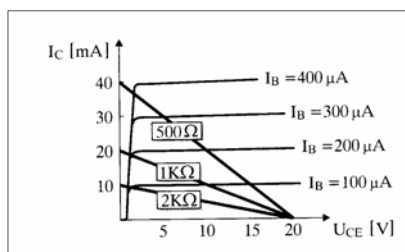
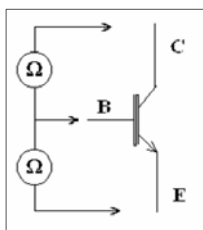
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Preizkus tranzistorja

Če želimo hitro preizkusiti, če je tranzistor dober, ga izmerimo z ohmetrom. Ker vemo da tranzistor vsebuje dve diodi in to od baze proti kolektorju in od baze proti emitorju, lahko ti dve diodi izmerimo.

Pri eni polarizaciji mora biti med bazo in kolektorjem in med bazo in emitorjem majhna upornost (prevodna smer diode) ali pri drugi polarizaciji velika upornost (zaporna smer diode). Ali bo prevodna ali zaporna smer diode je odvisno od tipa tranzistorja NPN ali PNP.



S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Breme, delovna premica in delovna točka

Na izhodu tranzistorja priključimo breme, ki je lahko ohmski upor, vhod naslednje ojačevalne stopnje, rele in podobno. Breme je tudi tisti element, ki nam ščiti tranzistor pred prevelikim tokom in uničenjem.

Zaporedno s tranzistorjem v kolektorski tokokrog priključimo ohmski upor R_C , ki predstavlja bremensko ali delovno upornost. Kolektorski tok (I_C), ki teče skozi upor R_C , ustvari na njem padec napetosti U_{RC} .

$$U_{RC} = I_C \cdot R_C$$

Po Kirchoffovem zakonu lahko napišemo enačbo za kolektorski tokokrog:

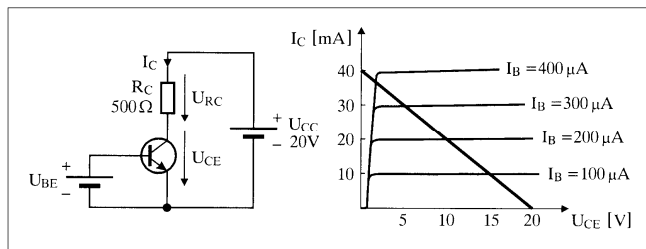
$$U_{CC} = U_{RC} + U_{CE} = I_C R_C + U_{CE} \Rightarrow I_C = \frac{U_{CC}}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$$

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Breme, delovna premica in delovna točka

Če zadnjo enačbo prikažemo v izhodni karakteristiki, dobimo premico, ki ji pravimo enosmerna delovna premica.



Delovna premica prikazuje povezavo med kolektorskim tokom (I_C) in napetostjo med kolektorjem in emitorjem (U_{CE}). Če poznamo bazni tok I_B , lahko s pomočjo kolektorskega toka $I_C = \beta \cdot I_B$ poiščemo napetost U_{CE} . Delovno premico narišemo tako, da si izberemo točki, v katerih seka absciso (U_{CE}) in ordinatno (I_C) os.

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Breme, delovna premica in delovna točka

Pri $I_C = 0$ je to napajalna napetost U_{CC} .

Pri $U_{CE} = 0$ pa je to tok določen z $I_{C\text{MAX}} = \frac{U_{CC}}{R_C}$

Če spreminjamo upornost bremena, potem se v karakteristiki spremeni tudi nagib delovne premice.

Skupna je le točka na $U_{CE} = U_{CC}$.

Točno vrednost napetosti in toka na izhodu pa nam v izhodni karakteristiki določa točka, ki jo dobimo v presečišču delovne premice in tranzistorske karakteristike pri določenem baznem toku na vходу.

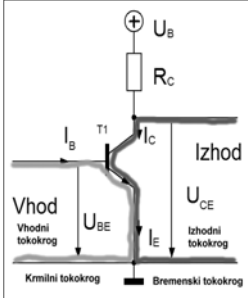
To točko imenujemo **delovna točka** tranzistorja.

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike

Polprevodniki in uporaba

Krmiljenje tranzistorja



Tranzistor vežemo v vezje tako, da ločimo dva pomembna tokokroga:
 Vhodni ali krmilni tokokrog, s katerim odpiramo ali zapiramo tranzistor in
 Izhodni ali bremenski (delovni) tokokrog, skozi katerega teče mnogo večji tok kot je krmilni.

Bazni tok I_B in napetost med bazo in emitorjem U_{BE} krmilita tranzistor. Pri $U_{BE} = 0$ in tudi $I_B = 0$ je upornost tranzistorja med kolektorjem in emitorjem tako velika ($10\text{M}\Omega$ do $500\text{M}\Omega$), da tok ne teče.

2008
S. Simović ©

Osnove elektrotehnike

Polprevodniki in uporaba

Krmiljenje tranzistorja

Če povečamo napetost med bazo in emitorjem na $U_{BE} = 0,7\text{V}$, bo stekel majhen tok I_B in povzročil, da se bo upornost med kolektorjem in emitorjem tako zmanjšala (20Ω do 100Ω), da bo stekel velik kolektorski tok I_C .
Upornost med kolektorjem in emitorjem spreminjamo z U_{BE} in I_B .
Majhen tok in napetost na vhodu tranzistorja (I_B in U_{BE}) povzročita velik tok (I_C) in veliko spremembo napetosti (U_{CE}) na izhodu.

2008
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke

Ko na vhod tranzistorja priključimo generator izmeničnega signala, bo tranzistor prevajal le takrat, ko bo napetost na vhodu U_{BE} večja od 0,7 V. Izhodni tok I_C bo zato popačen. Ko je vhodni signal manjši od 0,7 V tranzistor ne prevaja. Zato mu moramo dodati tak enosmerni tok v bazo, da bo tranzistor vedno odprt. S tem baznim tokom določimo delovno točko.

Delovno točko moramo izbrati v sredini delovne premice oziroma v linearnem delu vhodne karakteristike. S tem zagotovimo, da bo signal na izhodu nepopačen. Da je delovna točka v sredini delovne premice mara biti na tranzistorju napetost:

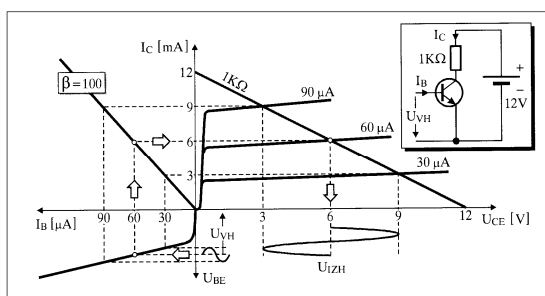
$$U_{CE} = \frac{U_{CC}}{2}$$

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke

Delovno točko nastavimo tako, da izberemo bazni tok, ki bo vedno tekel v tranzistor, tudi takrat, ko na vhodu ni signala.



Iz polja karakteristik tranzistorja lahko odčitamo velikost ojačanja tranzistorja in nastavitev delovne točke (popačenje, če ni pravilno nastavljena). Nastavitev delovne točke z uporom na bazi.

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike

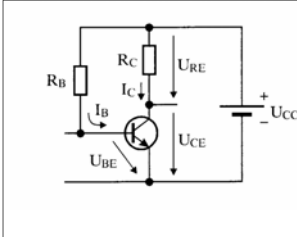
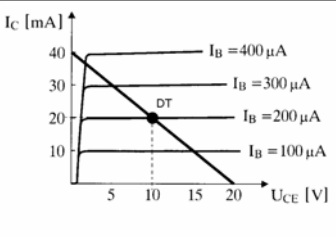
TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRANJ
 ZA POKLISJE IN INOVACIJSKE

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke

Enosmerni bazni tok, ki je potreben za postavitve delovne točke tranzistorju zagotovimo z baznim uporom R_B . Najprej ugotovimo potreben bazni tok iz lege delovne točke, nato pa s pomočjo padca napetosti na baznem uporu izračunamo upornost R_B .

$$R_B = \frac{U_{RB}}{I_B} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_B} = \frac{U_{CC} - 0,7V}{I_B}$$

S. Simović ©

2008

Osnove elektrotehnike

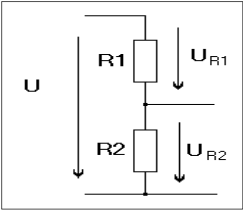
TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRANJ
 ZA POKLISJE IN INOVACIJSKE

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Tranzistorji istega tipa imajo različno tokovno ojačanje β zato pri istem baznem toku I_B , ki ga določa bazni upor R_B , teče različni kolektorski tok I_C in s tem različni položaj delovne točke. Nekoliko boljše nastavitve delovne točke lahko dosežemo z delilnikom napetosti.

Delilnik napetosti predstavljata dva ali več zaporedno vezanih uporov, na katerih so velikosti padcev napetosti premo sorazmerni upornosti posameznih uporov.



$$\frac{U}{U_{R2}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \Rightarrow U_{R2} = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

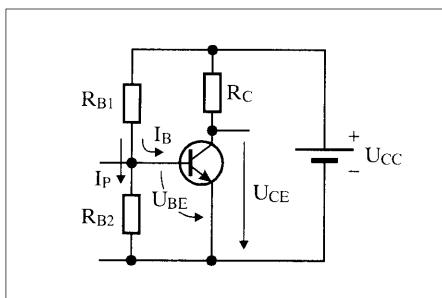
S. Simović ©

2008

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

V vezju predstavljata delilnik napetosti upora R_{B1} in R_{B2} . Izbrana sta tako, da je prečni tok I_p skozi upora mnogo večji od baznega toka $I_p > I_B$. V tem primeru sprememba baznega toka ne vpliva v tolikšni meri na razporeditev padcev napetosti na uporih.



$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_P = 10 \cdot I_B$$

$$U_{RB2} = U_{BE}$$

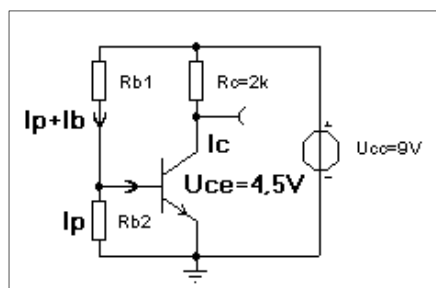
$$U_{RB1} = U_{CC} - U_{BE}$$

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Primer izračuna upora R_{B1} in R_{B2} , če je podano:
 $R_C = 2\text{k}\Omega$, $U_{CC} = 9\text{V}$, $\beta = 100$.



S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
 2008

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRAJ
 ZA PRAKTIČNE PRILAGODITOSTI

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Izračun:

Najprej izračunamo bazni tok I_B , ko je delovna točka na sredini delovne premice:

$$U_{CE} = \frac{U_{CC}}{2} = 4,5V$$

$$I_C = \frac{U_{RC}}{R_C} = \frac{4,5V}{2k\Omega} = 2,25mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2,25mA}{100} = 22,5\mu A$$

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
 2008

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRAJ
 ZA PRAKTIČNE PRILAGODITOSTI

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Nato izračunamo prečni tok I_p , ki naj bo 10-krat večji od baznega:

$$I_p = 10 \cdot I_B = 10 \cdot 22,5\mu A = 225\mu A$$

Izračunamo upor R_{B2} , skozi katerega teče tok I_p , padec napetosti pa je enak prevodni napetosti med bazo in emitorjem $U_{RB1} = U_{BE}$

$$R_{B2} = \frac{U_{BE}}{I_p} = \frac{0,7V}{225\mu A} = 3,1k\Omega$$

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike

Polprevodniki in uporaba

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Tok skozi upor R_{B1} je enak vsoti prečnega in baznega toka $I_p + I_B$, padec napetosti pa dobimo s pomočjo drugega Kirchhoffovega zakona:

$$U_{CC} = U_{RB1} + U_{RB2} = U_{RB1} + U_{BE}$$

Tako dobimo upornost upora R_{B1} :

$$R_{B1} = \frac{U_{RB1}}{I_p + I_B} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_p + I_B} = \frac{9V - 0,7V}{225\mu A + 22,5\mu A} = 33,5k\Omega$$

2008

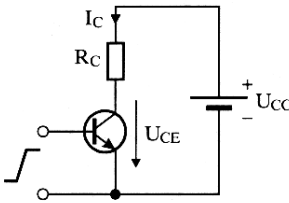
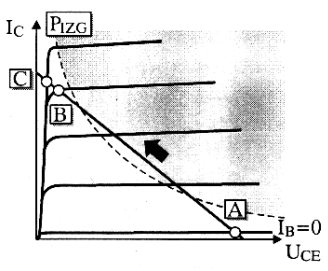
S. Simović ©

Osnove elektrotehnike

Polprevodniki in uporaba

Preklopne lastnosti tranzistorja

Stikalo ima dve stanji: odprto, tok ne teče in upornost je neskončna, ter zaprto, ko teče tok in je upornost minimalna (nič). Pri elektronskem stikalu pa je zelo pomembna poraba energije in čas preklopa oziroma vklopa in izklopa stikala.

2008

S. Simović ©

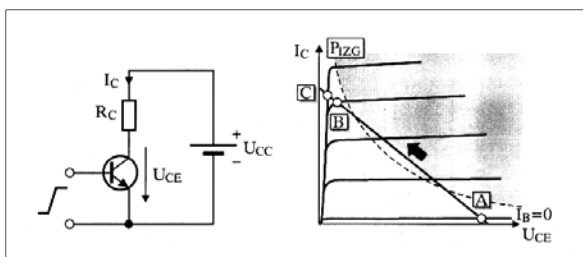
Polprevodniki in uporaba

Preklopne lastnosti tranzistorja

Če uporabimo tranzistor kot elektronsko stikalo bo stikalo odprto, ko bo tranzistor zaprt (točka A) in ne bo prevajal toka. Takrat smo na dnu delovne premice, kjer teče le tok nasičenja (I_{CE0}).

Ko v bazo steče tok, se delovna točka pomika navzgor do točke (B) in če še povečamo tok, pridemo do nasičenja (točka C).

Tranzistor je popolnoma odprt, stikalo je sklenjeno. Na tranzistorju je majhna napetost nasičenja U_{CES} .

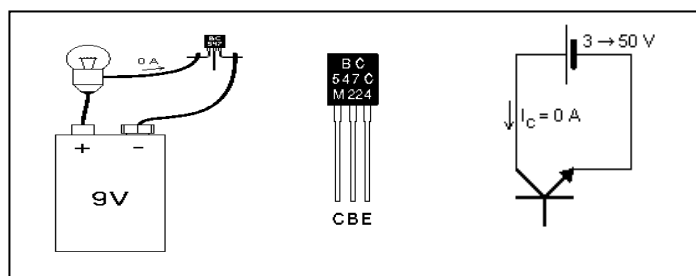


S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Priključitev tranzistorja

Če priključimo baterijo (3V – 20V) med priključkoma emitor (E) in kolektor (C) tranzistorja, ne bo tekel električni tok.

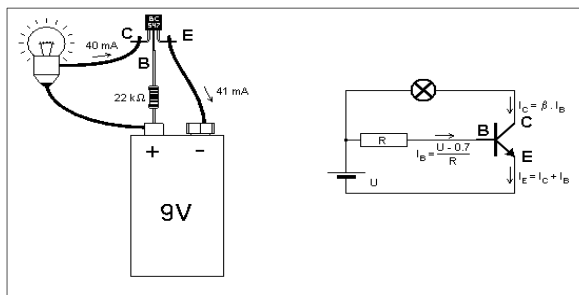


S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Priključitev tranzistorja

Če pa še pripeljemo tok preko velikega upora ($22\text{k}\Omega$) na bazni (B) priključek tranzistorja, pa bo stekel tok skozi tranzistor in bo žarnica zasvetila.



Ugotovili smo, da upor, ki ga večemo na bazo, odpre tranzistor.

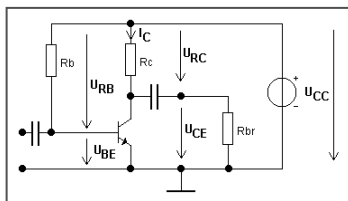
Tako lahko s spreminjanjem tega upora, ki ga imenujemo bazni upor, spreminjamo tok baze in s tem tok skozi tranzistor (I_C). Tok skozi tranzistor (I_C) je za tokovno ojačanje β večji od baznega toka (I_B).

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Priključitev tranzistorja

Z baznim uporom nastavimo velikost kolektorskega toka in s tem velikost napetosti na tranzistorju ali na uporu R_C . S tem smo postavili delovne pogoje za delovanje tranzistorja oziroma tranzistorskega ojačevalnika.



Sedaj lahko preko kondenzatorja na bazo pripeljemo majhno izmenično napetost (signal), ki jo bo tranzistor ojačal, in jo lahko iz kolektorja preko kondenzaterja pripeljemo na izhod ali na breme ojačevalnika.

Kondenzatorje moramo uporabiti zato, da z zunanjimi napetostmi ali upornostmi, ki jih priključujemo na tranzistor, ne zmotimo ali pokvarimo delovnih pogojev.

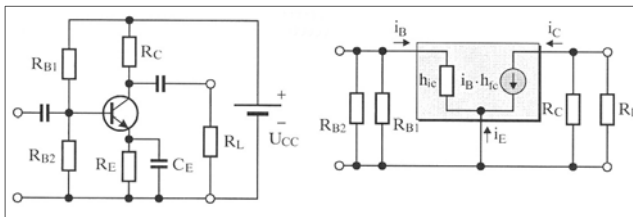
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Ojačevalniki pri nizkih frekvencah

Bipolarni transistor se najpogosteje uporablja za ojačanje signalov.

Transistor v orientaciji s skupnim emitorjem

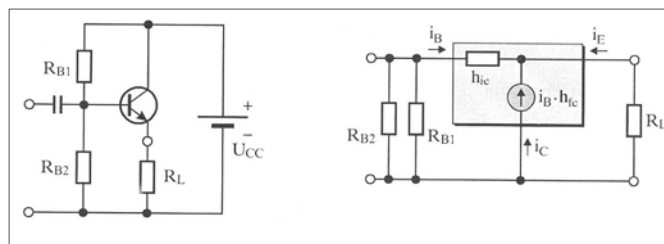


Vezje na sliki je ojačevalnik s transistorjem, ki je vezan v orientaciji s skupnim emitorjem. Delovna točka je stabilizirana z emitorskim uporom R_E , kondenzator C_E pa služi za znižanje impedance med emitorjem in maso. Kondenzatorja C_1 in C_2 preprečita odtok enosmerne baznega in kolektorskega toka skozi generator in breme. Na izhodu ojačevalnika je priključeno breme R_L .

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Transistor v orientaciji s skupnim kolektorjem



Breme je priključeno na emitorju transistorja, vhod pa je med bazo in kolektorjem.

Takemu ojačevalniku pravimo tudi **emitorski sledilnik**.

Napetostno ojačenje takega ojačevalnika približno 1 (oz. nekoliko manjše) in torej izhodna napetost sledi vhodni. Naraščanje vhodne napetosti povzroči naraščanje izhodne napetosti (pri orientaciji s skupnim emitorjem je naraščanje vhodne napetosti povzročilo padanje izhodne napetosti).

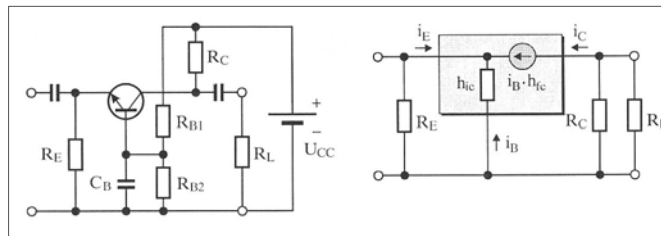
Vhodna upornost je velika, tudi če ima breme majhno upornost.

Emitorski sledilnik uporabljamo povsod tam, kjer imajo bremena majhno upornost (zvočnik, rele in podobno).

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Transistor v orientaciji s skupno bazo



Vhod ojačevalnika je med emitorjem in bazo, izhod pa med kolektorjem in bazo.

Značilnost tega ojačevalnika je majhna vhodna upornost, ki je primerna, ko nanj priključujemo generatorje z majhno notranjo upornostjo (npr. antena).

Kapacitivnost kolektorskega spoja, ki pri transistorju v orientaciji s skupnim emitorjem vrača signal iz izhoda nazaj na vhod ter slabi ojačenje pri višjih frekvencah, sedaj sklenjena na maso.

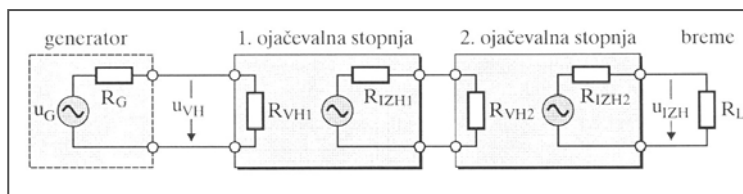
Kondenzator C_B služi zato, da je bazni priključek za signal sklenjen na maso, upora R_{B1} in R_{B2} pa služita za stabilizacijo delovne točke transistorja.

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Večstopenjski ojačevalniki

Za doseganje večjega ojačenja vezemo več ojačevalnikov enega za drugim. Med seboj so lahko povezani na več različnih načinov.



Napetostno ojačenje celotnega ojačevalnika je:

$$A_U = \frac{u_{IZH}}{u_{VH}} = A_{U1} \cdot A_{U2} \cdot \dots \cdot A_{Un}$$

n - število vseh ojačevalnih stopenj

S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Ojačevalniki

$$A_u = \frac{U_{IZ}}{U_{VH}}$$

$$A_i = \frac{I_{IZ}}{I_{VH}}$$

$$A_p = \frac{P_{IZ}}{P_{VH}} = A_u \cdot A_i$$

$$A_u(\text{dB}) = 20 \log A_u$$

$$A_i(\text{dB}) = 20 \log A_i$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log A_p$$

S. Simović ©

Tehniški šolski center Kranj
 Osnove elektrotehnike
 2008

Polprevodniki in uporaba

Ojačevalniki

Orientacije tranzistorja:

- **skupni E** - veliko A_u in A_i , srednji R_v in R_i
- **skupna B** - veliko A_u , $A_i < 1$, majhna R_v , zelo velika R_i
- **skupni C** - $A_u < 1$, veliko A_i , velika R_v , majhna R_i

- Za NF ojačevalnike majhnih moči in delno VF ojačevalnike uporabljamo predvsem »E« orientacijo.
- Za VF ojačevalnike je »B« zaradi majhne R_v in majhnega kapacitivnega povratnega vpliva.
- Za NF ojačevalnike moči je »C« zaradi majhne R_i , (direktno priključevanje zvočnikov).

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODROČJE
RAZVOJA IN
POSREDOVANJE

Polprevodniki in uporaba

Evropski način označevanja polprevodnikov

Oznaka je sestavljena iz:
Dve črki, [črka], serijska številka, [pripona]

Prva črka označuje material:

- A – Ge (Germanij)
- B – Si (Silicij)
- C – GaAs (Galijski Arzen)
- R – sestavljeni materiali

Velika večina tranzistorjev se prične s črko B.

Druga črka označuje uporabo elementa:

A: diode za majhne signale (detektorske diode)	N: optični sklopni elementi
B: kapacitivne diode	P: elementi občutljivi na sevanje
C: NF - tranzistor za majhne signale	Q: elementi, ki sevajo (LED)
D: močnostni NF tranzistor	R: tiristorji majhnih moči
E: tunnelske diode	T: močnostni tiristorji
F: VF - tranzistorji za majhne signale	U: močnostni stikalni tranzistorji
K: elementi s Hallovim efektom	Y: usmerniške diode
L: močnostni VF - tranzistorji	Z: Zener diode

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODROČJE
RAZVOJA IN
POSREDOVANJE

Polprevodniki in uporaba

Evropski način označevanja polprevodnikov

Tretja črka označuje industrijsko ali profesionalno uporabo.
Uporabljajo se predvsem črke: W, X, Y ali Z.

Serijske številke gredo od 100 do 9999. Pripona označuje skupino ojačenja kot pri ameriških oznakah.
Primer: BC108A, BC548B, BAW68, BF239, BFY51.

Vsi proizvajalci pa pogosto uporabljajo predpone, ki označujejo proizvajalca, da to poudarijo v komercialne namene.
Tako imajo skupno oznako za svoje izdelke proizvajalci:

MJ: Motorola power, metal case	TIP: Texas Instruments power transistor (plastic case)
MJE: Motorola power, plastic case	TIPL: TI planar power transistor
MPS: Motorola low power, plastic case	TIS: TI small signal transistor (plastic case)
MRF: Motorola HF, VHF and microwave transistor	ZT: Ferranti
RCA: RCA	ZTX: Ferranti
RCS: RCS	

Primer: ZTX302, TIP31A, MJE3055, TIS43.

S. Simović ©



TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODALJE
RAZVOJNOSTI

Polprevodniki in uporaba

Osnove elektrotehnike

Unipolarni transistorji

Unipolarnim transistorjem pravimo tudi transistorji z vplivom polja (**FET**, angl. *field effect transistor*).

Unipolarni so zato, ker je električni tok v teh transistorjih sestavljen le iz večinskih nosilcev naboja.

Ta tok teče skozi polprevodniški kanal, ki ima dva priključka: **izvor** (**S**, angl. *source*) in **ponor** (**D**, angl. *drain*).

Vhodni priključek, s katerim krmilimo tok skozi kanal, imenujemo **vrata** (**G**, angl. *gate*).

2008

S. Simović ©



TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODALJE
RAZVOJNOSTI

Polprevodniki in uporaba

Osnove elektrotehnike

Unipolarni transistorji

Glede na zgradbo vhodnega priključka ločimo dve vrsti unipolarnih transistorjev:

- spojni FET (**JFET**, angl. *junction gate field effect transistor*) ter
- FET z izoliranimi vrati (IGFET, angl. *insulated gate field effect transistor*), ki ga imenujemo tudi **MOSFET** (angl. *metal-oxide-semiconductor FET*).

MOSFET transistorji se po zgradbi delijo v dva tipa:

- z induciranim kanalom (angl. *enhancement-type*) ter
- z vgrajenim kanalom (angl. *depletion-type*).

Poznamo še posebne tipe transistorjev, ki so najpogostejše kombinacija med unipolarnimi in bipolarnimi transistorji.

2008

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRAJ
ZA POKLIS PRIDNOŠTI

Polprevodniki in uporaba

Unipolarni transistorji

Unipolarni transistorji imajo - za razliko od bipolarnih - zelo veliko vhodno upornost, ki znaša od $10^6 \Omega$ pri JFET do $10^{14} \Omega$ pri MOSFET.

Simboli unipolarnih transistorjev

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER KRAJ
ZA POKLIS PRIDNOŠTI

Polprevodniki in uporaba

JFET

Transistor sestavlja kanal (na sliki n-tipa), vmeščen v nasprotni tip polprevodnika (p-tip). Na ta polprevodnik, ki oklepa kanal, je spojen vhodni priključek - vrata.

Zgradba JFET

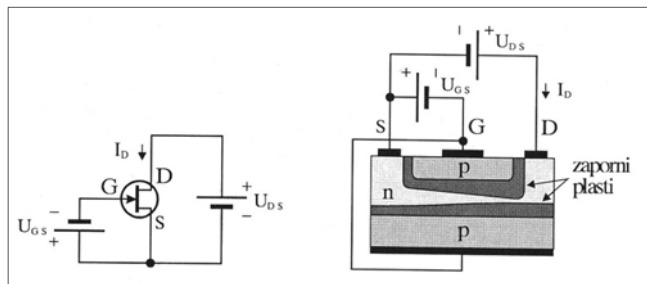
Poleg transistorjev z n-kanalom poznamo tudi transistorje s p-kanalom.

Ko na kanal priključimo električno napetost U_{DS} , stečejo skozi kanal večinski nosilci (v našem primeru elektroni). Le-ti pritekajo skozi izvor in odteka skozi ponor. Za pravilno delovanje transistorja moramo na vhod priključiti napetost tako, da je pn spoj med vrati in kanalom polariziran v zaporno smer. Zaradi tega nastane med kanalom in oklepajočim polprevodnikom zaporna plast. Pri transistorju z n-kanalom mora biti napetost na vratih (U_{GS}) negativnejša, kot je na izvoru.

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Delovanje JFET



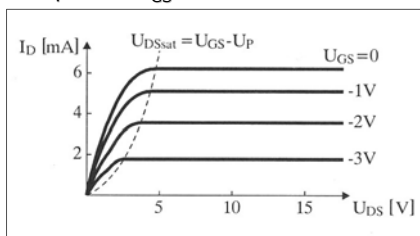
Zaradi napetosti U_{GS} , ki je priključena v zaporno smer, je med kanalom in oklepajočim polprevodnikom zaporna plast, v kateri ni prostih elektronov ne vrzeli. Zaporna plast seže tudi v kanal, kar pomeni, da je kanal, ki lahko prevaja električni tok, ožji od dejanskega. Upornost kanala je zaradi tega večja kot v primeru, če zaporne plasti ne bi bilo. Če vhodno napetost med vrati in izvorom U_{GS} povečamo, se zaporna plast razširi globlje v kanal in s tem se zoža njegov prevodni presek. Upornost kanala se še poveča.

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Karakteristika JFET

V polju izhodnih karakteristik ločimo dve področji: področje pod zadrtnitvijo in nad njo. Slednje imenujemo tudi področje nasičenja. Področje pod zadrtnitvijo uporabljamo tam, kjer želimo, da JFET deluje kot napetostno spremenljiv upor. Področje nad zadrtnitvijo pa je primerno za ojačevalnike, saj je izhodni tok I_D odvisen le od velikosti vhodne napetosti U_{GS} .



Razmerje med spremembo izhodnega toka in spremembo vhodne napetosti je prevodnost – transkonduktanca g_m :

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

Pove nam, za koliko se spremeni ponorski tok I_D , če spremenimo napetost med vrati in izvorom U_{GS} .

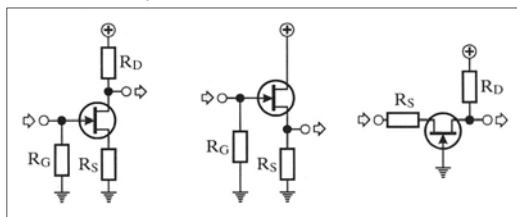
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Orientacije JFET

Podobno kot pri bipolarnih transistorjih tudi pri JFET uporabljamo vezave v različnih orientacijah.

Tako poznamo orientacije s skupnim izvorom, s skupnim ponorom ter s skupnimi vrati.



	skupni izvor	skupni ponor	skupna vrata
A_U	$\frac{-g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S}$	$\frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S} \approx 1$	$\frac{g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S}$
R_{iH}	R_G	R_G	$R_S + \frac{1}{g_m}$
R_{iZH}	R_D	$\frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$	R_D

S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

Vezja z JFET in bipolarnim transistorjem

Zaradi velike vhodne upornosti JFET nam včasih pride prav vezje, ki je sestavljeno iz JFET in bipolarnega transistorja.

Orj.	Vezje	R_{iH}	R_{iZH}	A_U
CS-CB kaskadno		R_G	R_L	$-g_m \cdot R_L$
CS-CB kaskadno		R_G	R_L	$-g_m \cdot R_L$
CD-CB		R_G	R_L	$g_m \cdot R_L$

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA POKLISLE
PAIDNOSTI

Polprevodniki in uporaba

Vezja z JFET in bipolarnim transistorjem

CS-CE		R_G	R_L	$h_{fe} \cdot g_m \cdot R_L$
CD-CE		R_G	R_L	$\frac{-h_{fe} \cdot g_m \cdot R_L}{1 + \frac{g_m \cdot h_{fe}}{g_{m1}}}$ $g_{m1} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}}$
CS-CC		R_G	$\frac{R_L}{h_{fe}}$	$-g_m \cdot R_L$

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA POKLISLE
PAIDNOSTI

Polprevodniki in uporaba

MOSFET

MOSFET transistorji imajo vhodno elektrodo - vrata G - galvanjsko ločeno od kanala.

Vrata so izdelana tako, da delujejo kot majhen kondenzator. Med vhodno elektrodo in kanalom je tanka plast oksidnega polprevodnika, ki deluje kot izolator oz. dielektrik.

Oznaka **MOS** izvira iz zgradbe krmilne elektrode:

kovina-oksidi-polprevodnik (angl. **metal-oxide-semiconductor**).

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
 2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODALŽEVANJE
PRAKTIČNOSTI

Polprevodniki in uporaba

MOSFET

Delovanje MOS kondenzatorja

Kondenzator sestavljajo kovinska elektroda, tanka plast dielektrika iz oksidne plasti ter druga elektroda iz polprevodnika. Ko na tak kondenzator priključimo električno napetost se med elektrodama ustvari električno polje. Zaradi tega se na kovinski elektrodi nabere pozitivna elektrina, v polprevodniku, tik pod dielektrikom, pa negativna. Ozek pas polprevodnika, tik pod dielektrikom, smo obogatili z negativno elektrino in izboljšali prevodnost.

Po načinu delovanja ločimo dve vrsti MOSFET:

- MOSFET z induciranim kanalom (angl. enhancement-mode) in
- MOSFET z vgrajenim kanalom (angl. depletion-mode).

Zaradi zgradbe vhodnega priključka imajo MOSFET zelo veliko vhodno upornost (okrog 10^{12} do $10^{14}\Omega$). Ker je debelina dielektrika izredno majhna, lahko transistor uničimo s statično elektriko. Ta je previsoka že, če priključke transistorja primerno z rokami.

S. Simović ©

Osnove elektrotehnike
 2008

TEHNIŠKI
ŠOLSKI CENTER
KRANJ
ZA PODALŽEVANJE
PRAKTIČNOSTI

Polprevodniki in uporaba

MOSFET z induciranim kanalom

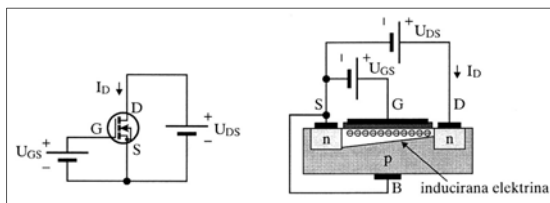
Simbol in zgradba transistorja z n-kanalom sta prikazana na sliki.

Na polprevodniku p-tipa, v katerem je kanal n-tipa, je dodaten priključek B (angl. *bulk*). Ta je v notranjosti spojen na izvor S in služi za to, da delujeta polprevodnik in vhodna elektroda kot majhen kondenzator.

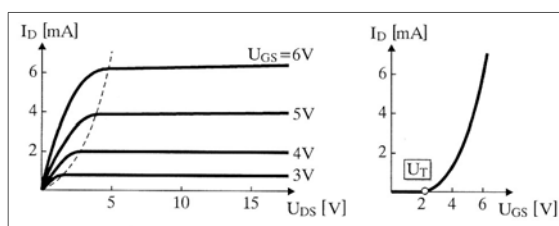
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

MOSFET z induciranim kanalom



Priključitev MOSFET z induciranim kanalom



Karakteristika MOSFET z induciranim kanalom

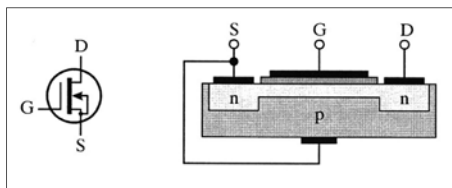
S. Simović ©

Polprevodniki in uporaba

MOSFET z vgrajenim kanalom

MOSFET z vgrajenim kanalom ima med izvorom S in ponorom D vgrajen kanal iz n-tipa polprevodnika. Zaradi tega kanal prevaja tudi, če na vhodu ni napetosti. Pozitivna vhodna napetost na vratih G obogati kanal z negativno elektrino, zato kanal bolje prevaja.

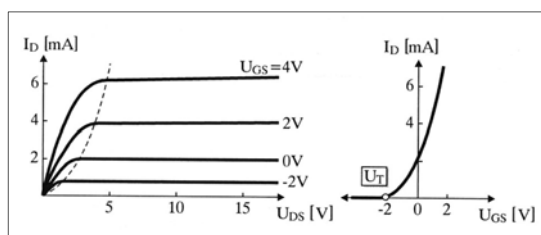
Nasprotno pa negativna napetost na vhodnem priključku povzroči osiromašenje kanala (število negativnih elektronov se zmanjša), zato kanal slabše prevaja.



Priključitev MOSFET z vgrajenim kanalom

S. Simović ©

MOSFET z vgrajenim kanalom



Karakteristika MOSFET z vgrajenim kanalom

Pri MOSFET z vgrajenim kanalom lahko z vhodno napetostjo ta kanal bodisi bogatimo z elektrino bodisi siromašimo.