

VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH
STUDIJA-VIŠER, BEOGRAD

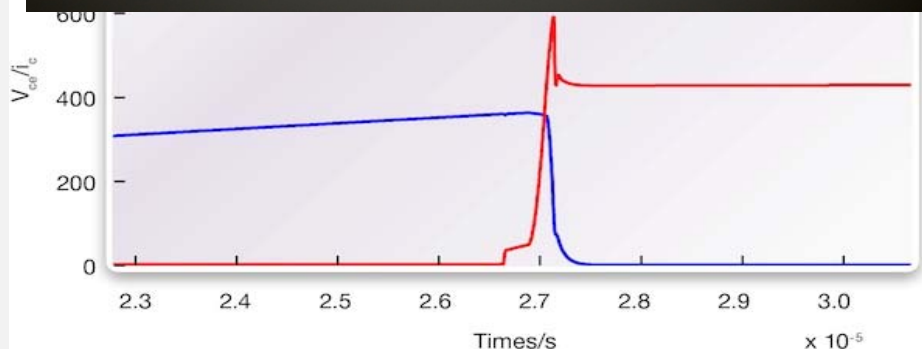
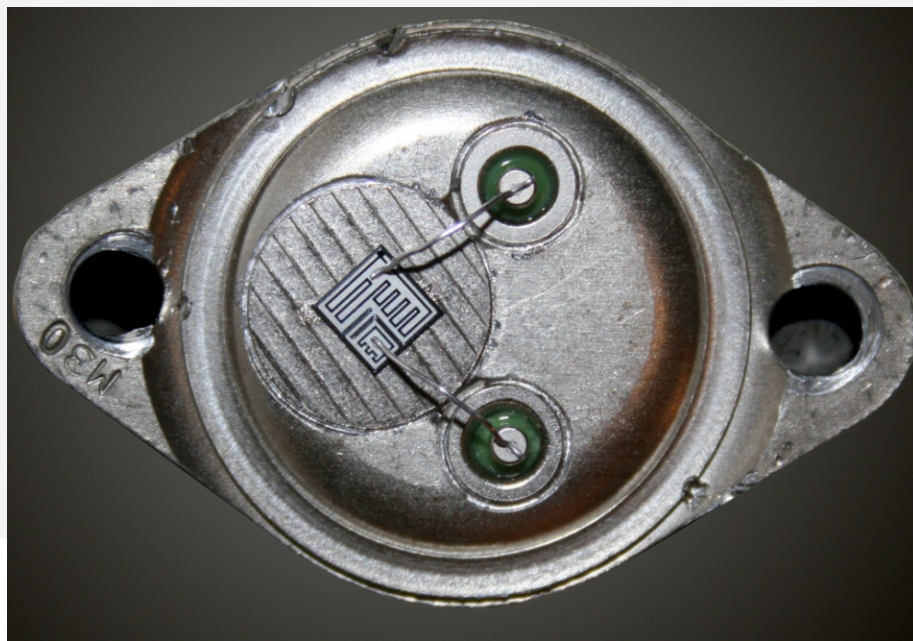
STUDIJSKI PROGRAM: NOVE ENERGETSKE TEHNOLOGIJE

SPECIALISTIČKE STUDIJE

PREDMET: UPRAVLJANJE ELEKTROENERGETSKIM PRETVARAČIMA



PREKIDAČKE KARAKTERISTIKE BIPOLARNIH TRANZISTORA (BJT)

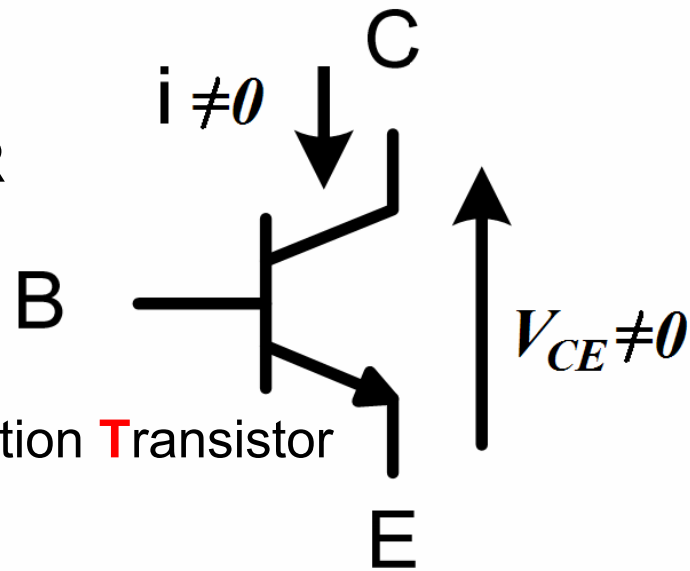


Predmetni profesor:
Dr Željko Despotović

BIPOLARNI TRANZISTOR

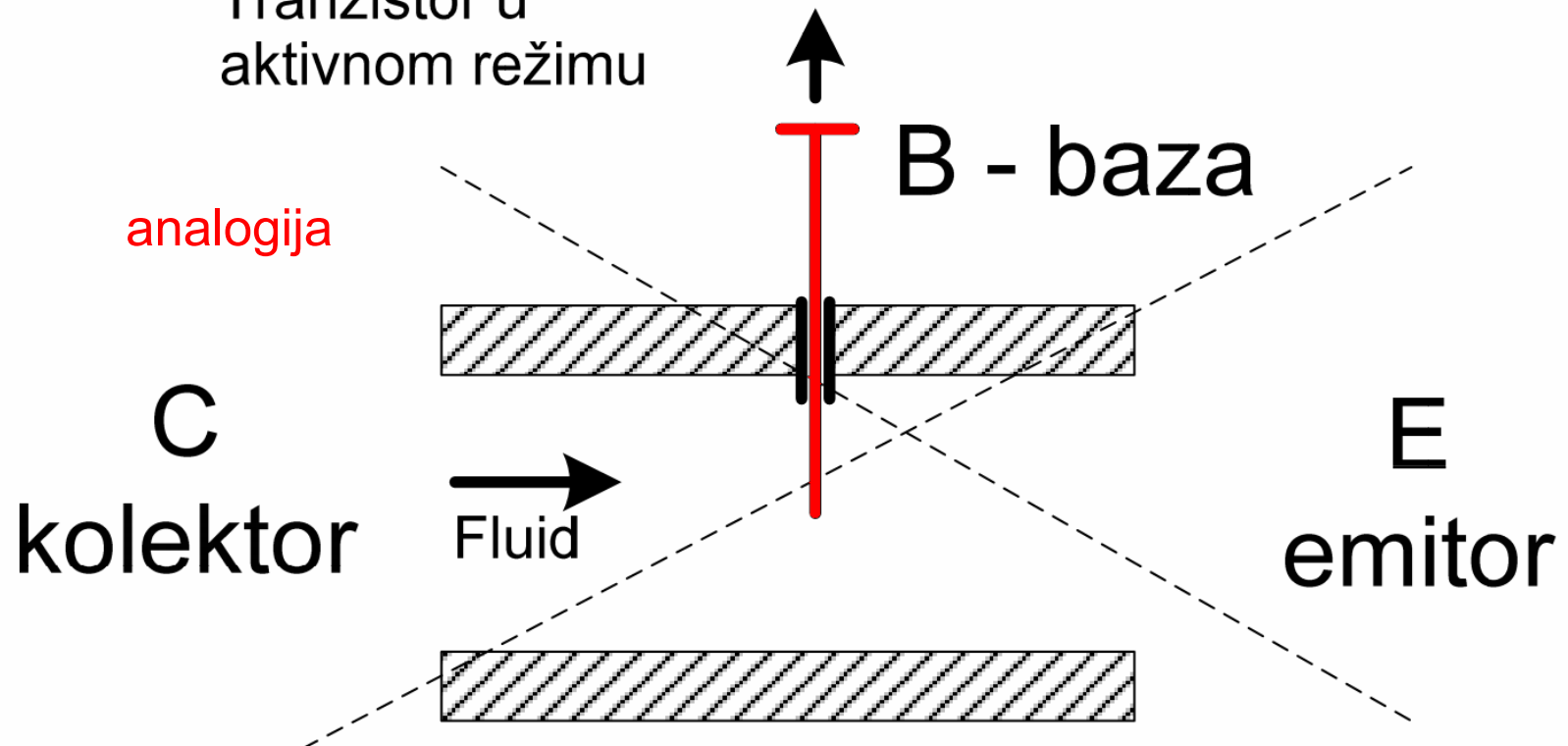
BJT

Engl. **B**ipolar **J**unction **T**ransistor



Tranzistor u
aktivnom režimu

analogija

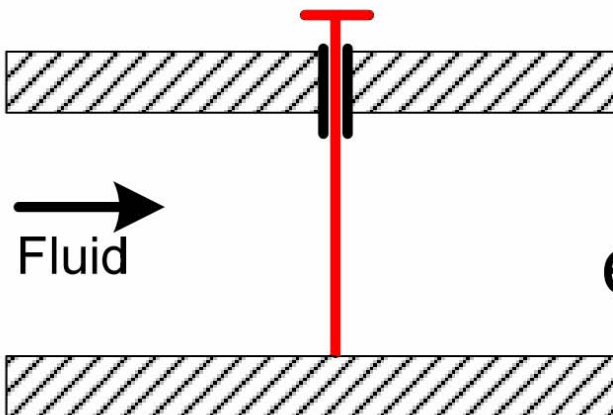


Tranzistor zakočen
(prekidač isključen)

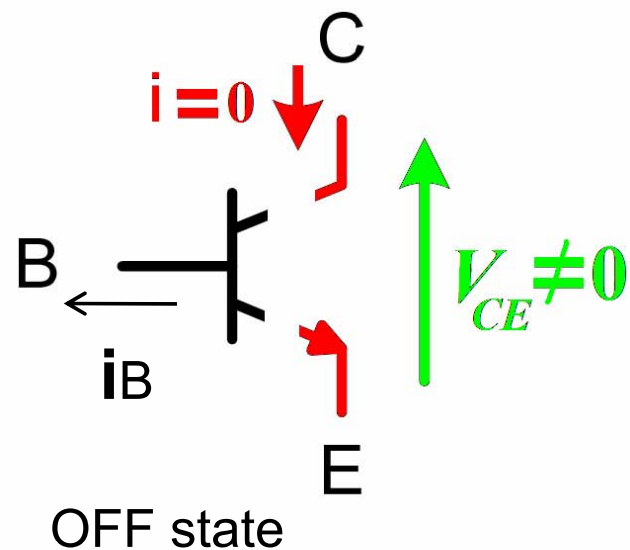
B - baza

analogija

C
kolektor



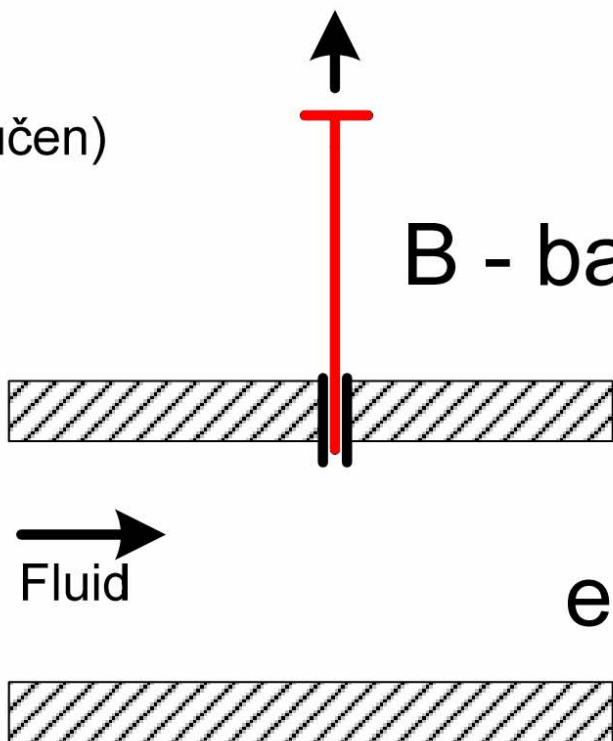
E
emitor



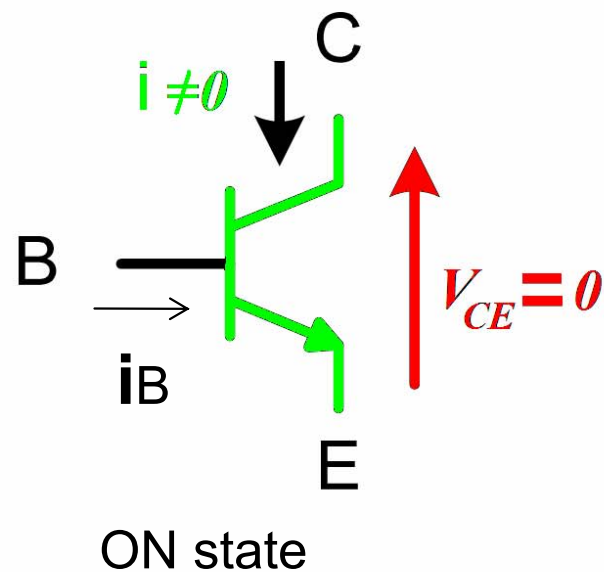
Tranzistor
u zasićenju
(prekidač uključen)

analogija

C
kolektor



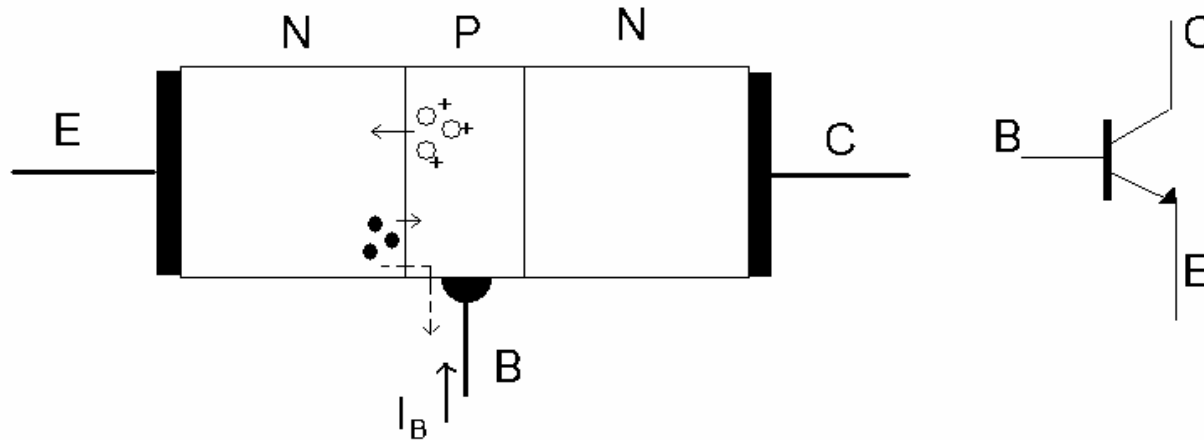
E
emitor



REALNOST!!!!

Bipolarni tranzistor BJT (Bipolar Junction Transistor) je poluprovodnička Komponenta sa tri elektrode (baza-B, emitor-E i kolektor-C), koje su tim redosledom i serijski spojene.

S obzirom na vrste poluprovodnika od kojih su načinjene elektrode, u redosledu EBC delimo ih na NPN i PNP tranzistore.

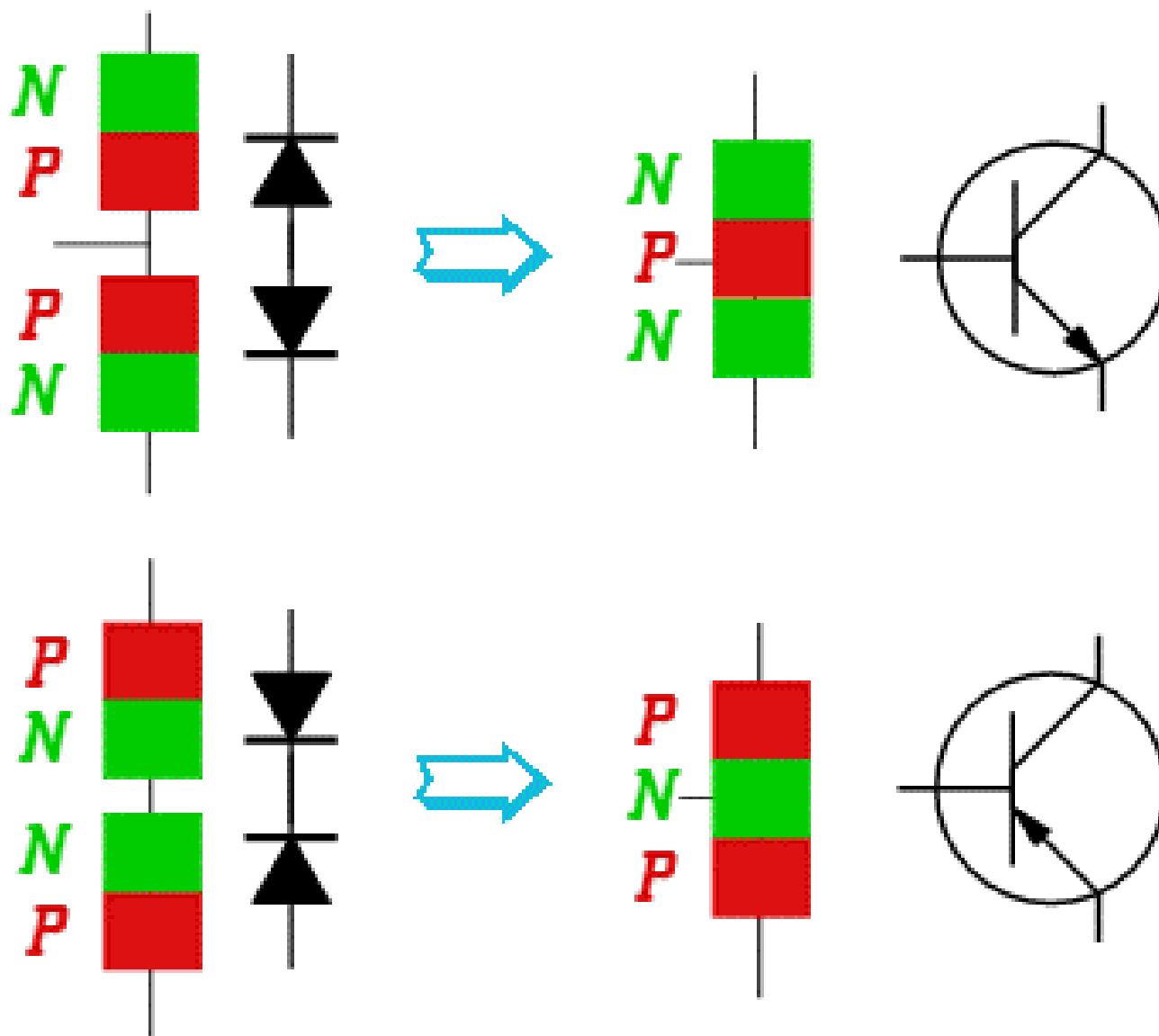


Ova komponenta je sastavljena od tri različito dopirana sloja silicijuma Si . Pri normalnom radu tranzistora spoj EB propusno je polarisan, a spoj BC nepropusno.

Tehnološki gledano, emitor je vrlo jako dopiran, baza nešto slabije, a kolektor dvojako

- slabo u blizini BC spoja, a jače u blizini odvodne elektrode (kolektora).
- Rad BJT-a zasniva se na injekciji negativnih naelektrisanja iz emitora u bazu odnosno injekciji pozitivnih naelektrisanja iz baze u emitor

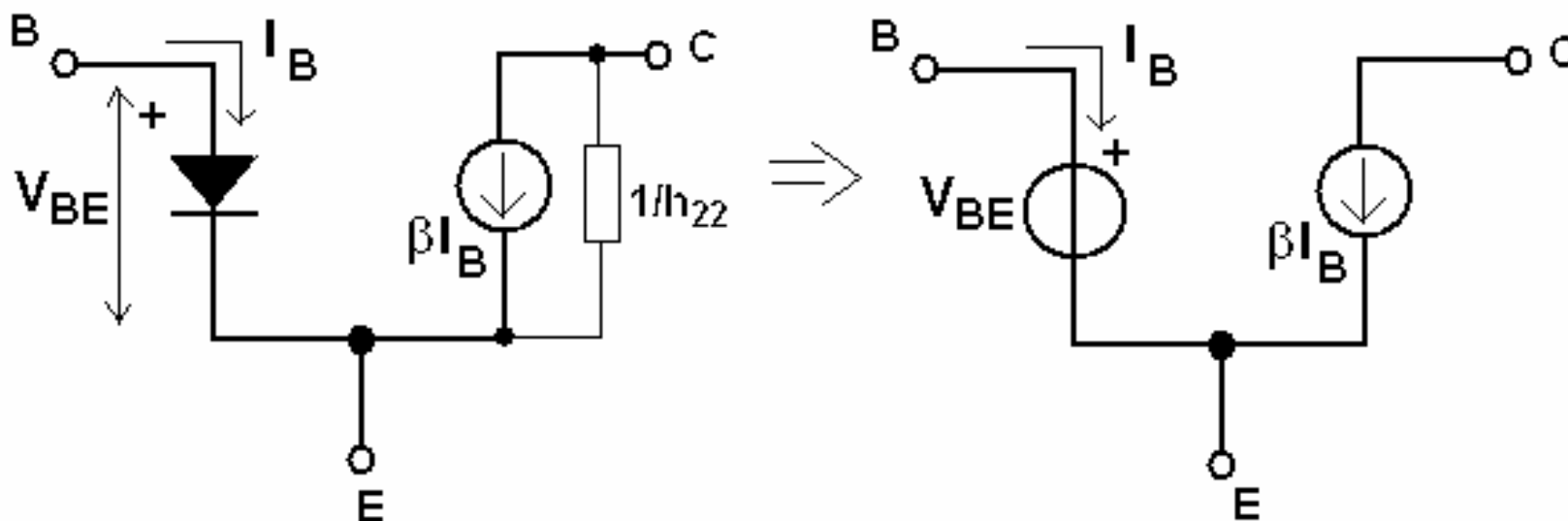
ANALOGIJA BJT SA REDNIM P-N SPOJEVIMA



AKTIVNI REŽIM

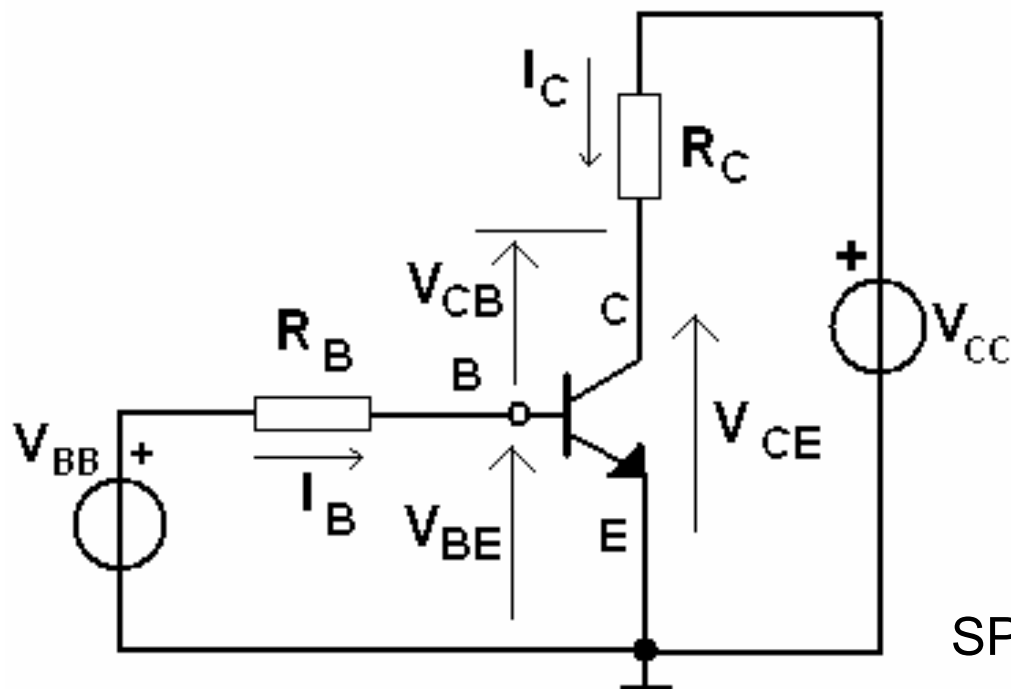
U aktivnom režimu rada spoj E-B je direktno polarisan. Većinski nosioci naelektrisanja (elektroni i šupljine) prolaze kroz E-B spoj. Elektroni se ubrizgavaju iz emitora u bazu, a šupljine iz baze u emitor. Elektroni ubrizgani u bazu postaju manjinski nosioci naelektrisanja i kreću se difuzijom do inverzno polarisanog spoja C-B gde ih električno polje usmerava ka kolektoru. U oblasti kolektora elektroni su opet većinski nosioci naelektrisanja. Elektroni rekombinovani u sloju baze bivaju nadoknađeni baznom strujom.

Stvarna struja baze ima dve komponente: I_B - struja baze generisana pomoću spoljnjeg kola i I_{CBO} - inverzna struja C-B spoja (zavisí jako od temperature). Na slici je data ekvivalentna šema BJT u aktivnom režimu (napon $V_{BE} \approx 0.7V$).

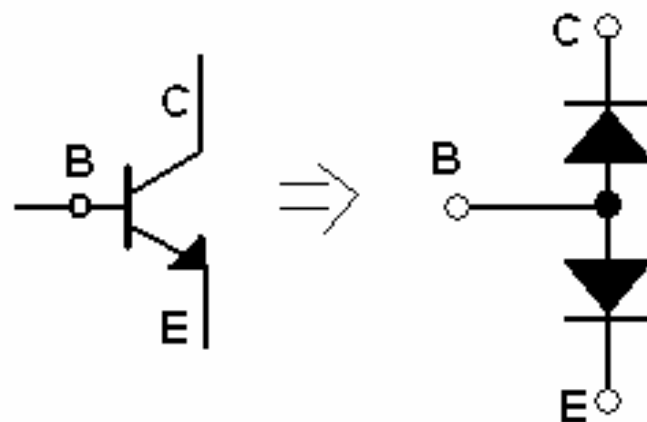


ekvivalentna šema za jednosmerni režim i uprošćena ekvivalentna šema za jednosmerni režim

OSNOVNI REŽIMI RADA TRANZISTORA



(a)



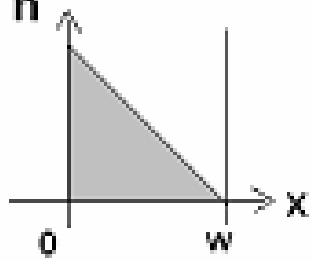
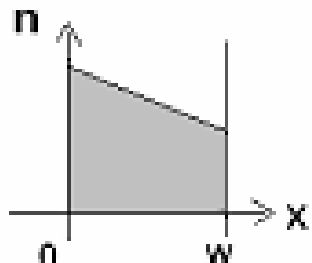
(b)

SPREGA SA ZAJEDNIČKIM EMITOROM

Osnovno kolo sa BJT, (a)-električna šema , (b)-električni simbol i njegov diodni ekvivalent

Radna tačka u baznom kolu je određena strujom baze I_B i naponom V_{BB} . Struja baze je određena naponima V_{BB} , naponom spoja B-E V_{BE} i otporom u baznom kolu R_B . U kolektorskom kolu se nalazi otpornik R_C , koji se vezuje između kolektorskog priključka tranzistora i jednosmernog izvora napajanja V_{CC} . U električnoj šemi on predstavlja opterećenje.

Režimi rada BJT su određeni polarizacijama unutrašnjih P-N spojeva

REŽIM RADA	SPOJ E-B	SPOJ C-B	RASPODELA KONCENTRACIJE ELEKTRONA U SLOJUBAZE
AKTIVAN	DIREKTNO POLARISAN	INVERZNO POLARISAN	 W-širina baze
ZAKOČEN	INVERZNO POLARISAN	INVERZNO POLARISAN	
ZASIČEN	DIREKTNO POLARISAN	DIREKTNO POLARISAN	
REVERZAN	INVERZNO POLARISAN	DIREKTNO POLARISAN	

U energetskim pretvaračima je od velikog značaja režim zasićenja tranzistora. U ovom režimu je struja baze toliko velika da su oba spoja direktno polarisana i u sloju baze postoji višak naelektrisanja!!!!

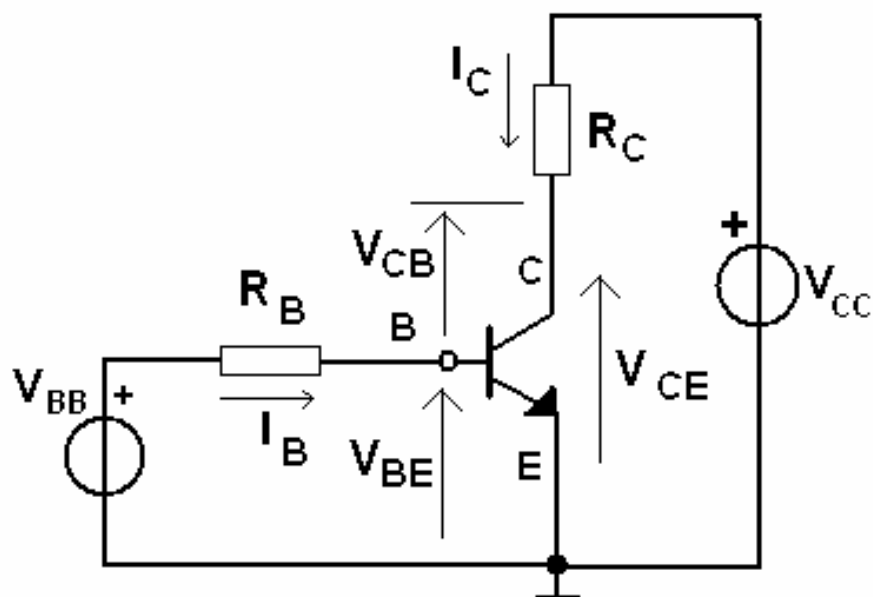
Pretpostavimo da se tranzistor nalazi u aktivnom režimu.

Dok je tranzistor u aktivnom režimu važi relacija:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

Pretpostavimo da je napon $V_{BE} \approx 0.7V$. Struja baze I_B tranzistora je određena jednačinom:

$$I_B = \frac{V_{BB} - 0.7V}{R_B}$$



Struja kolektora I_C je određena strujnim pojačanjem tranzistora β i strujom baze prema jednačini:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Sa porastom struje baze I_B , raste i struja kolektora I_C , tako da u jednom trenutku napon B-E postaje:

$$V_{BE} \geq V_{CC} - R_C I_C = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot I_B$$

$$V_{CB} = -V_{BE} + V_{CE} \longrightarrow V_{CE} < V_{BE} \longrightarrow V_{CB} < 0$$

a to znači da je P-N spoj B-C postao direktno polarisan, odnosno da se tranzistor nalazi u zasićenju.

U režimu reverznog rada emiter i kolektor menjaju uloge. Strujno pojačanje u ovom režimu β_i je u mnogo manje od onog koje se ima u direktnom režimu, odnosno $\beta_i \ll \beta$. Obično je u ovom režimu rada $\beta_i \approx 5$. Takođe u ovom režimu pada probojni napon tranzistora na 7-8V.

Emitorska oblast je inače jako dopirana da bi koncentracija slobodnih elektrona u njoj bila veća, pa samim tim i ubrizgani broj elektrona pri direktnoj polarizaciji E-B spoja. Posledica toga je mali inverzni probojni napon E-B spoja.

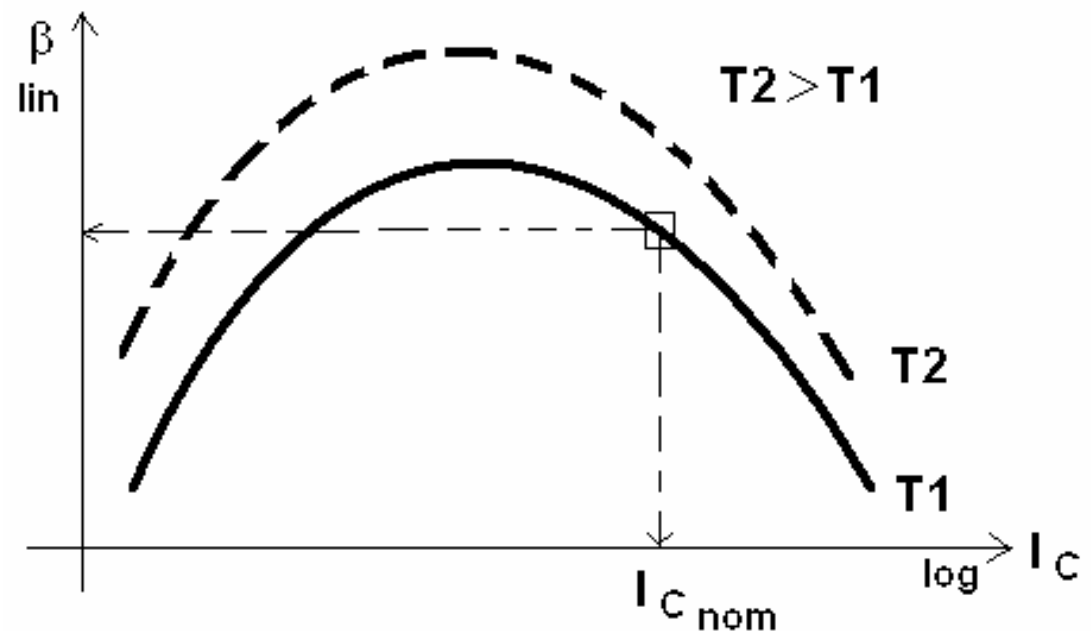
Kolektorska oblast je inače slabo dopirana, da bi pri inverznoj polarizaciji ispražnjena zona oko C-B spoja bila što deblja čime se postiže veći probojni napon. Posledica toga je da kolektorska zona mnogo manje ubrizgava elektrone u sloj baze, kada je spoj C-B direktno polarisan.

STRUJNO POJAČANJE

Strujno pojačanje BJT u spoju sa zajedničkim emiterom se definiše kao odnos struje kolektora i struje baze :

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

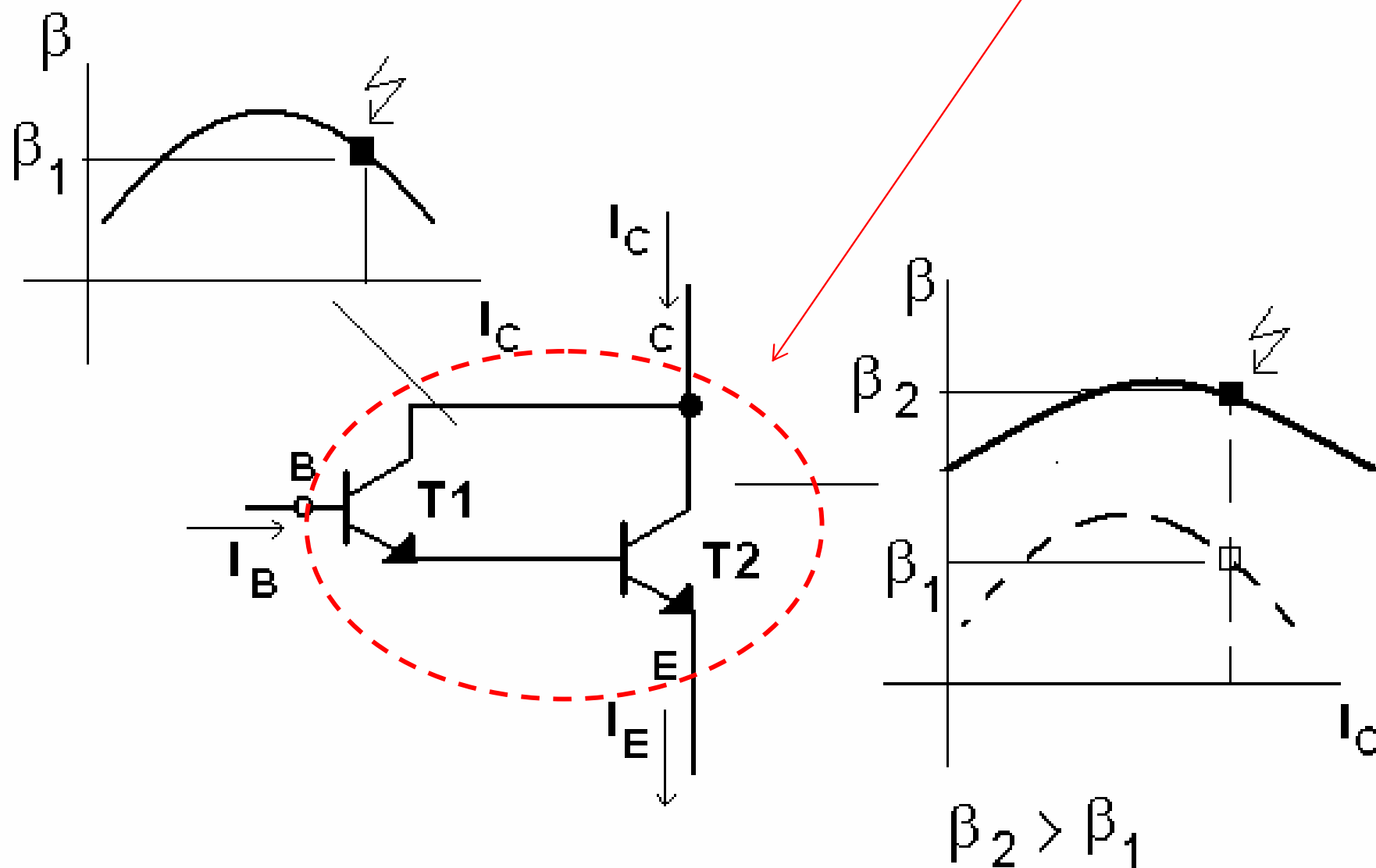
- Ovo pojačanje opada pri malim i veoma velikim strujama kolektora.
- Sa porastom temperature strujno pojačanje raste.
- Tipična karakteristika strujnog pojačanja za tranzistore snage je data na slici
- Obično je u katalozima proizvođača podela za β linearna, dok je podela za struju I_C logaritamska



Zavisnost strujnog pojačanja od struje kolektora za dve različite temperature T_1 i T_2

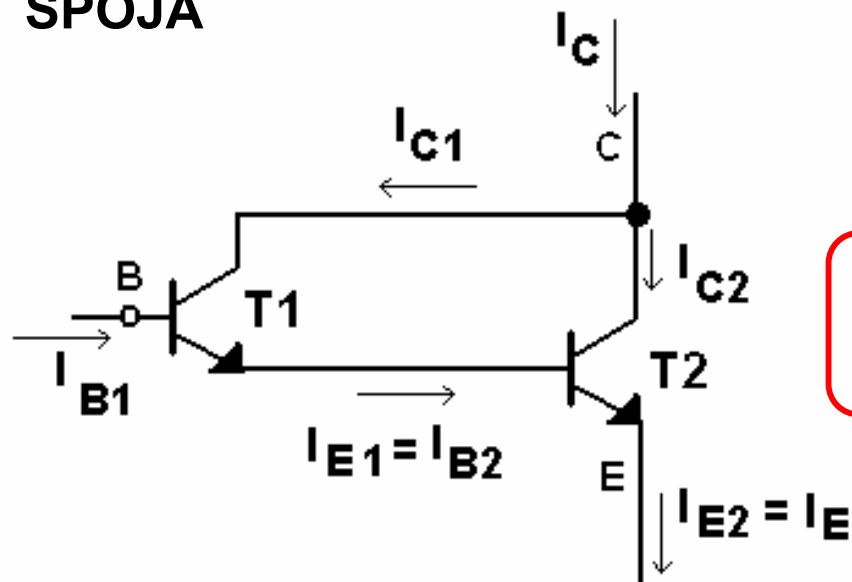
Kako postići veće strujno pojačanje pri većim strujama?

Jedan od načina je korišćenje tranzistora u tzv. Drallington spoju



SLEDI ANALIZA!!!!

ANALIZA POJAČANJA DARLINGTON SPOJA



$$\beta_1 = \frac{I_{C1}}{I_{B1}} \quad \beta_2 = \frac{I_{C2}}{I_{B2}}$$

$$I_{E1} = I_{C1} + I_{B1}$$

$$I_{E1} = \beta_1 I_{B1} + I_{B1} = (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1}$$

$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \quad I_{E1} = I_{B2}$$

$$I_C = \beta_1 I_{B1} + \beta_2 (\beta_1 + 1) I_{B1}$$

$$I_{C2} = \beta_2 (\beta_1 + 1) I_{B1}$$

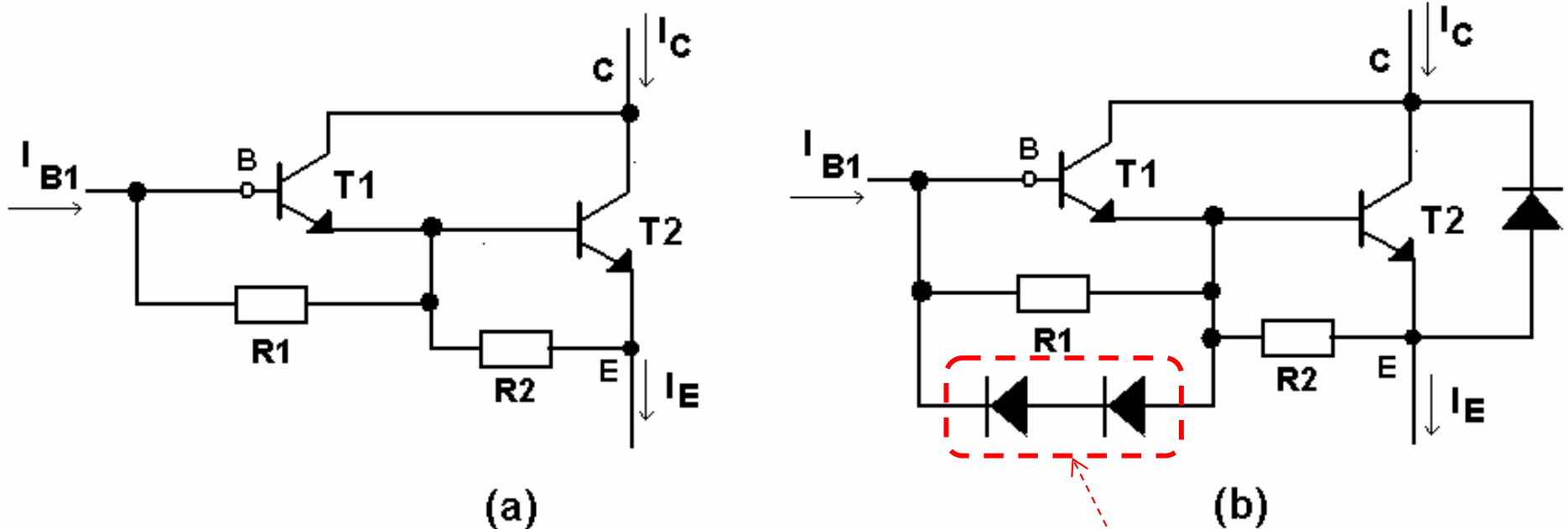
$$\beta_1 \gg 1 \quad I_C = (\beta_1 + \beta_2 \beta_1) I_{B1} = \beta_1 (\beta_2 + 1) I_{B1}$$

$$\beta_2 \gg 1$$

$$\beta_D = \frac{I_C}{I_{B1}} \approx \beta_1 \beta_2$$

REZULTUJUĆE POJAČNJE

Praktična realizacija Darlington spoja je nešto drugačija od prethodne predstave. U praksi se između spojeva B-E pripadajućih tranzistora T1 i T2, stavljaju otpori R1 i R2. Ovi otpori služe da se inverzne struje zasićenja kolektorskih spojeva zatvore kroz njih i pri tome generišu vrlo male napone.



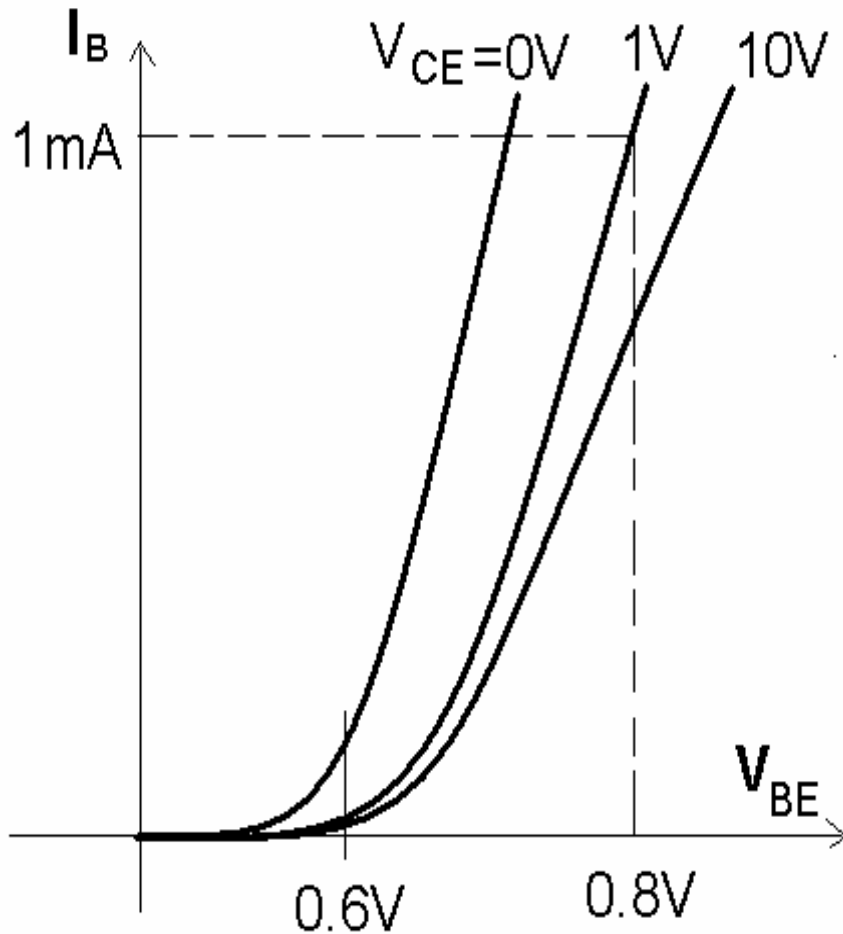
Praktična realizacija Darlington sprege, (a)-otpori za zatvaranje struja “curenja”, (b)-ubrzavanje gašenja.

U realnim aplikacijama BJT u Darlington sprezi, tranzistor T2 se obično nalazi u dubokom zasićenju. Ovo značajno usporava njegovo isključenje. Za ubrzavanje isključenja T2, a stoga i celog Darlington spoja, se koriste tzv. **speed-up diode** koje se vezuju u emitorsko kolo tranzistora T1.

Statičke karakteristike BJT

- Statičke karakteristike koje se koriste u praktičnim primenama su:
 - ulazna (karakteristika spoja B-E)
 - izlazna karakteristika, odnosno zavisnost struje kolektora od napona C-E (volt-amperska karakteristika)

Ulazne karakteristike BJT



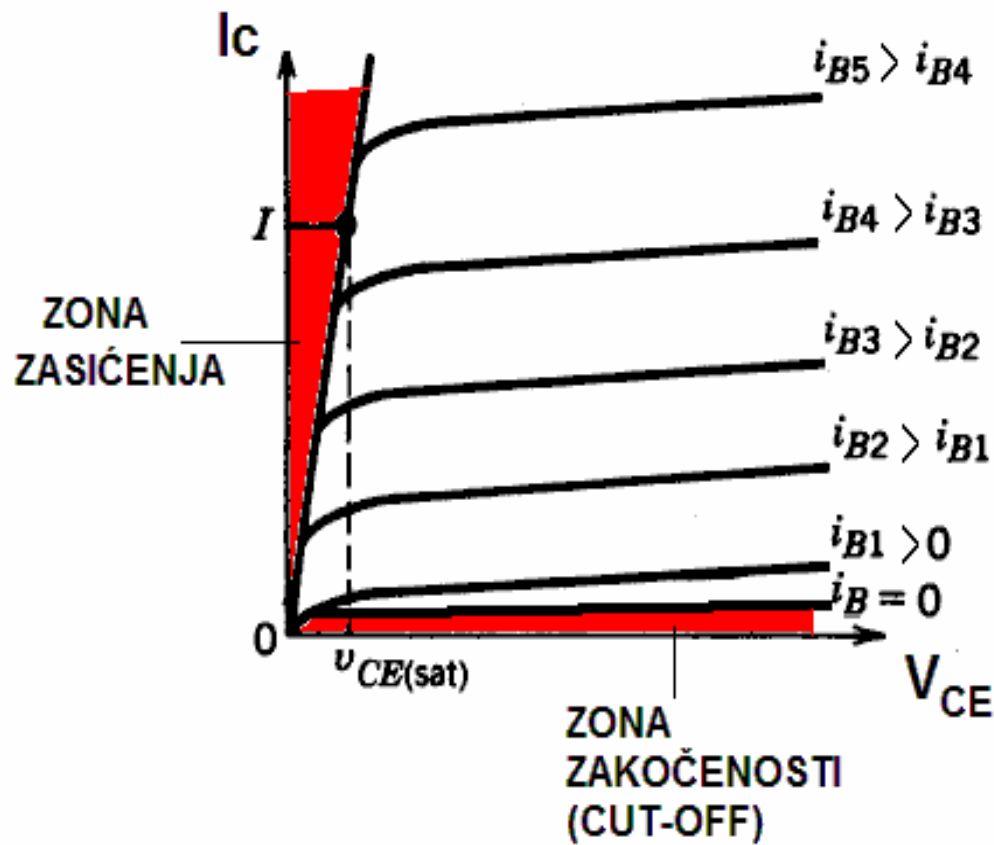
Ulazna statička karakteristika BJT

Ulazno kolo tranzistora (spoj B-E) je poluprovodnička dioda, pa su i statičke krive $I_B = I_B(V_{BE})$ slične I-V krivama diode, ali je važan i uticaj parametra V_{CE}

Za $|V_{BE}| > |V_{CE}|$ spoj BC je propusno je polarisan, što znači da i kolektor injektira naelektrisanje u bazu, te time dobijamo velike struje baze I_B već i za male vrednosti V_{BE} .

Kada je $|V_{BE}| < |V_{CE}|$ spoj B-C je polarisan nepropusno, te $I_B = I_B(V_{BE})$ slabo zavisi od V_{CE} : smanjenjem I_B uz isti V_{BE} pri povećanom V_{CE} dovodi do suženja baze proširenjem područja osiromašenja spoja B-C, ali je taj učinak mali zbog slabog dopiranja kolektora uz spoj B-C.

Izlazne karakteristike BJT



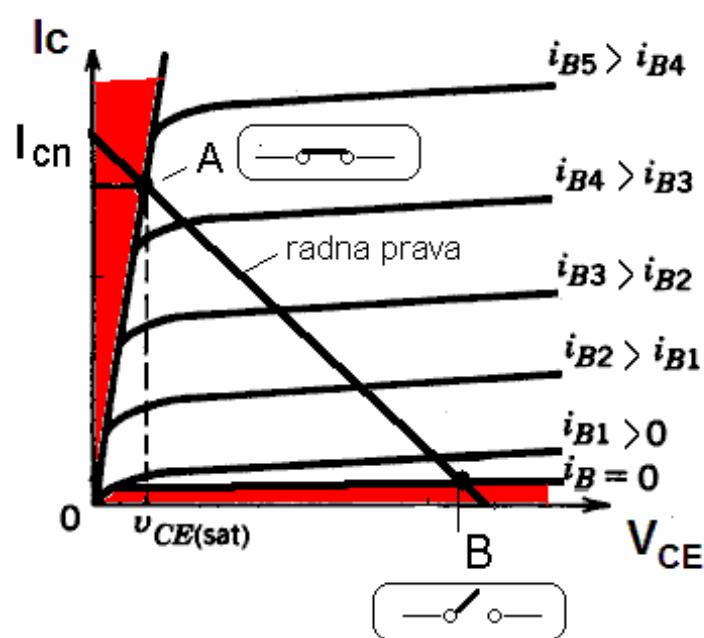
Izlazna karakteristika BJT tranzistora je ustvari zavisnost kolektorske struje I_C od napona spoja C-E, odnosno V_{CE} pri određenoj struji baze I_B .

Iz karakteristika $I_C = I_C(V_{CE})$ koje su date na slici se zaključuje da je BJT kontrolisan strujom baze.

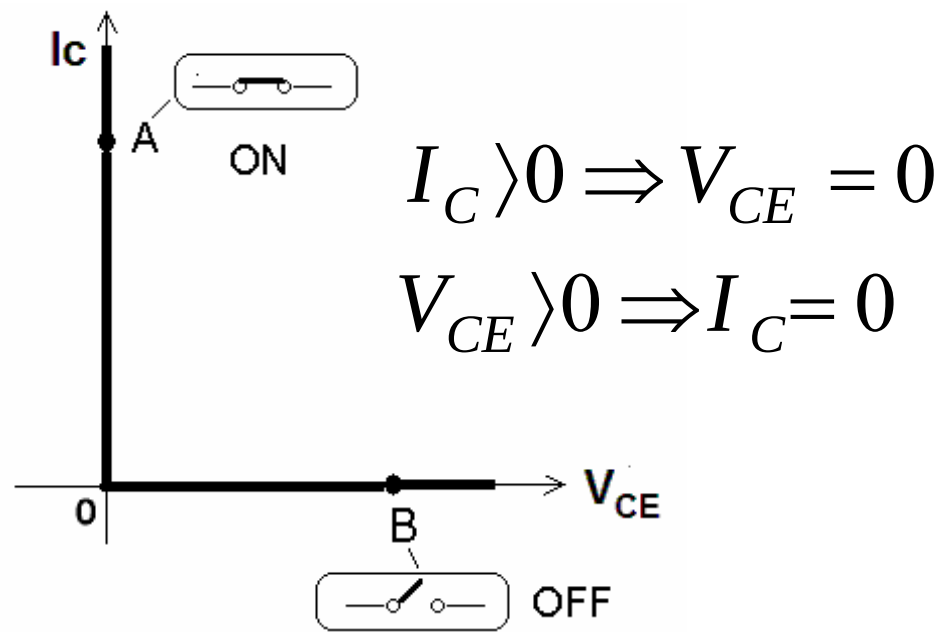
U radnoj I-V oblasti se uočavaju tri zone. Zona zasićenja, zona zakočenosti (blokiranja) i zona aktivnog režima rada.

Zona zasićenja BJT koja se karakteriše značajnim strujama I_C i malim naponom $v_{CE(sat)}$. Zona blokiranja BJT (cut-off) se ima kada je struja baze $i_B = 0$. U ovoj zoni se imaju na BJT značajni naponi V_{CE} i kroz njih teče veoma mala struja I_C , koja predstavlja inverznu struju zasićenja kolektorskog spoja $I_C(i_B = 0) = I_{CBO}$.

BJT najčešće koristi u energetskim pretvaračima kao prekidački elemenat, tako da mu se radna tačka nalazi u jednoj od ove dve zone



(a)



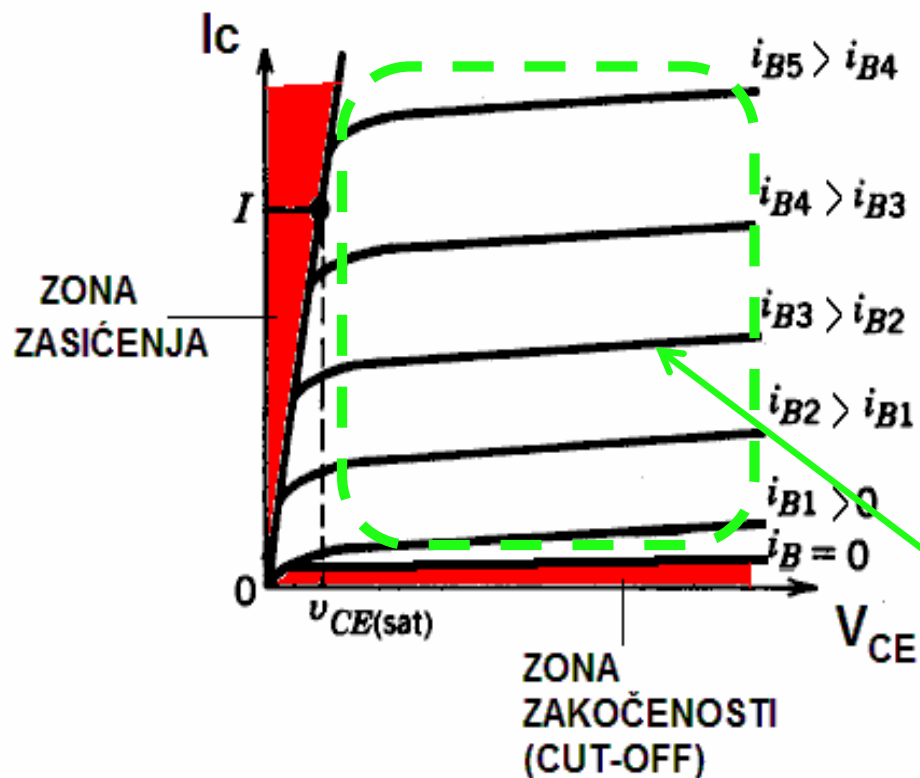
(b)

Prekidačka V-A karakteristika BJT, (a)-realna, (b)-idealna

Radna tačka tranzistora je određena presekom radne prave (karakteristika opterećenja) i V-A karakteristike tranzistora, za određenu struju baze i_B . **Kada je struja baze značajna, na primer $i_B = i_{B5}$, tada je radna tačka A u oblasti zasićenja. U ovoj oblasti tranzistor je uključen, (stanje ON) i približno je ekvivalentan zatvorenom prekidaču. U stvarnosti on nije idealan prekidač već je na njegovim priključcima C-E, napon $v_{CE} = v_{CE}(SAT) \approx 1V$.**

Kada je struja baze $i_B = 0$, tada je radna tačka B u oblasti blokiranja. U ovoj oblasti tranzistor je isključen (stanje cut-off) i ekvivalentan je otvorenom prekidaču. U stvarnosti kroz njega teče veoma mala struja I_C , koja predstavlja inverznu struju zasićenja kolektorskog spoja $I_C(i_B = 0) = I_{CBO}$.

OBLAST AKTIVNOG REŽIMA

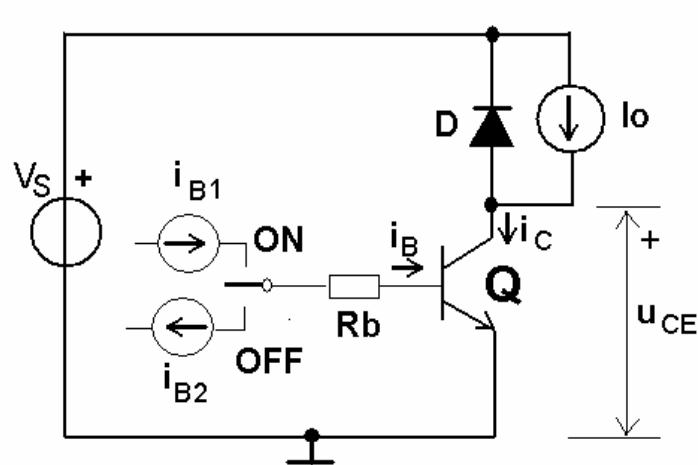


Oblast između zone zasićenja i zone blokiranja se naziva **oblast aktivnog režima rada** (linearni režim).

U ovoj zoni se imaju značajni disipacioni gubici.

U energetske pretvaračima se BJT u ovoj zoni koristi samo u kratkotrajnim (prelaznim režimima) kao što su uključanje i isključanje.

PREKIDAČKI REŽIM BJT



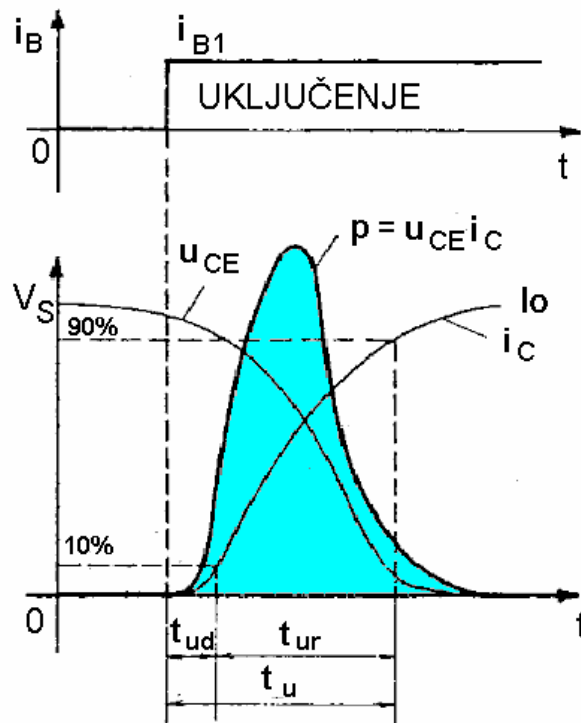
U STANJU VOĐENJA

$$u_{CE} = u_{CE(SAT)}$$

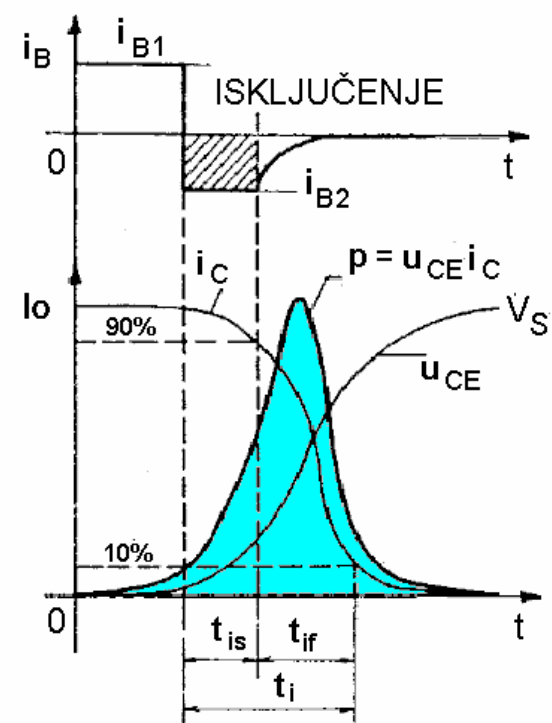
$$i_C = I_o$$

$$p = u_{CE} i_C = u_{CE(SAT)} \cdot I_o$$

(a)



(b)

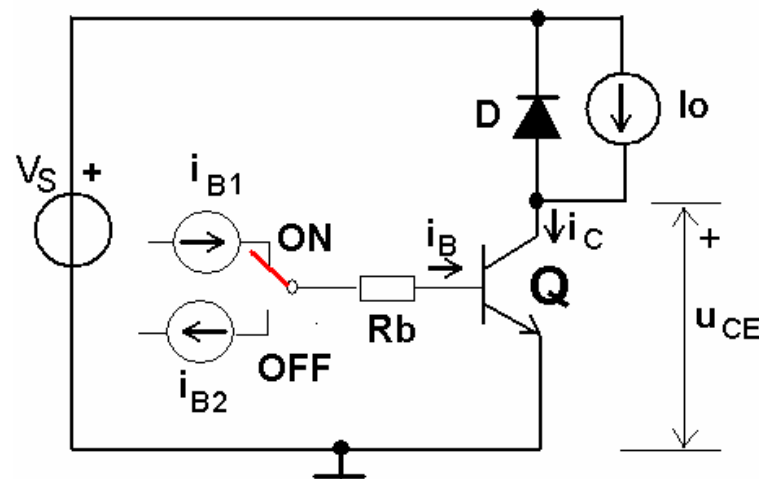


(c)

Analiza prekidačkog režima BJT, (a)-prekidačko kolo, (b)-uključenje, (c)-isključenje

Za razumevanje i analizu procesa uključenja i isključenja BJT se koristi osnovno prekidačko kolo čiji su karakteristični talasni oblici prikazani na slici. Na slici (a) je prikazano osnovno prekidačko kolo sa tranzistorom Q, diodom D i strujnim izvorom I_0 . Pobuda tranzistora se ostvaruje iz dva nezavisna strujna izvora: I_{B1} za uključenje i I_{B2} za isključenje.

UKLJUČENJE BJT

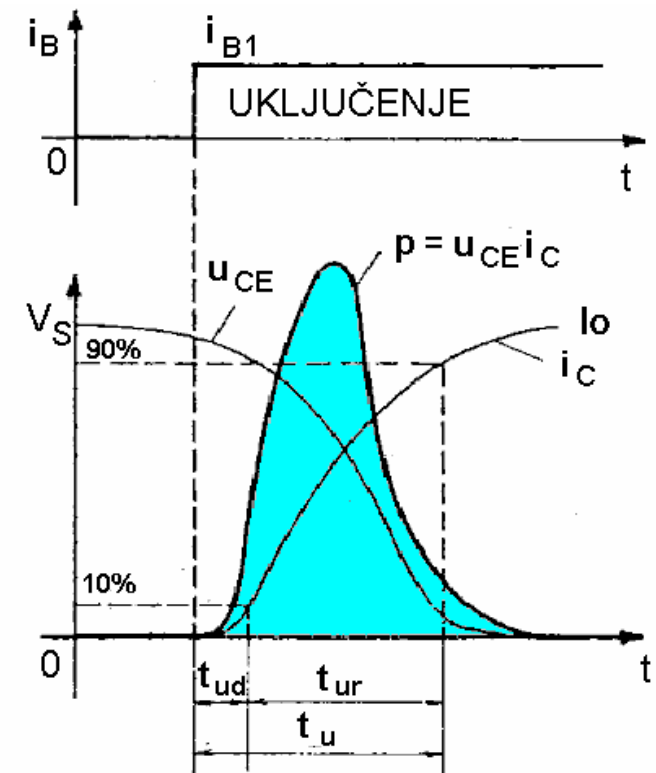


U STANJU VOĐENJA

$$u_{CE} = u_{CE(SAT)}$$

$$i_C = I_o$$

$$p = u_{CE} i_C = u_{CE(SAT)} I_o$$



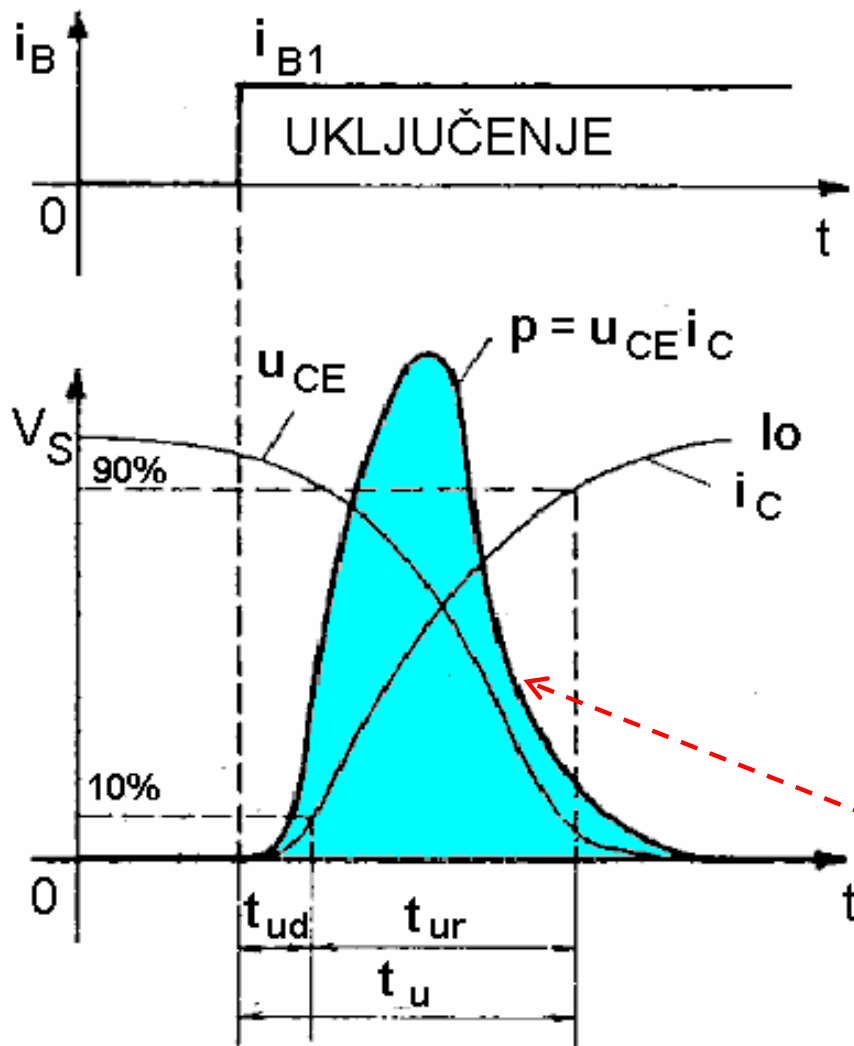
Nakon dovođenja pobudnog strujnog impulsa I_{B1} , struja tranzistora se počinje uspostavljati ali sa određenim kašnjenjem. Ovo **vreme kašnjenja (delay time)** pri uključenju je označeno sa t_{ud} . U toku ovog vremena se puni kapacitet spoja B-E, pa je ovo vreme određeno strujom punjenja i veličinom datog kapaciteta C_{BE} . Nakon toga dolazi do uspostavljanja struje kolektora tranzistora od vrednosti I_0 za vreme t_{ur} koje ustvari predstavlja **vreme porasta struje pri uključenju (rising time)**. Ovo vreme je upravo potrebno da manjinski nosioci na putu kroz bazu stignu do kolektorskog spoja. U toku ovog vremena dakle dolazi do akumulacije manjinskih nosilaca u bazi i do porasta njihovog gradijenta koncentracije, pa tako raste i struja kolektora do svoje ustaljene vrednosti I_0 . Ovaj efekat se još naziva i **efekat "širenja baze"**. Na kraju ovog procesa je praktično B-C spoj preplavljen manjinskim nosiocima i baza se proširila do svojih metalurških granica.

U katalogima proizvođača vreme porasta se definiše kao vreme za koje je potrebno da struja kolektora poraste sa 10% na 90% od svoje ustaljene vrednosti.

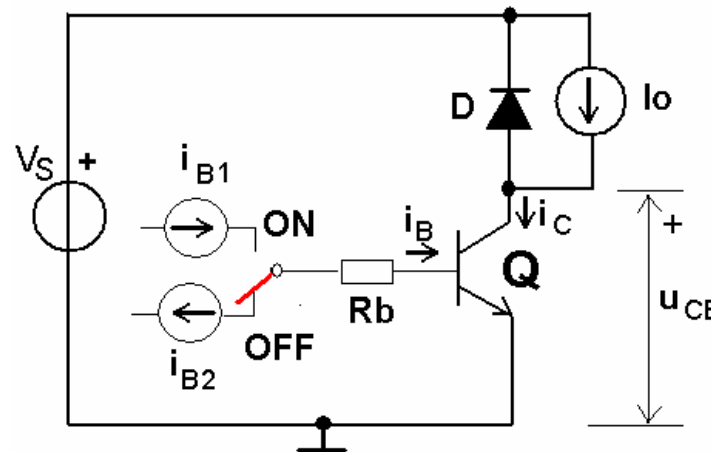
Vreme uključenja t_u predstavlja zbir vremena t_{ud} i t_{ur} .

U ovom intervalu uključenja napon na kolektoru tranzistora postepeno opada od vrednosti napona na kolektoru koja je jednaka naponu jednosmernog izvora napajanja V_S , na vrednost $u_{CE(SAT)}$.

U toku vremena uključenja tranzistor se ustvari nalazi u aktivnom režimu, te se stoga na njemu razvija značajna snaga disipacije (snaga gubitaka pri uključenju) koja je prikazana šrafiranom površinom



ISKLJUČENJE BJT

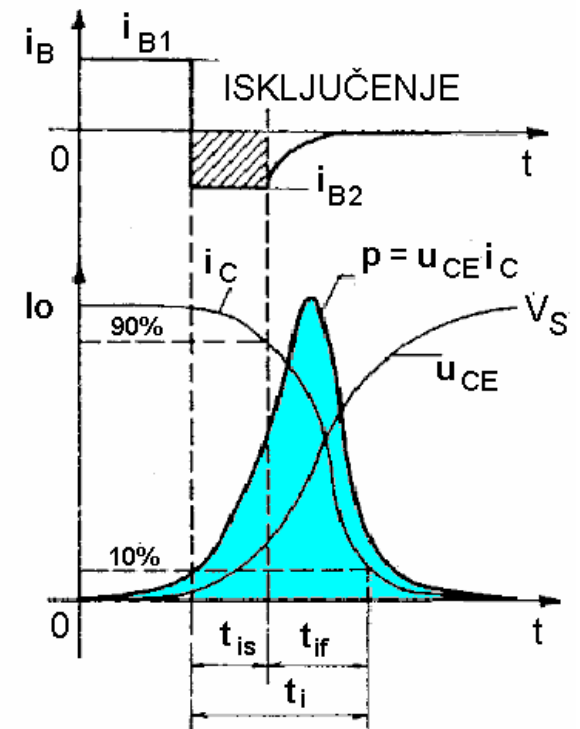


U STANJU VOĐENJA

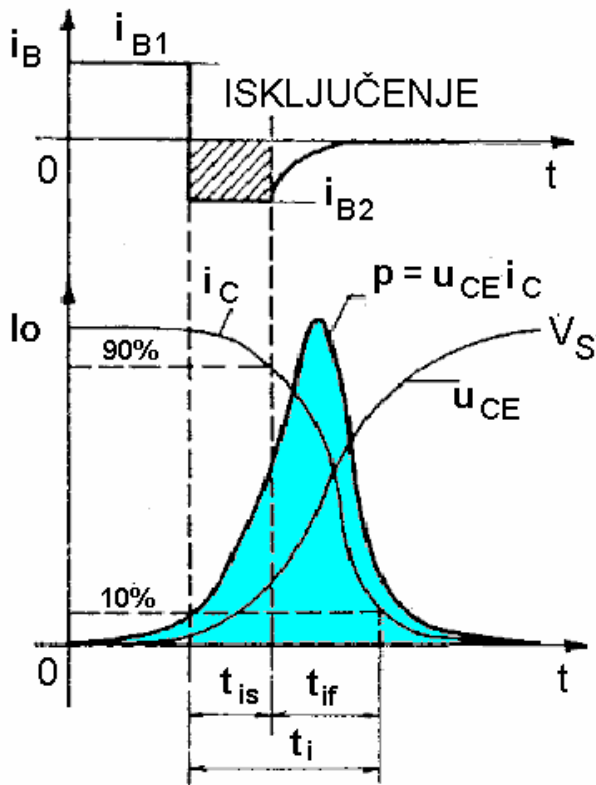
$$u_{CE} = u_{CE(SAT)}$$

$$i_C = I_o$$

$$p = u_{CE} i_C = u_{CE(SAT)} \cdot I_o$$



Pobuda BJT se sada ostvaruje prebacivanjem kontrolnog prekidača, tako da je sada aktivan strujni izvor I_{B2} u kolu baze, koji generiše struju suprotnog smera dovodeći tranzistor u stanje blokiranja. Nakon dovodenja negativnog pobudnog strujnog impulsa I_{B2} , struja tranzistora počinje da opada ali sa određenim kašnjenjem. Ovo vreme kašnjenja pri isključenju se ponekad naziva i vreme nagomilavanja (*storage time*) i označeno je sa t_{is} . U ovom intervalu dolazi do evakuacije nagomilanih akumulisanih naelektrisanja. Obično se u ovom intervalu vrši prvo rasterećenje baze odvođenjem viška nosilaca naelektrisanja. U katalogima proizvođača se ovo vreme definiše kao vreme kašnjenja između trenutka pada bazne struje ispod 90% njene ustaljene vrednosti i trenutka pada kolektorske struje ispod 90% njene ustaljene vrednosti. Ovaj vremenski interval se naziva vreme opadanja (*fall time*) i označeno je sa t_{if} .



Nakon evakuacije viška nosilaca naelektrisanja menja se gradijent manjinskih nosilaca, odnosno sa njegovim padom opada i struja kolektora I_C .

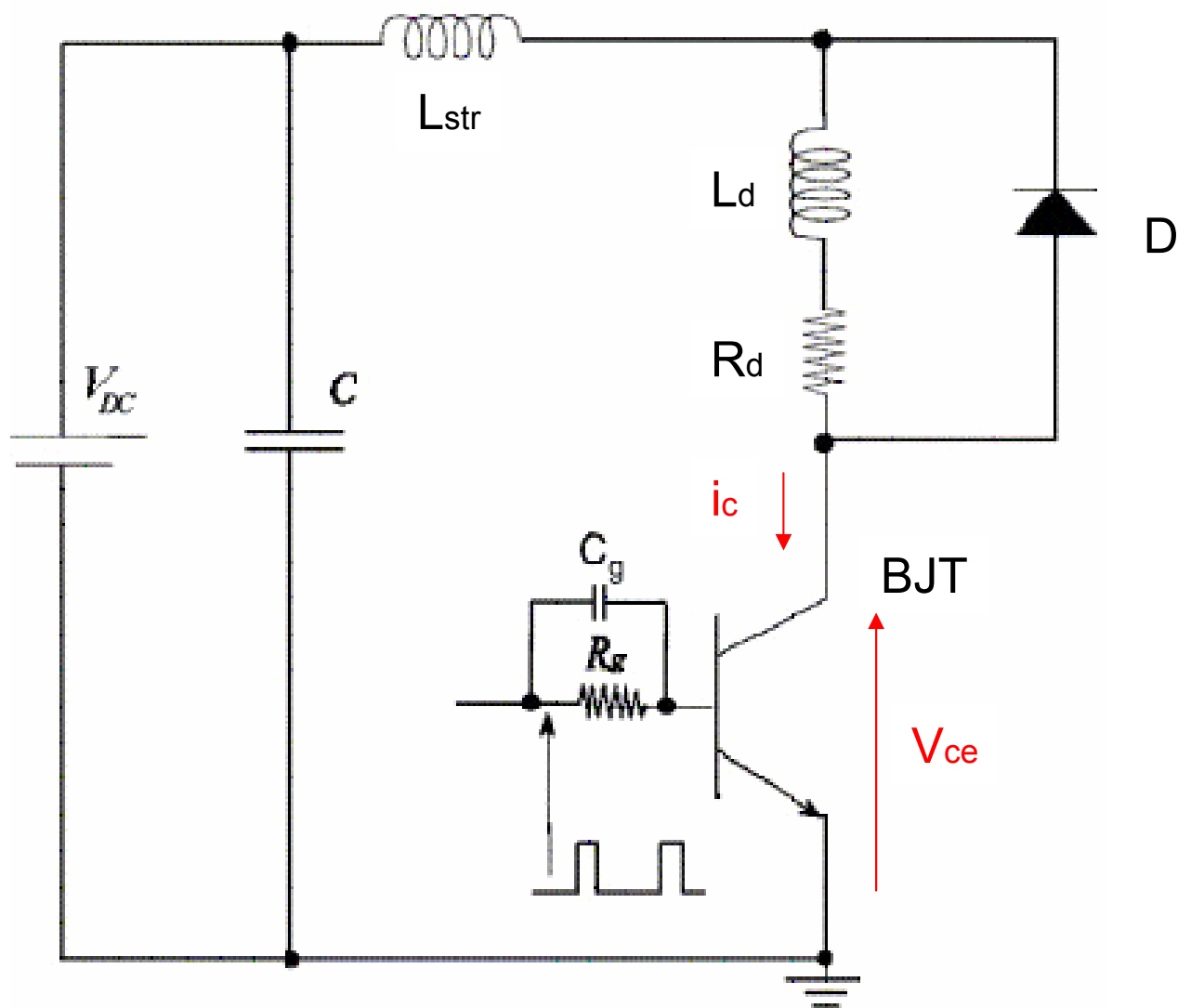
Drugim rečima bazno područje se skuplja do svojih metalurških granica.

Vreme isključenja t_i predstavlja zbir vremena t_{is} i t_{if} .

U ovom intervalu isključenja napon na kolektoru tranzistora postepeno raste vrednosti napona na kolektoru $u_{CE(SAT)}$, koja je jednaka naponu zasićenja do vrednosti napona jednosmernog izvora napajanja $-V_S$.

U ovom intervalu tranzistor se takođe nalazi u aktivnom režimu, te stoga na njemu razvija značajna snaga disipacije (snaga gubitaka pri isključenju) koja je prikazana šrafiranom površinom.

KAKO IZGLEDAJU TALASNI OBLICI NA REALNOM SISTEMU?



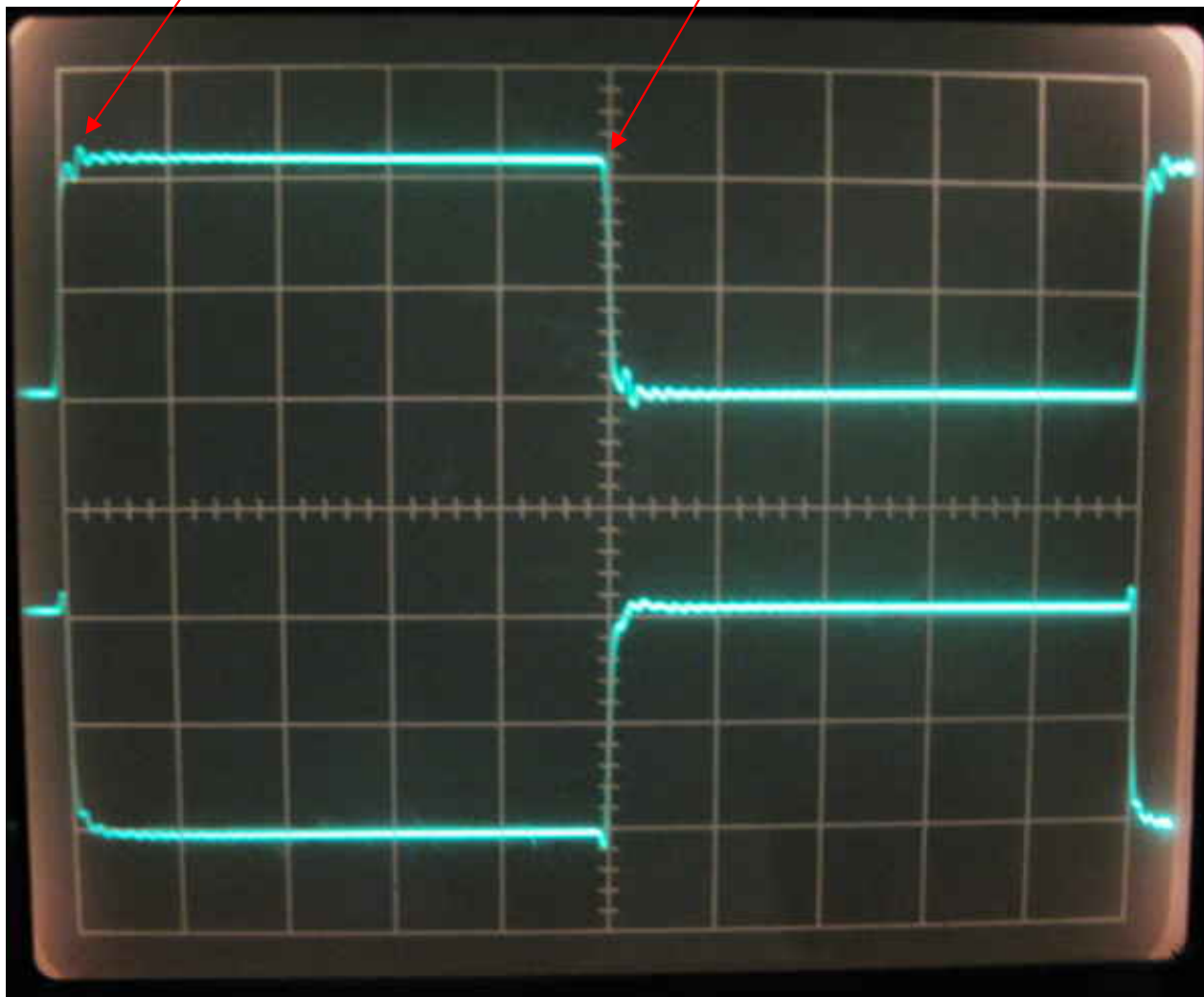
Hard switching induktivnog opterećenja
 TALASNI OBLICI STRUJE I NAPONA BJT

UKLJUČENJE

ISKLJUČENJE

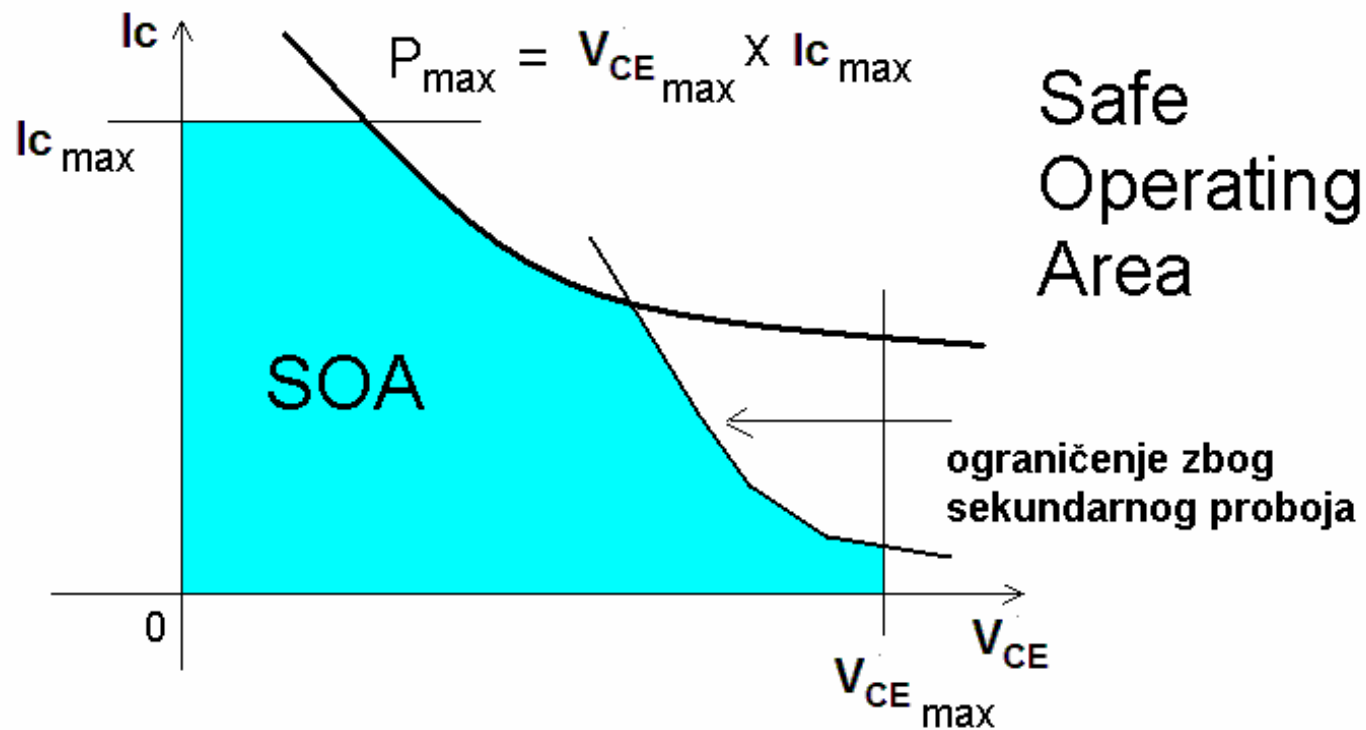
I_c
struja
kolektora
20A/c
0 —

V_{ce}
Napon
C-E
300V/c
0 —



Time: 10 μ s/C

REŽIM VOĐENJA BJT

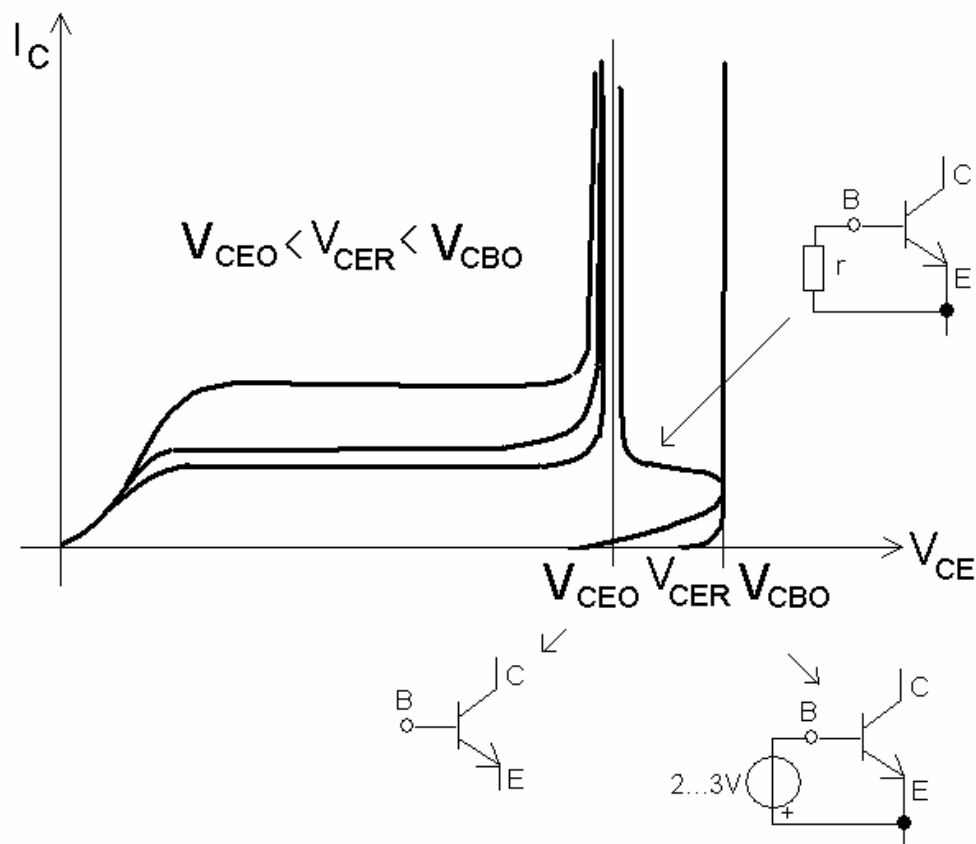


U režimu vođenja (*on-state*) napon na spoju C-E je jednak $u_{CE(SAT)}$, dok je struja kolektora $I_C = I_0$. Snaga gubitaka u ovom slučaju je jednaka $P_{ON} = u_{CE(SAT)} \cdot I_0$.

Oblast dozvoljenog rada BJT odnosno *SOA (Safe Operating Area)* je prikazana na slici.

Pored ograničenja maksimalne snage disipacije na dijagramu se uočava i ograničenje zbog sekundarnog proboja, kada dolazi do lokalnog fokusiranja struje i uništenja kolektorskog spoja.

Probojni naponi BJT



Probojni napon je karakterističan za stanje kad je tranzistor blokiran.

Napon doveden između kolektora i emitora trpi PN spoj C-B.

Taj napon se u katalogima proizvođača obeležava sa V_{CBO} .

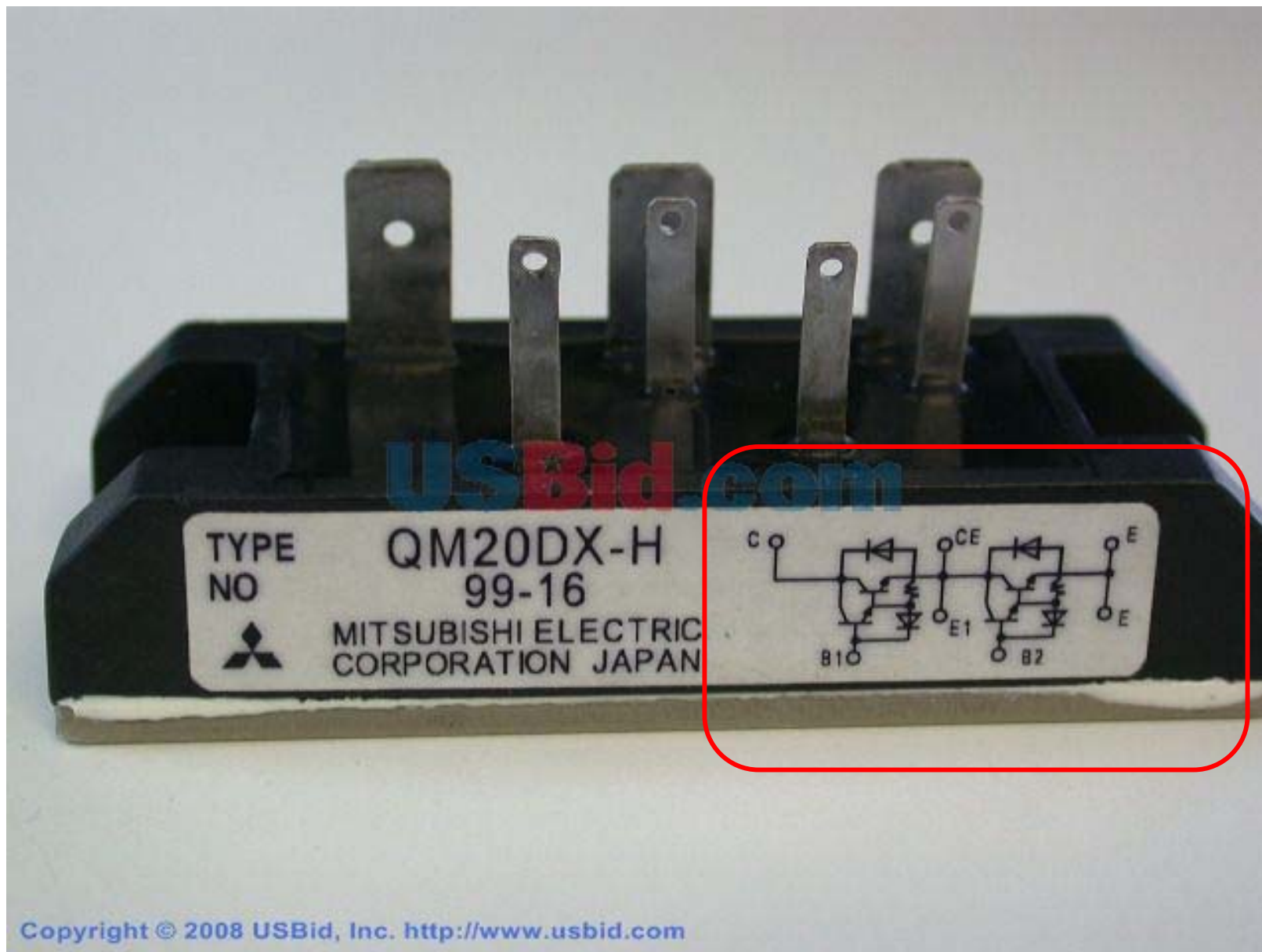
Najniži probojni napon između kolektora i emitora se obeležava sa V_{CEO} i daje se za slučaj kada je baza otvorena. Tada se upravo pojačava sva inverzna struja zasićenja kolektorskog spoja.

Ovaj parametar je važan za korisnika jer predstavlja granicu napona ispod koje sigurno neće nastupiti proboj.

U katalogima se može naći i probojni napon između kolektora i emitora- V_{CEX} u slučaju da je emitorski spoj inverzno polarisan pri naponu inverzne polarizacije 2...3V. Ovaj napon je blizak V_{CBO} . Poslednji važan parametar u vezi probojnih napona, je probojni napon između kolektora i emitora u slučaju kada se između baze i emitora nalazi električni otpor R i obeležava se sa V_{CER} . Između navedenih probojnih napona postoji odnos: $V_{CEO} < V_{CER} < V_{CEX} < V_{CBO}$.

Ograničenja u pogledu maksimalnih napona i struja:

<u>Polupr. komponenta</u>	<u>Napon (V)</u>	<u>Struja (A)</u>
Tiristor (SCR)	6000	3500 (5000)
GTO / IGCT	4500	3000 (4500)
Triak	800	40
Bipolarni tranzistor	1200	800
MOSFET	500 (1200)	140
IGBT	600 (3500)	50 (1200)
SIT	800	60
SITH	1200 (4000)	800 (2200)
MCT	600 (3000)	60



Snažni poluprovodnički modul QM20DX (vertikalna mosta sa dva BJT u Darlington spoju. Karakteristike: 600V/20A

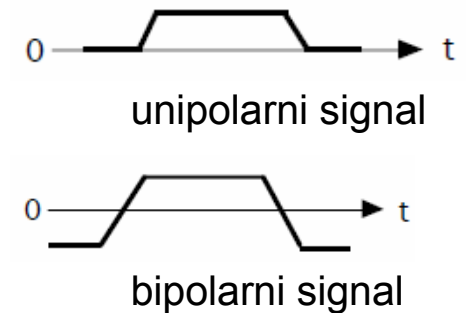
POBUDNA KOLA BIPOLARNIH TRANZISTORA

- Cilj je uključenje tranzistora i prelaz iz stanja OFF-state u stanje ON-state sa što manjom disipacijom (što manje zadržavanje u aktivnom režimu)
- Cilj je isključenje tranzistora i prelaz iz stanja ON-state u OFF-state, takođe sa što manjom disipacijom
- Pouzdano održavanje u oba stanja (ON-state i OFF-state)
- Cilj je takođe obezbediti prenaponsku i prekostrujnu zaštitu tranzistora
- Logički kontrolni signali nisu deo pobudnog kola i mora se obezbediti pouzdano odvajanje, obzirom da je pobudno kolo na potencijalu energetskog prekidača (tranzistora). Ovaj prekidač je na visokom naponu max 1kV. Najpouzdanije odvajanje je galvanska izolacija logičkih kola od pobudnog kola.
- Logički kontrolni signali su 0-5Vdc, a napon pobudnog kola je veći tipično 12Vdc, 15Vdc, 24Vdc. Tako da pobudno kolo mora da obezbedi ovo prilagođenje.
- Pobudno kolo je ustvari pojačavač snage, obzirom da je snaga potrebna za uključenje i isključenje tranzistora značajnija od one koja se ima u logičkim kolima.

OPŠTA RAZMATRANJA O POBUDNIM KOLIMA TRANZISTORA

Topologije pobudnih kola

- Izlazni signal može biti unipolaran ili bipolaran
- AC ili DC sprega
- Priključenje paralelno ili redno sa snažnim prekidačem



Izlazna struja pobudnog kola

- Ako je struja uključanja tranzistora velika vreme uključanja je kratko ali je vreme isključenja duže (kašnjenje isključenja)
- Ako je struja isključenja tranzistora velika vreme isključenja je kraće ali je kašnjenje uključanja veće.

Zaštita prekidača

- Prekostrujna i prenaponska
- Mora biti ugrađeno tzv. “mrtvo vreme” u pobudno kolo, naročito u mosnim i polumosnim primenama (H-most); primene u invertorima

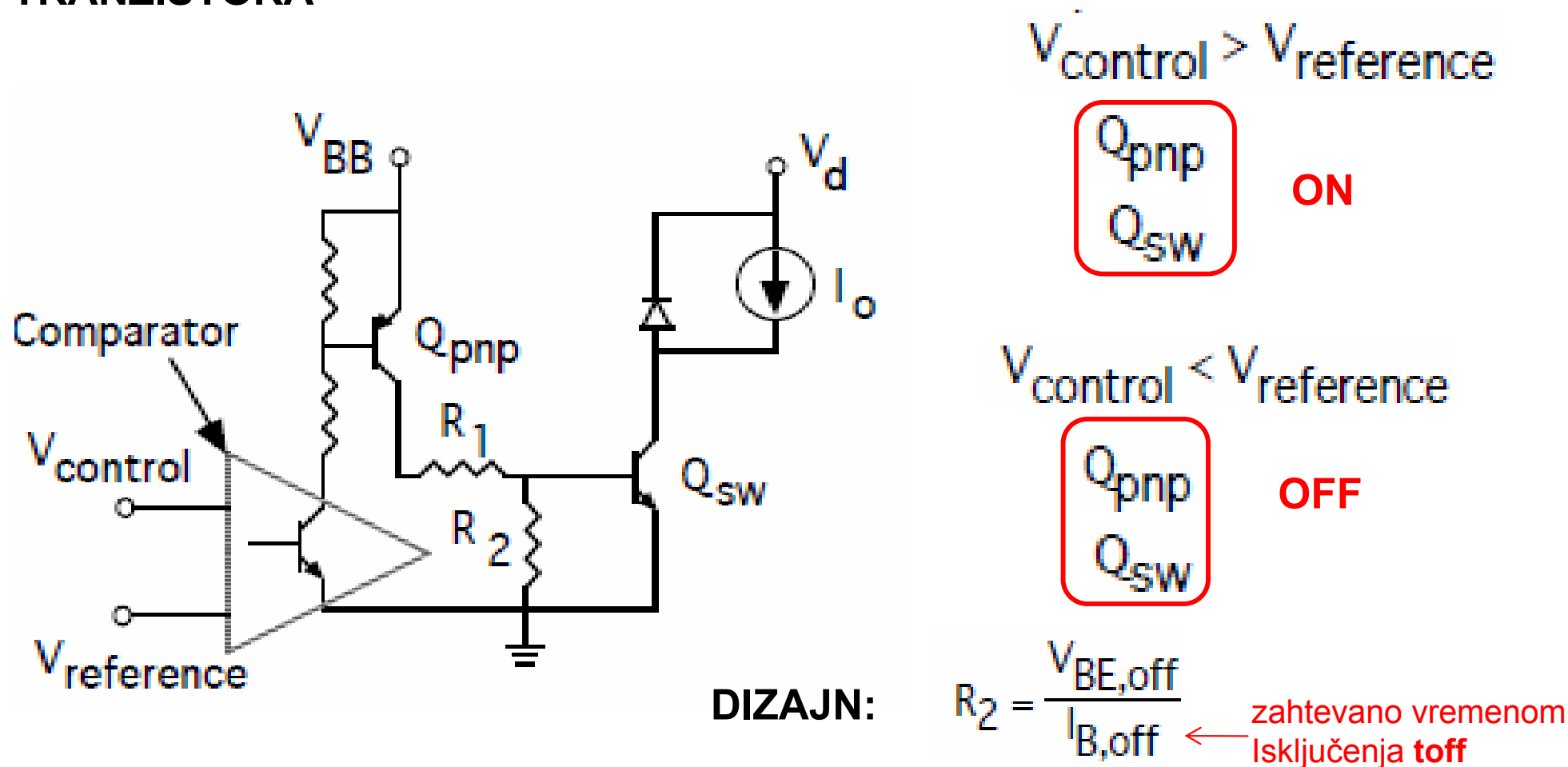
Oblik pobudnih impulsa

- Kontrolisan di/dt pobudne struje baze kod isključenja tranzistora
- Antisaturacione diode za povećanje brzine rada
- SPEED-UP kondenzatori

Razvoj štampane ploče pobudnog kola

- Minimiziranje rasipnih induktivnosti
- Oklapanje i zaštita od prekidačkog šuma (VF smetnji)

PRIMER: UNIPOLARNO DC SPREGNUTO POBUDNO KOLO BJT TRANZISTORA



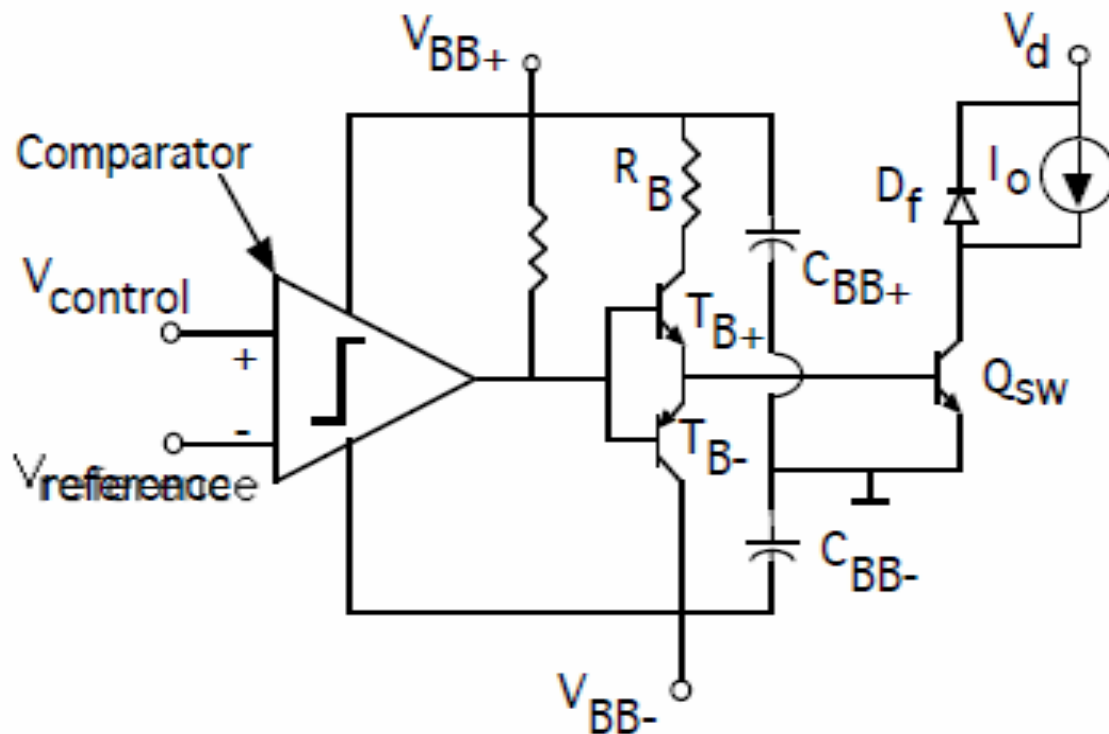
$$I_{\text{pnp}} = I_{\text{B,on}} + \frac{V_{\text{BE,on}}}{R_2} \quad I_{\text{B,on}} \leftarrow \text{Bazirano na pojačanju } \beta \text{ tranzistora } Q_{\text{sw}} \text{ i struji } I_o$$

$$V_{\text{BB}} = V_{\text{CE,on}}(Q_{\text{pnp}}) + R_1 I_{\text{C,pnp}} + V_{\text{BE,on}}(Q_{\text{sw}})$$

$$V_{\text{BB}} = 8 - 10\text{V}$$

Kompromis između velikih vrednosti koje minimiziraju efekat VBE varijacija i malih Vrednosti koje minimiziraju disipaciju snage u pobudnom kolu.

PRIMER: BIPOLARNO DC SPREGNUTO POBUDNO KOLO BJT TRANZISTORA



$$V_{control} < V_{reference}$$

Izlaz komparatora "LOW"

$$T_{B-} \text{ on } Q_{sw} \text{ off.}$$

Značajna inverzna struja baze obezbeđuje minimiziranje vremena toff, a negativni napon na spoju B-E od Q_{sw} obezbeđuje stabilno stanje OFF-state prekidača Q_{sw} .

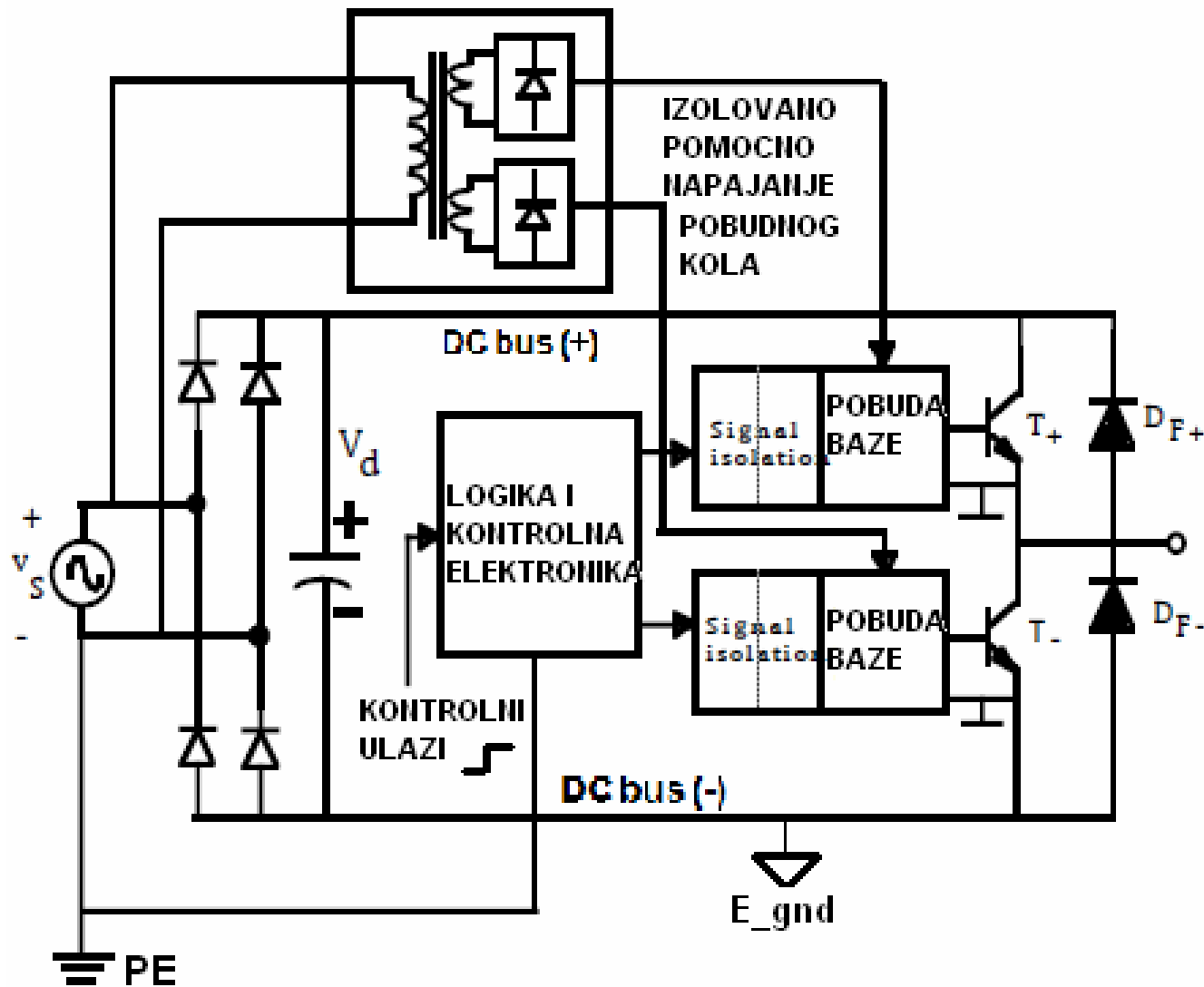
$$V_{control} > V_{reference}$$

Izlaz komparatora "HIGH"

$$T_{B+} \text{ on } Q_{sw} \text{ on}$$

Značajna direktna polarizacija baze Q_{sw} obezbeđuje minimiziranje vremena ton, a pozitivan napon na spoju B-E od Q_{sw} obezbeđuje stabilno stanje ON-state odnosno saturaciju (zasićenje) prekidača Q_{sw} .

ZAHTEVI ZA GALVANSKOM IZOLACIJOM POBUDNOG KOLA



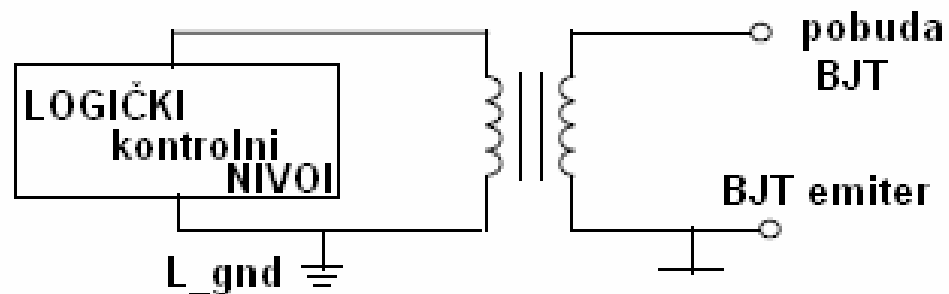
sigurnosno
uzemljenje

Negativna poluperioda
 $V_s(t)$ – pozitivni DC BUS
u odnosu na PE
Potencijal emitora od T_-
relativno visok i
negativan u odnosu na
PE (logičku masu)

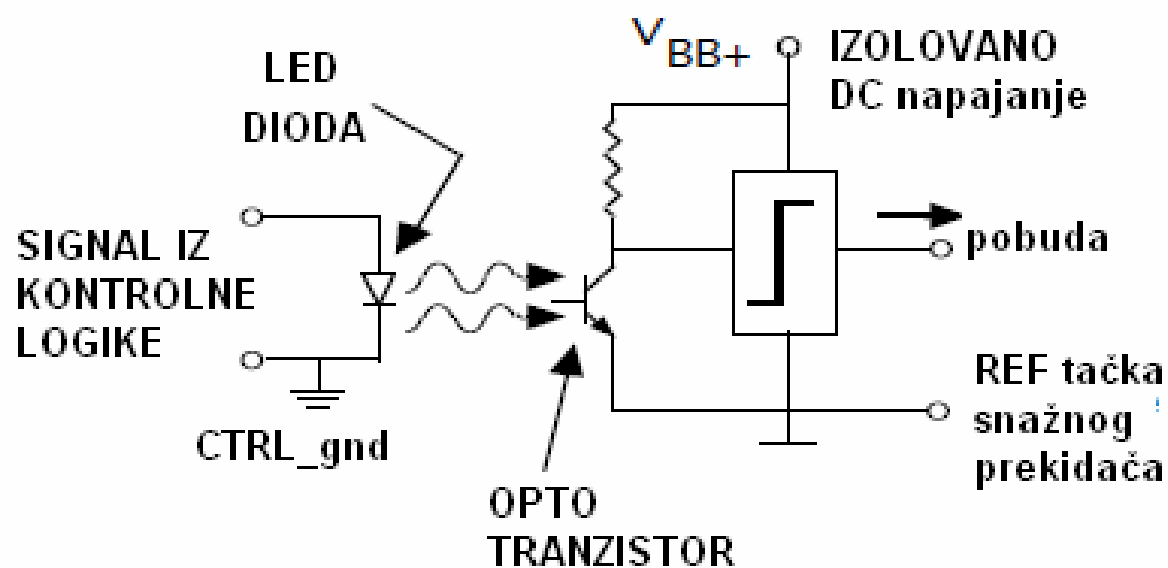
Pozitivna poluperioda
 $V_s(t)$ – negativni DC BUS u
odnosu na PE
Potencijal emitora od T_+
relativno visok i pozitivan
u odnosu na PE (logičku
masu) ako je T_- OFF.

Promene potencijala emitora (T_+ i T_-) u odnosu na PE, odnosno masu kontrolne logike zahtevaju galvansku izolaciju pobudnog kola baze tranzistora !!!!

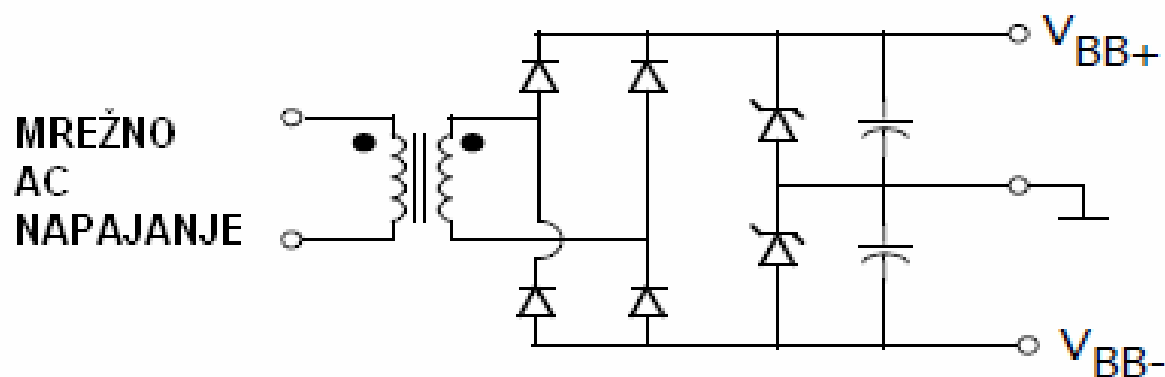
METODE GALVANSKE IZOLACIJE



GALVANSKA IZOLACIJA
IMPULSNIM
TRANSFORMATOROM



OPTOKAPLERSKA
IZOLACIJA



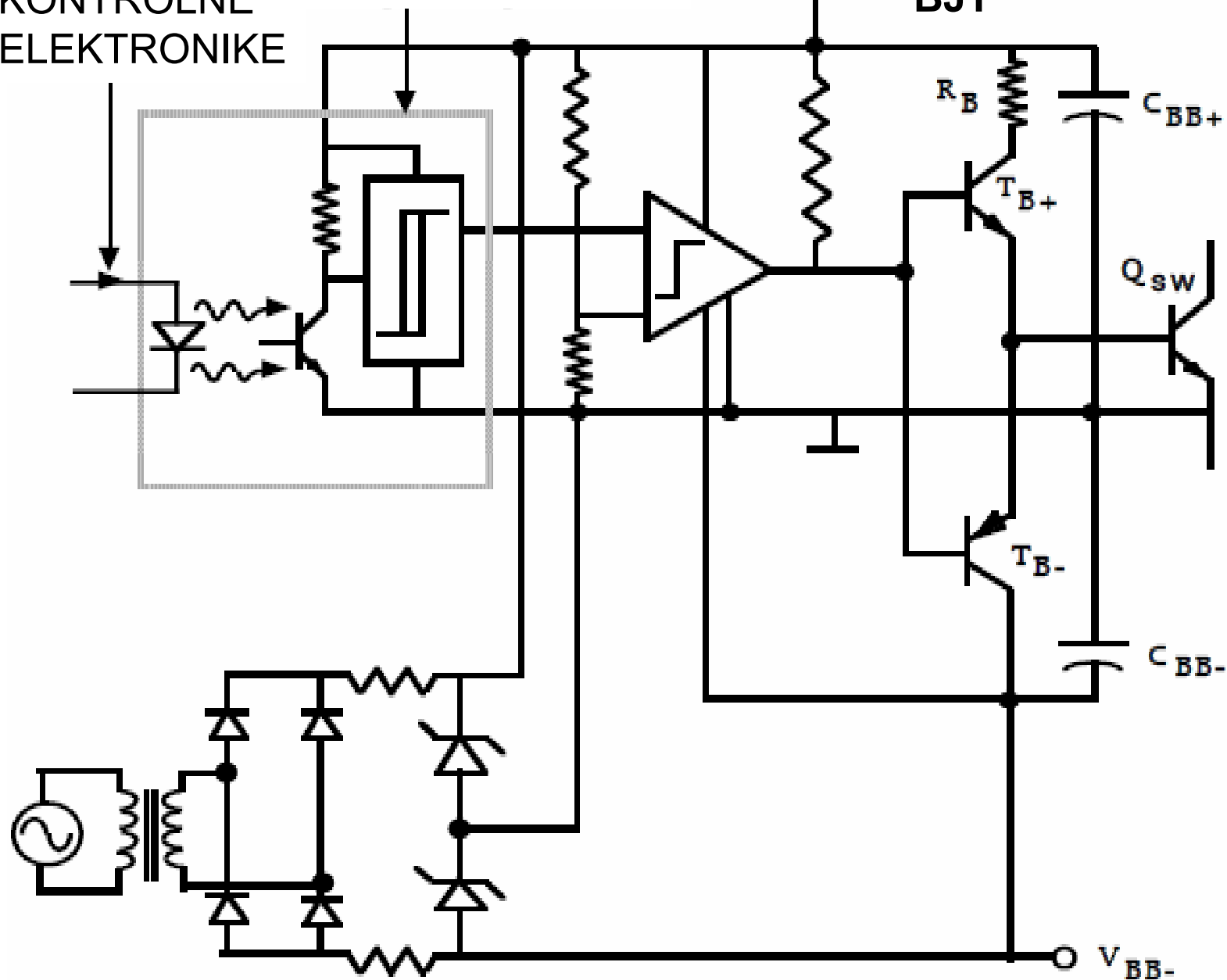
IZOLOVANI DC
IZVOR NAPAJSANJA
ZA POBUDNO KOLO $\pm V_{BB}$

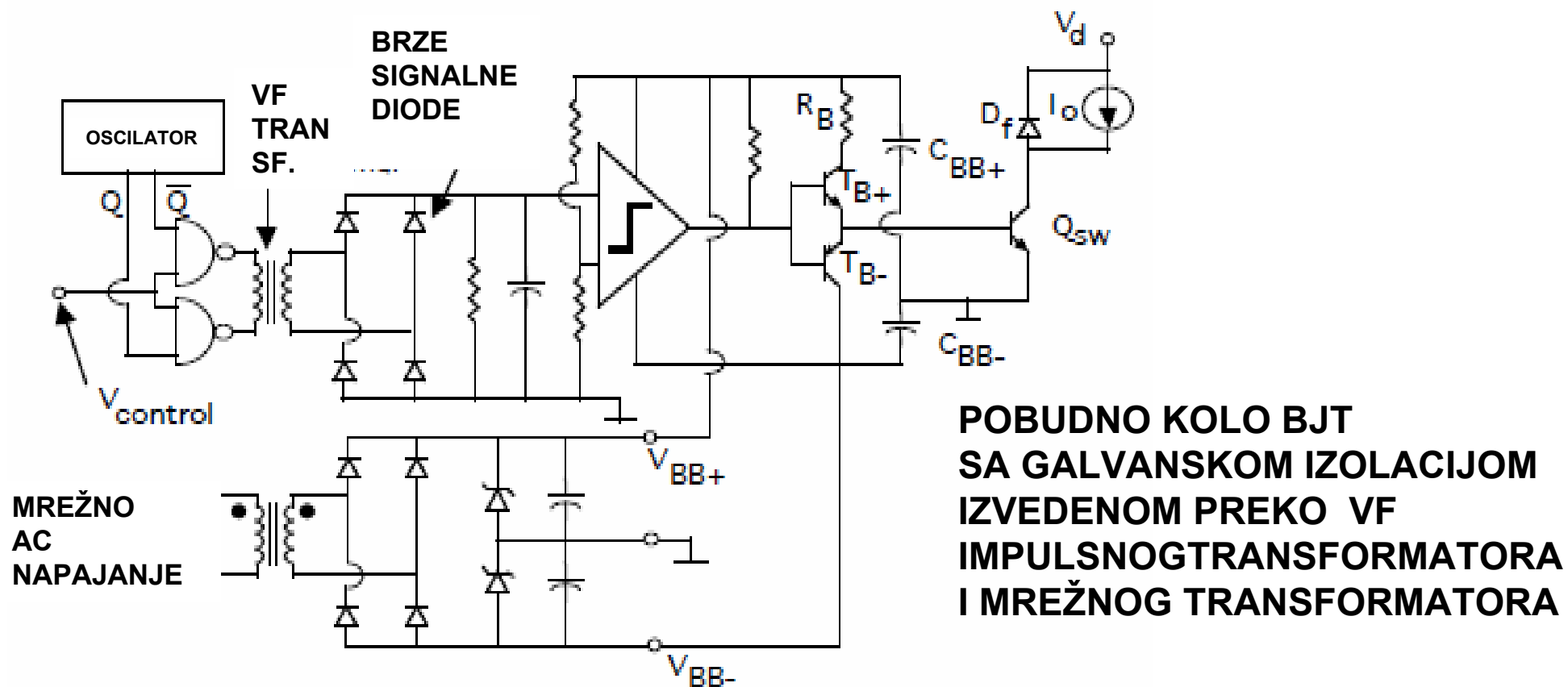
SIGNAL IZ
KONTROLNE
ELEKTRONIKE

OPTO-KAPLER

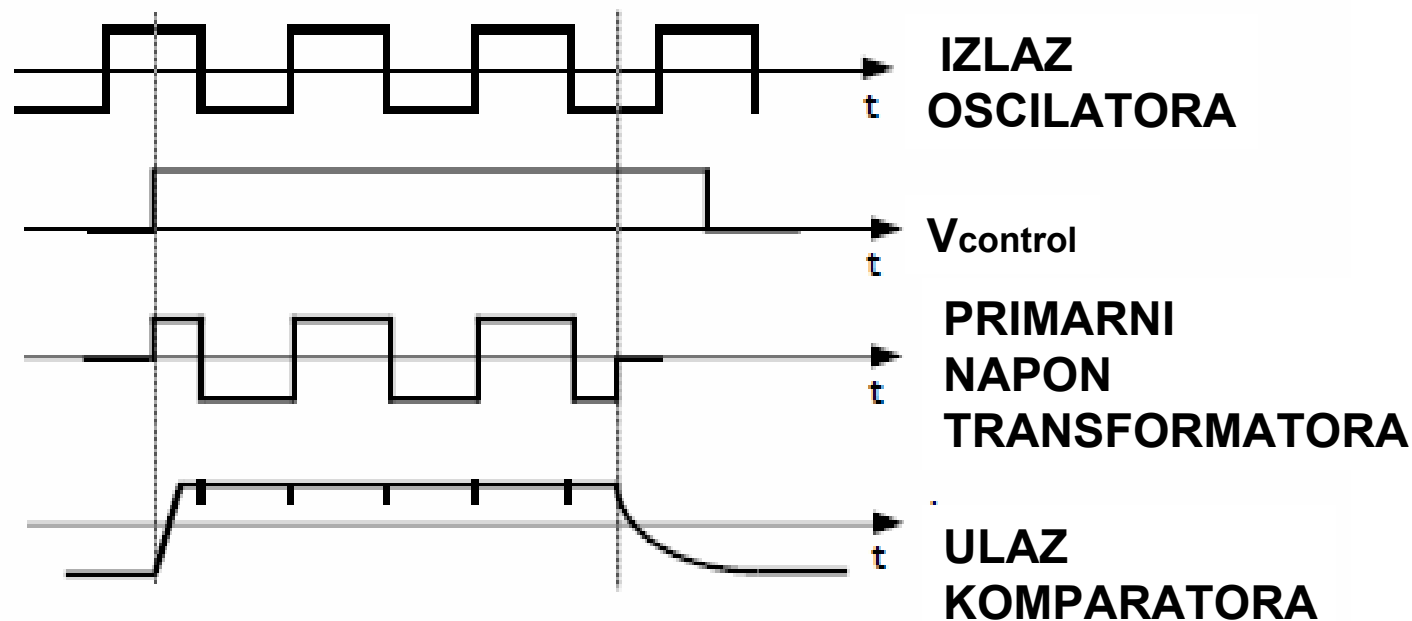
V_{BB+}

OPTO IZOLOVANO
POBUDNO KOLO
BJT

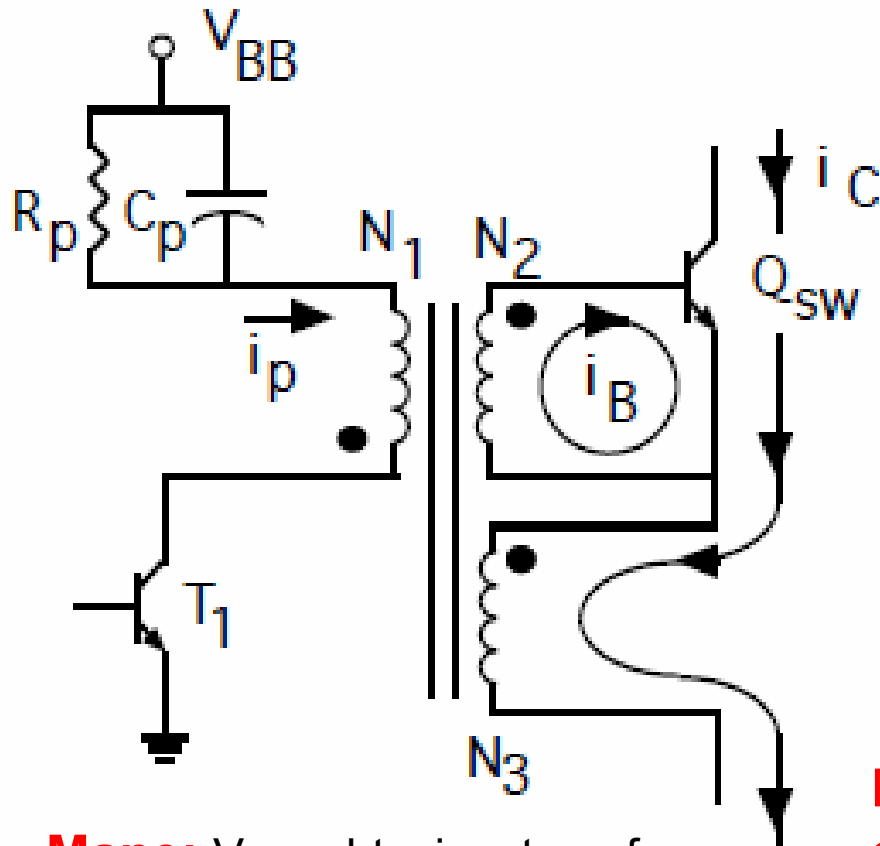




**POBUDNO KOLO BJT
SA GALVANSKOM IZOLACIJOM
IZVEDENOM PREKO VF
IMPULSNOGTRANSFORMATORA
I MREŽNOG TRANSFORMATORA**



GALVANSKI IZOLOVANO POBUDNO KOLO BJT BEZ POMOĆNOG DC IZVORA



Mane: V-s zahtevi za transf.,
ograničen duty-cycle

$$T_1 \text{ on} \longrightarrow Q_{sw} \text{ off}$$

$$i_p = V_{BB}/R_p$$

ISKLUČENJE T1

Nagomilana energija u vazдушnom zazoru impulsnog transf. indukuje pozitivnu baznu struju Q_{sw} ; ovim dolazi do aktiviranja Q_{sw} i počinje da teče kolektorska struja

$$i_B = N_3 i_C / N_2$$

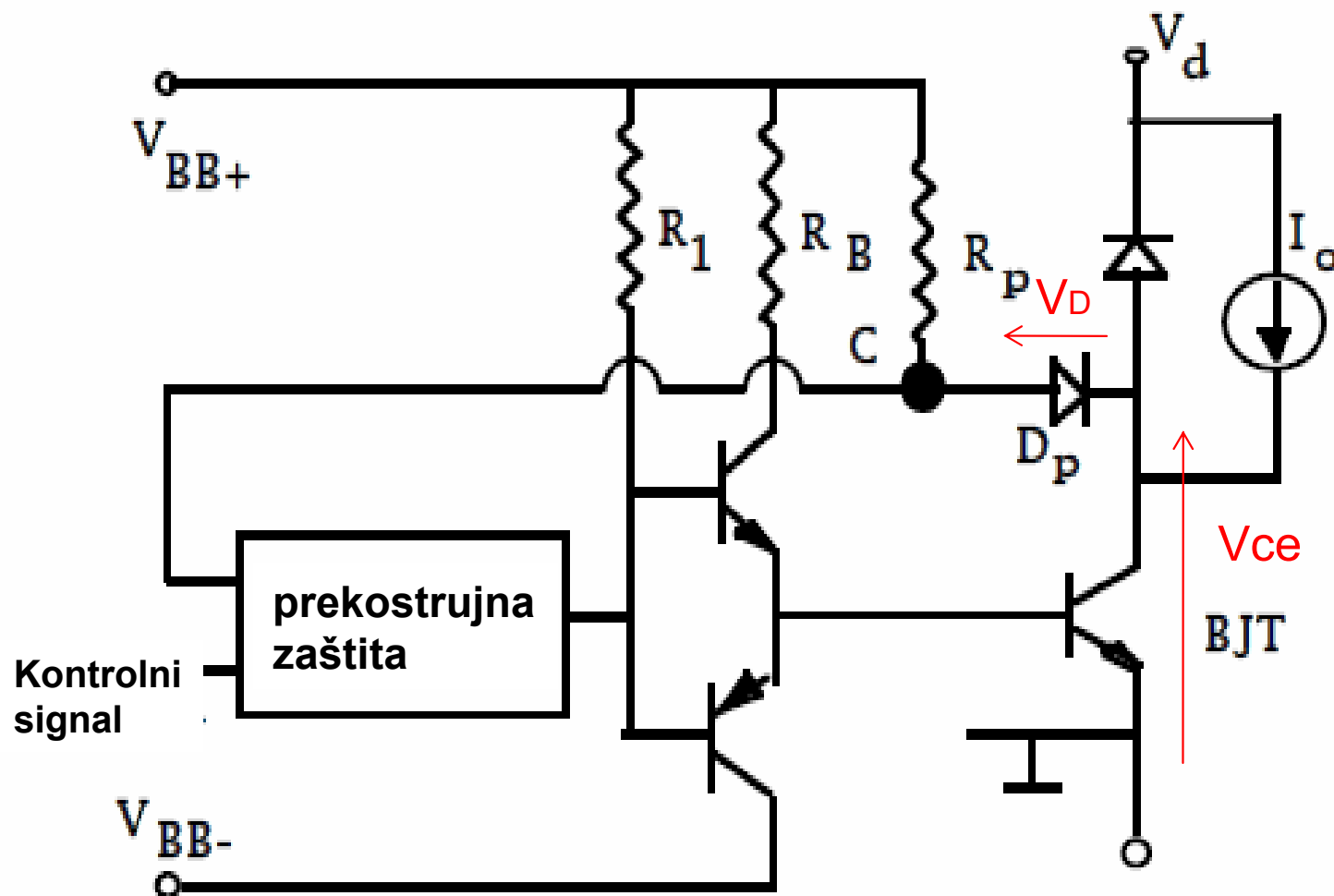
Regenerativnim dejstvom u kolu transformatora obezbeđuje napajanje baznom strujom Q_{sw} i drži ga u stanju ON čak i kada je ukinuta primarna pobuda odnosno kada je $i_p=0!!!!$

UKLJUČENJE T1

Pozitivna struja i_p prouzrokuje baznu struju: $i_B = N_3 i_C / N_2 - N_1 i_p / N_2$

$$(i_p(0^+) = \beta i_{B1}(0^+)) \longrightarrow Q_{sw} \text{ turned off}$$

PREKOSTRUJNA ZAŠTITA BJT

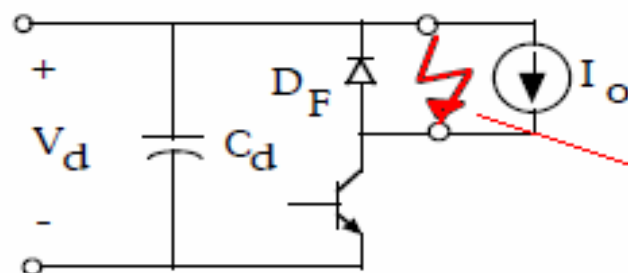


Porast V_{ce} usled
velike struje BJT
Dovodi preko diode
D do porasta
potencijala
tačke C, a napon sa
ove tačke je ulaz
u kolo prekostrujne
zaštite

$$V_C = V_{ce} + V_D$$

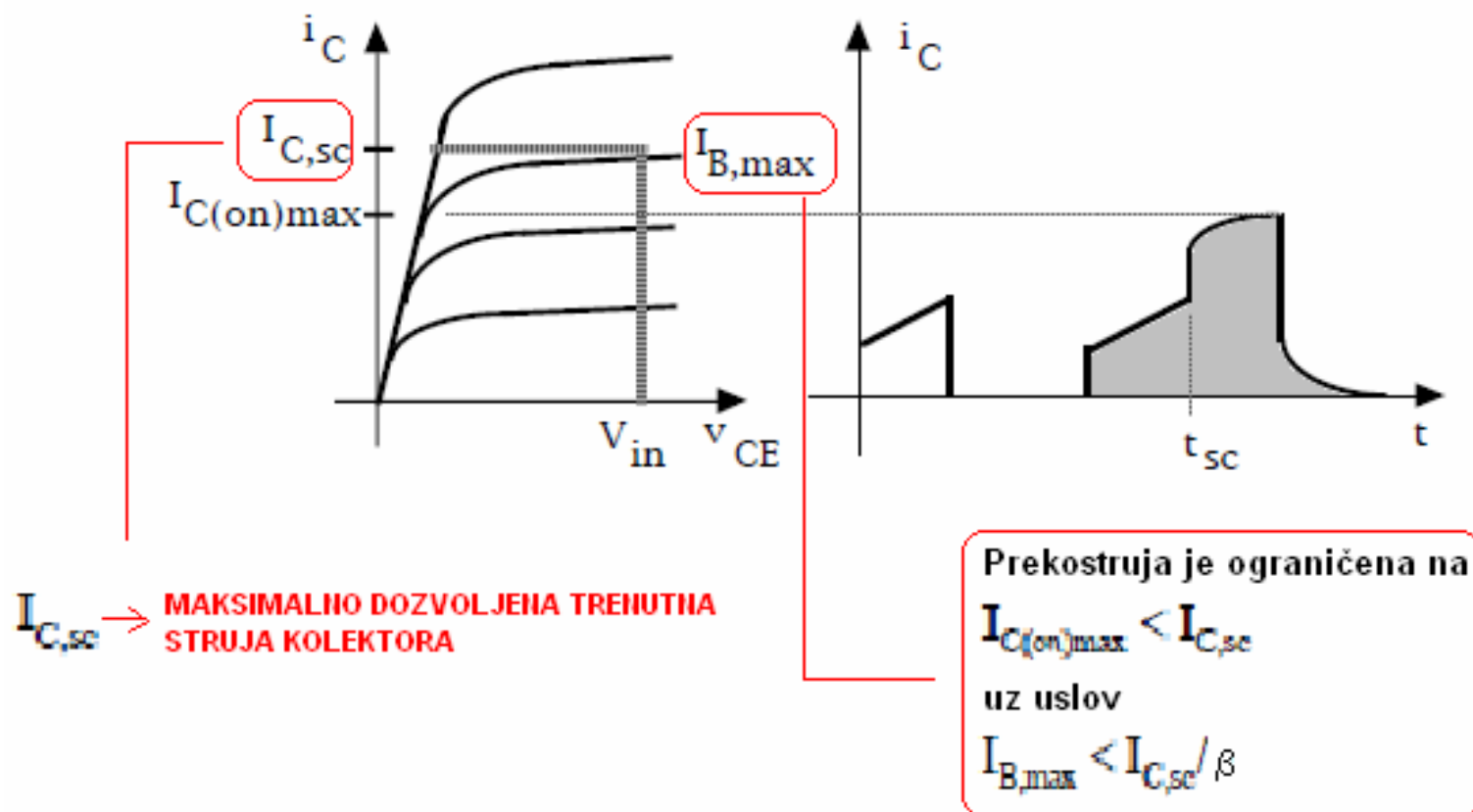
Ako potencijal tačke C raste iznad određenog praga (prag zaštite) i kontrolni signal je polarizovao BJT u stanju ON, blok prekostrujne zaštite dovodi do isključenja BJT. BJT je isključen sve dok se ne obezbedi reset zaštite (ručno ili automatski)

OGRANIČENJE PREVELIKIH STRUJA OGRANIČENJEM ON-STATE BAZNE STRUJE

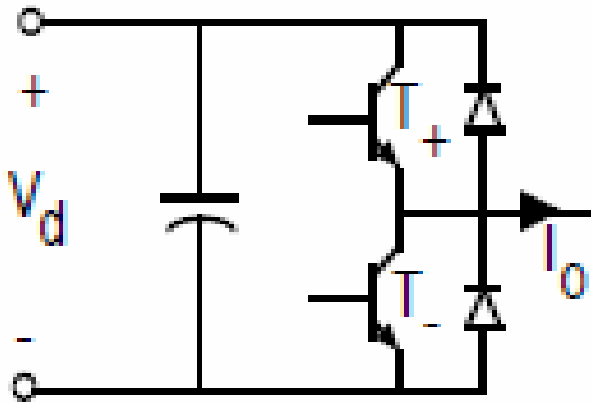


PRETPOSTAVLJA SE
KRATAK SPOJ U
TRENUTKU

$$t = t_{sc}$$



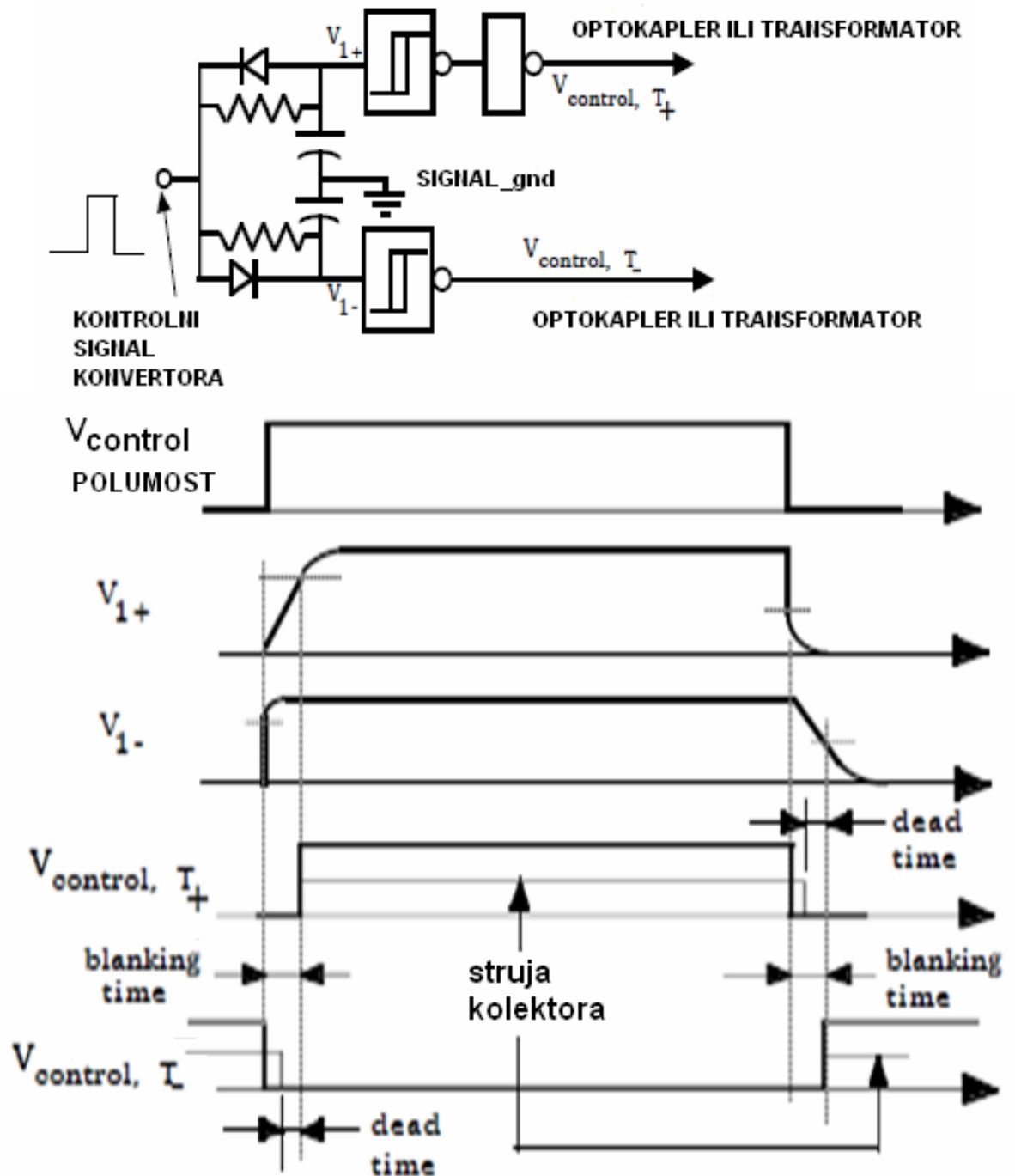
“MRTVO VREME”- *Engl. DEAD TIME* u POBUDNIM KOLIMA BJT



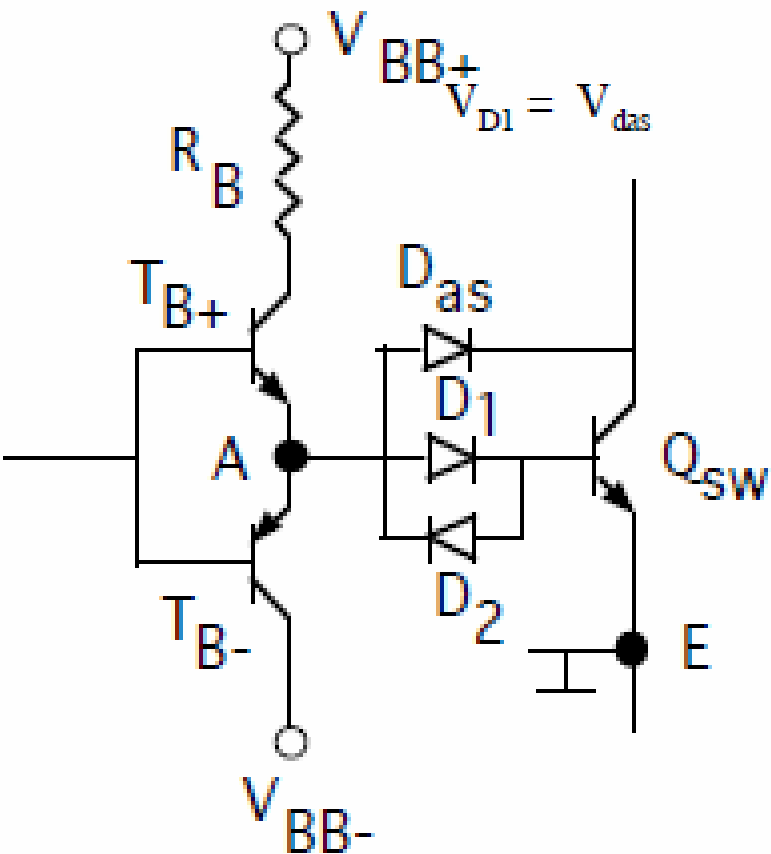
Isključenje T_+ pre
uključenja T_- dovodi do
preklapanja njihovih vođenja
što predstavlja kratak spoj za
jednosmerni izvor V_d

**OVO PREDSTAVLJA
VELIKI PROBLEM
U MOSNIM I POLUMOSNIM
APLOKACIJAMA!!!!**

**Treba razlikovati
“DEAD TIME” od
“BLANKING TIME”!!!!**



TEHNIKE ZA POBOLJŠANJE RADA BJT



-Antisaturaciona dioda D_{as} drži Q_{sw} na granici između aktivnog režima i zasićenja.

-Ovim je brzina rada Q_{sw} značajno povećana

$$V_{AE} = V_{BE(on)} + V_{D1} = V_{CE(on)} + V_{das}$$

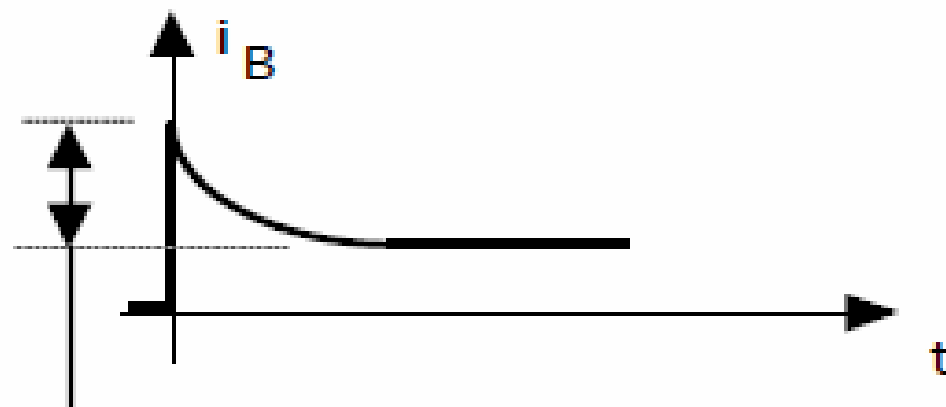
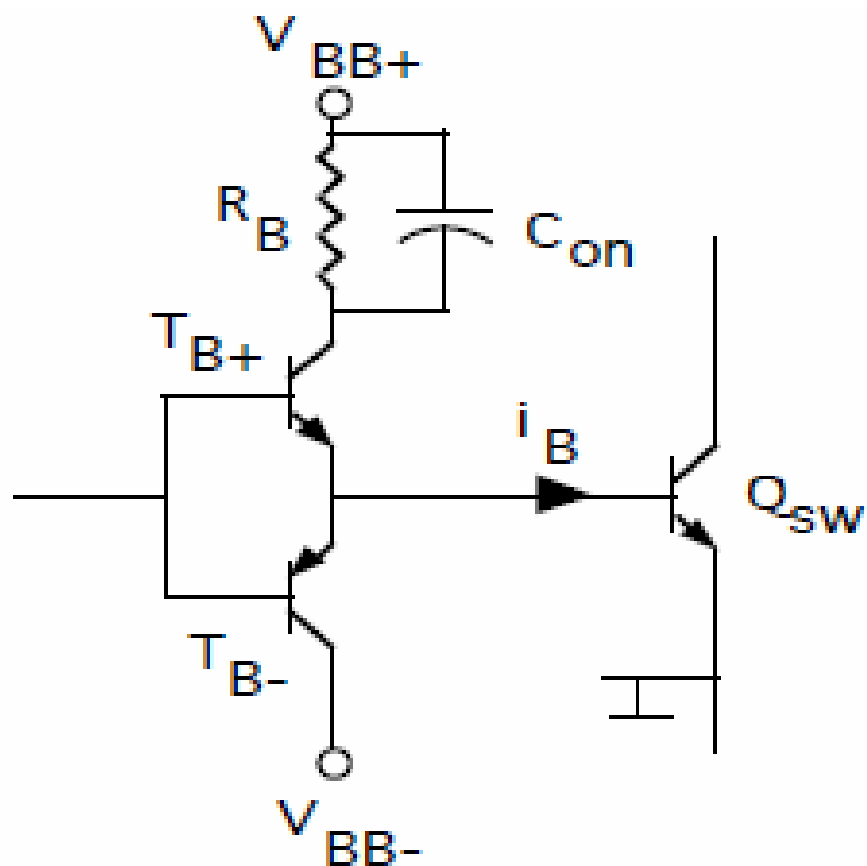
$$V_{CE(on)} = V_{BE(on)} > V_{CE(sat)}$$

- D_{as} obezbeđuje put negativne struje baze Q_{sw} i njegovo efikasnije isključenje

-Vreme nagomilavanja (*storage time*) kod BJT kao i vreme isključenja (off) je na ovaj način značajno redukovano

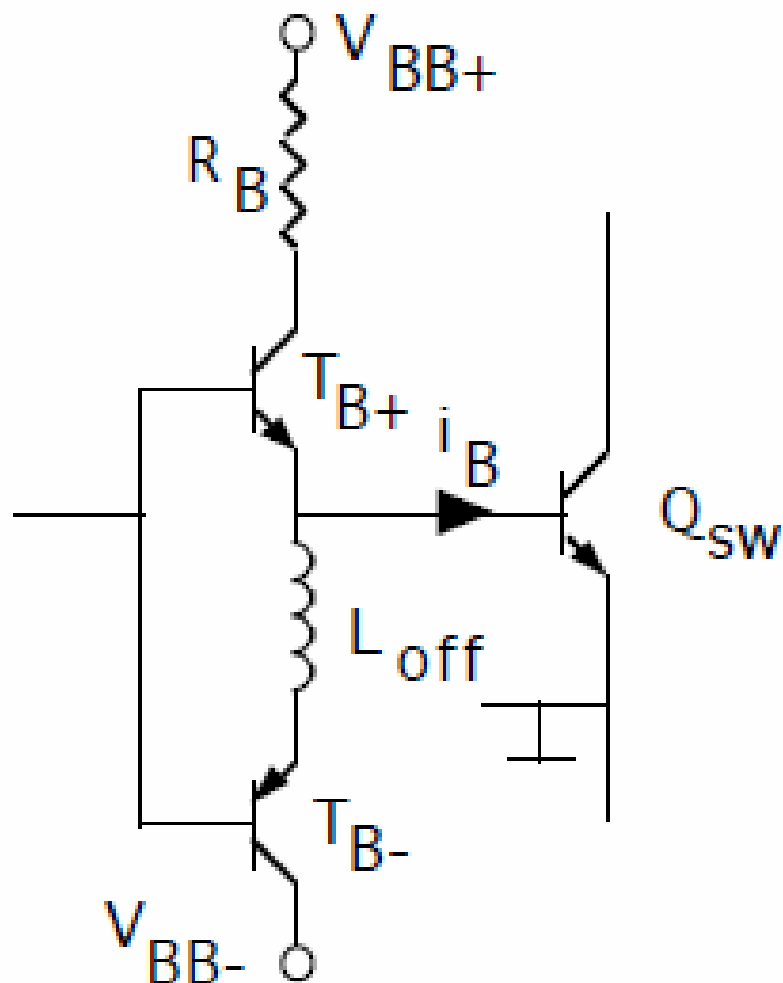
-Gubici u stanju vođenja (on-state) neznatno rastu

SPEED-UP KONDENZATOR ZA POBOLJŠANJE BRZINE RADA BJT



TRANZIJENT U PORASTU
BAZNE STRUJE STRUJE
OBEZBEĐEN PREKO
KONDENZATORA
 C_{on} , OBEZBEĐUJE SMANJENJE
VREMENA UKLJUČENJA Q_{sw}

KONTROLA PROMENE BAZNE STRUJE KOD ISKLJUČENJA



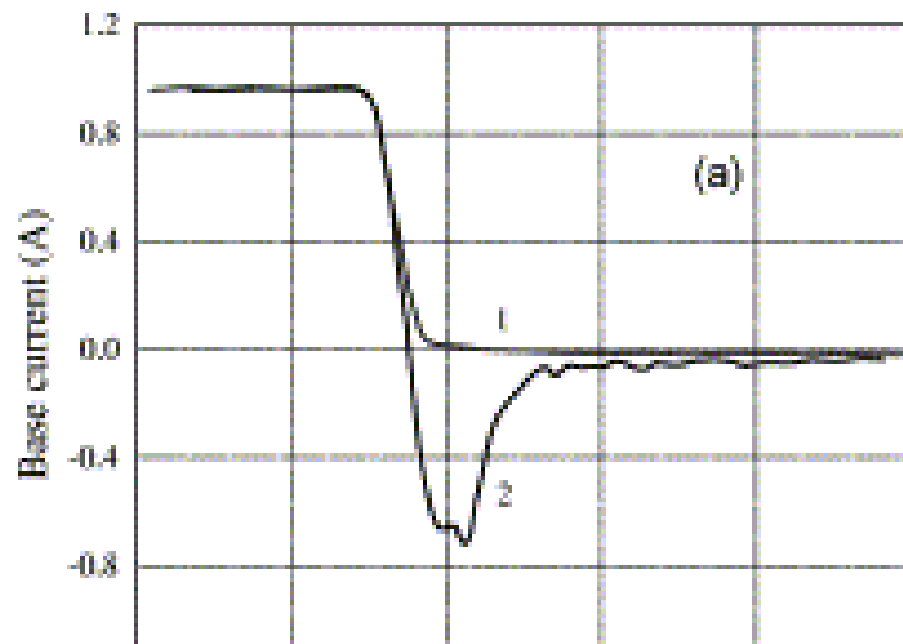
Ukoliko je suviše velika vrednost

$$di_B(off)/dt \nearrow$$

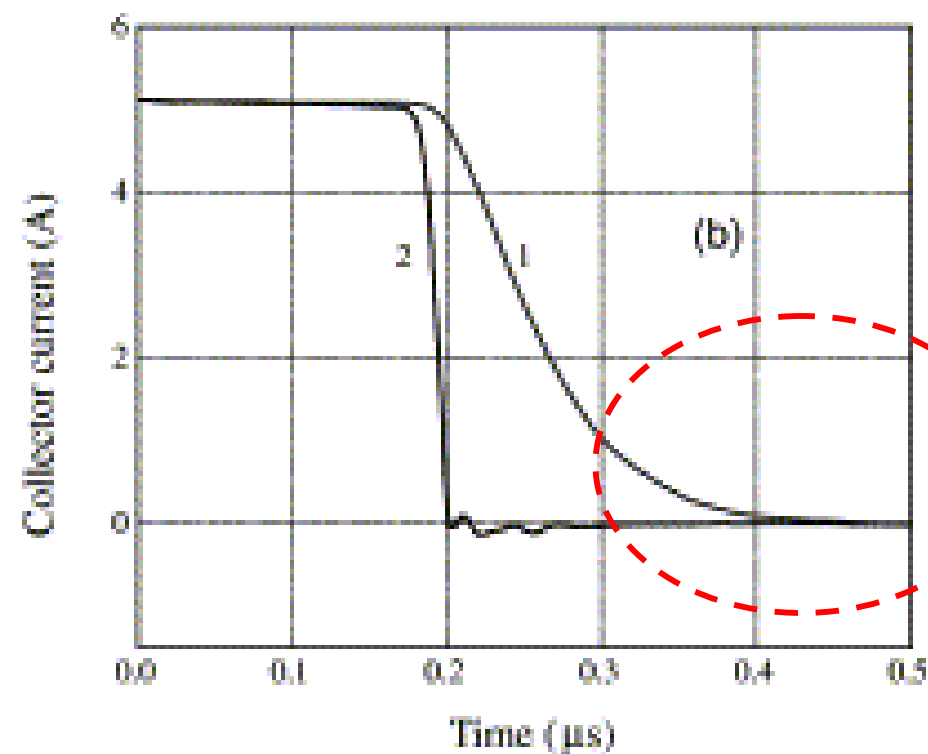
pri isključenju Q_{sw} pri velikim strujama kolektora, može doći do produženja vremena isključenja BJT, odnosno po pojave “strujnog repa” (current tail) u struji kolektora.

Induktivnost L_{off} značajno ograničava

$$di_B(off)/dt \xrightarrow{\text{na}} -V_{BB}/L_{off}$$



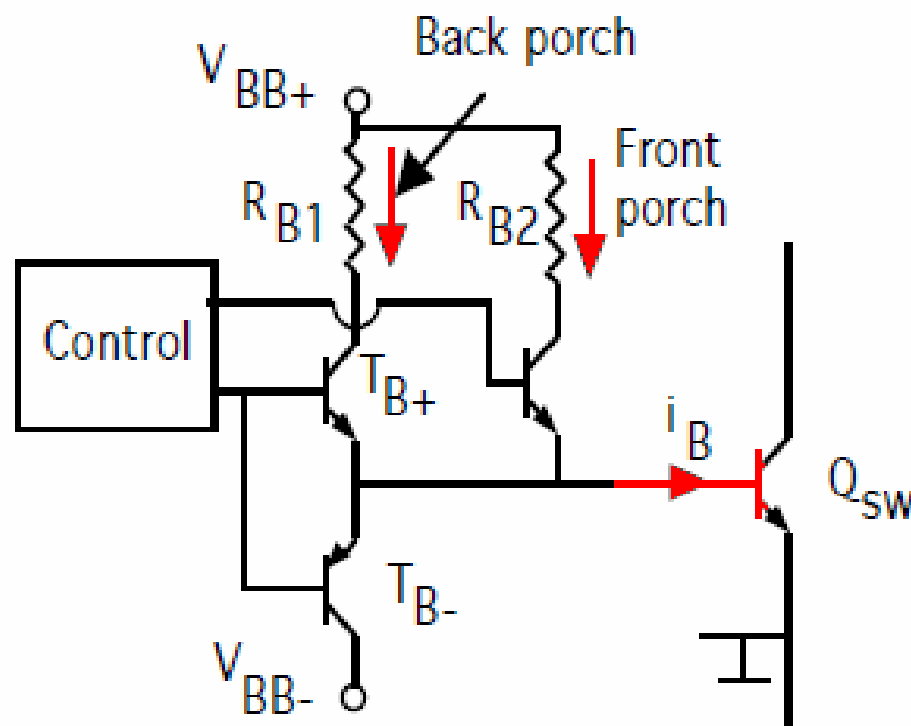
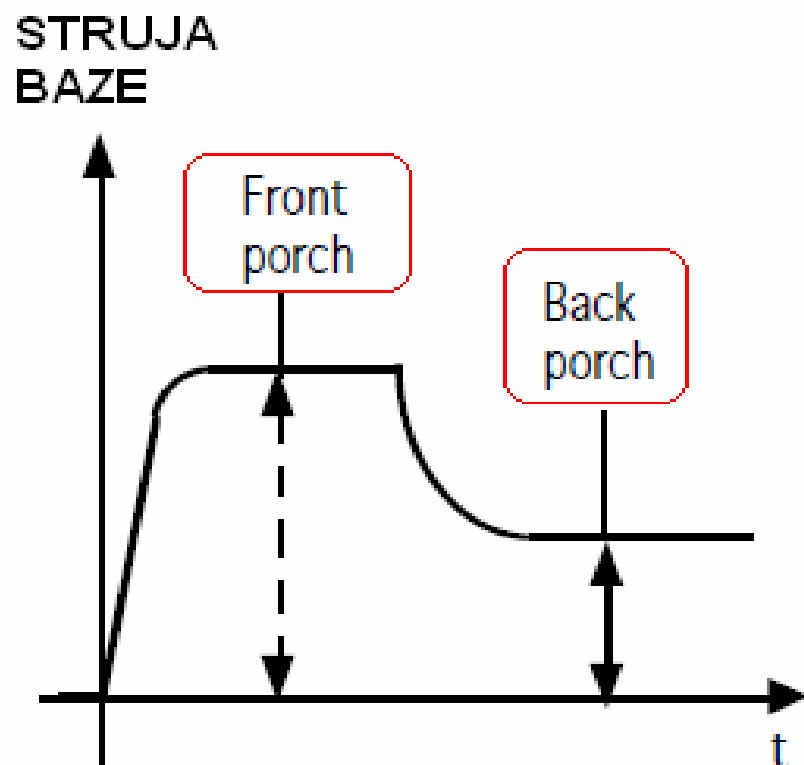
UTICAJ STRUJE BAZE I
INVERZNE STRUJE BAZE (a)
NA TRAJANJE ISKLJUČENJA
BJT, ODNOSNO NA OPADANJE
KOLEKTORSKE STRUJE (b) BJT



"current tail"

"strujni rep" značajno veći
za slučaj (1)

“FRONT PORCH” i **“BACK-PORCH”** bazna struja BJT za poboljšanje njegovog uključenja

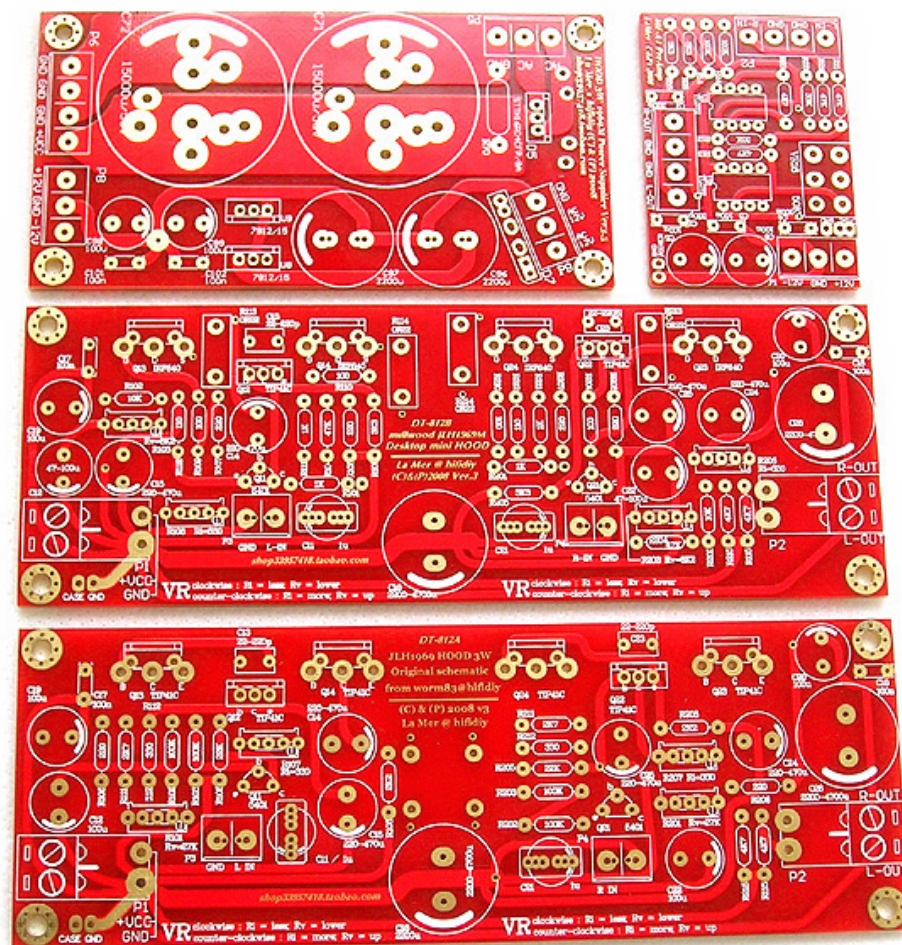
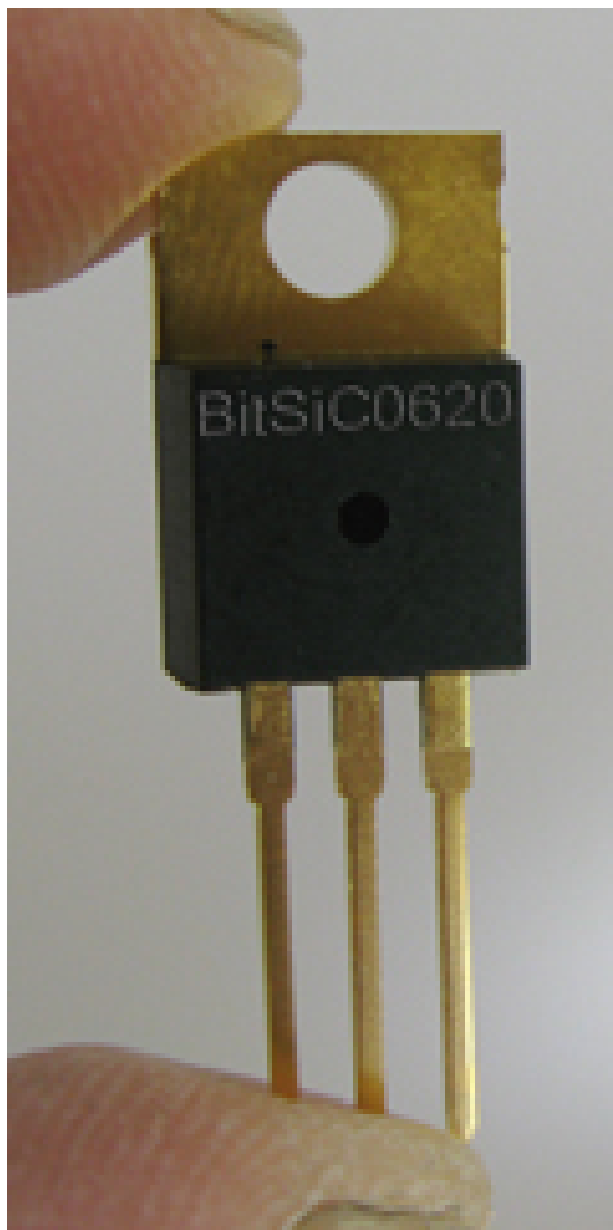


Bazna struja sa dva nivoa (prednji i zadnji). Na proces uključenja Q_{sw} ima značajan Uticaj prednji nivo (fron porch).

Brzo uključenje Q_{sw} , podrazumeva duboko zasićenje u ON-STATE, tako da će kašnjenje kod isključenja Q_{sw} biti značajno povećano!!!!!!

HVALA NA PAŽNJI!!!

PITANJA?????



NOVEMBAR 2013