

**VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH
STUDIJA-VIŠER, BEOGRAD**

STUDIJSKI PROGRAM: Elektrotehničko inženjerstvo

MASTER STUDIJE 2017/2018

PREDMET: PROJEKTOVANJE ELEKTROENERGETSKIH PRETVARAČA



PREKIDAČ KAO ELEMENT ENERGETSKOG PRETVARAČA

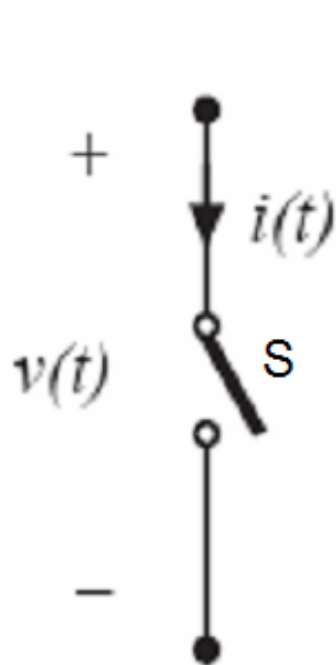


PREDMETNI PROFESOR:
Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

UVOD

- Korišćenje i efikasnost uređaja energetske elektronike (u koje spadaju i elektroenergetski pretvarači) mogu biti značajno poboljšani razumevanjem prekidačkih karakteristika elemenata energetske elektronike (dioda, tiristora, trijaka, tranzistora,.....)
- U ovom predavanju će biti razmatrane i proučavane **(I) prekidačke karakteristike idealnog prekidača**, kako bi se bolje razumele **(II) prekidačke karakteristike realnih prekidačkih elemenata** (dioda, tiristora, trijaka, tranzistora,...)
- Da bi upravljali elektroenergetskim pretvaračima, moramo poznavati prekidačke karakteristike poluprovodničkih snažnih prekidača
- Takođe moramo poznavati načine pouzdanog uključenja i isključenja snažnih prekidača

POJAM IDEALNOG PREKIDAČA



IDEALNI PREKIDAČ

$S \rightarrow \text{ON} \quad v(t) = 0$ (za bilo koju vrednost struje)

$S \rightarrow \text{OFF} \quad i(t) = 0$ (za bilo koju vrednost napona)

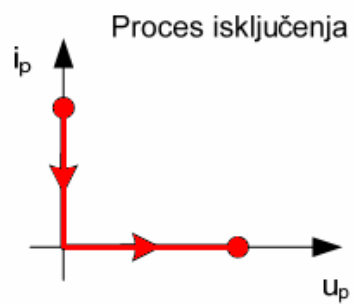
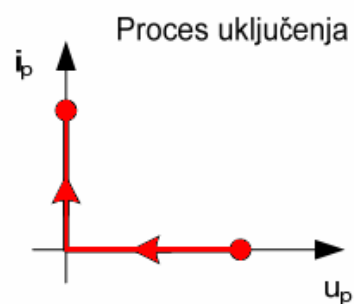
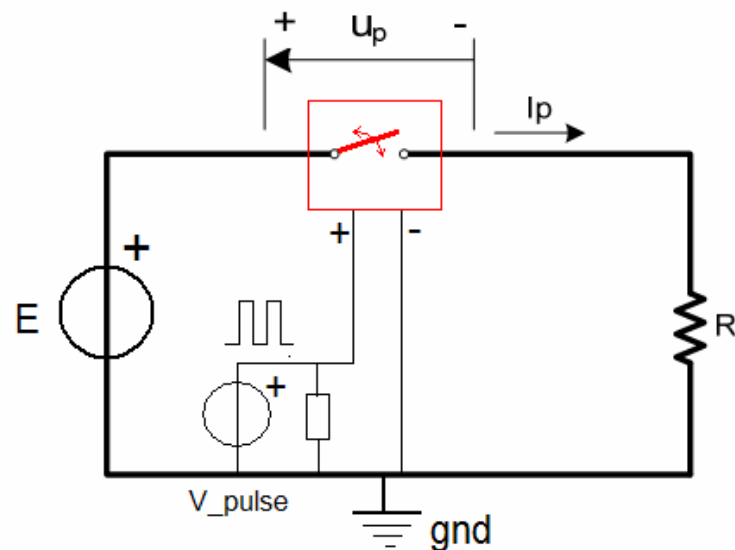
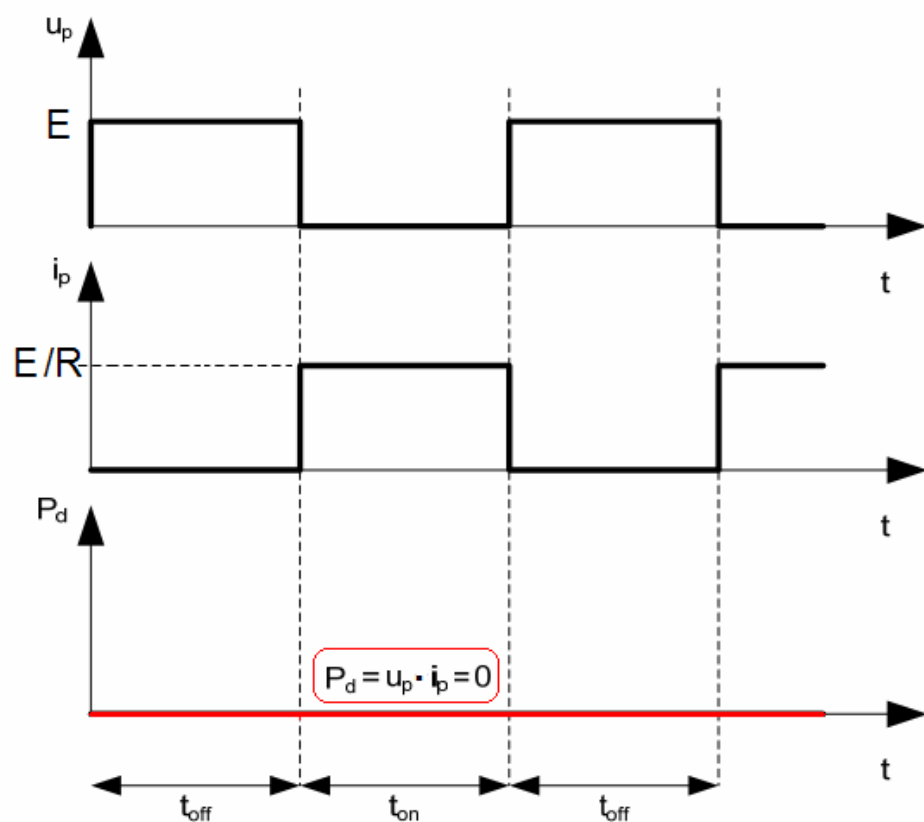
u oba slučaja snaga kojase razvija na prekidaču je:

$$p(t) = v(t) i(t) = 0$$

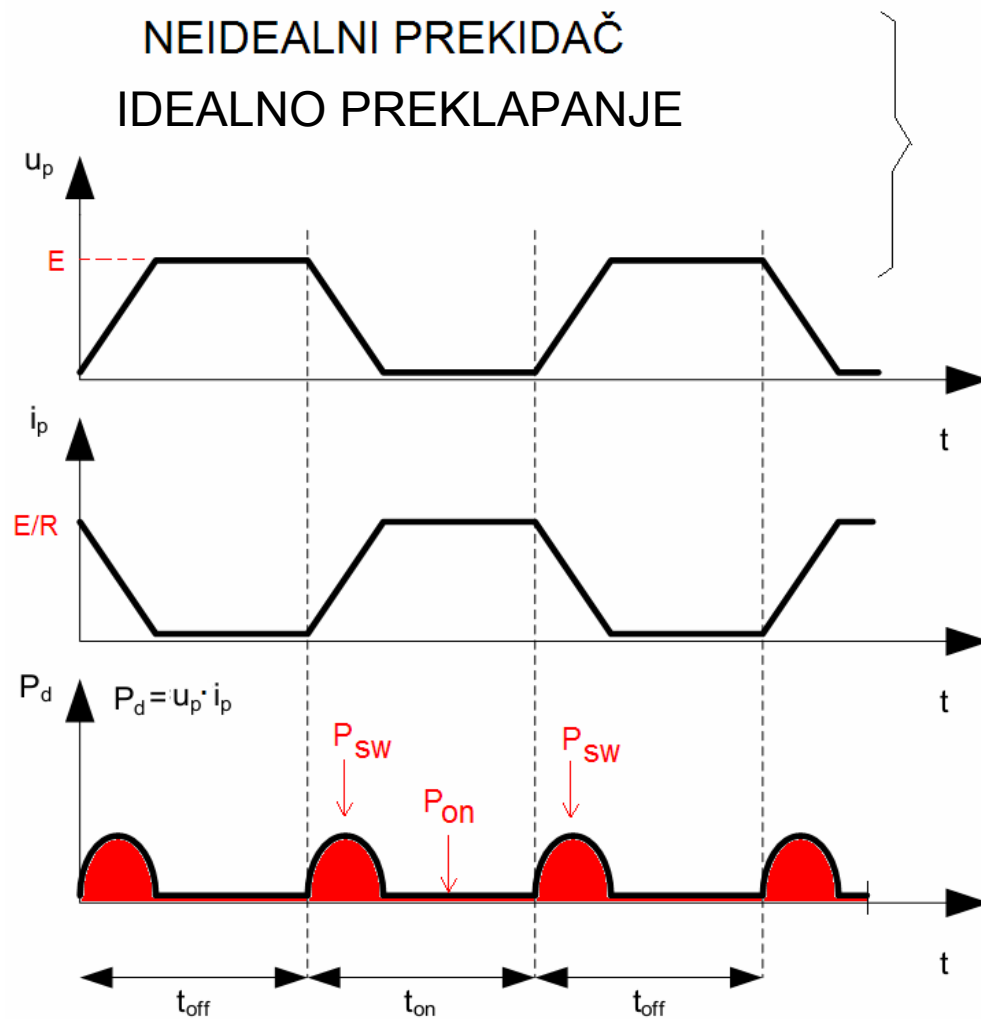
IDEALNI PREKIDAČ NE TROŠI NIKAKVU SNAGU!!!

UKLJUČENJE I ISKLJUČENJE OMSKOG OPTEREĆENJA

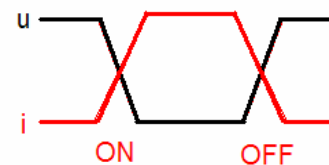
IDEALNI PREKIDAČ



PREKIDANJE SA KONAČNIM VREMENOM UKLJUČENJA I ISKLJUČENJA

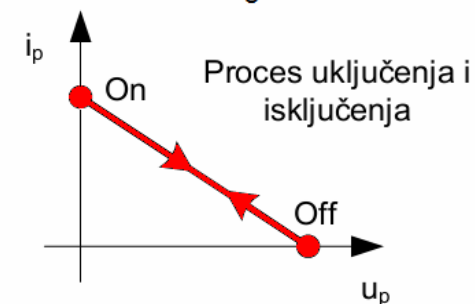
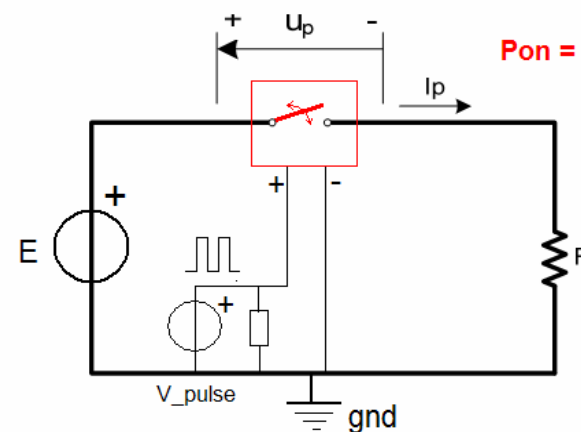


PREKIDAČ SA KONAČNIM VREMENOM ISKLJUČENJA I UKLJUČENJA

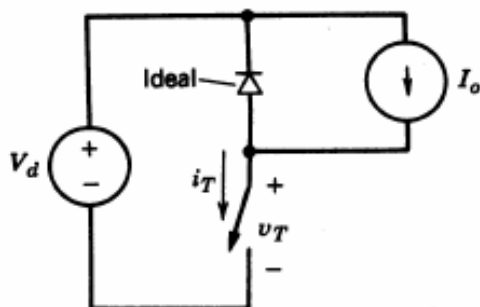


PREKIDAČ SA KONAČNOM IMPEDANSON U STANJU VOĐENJA

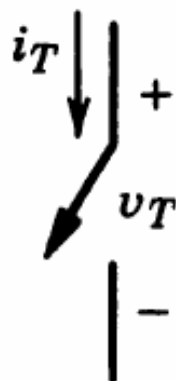
$V_{on} = R_{on} \cdot \frac{E}{R}$
 $P_{on} = R_{on} \cdot \left[\frac{E}{R} \right]^2$



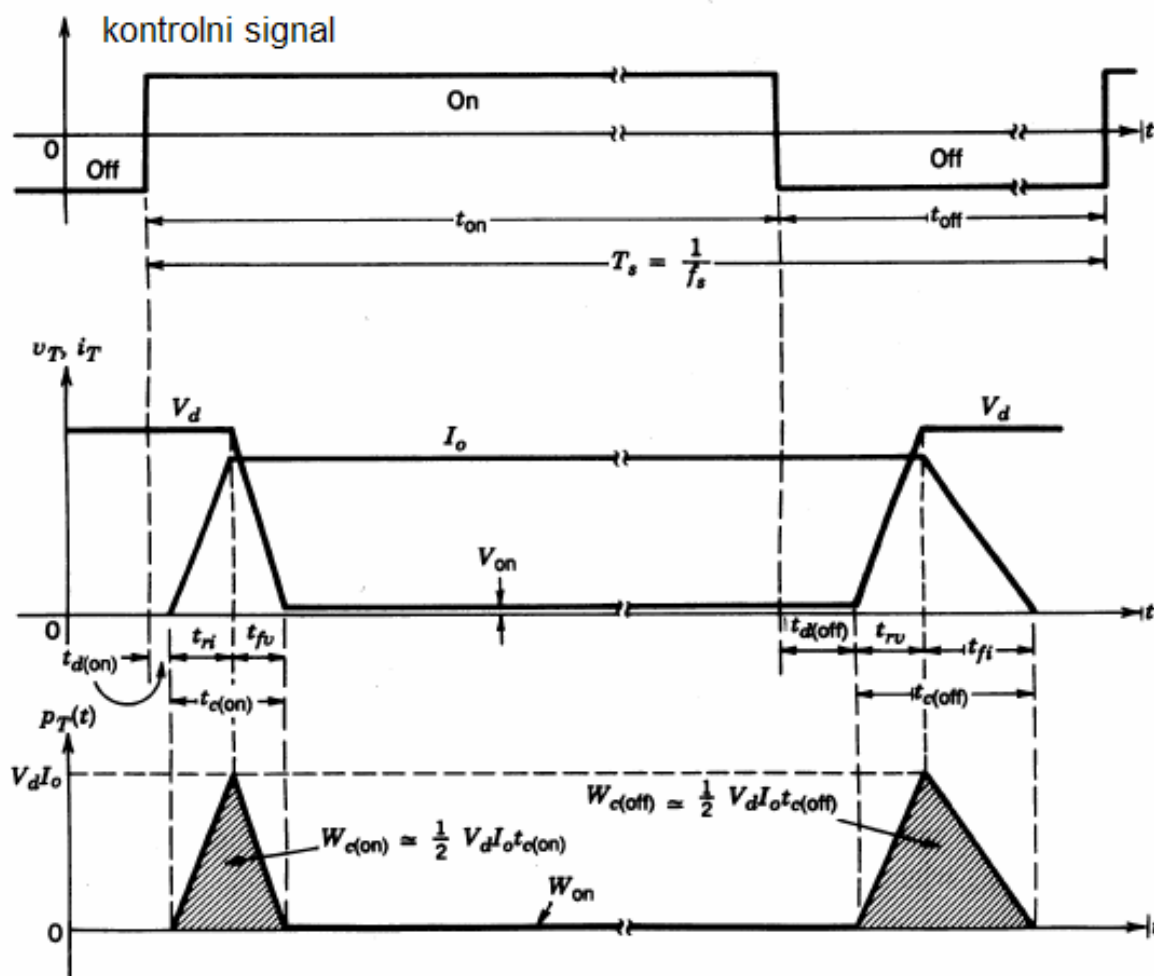
PREKIDAČ KAO OSNOVNI ELEMENAT ENERGETSKOG PRETVARAČA



osnovno
prekidačko
kolo



PREKIDAČ-SW



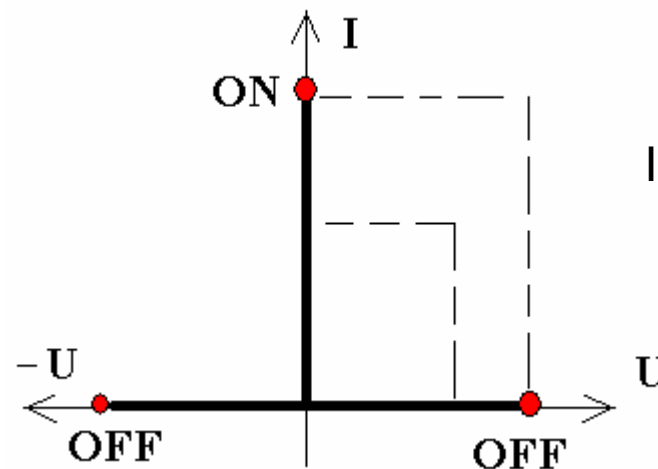
U ENERGETSKOJ ELEKTRONICI JE OD MAKSIMALNE VAŽNOSTI
SLEDEĆE :

**Prekidački elemenat pa i dioda ili ima napon a nema struju ili obrnuto!
Sredine nema!**

To ustvari znači ovo:

**poluprovodnička komponenta ne sme biti u isto vreme izložena i
spoljašnjem naponu i spoljašnjoj struji – u tom slučaju zbog prevelikog
zagrevanja trenutno dolazi do proboja, tj. razaranja materijala.**

Zato se kaže da u energetici poluprovodnički pretvarači rade u **ON – OFF**
režimu (SW uključen ili isključen).

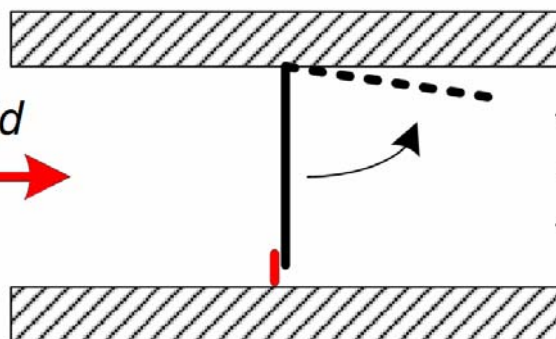


DIODA

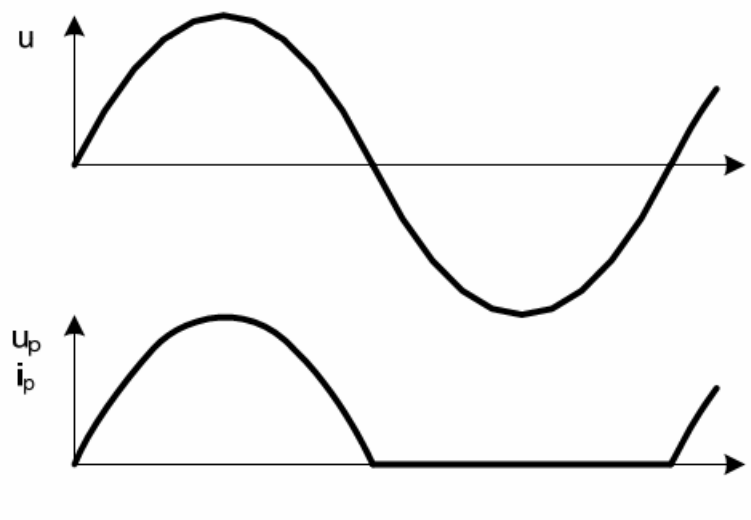
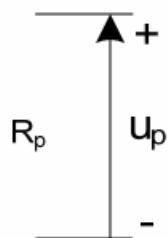
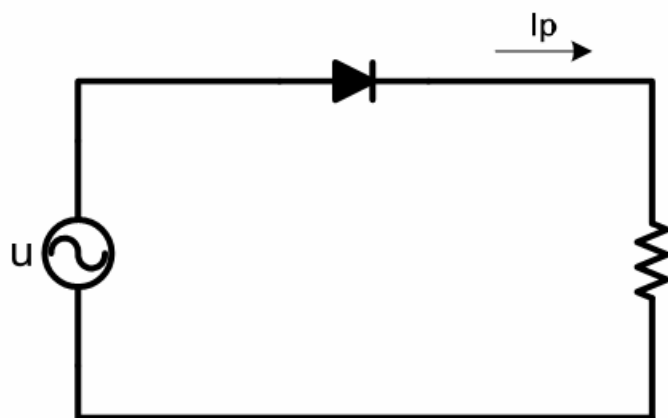
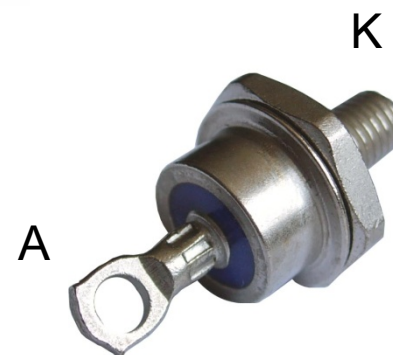


ANALOGIJA

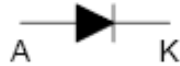
A
anoda



K
katoda



DIODA

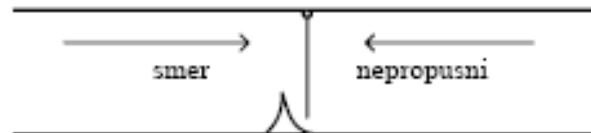


Kada je polarizovana direktno, kroz diodu protiče relativno velika struja; pad napona na njoj je, međutim vrlo mali, pa je discipacija snage mala.

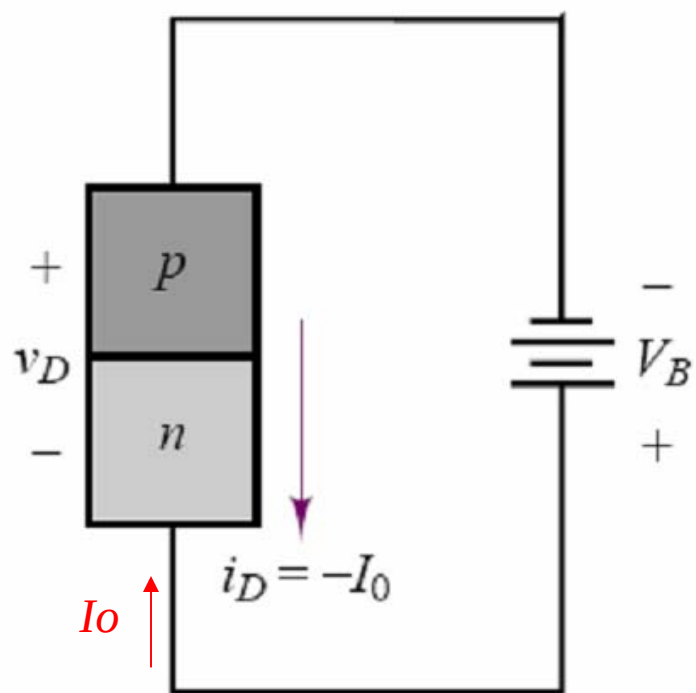
Na krajevima inverzno polarizovane diode javlja se veliki napon ali je inverzna struja dosta mala pa je i discipacija snage vrlo mala.

Proticanja tečnosti kroz cev je analogan slučaj (model) provođenju diode.

NEPOVRATNA KLAPNA U CEVOVODU

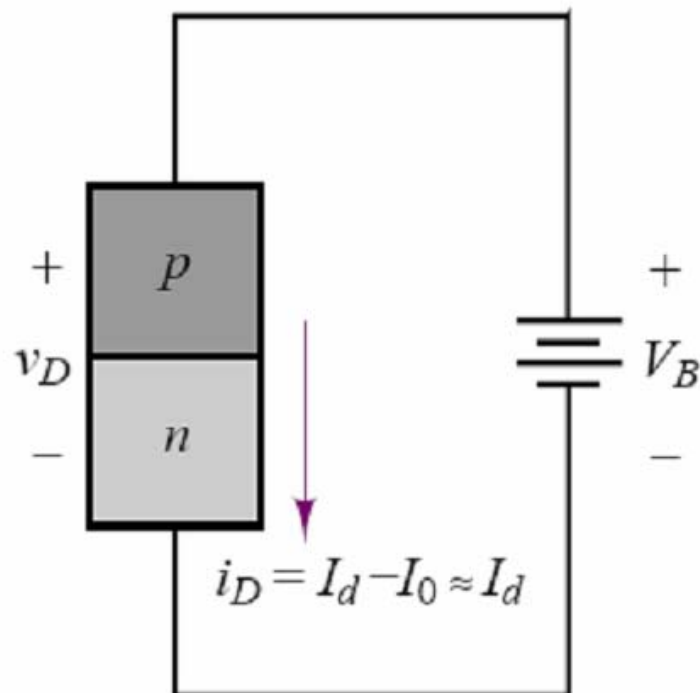


POLARIZACIJA P-N SPOJA



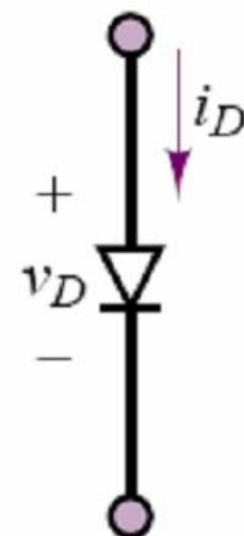
INVERZNO POLARISAN
"P-N" SPOJ

Kroz njega teče jedino
Inverzna struja zasićenja

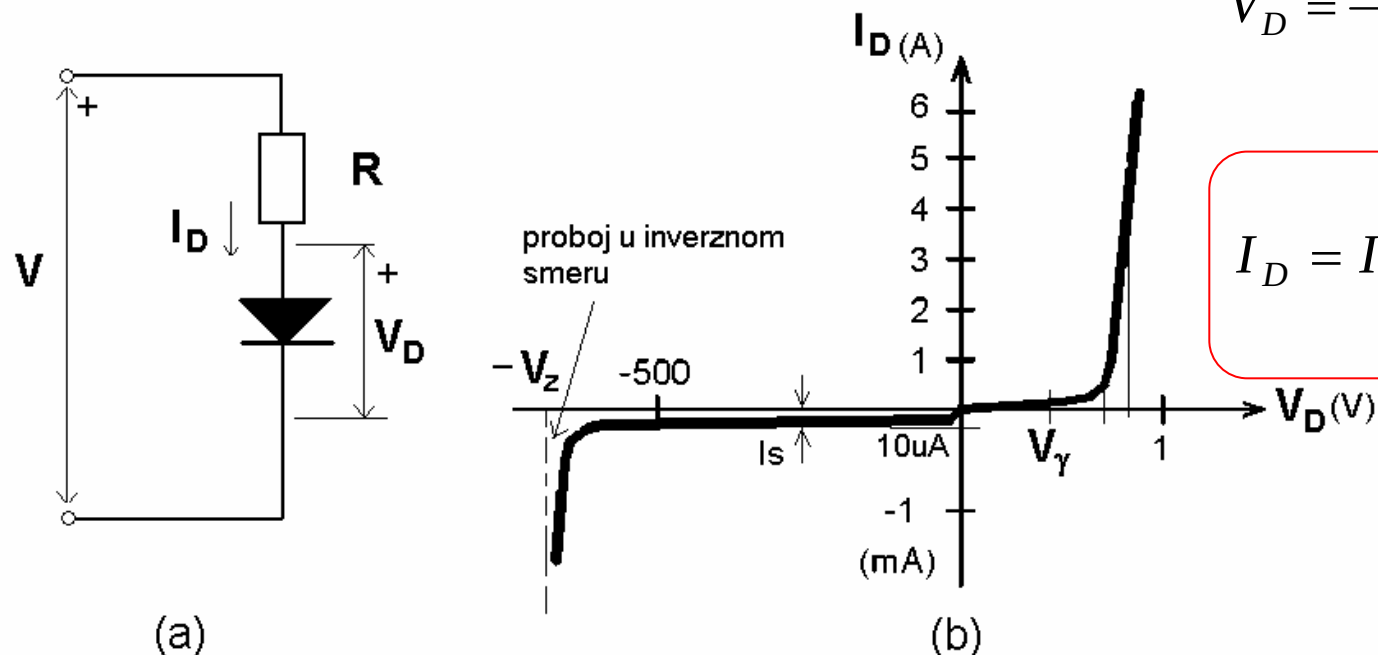


DIREKTNO POLARISAN
"P-N" SPOJ

Kroz njega teče praktično
struja iz spoljašnjeg izvora
 $I_d \gg I_0$



KARAKTERISTIKA REALNE DIODE



$$V_D = \frac{\eta k T}{q} \cdot \ln \left[\frac{I_D}{I_S} + 1 \right]$$

ili

$$I_D = I_S \cdot \left[e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right]$$

Karakteristike diode, (a)-simbol i vezivanje u električnom kolu, (b)-strujno naponska karakteristika

V_D - napon diode (V)

I_D - struja diode (A)

I_S - inverzna struja zasićenja diode (A)

T - apsolutna temperatura (K)

q - elementarno naelektrisanje ($1.602 \cdot 10^{-19} C$)

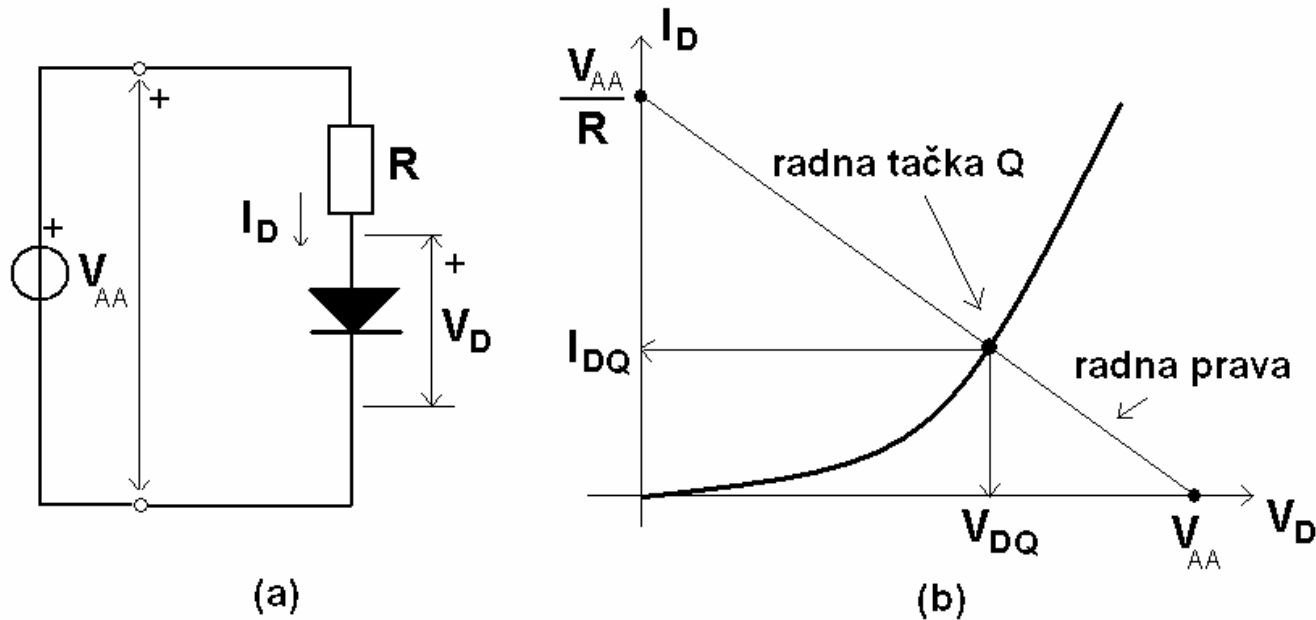
k - Bolcmanova konstanta ($1.38 \cdot 10^{-23} J/K$)

η - koeficijent koji zavisi od tipa diode ($\eta=1$ za Ge diode, $\eta=2$ za Si diode)

Na osnovu karakteristike se zaključuje da je realna dioda izrazito nelinearni element.

Postavlja se pitanje kako rešavati električna kola koja sadrže diodu?

Koncept radne prave



Koncept radne prave, (a) diodno kolo, (b) određivanje radne tačke

$$+V_{AA} - RI_D - V_D = 0$$

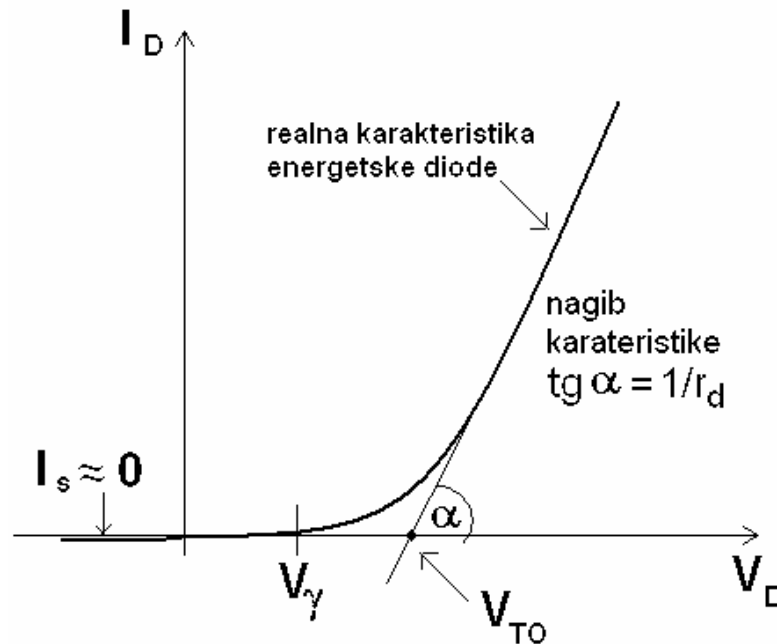
$$I_D = \frac{V_{AA} - V_D}{R}$$

Kako predstaviti diodu za velike signale, a da se ne koristi nepraktični eksponencijalni model volt-amperske karakteristike, ili grafički koncept radne prave?

Jedan od mogućih načina je predstava diode pomoću kombinacije linearnih elemenata (idealnih). Tako se analiza može znatno uprostiti, ali se koriste različiti modeli za direktno i inverzno polarisano stanje.

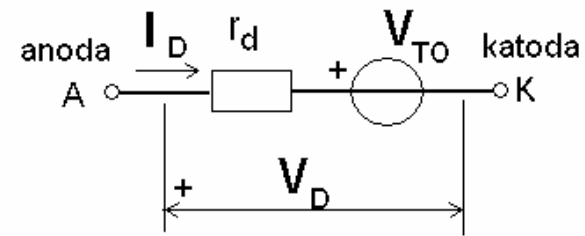
Model diode za velike signale

A) Direktno polarisana dioda



$$V_D = V_{TO} + r_d \cdot I_D$$

$$r_d = \frac{1}{\text{tg } \alpha}$$



$$V_D = V_{TO} + r_d I_D$$

napon praga provođenja V_γ $V_\gamma \approx 0.6V$

Povlačenjem tangente na realnu karakteristiku diode, u preseku sa V-osom dobija se tačka V_{TO} $V_{TO} \approx 0.9V$.

Vrednost dobijena na ovaj način predstavlja *napon koji karakteriše linearnu karakteristiku diode*. Ova vrednost nije fizička veličina, već procenjena sa grafika

Pad napona na diodi ima konstantni član i promenljivi član koji zavisi od struje diode i dinamičke otpornosti

$$V_D = V_{TO} + r_d \cdot I_D$$
$$r_d = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Za male Si diode ova vrednost se kreće u opsegu $5\Omega \dots 10\Omega$, dok je kod energetskih dioda ova vrednost $1\text{m}\Omega \dots 10\text{m}\Omega$. U katalogima proizvođača ona se često obeležava i sa

$$r_T, R_f$$

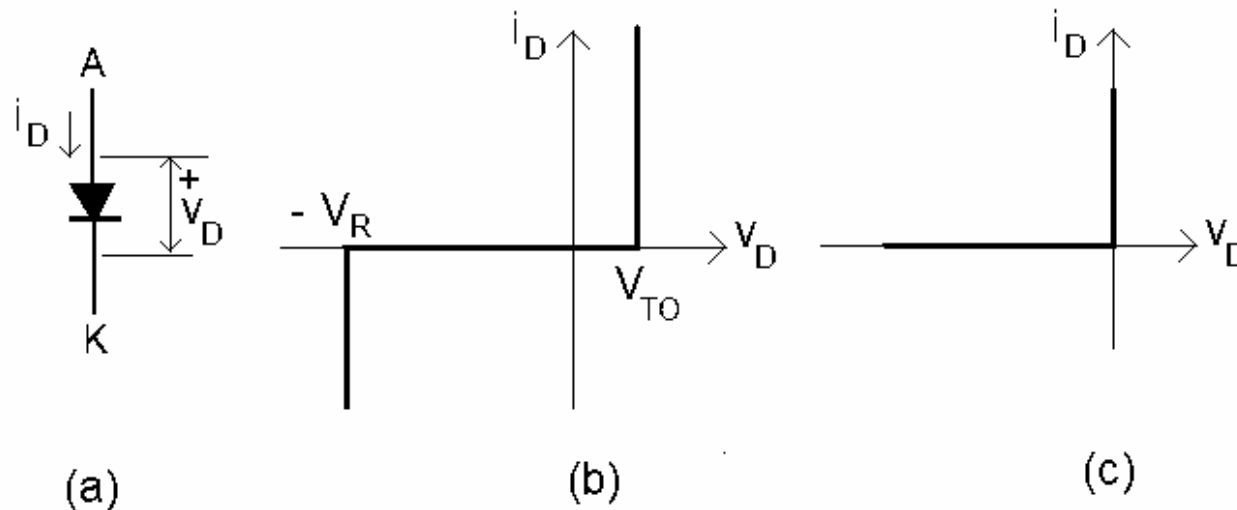
Jednačina koja opisuje energetsku diodu u provodnom stanju za velike signale:

$$V_D = V_{TO} + r_d \cdot I_D$$

Idealizovane statičke karakteristike dioda

- Pri analizi kola sa diodama uzimanje stvarne karakteristike i njihovih matematičkih izraza postaje komplikovano i u jednostavnim slučajevima, pa se takva analiza obično sprovodi grafički.
- U komplikovanijim slučajevima ni to nije izvodljivo pa se u praksi koriste idealizovane karakteristike diode.
- Idealizacija se sastoji u tome da se nelinearnost diode aproksimira linearnim segmentima.

IDEALIZOVANE KARAKTERISTIKE DIODE



Idealizovane karakteristike dioda, (a)-referentni smerovi, (b)-model 1, (c)-model 2

$$v_D > V_{TO} \Rightarrow i_D \in (0, +\infty)$$

$$V_{TO} \geq v_D \geq -V_R \Rightarrow i_D = 0$$

$$v_D < -V_R \Rightarrow i_D \in (0, -\infty)$$

model 1

Ovde se smatra da je pad napona na diodi u provodnom smeru konstantan i nezavisan od struje. Obično se uzima da je njegova vrednost oko 0.7V (male struje) do 1 V (pri većim strujama). Probojni inverzni napon se uzima u obzir samo pri izboru diode a u analizama rada pretvarača se zanemaruje

$$v_D = 0 \Rightarrow i_D \in (0, +\infty)$$

$$i_D = 0 \Rightarrow v_D \in (0, -\infty)$$

model 2

Drugim rečima ovo znači da kada idealna dioda vodi ona ima na sebi pad napona 0V. Kad je inverzno polarisana, inverzna struja zasićenja je jednaka 0A

Karakteristični parametri diode

U ovom odeljku su dati karakteristični podaci za energetske diode koji su dati u katalogima proizvođača.

V_{RSM} - *Neponovljivi vršni inverzni napon* (može povremeno da se javi na diodi; ako se često javlja degradiraće karakteristike diode; često se u katalogima sreće i oznaka V_{DSM} .

V_{RRM} - *Ponovljivi vršni inverzni napon* (može se uzastopno primenjivati bez oštećenje diode; često se u katalogima sreće i oznaka V_{DRM} .

$V_{(BR)R}$ - *Probojni napon pri inverznoj polarizaciji*; dioda ulazi u proboj i može biti uništena; normalno se u eksploataciji energetske diode ova vrednost nikada ne postiže.

I_{FAV} - *Nazivna srednja vrednost struje vođenja* se definiše kao:
$$I_{FAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_F(t) \cdot dt$$

Ova vrednost je ustvari granična vrednost srednje vrednosti struje za trajni pogon koja je dopuštena s obzirom na električne i termičke karakteristike diode. Ova jednačina važi za bilo koji talasni oblik struje.

Ne sme da se prekorači ni pri najpovoljnijim uslovima hlađenja. Alternativne oznake su I_{TAV} , I_{DAV} .

I_{FRMS} - *Nazivna efektivna vrednost struje vođenja* se definiše kao:
$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_F^2(t) \cdot dt}$$

Ova vrednost je ustvari granična vrednost efektivne vrednosti struje kroz diodu za trajni pogon koja je dopuštena s obzirom na električne i termičke karakteristike diode. Ova jednačina važi za bilo koji talasni oblik struje. Ne sme da se prekorači ni pri najpovoljnijim uslovima hlađenja.

I_{SM} - *Udarna struja u stanju vođenja*

Ova vrednost je ustvari maksimalna vršna vrednost jedne polovine sinusnog talasa udarne struje (pri kratkom spoju) u trajanju od 10ms. Nakon povremenih strujnih udara do ove granične vrednosti, diode su u stanju da podnesu određeni zaprečni napon.

TOPLOTNI IMPULS DIODE

$I^2 \cdot t$ - *Toplotni impuls diode*

$$(I^2 \cdot t)_{diode} = A_{diode} = \int_0^T i_D^2 \cdot dt$$

Toplotni impuls je ustvari granična vrednost integrala kvadrata struje u vremenu koji dioda mora da podnese a da ne bude uništena. Ova veličina služi pri izboru odgovarajućih ultrabrzih osigurača (tip R) za zaštitu dioda od oštećenja usled prevelikih struja kratkih spojeva. Vrednost toplotnog impulsa osigurača za predviđeni vremenski interval i korišćeni napon napajanja mora biti ispod vrednosti toplotnog impulsa koga dioda može da podnese. Obično se ultrabrzi osigurač bira tako da njegov toplotni impuls bude dva puta manji od diodnog.

$$(I^2 \cdot t)_{diode} \geq (I^2 \cdot t)_{ultrabrzog-osig}$$

$$(I^2 \cdot t)_{diode} = 2(I^2 \cdot t)_{ultrabrzog-osig}$$

Disipacija snage u diodi tokom provođenja

Ukupna snaga disipacije u energetske diodi se može predstaviti kao zbir disipacije snage u provodnom stanju- P_{FAV} i disipacije snage u stanju inverzne polarizacije- P_{RAV}

$$P_{TOT} = P_{FAV} + P_{RAV}$$

Disipacija toplote u diodi tokom vođenja struje je dominantna i ona se izračunava usrednjavanjem trenutne vrednosti snage gubitaka u stanju vođenja

$$p_F = u_F \cdot i_F = u_D \cdot i_D$$

$$p_F = (V_{TO} + r_d \cdot i_F) \cdot i_F$$

$$P_{FAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p_F(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \left[\int_0^T V_{TO} i_F dt + r_d \cdot \int_0^T i_F^2 dt \right]$$

$$I_{FAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_F(t) \cdot dt$$

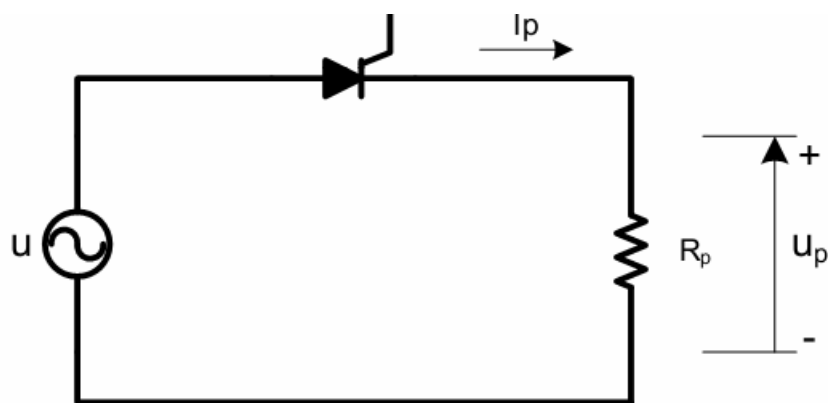
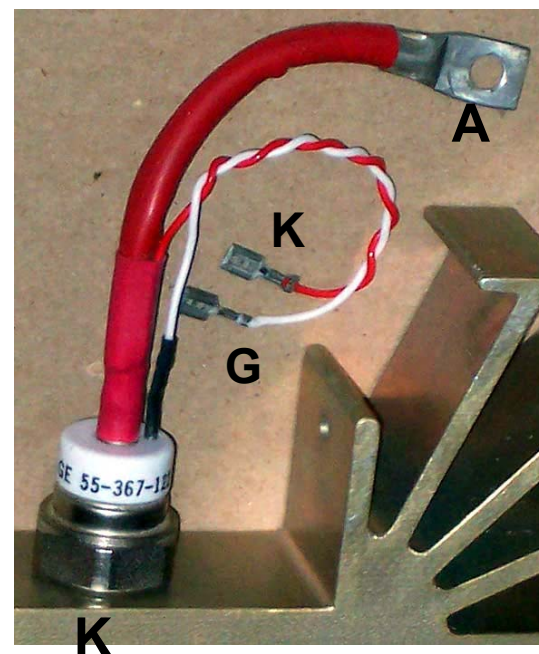
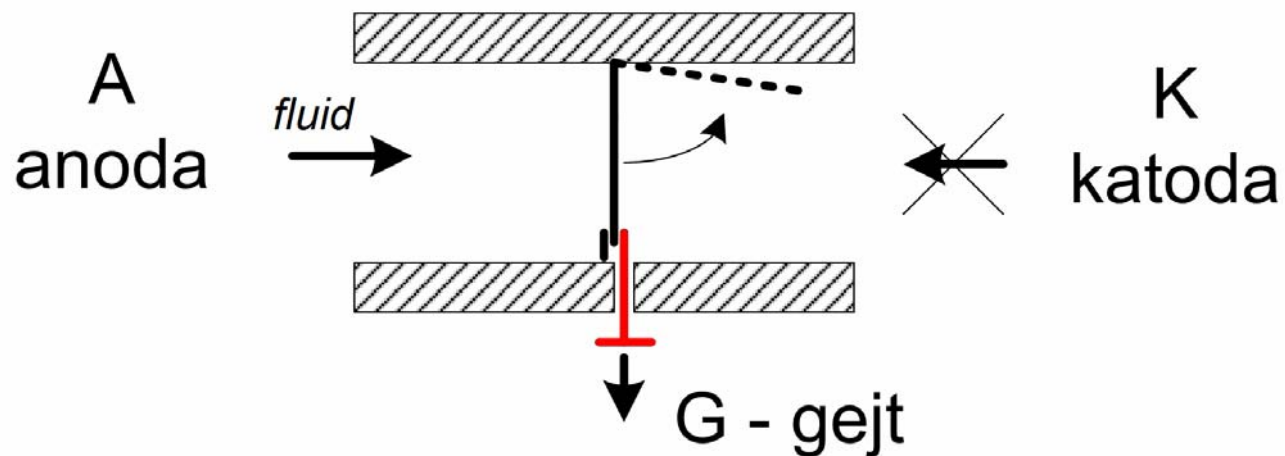
$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_F^2(t) \cdot dt}$$

$$P_{FAV} = V_{TO} \cdot I_{FAV} + r_d \cdot I_{FRMS}^2$$

TIRISTOR

Engl. **SCR** (**S**ilicon **C**ontrolled **R**ectifier)

analogija

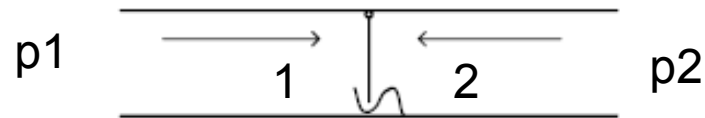


Signal na gejt

TIRISTOR - SCR



ANALOGNI MEHANIČKI MODEL

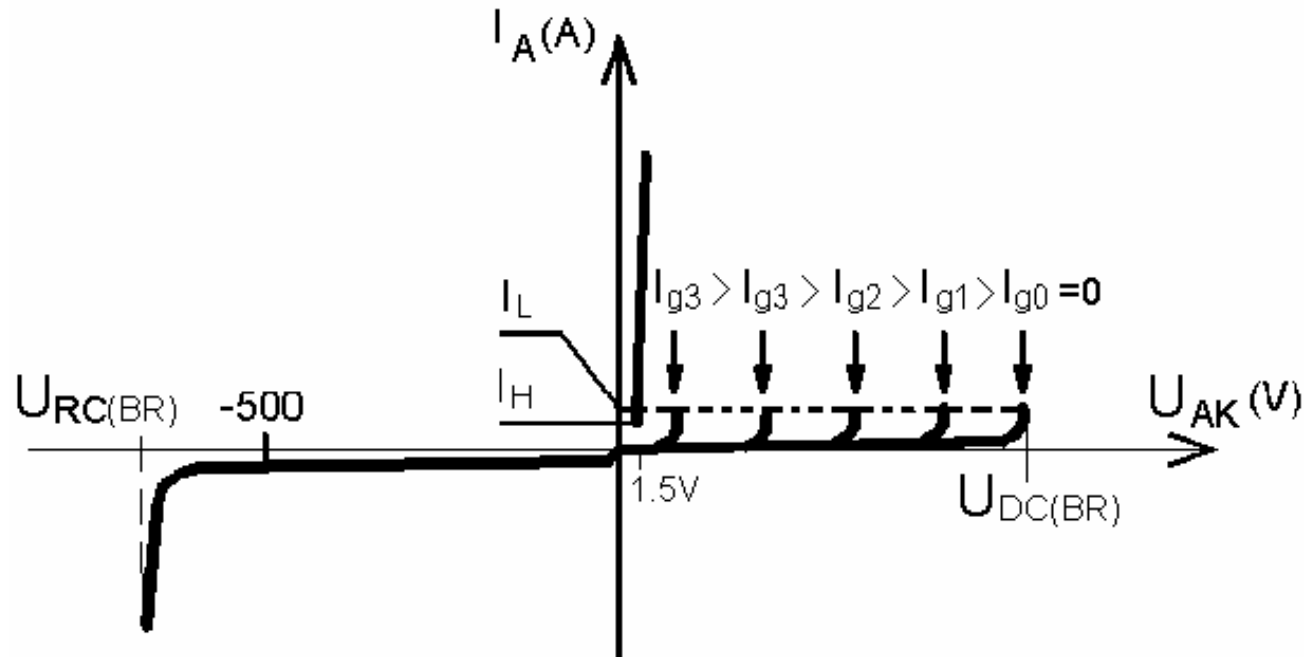


U smeru jedan (1) tečnost može da protiče jedino kada skinemo rezu, a pritisci su takvi da je $p_1 > p_2$.

Očigledno kada “struja” teče ne možemo ponovo da stavimo rezu, jedino ako se spolja ne promene uslovi.

To će se desiti na primer kada protekne struja suprotnog smera.

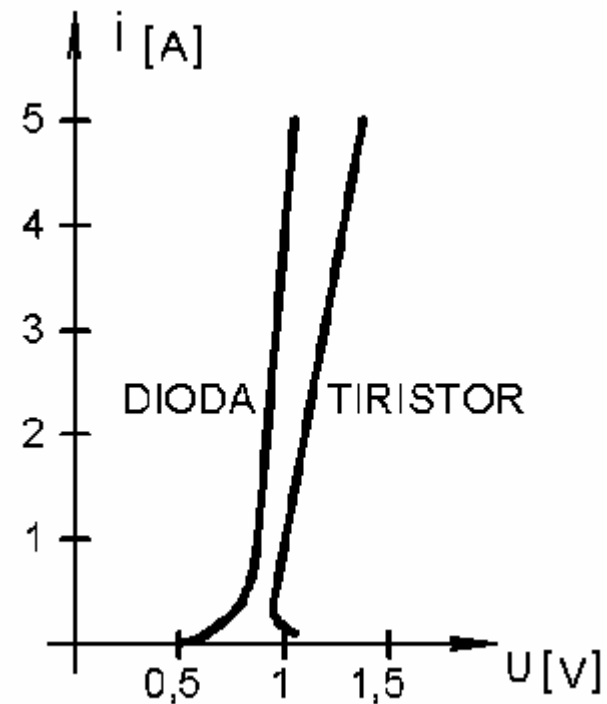
Volt-amperska karakteristika tiristora



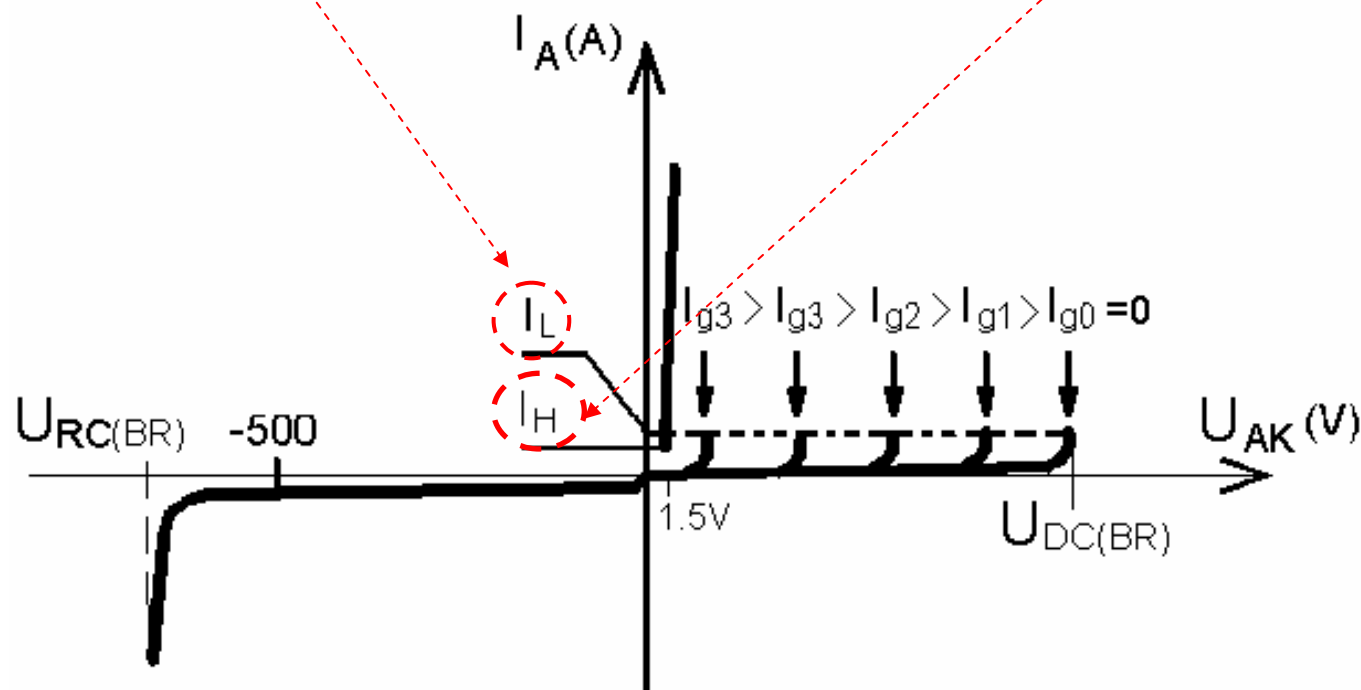
- Jedna tipična statička karakteristika tiristora je data na slici.
- Inverzni deo karakteristike je sličan diodi.
- Kod direktne polarizacije struja tiristora zavisi od napona ali i od struje upravljačke elektrode (gejta).
- Kako raste struja ubrizgana u gejt, tako pada probojni napon u direktnom smeru.
- Ako je impuls struje dovoljno veliki, tiristor će da veoma brzo preći u provodno stanje (za vreme reda veličine nekoliko desetina mikro sekundi).

Volt-amperska karakteristika tiristora u stanju vođenja

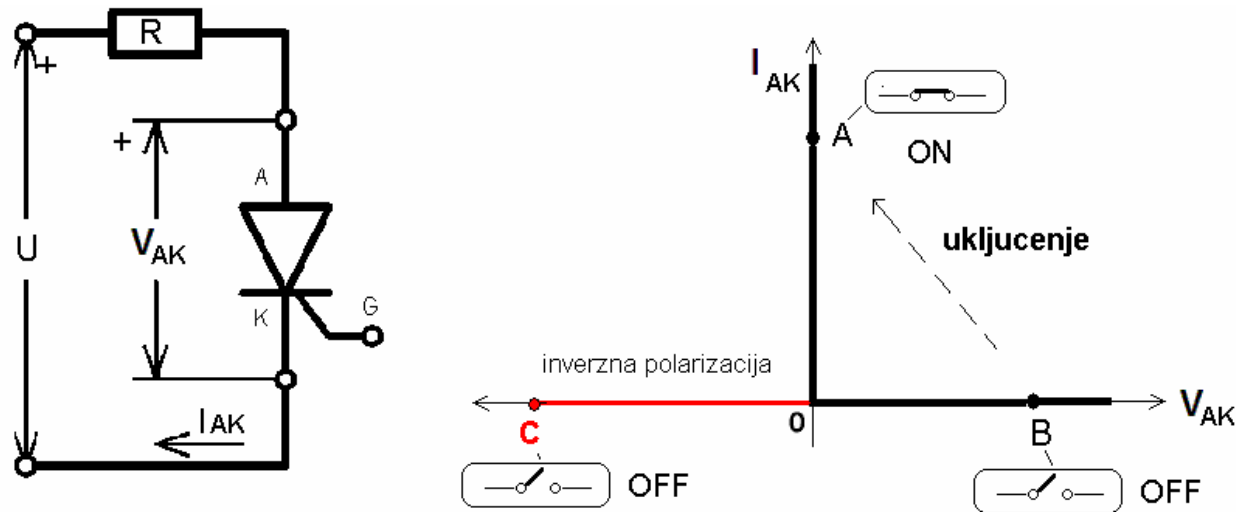
- Kada tiristor pređe u stanje vođenja, struja tiristora praktično zavisi od spoljnog kola (opterećenja)
- U tom slučaju njegova volt-amperska karakteristika se može približno predstaviti pravom linijom (slično kao kod energetske diode)
- Ustvari tada se tiristor ponaša slično diodi



Da bi se tiristor uključio potrebno je da struja bude veća od takozvane *struje prihvatanja (latching current)* - I_L . Veličina struje prihvatanja kreće se od oko 150 mA (za tiristore reda 10A) do oko 1.5 A (za tiristore reda 1000 A). Pri smanjenju struje, u jednom trenutku tiristor ponovo postaje neprovođan. Ova minimalna struja naziva se i *struja držanja (holding current)* - I_H . Ispod ove struje tiristor se blokira (isključuje). Veličina struje držanja kreće se od oko 80 mA (za tiristore reda 10 A) do oko 0.5 A (za tiristore reda 1000 A). Struja I_H je manja od struje prihvatanja. Odnos struja prihvatanja i držanja je oko 2 do 3, tako da između struja uključenja i isključenja postoji izvestan histerezis.



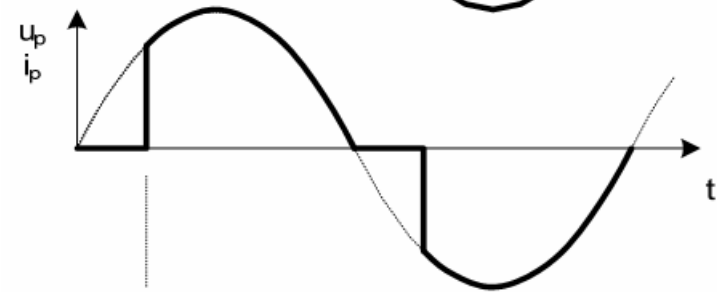
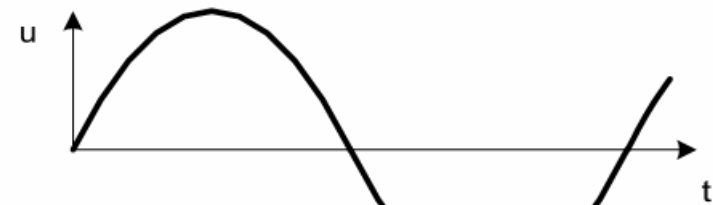
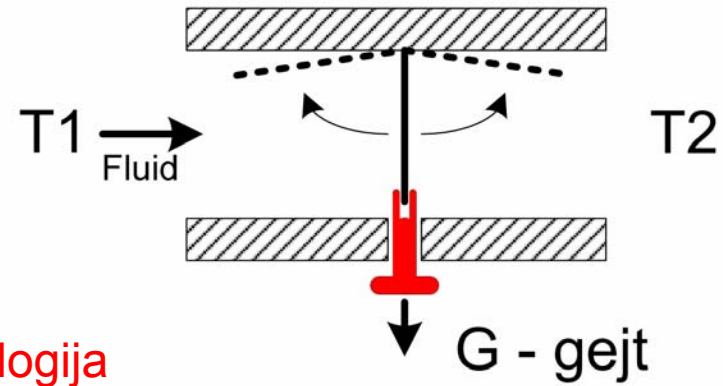
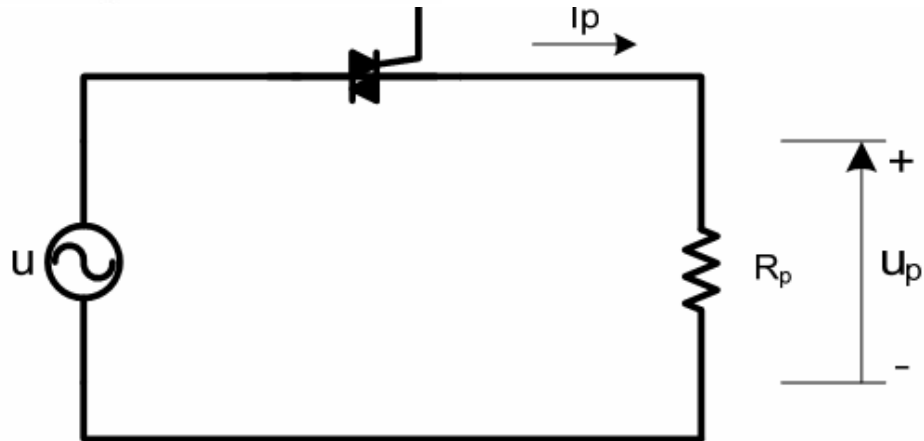
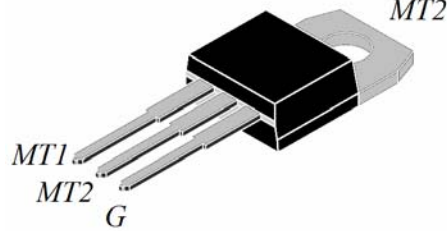
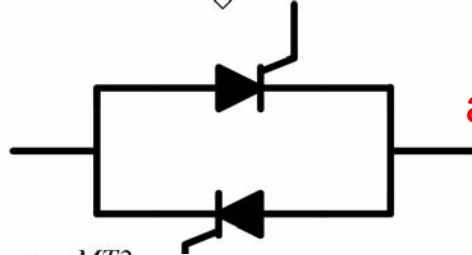
Pretpostavke i pojednostavljenja tiristora u analizi energetskih pretvarača



- U analizama rada pretvarača tiristor će biti posmatran kao bistabilni prekidački elemenat koji može biti u stanju uključenosti ili isključenosti.
- Dalje će biti uvedene pretpostavke da su struja prihvatanja I_L , struja držanja I_H , inverzna struja i napon u provodnom stanju jednaki nuli.
- I kod dinamičkih karakteristika će se smatrati da su vremena uključenja i isključenja jednaka nuli osim u slučajevima gde je to drugačije rečeno.
- Granične vrednosti napona i struja današnjih tiristora su reda 5000 V i 5000 A. Sa redno-paralelnim vezama, primenljivost se proširuje na još veće vrednosti tako da se sa njima postižu i najveće snage pretvarača. Ovi pretvarači se koriste u visokonaponskim DC transmisijama.

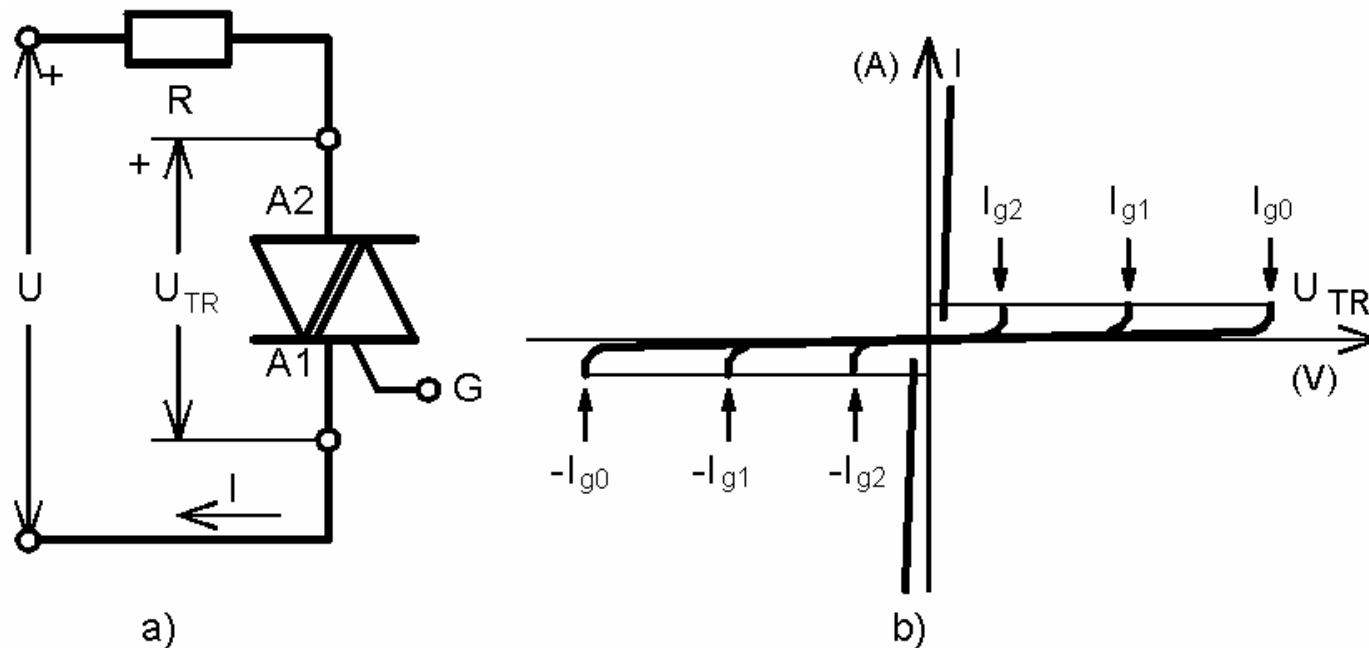
TRIJAK

Engl. TRIAC (**TRI**ode for **AC**)



Signal na gejt

Signal na gejt



Trijak; (a)-strujno kolo, (b)-strujno naponska karakteristika

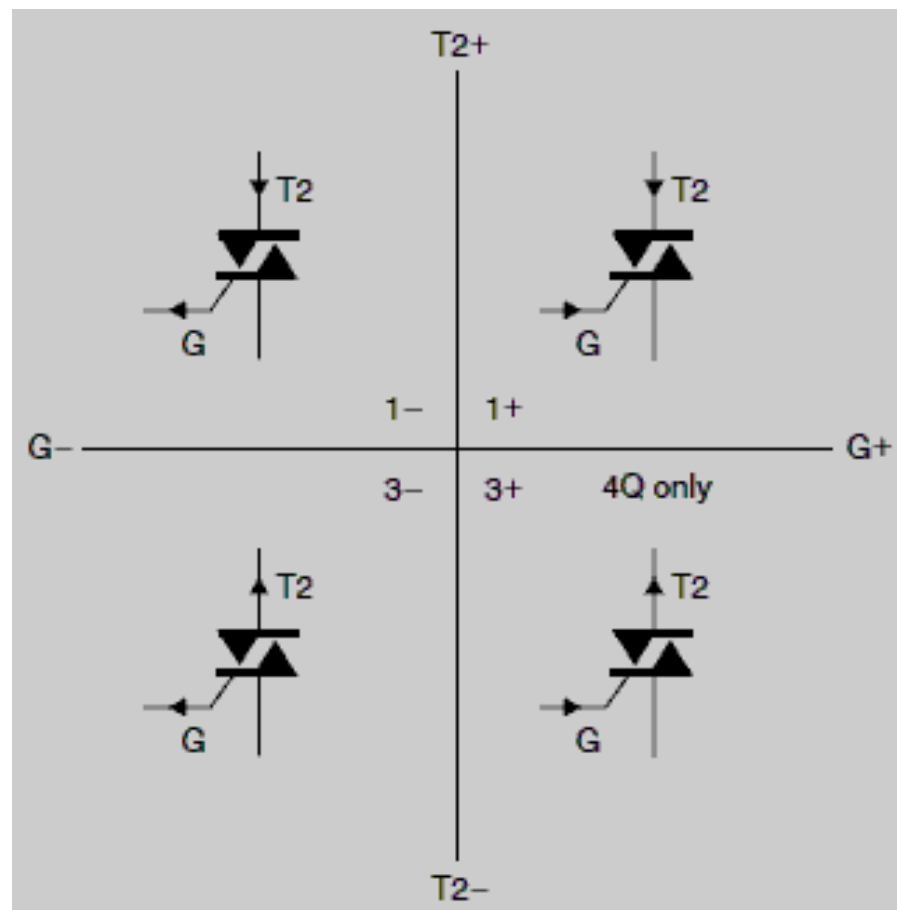
Trijak je petoslojna poluprovodnička komponenta sa izvedene tri elektrode ($A1$, $A2$ i G). Naponsko strujna karakteristika mu je donekle slična onoj kod tiristora. Za razliku od njega trijak ima simetričnu karakteristiku za oba polariteta napona. Po svojoj funkciji trijak je ekvivalentan antiparalelnoj sprezi dva tiristora, tako da svakim od njih može da se upravlja u svojoj poluperiodi.

PRIMENA TRIJAKA

- Trijak se primenjuje za regulaciju naizmeničnog napona.
- Tipične primene su mu regulacija snage grejača, regulacija jačine svetla kod sijalica sa užarenim vlaknom, regulacija brzine obrtanja univerzalnog motora itd.
- Pri radu u kolu sa naizmeničnim naponom, pri prolasku struje kroz nulu, trijak se gasi ali napon odmah menja polaritet, tako da su uslovi za oporavak znatno nepovoljniji nego kod tiristora. Ovo je naročiti izraženo kod induktivnih opterećenja.
- Zato se trijak ne može primeniti na višim frekvencijama. Obično se primenjuje samo na mrežnoj frekvenciji.
- Najčešće se sreće za struje do nekoliko desetina ampera, ali postoje i jedinice od više stotina ampera.

UKLJUČENJE TRIJAKA

- Uključenje trijaka u obe poluperiode može se vršiti strujnim impulsima istog ili različitog polariteta.
- Proizvođači daju vrednosti minimalne struje gejt za sve četiri moguće kombinacije polariteta napona na priključcima (A1 i A2) i smeru struje gejt .
- Moguće kombinacije uključenja trijaka su dati na slici

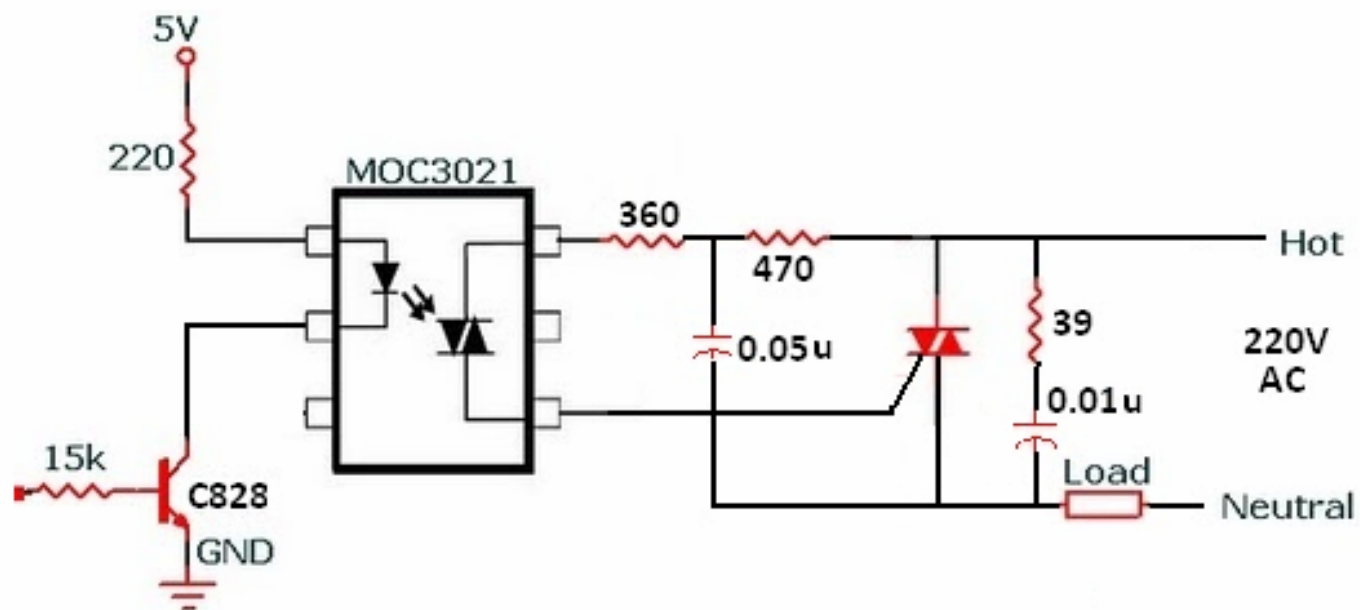


UKLJUČENJE TRIJAKA (kolo sa optičkom galvanskom izolacijom)

TRIAC kao sklopka

-aplikacije u PLC kontroli

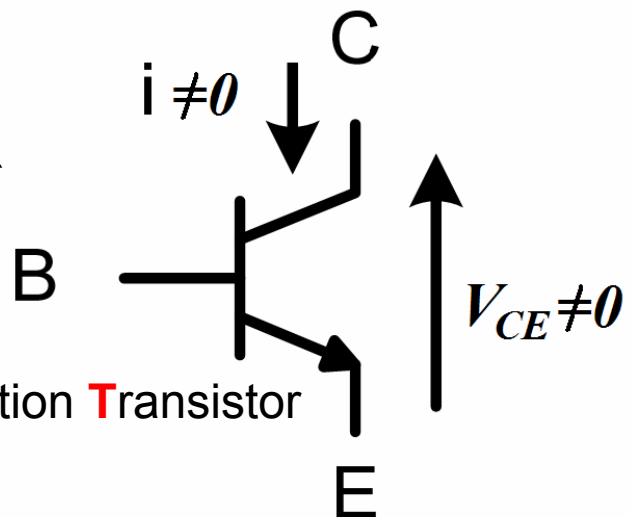
-uP kontrola



BIPOLARNI TRANZISTOR

BJT

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



Tranzistor u
aktivnom režimu

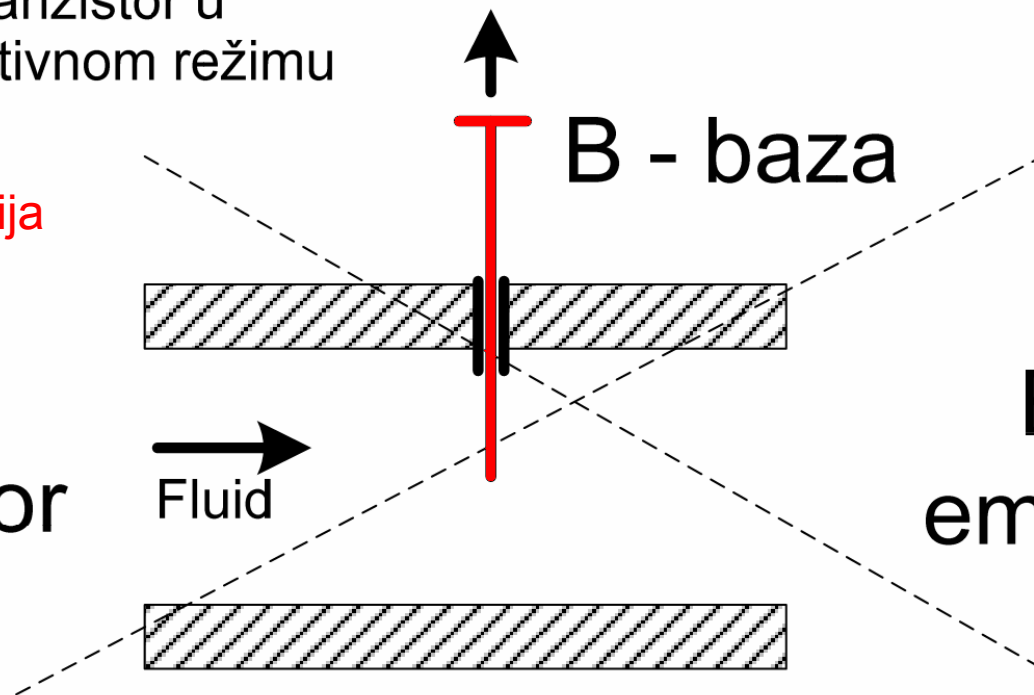
analogija

C
kolektor

Fluid

B - baza

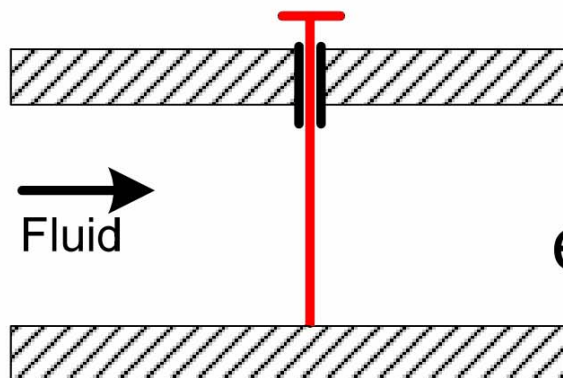
E
emitor



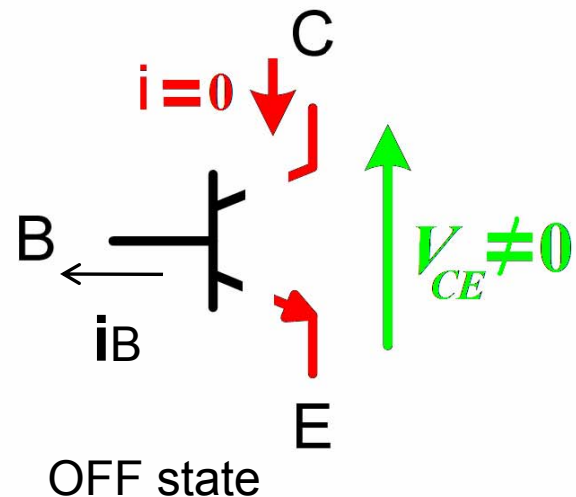
Tranzistor zakočen
(prekidač isključen)

analogija

C
kolektor



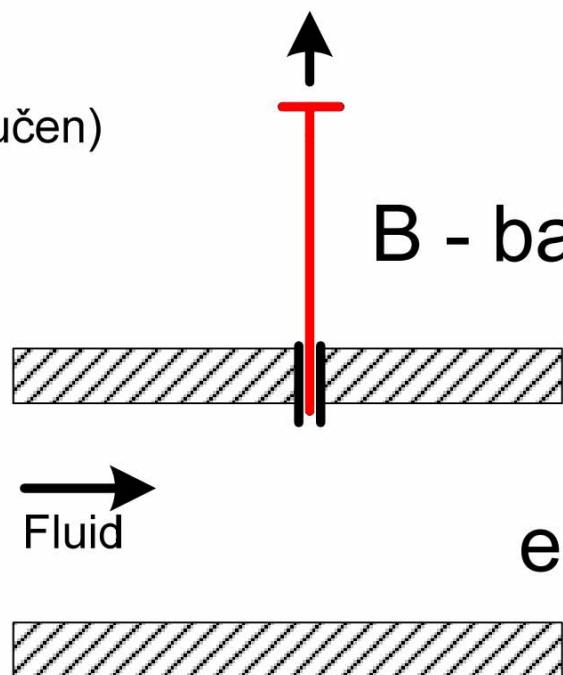
E
emitor



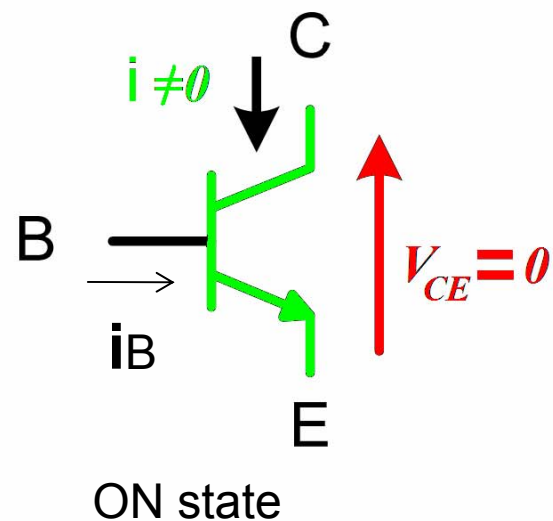
Tranzistor
u zasićenju
(prekidač uključen)

analogija

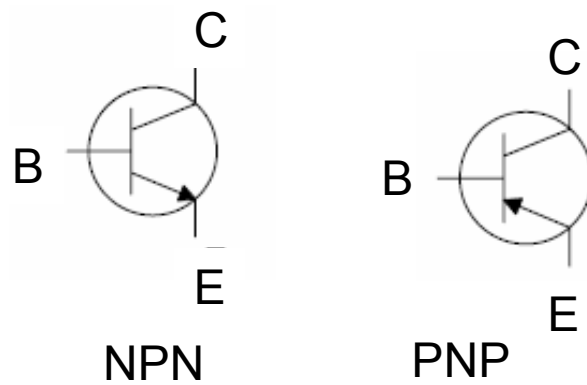
C
kolektor



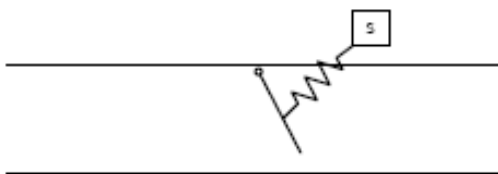
E
emitor



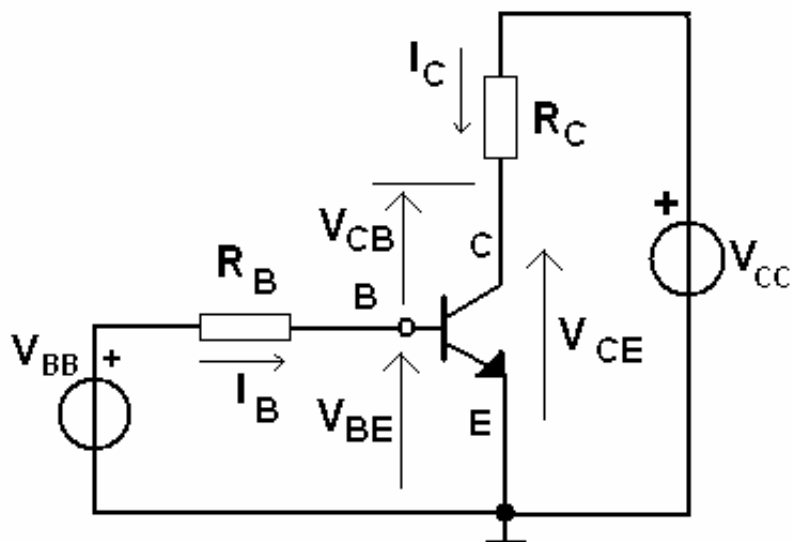
TRANZISTOR



ANALOGNI MEHANIČKI MODEL JE
KONTROLISANA KLAPNA U CEVI U
KOJOJ STRUJI FLUID



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:

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

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

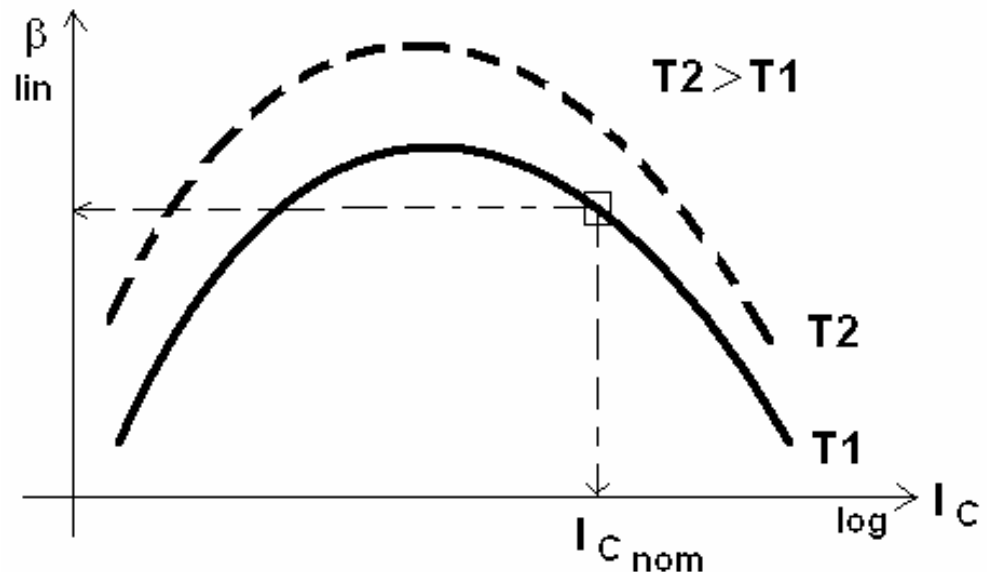
a to znači da je P-N spoj B-C postao direktno polarisan, odnosno da se tranzistor nalazi u zasićenju.

STRUJNO POJAČANJE

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

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

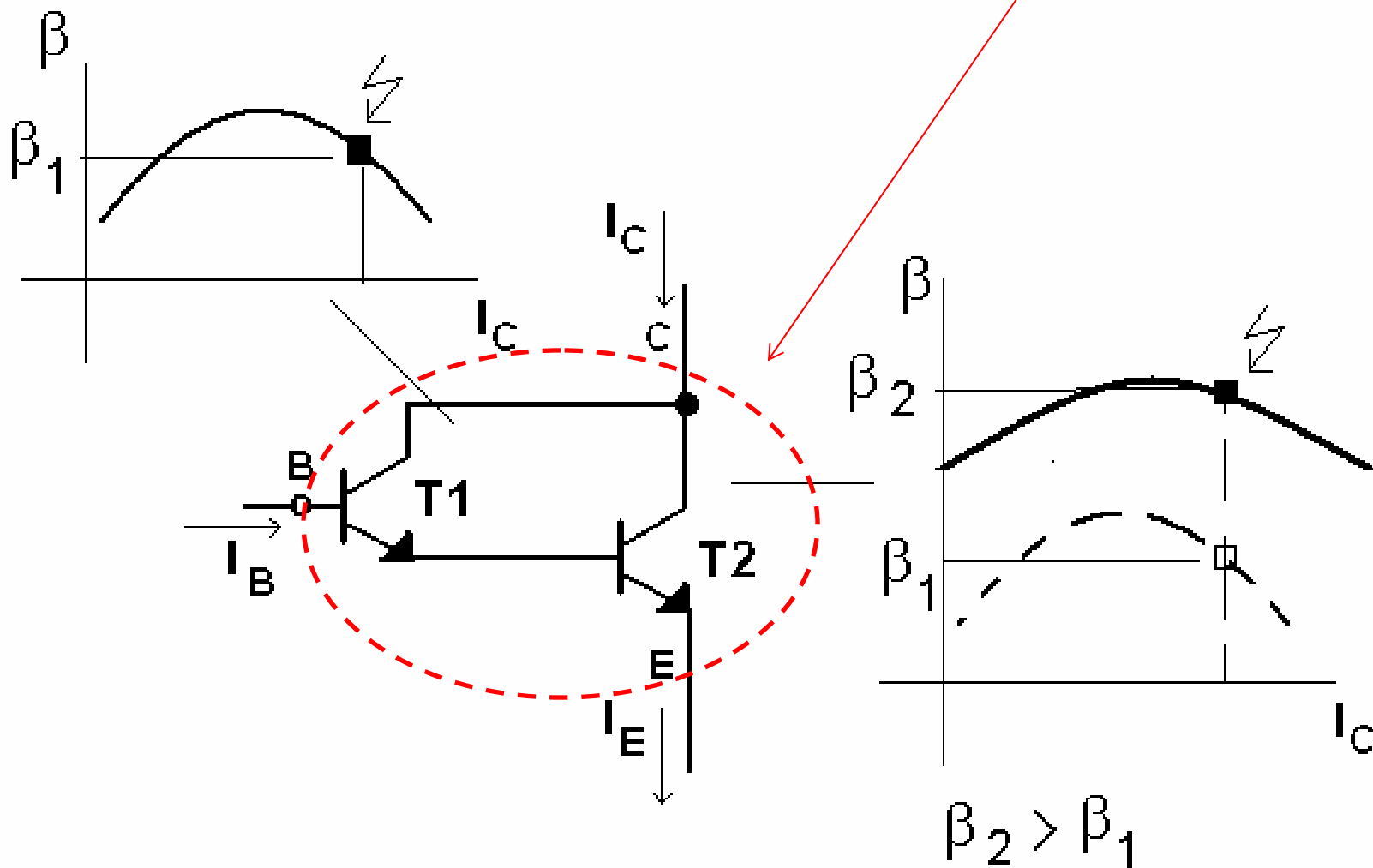
- Ovo pojačanje opada pri malim i veoma velikim strujama kolektora.
- Sa porastom temperature strujno pojačanje raste.
- Tipična karakteristika strujnog pojačanja za tranzistore snage je data na slici
- Obično je u katalozima proizvođača podela za β linearna, dok je podela za struju I_C logaritamska



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

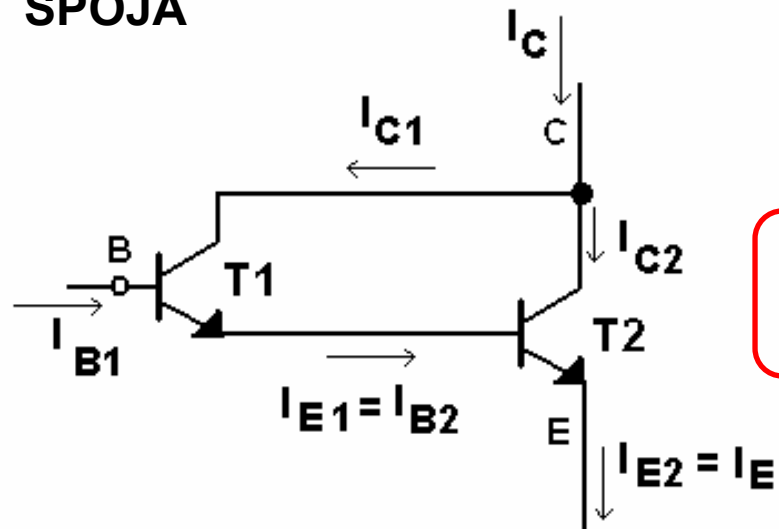
Kako postići veće strujno pojačanje pri većim strujama?

Jedan od načina je korišćenje tranzistora u tzv. Drlington spoju



SLEDI ANALIZA!!!!

ANALIZA POJAČANJA DARLINGTON SPOJA



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

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

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

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

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

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

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

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

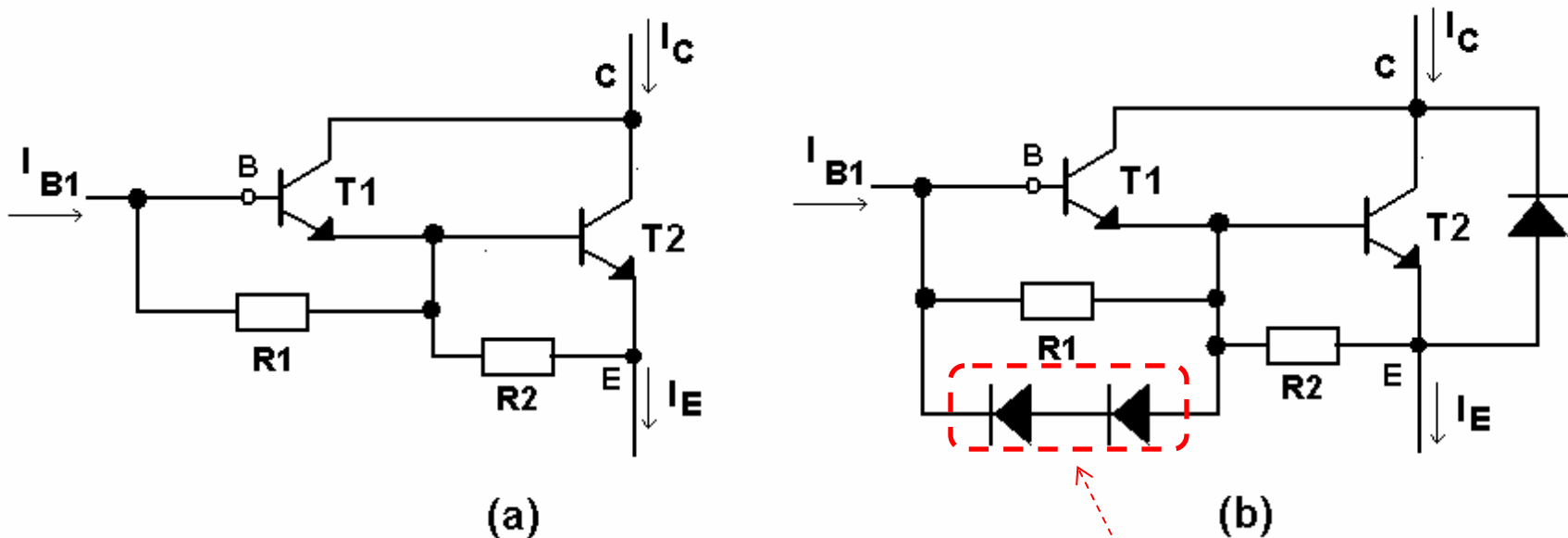
$$\beta_2 \gg 1$$

REZULTUJUĆE POJAČNJE

}

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

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.



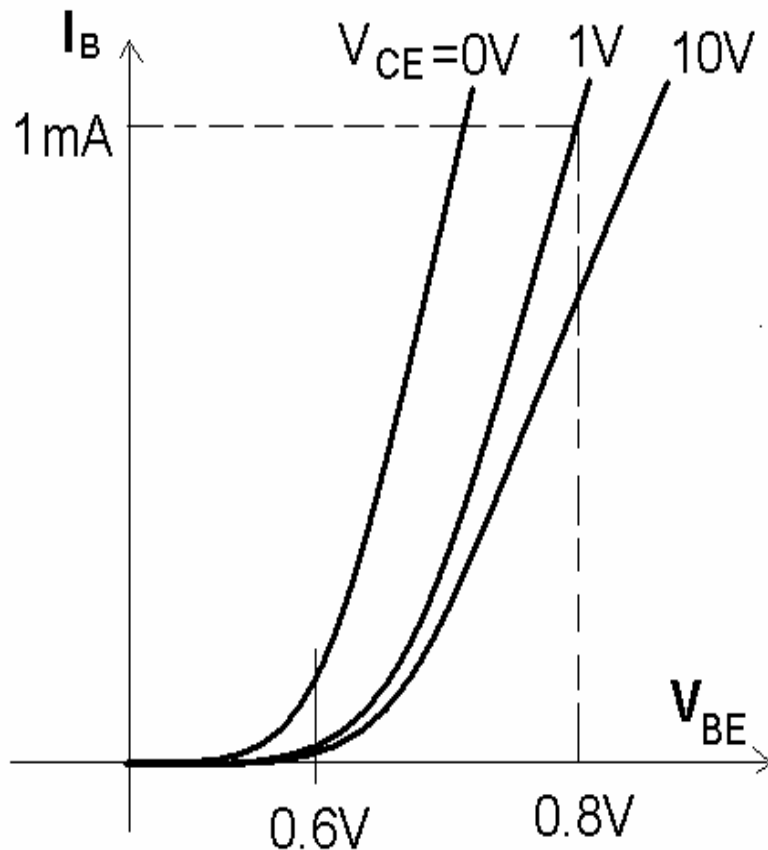
Praktična realizacija Darlington sprege, (a)-otpori za zatvaranje struja “curenja”, (b)-ubrzanje gašenja.

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



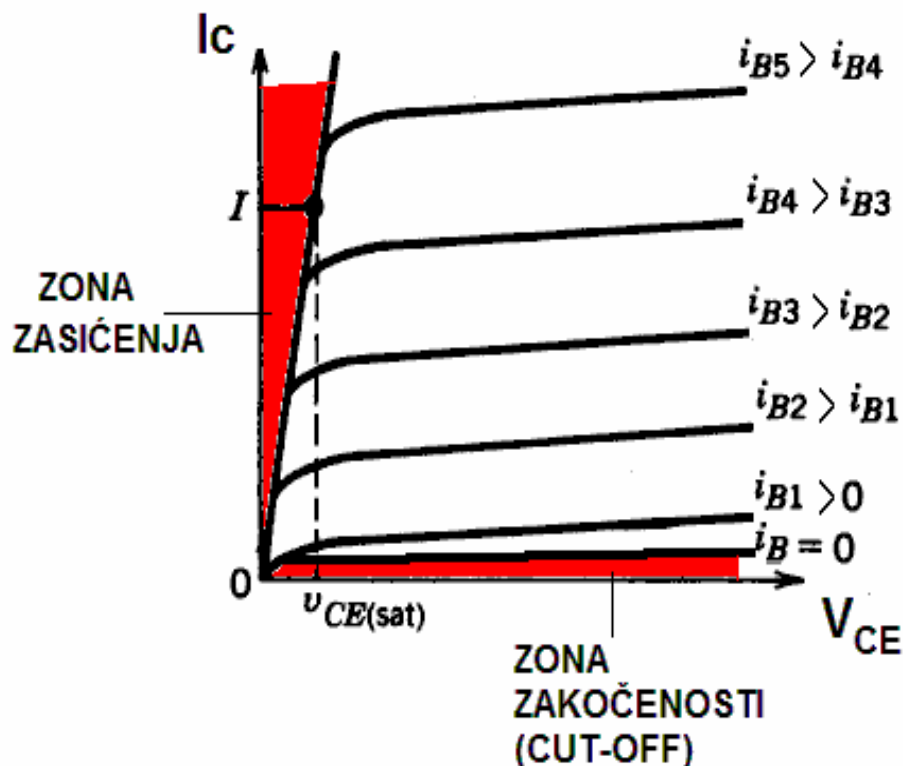
Ulazna statička karakteristika BJT

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



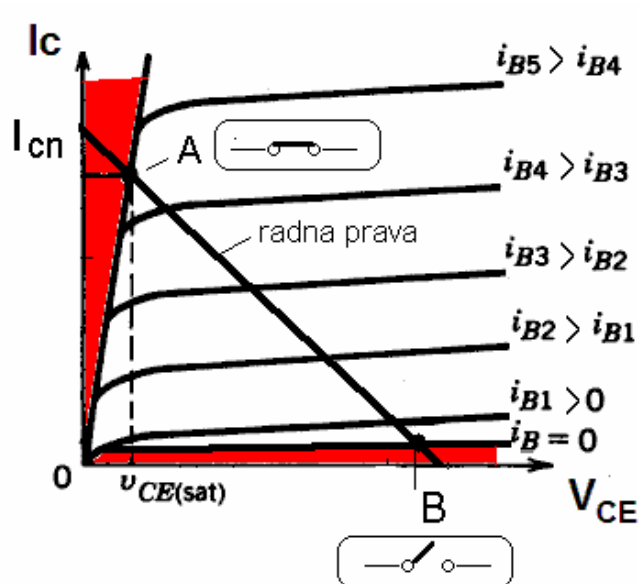
Izlazna karakteristika BJT tranzistora je ustvari zavisnost kolektorske struje I_C od napona spoja C-E, odnosno V_{CE} pri određenoj struji baze I_B .

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

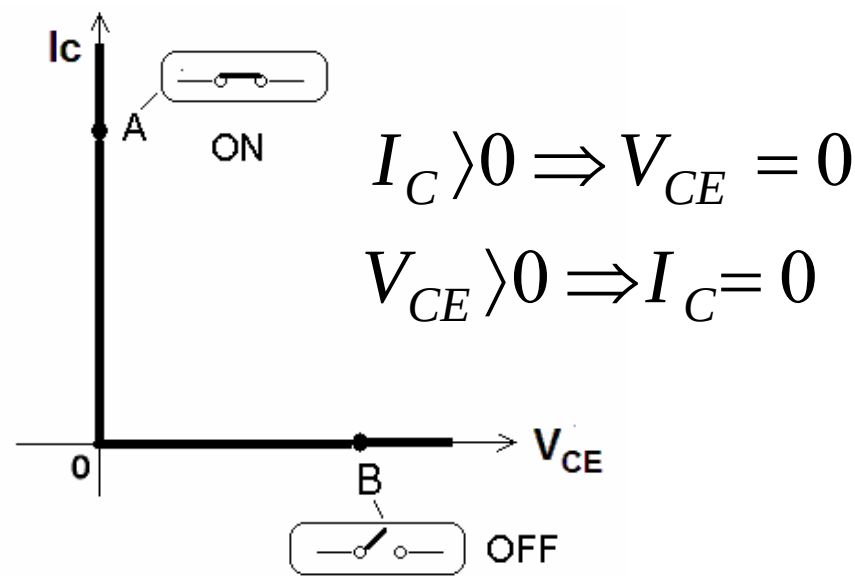
U radnoj I-V oblasti se uočavaju tri zone. Zona zasićenja, zona zakočenosti (blokiranja) i zona aktivnog režima rada.

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)



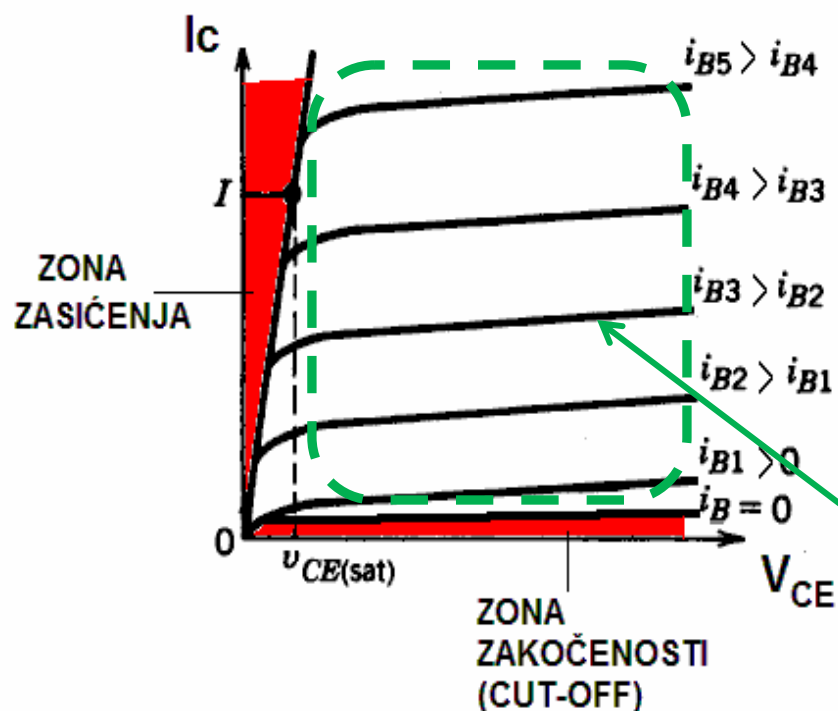
(b)

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).

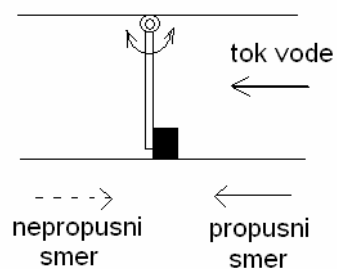
U ovoj zoni se imaju značajni disipacioni gubici.

U energetskim pretvaračima se BJT u ovoj zoni koristi samo u kratkotrajnim (prelaznim režimima) kao što su uključenje i isključenje.

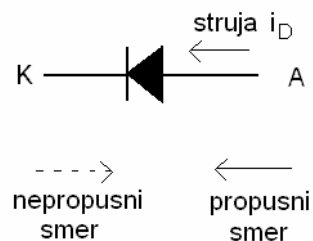
HIDRAULIČKE ANALOGIJE PREKIDAČKIH ELEMENTA

HIDRAULIKA

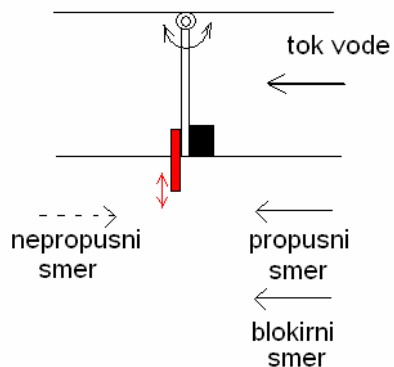
ELEKTRONIKA



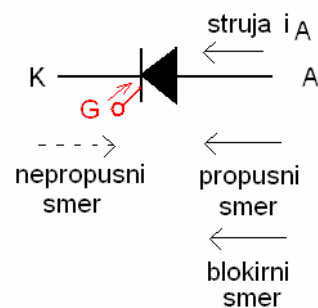
=



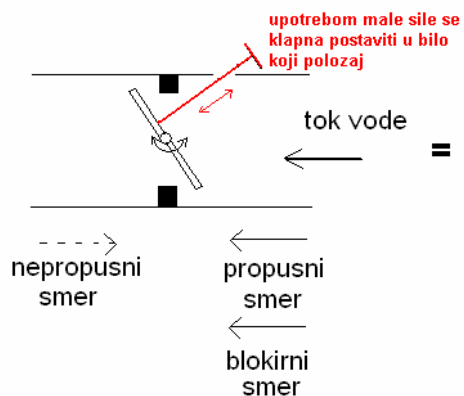
DIODA



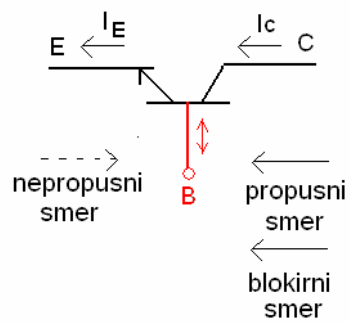
=



TIRISTOR

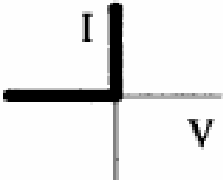
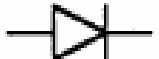
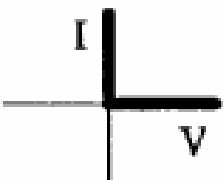
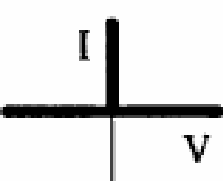
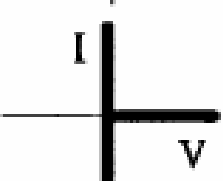
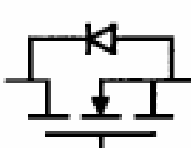
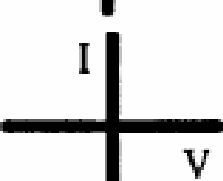


=



TRANZISTOR

IDEALNE KARAKTERISTIKE PREKIDAČKIH ELEMENATA

Diode			
BJT			
GTO			
FET			
Ideal switch			

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