

VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH
STUDIJA-VISER, BEOGRAD

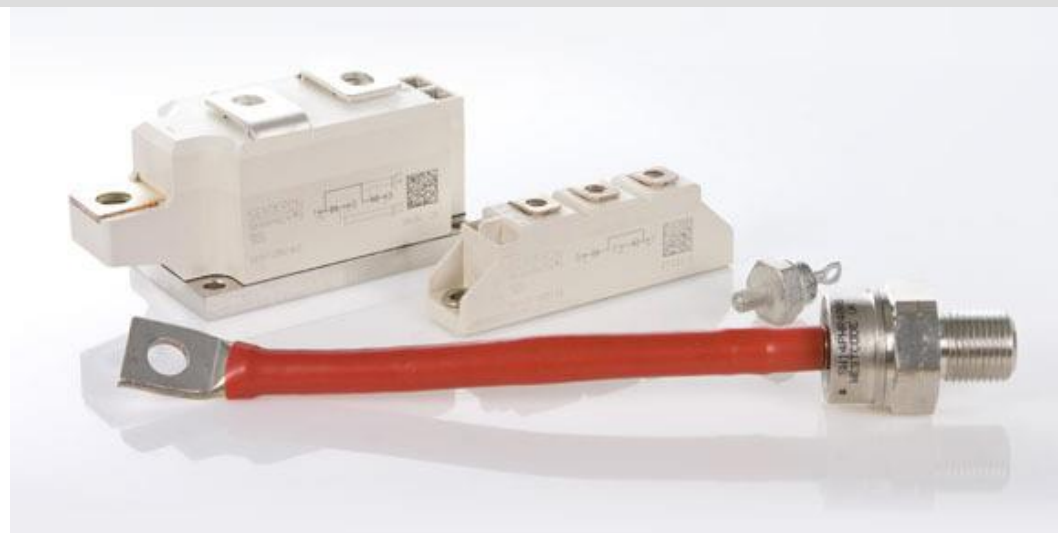
STUDIJSKI PROGRAM: Elektrotehničko inženjerstvo-ELIN

MASTER STUDIJE 2022/2023

PREDMET: PROJEKTOVANJE ELEKTROENERGETSKIH PRETVARAČA



OSNOVNA POBUDNA KOLA TIRISTORA

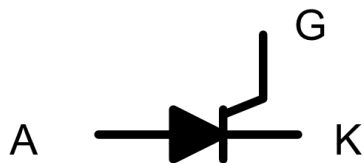


Predmetni profesor:
Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

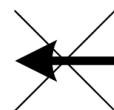
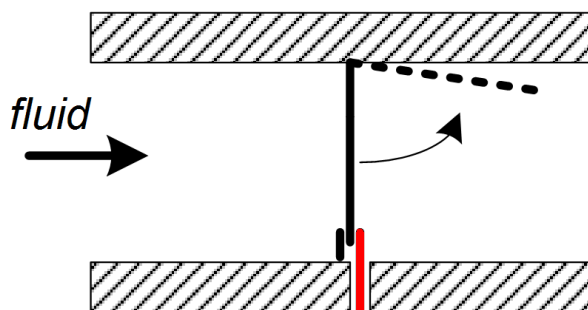
TIRISTOR

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

analogija

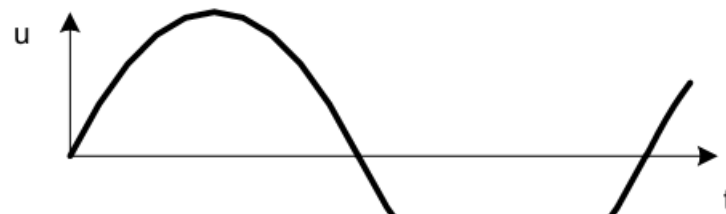
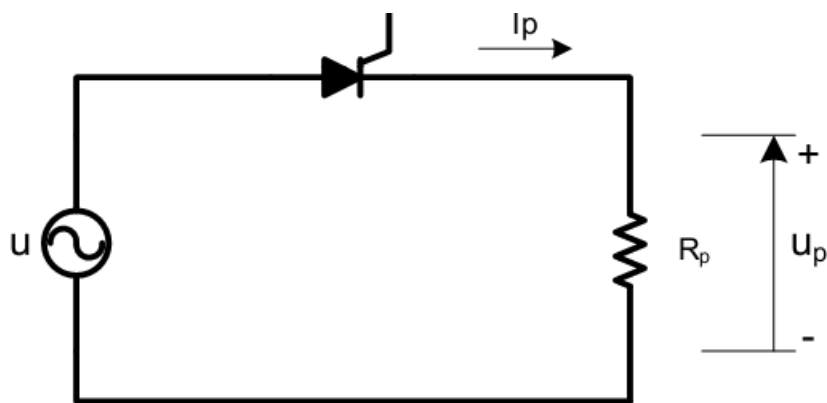


A
anoda

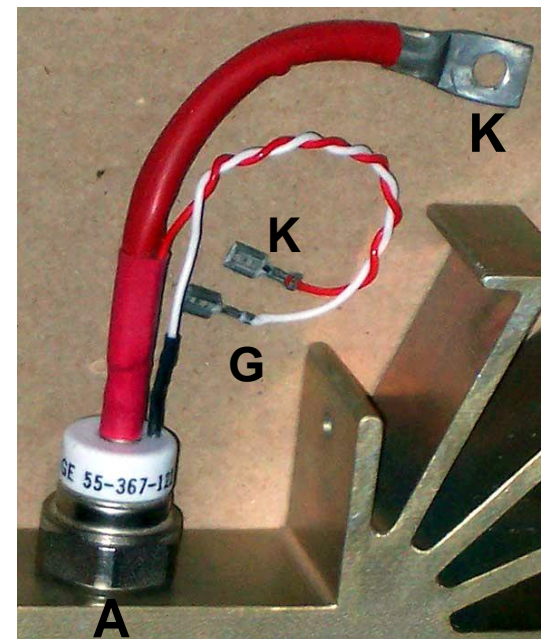


K
katoda

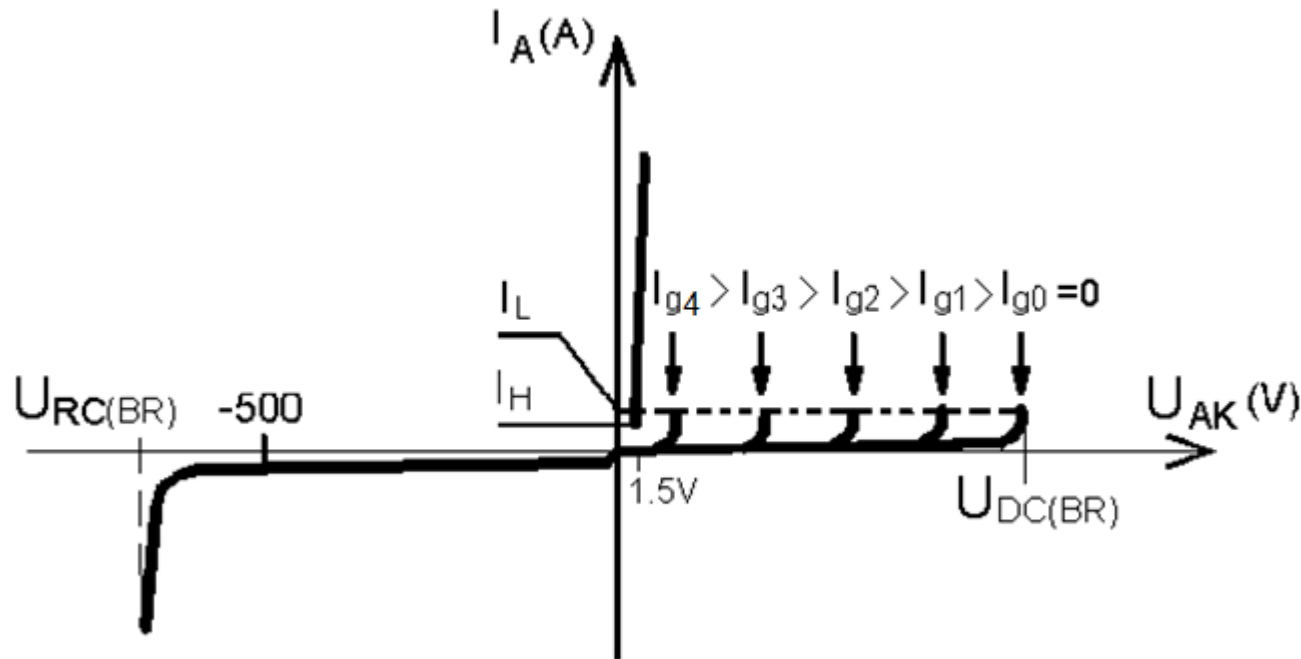
G - gejt



Signal na gejt



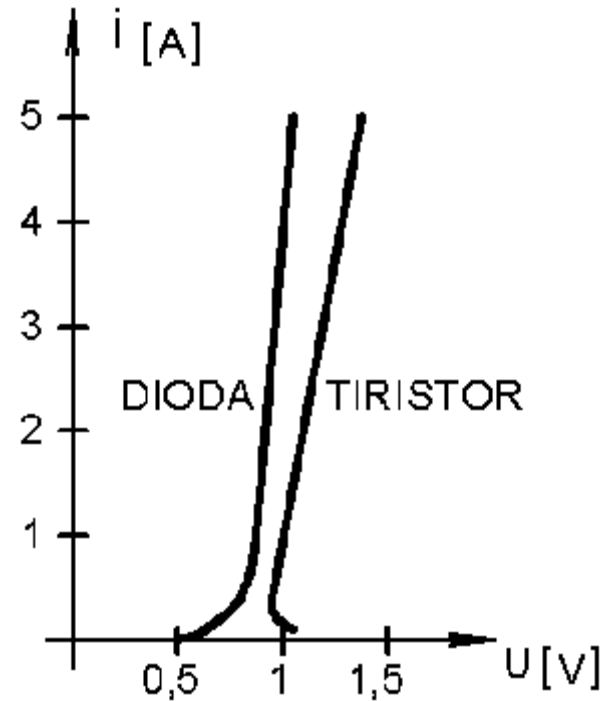
Volt-amperska karakteristika tiristora



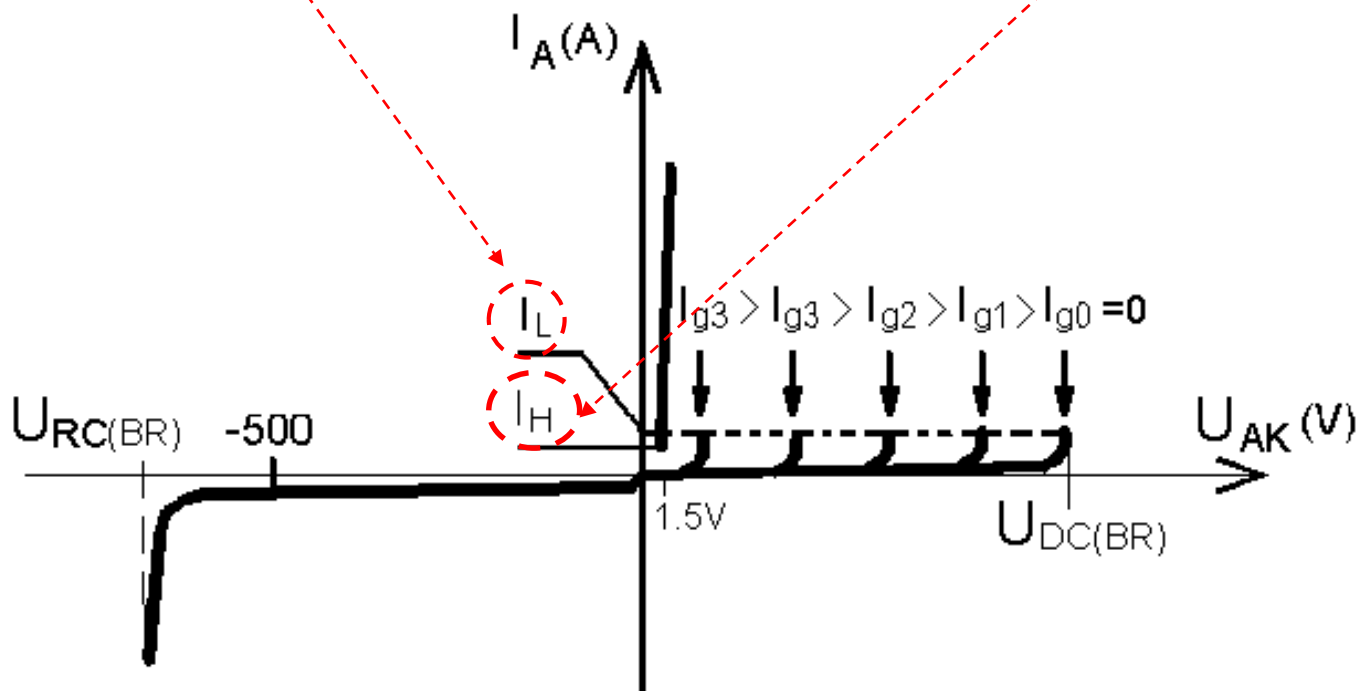
- Jedna tipična statička karakteristika tiristora je data na slici.
- Inverzni deo karakteristike je sličan diodi.
- Kod direktne polarizacije struja tiristora zavisi od napona ali i od struje upravljačke elektrode (gejta).
- Kako raste struja ubrizgana u gejt, tako pada probojni napon u direktnom smeru.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

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

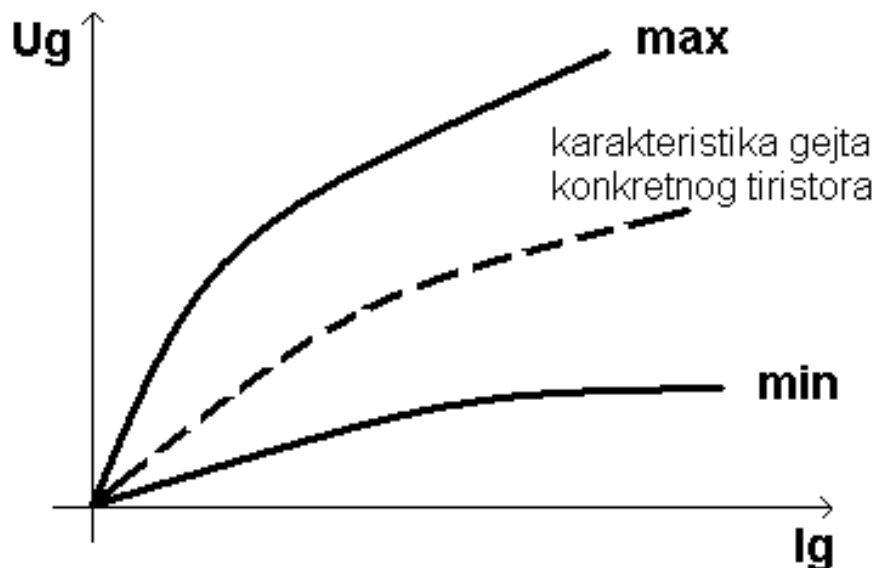


Da bi se tiristor uključio potrebno je da struja bude veća od takozvane *struje prihvatanja* (*latching current*) - I_L . Veličina struje prihvatanja kreće se od oko 150 mA (za tiristore reda 10A) do oko 1.5 A (za tiristore reda 1000 A). Pri smanjenju struje, u jednom trenutku tiristor ponovo postaje 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 uključanja i isključenja postoji izvestan histerezis.



Volt-amperska karakteristika gejta

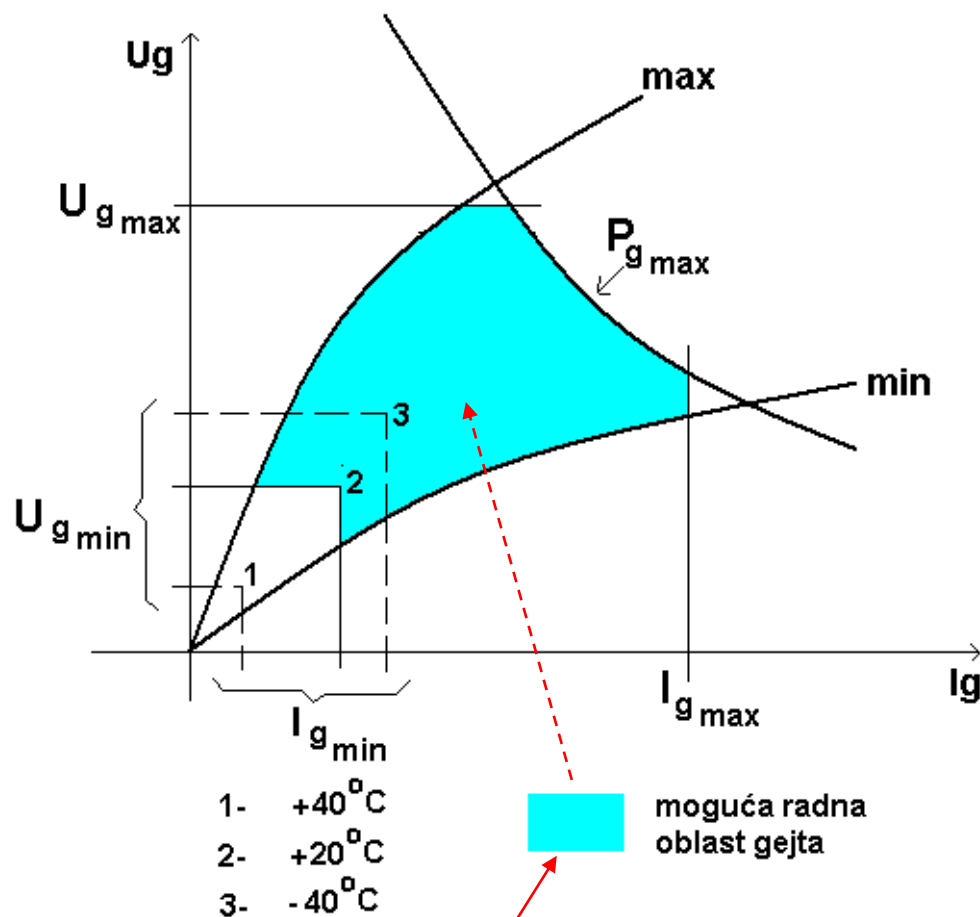
- Okidni impuls na gejtju mora imati dovoljan napon i struju da bi se tiristor uključio pri svim radnim uslovima.
- Volt-amperska karakteristika gejta vrlo podseća na karakteristiku direktno polarisane diode.
- Karakteristike komande tiristora određenog tipa se međusobno razlikuju (rasipaju) a zavise i od temperature.
- Za isti tip tiristora su moguća znatna odstupanja, pa se u karakteristikama proizvođača daju *granične krive*.
- Između graničnih krivih se sigurno nalazi volt- amperska karakteristika gejta.
- Na slici su prikazane granične karakteristike *min* i *max* unutar kojih se praktično svi tiristori određenog tipa uključuju.



Koje granične krive još postoje pored graničnih karakteristika *min,max*?

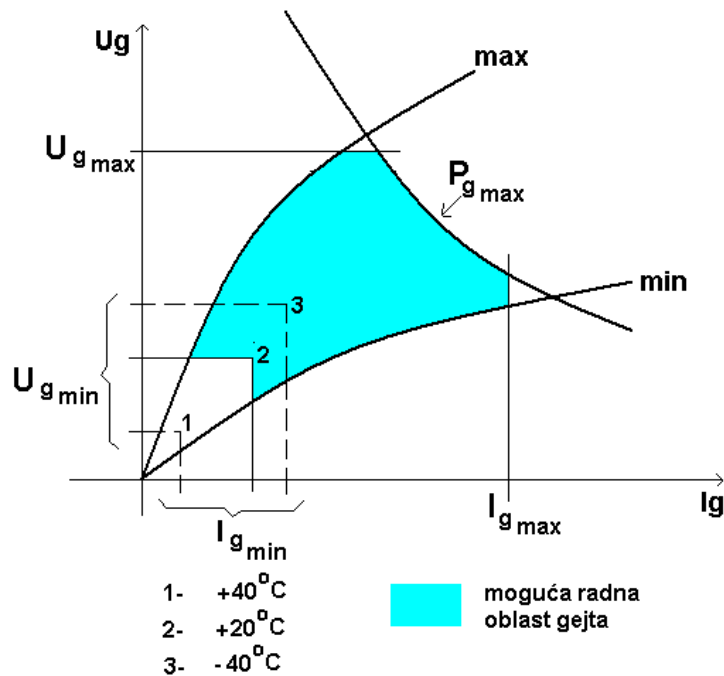
Granične krive kola gejta tiristora

- Za isti tip tiristora su moguća znatna odstupanja, pa se u karakteristikama proizvođača daju *granične krive*.
- Između graničnih krivih se sigurno nalazi volt- amperska karakteristika gejta.
- Na slici su prikazane granične karakteristike *min* i *max* unutar kojih se praktično svi tiristori određenog tipa uključuju.
- Propusne karakteristike se nalaze između graničnih krivih.
- Pored ovih ograničenja postoje i ograničenja po temperaturi i hiperboli graničnih gubitaka.
- Stvarni okidni impuls mora biti unutar opsega određenog ovim ograničenjima.
- Ograničenje snage disipacije geita (hiperbola snage) ustvari znači, da se ne sme uzeti ni previše jak impuls koji bi mogao da razori spoj gejta.
- Moguća radna oblast gejta je prikazana na slici



Stvarni okidni impuls mora biti u ovoj oblasti!!!!

KARAKTERISTIČNE VELIČINE KOLA GEJTA



Na karakteristici gejta se uočavaju karakteristične veličine:

$U_{g_{max}}$ -maksimalni dozvoljeni napon gejta

$I_{g_{max}}$ - maksimalno dozvoljen struja gejta

$U_{g_{min}}$ - minimalni napon gejta pri kome se tiristor sigurno prevodi u provodno stanje

$I_{g_{min}}$ - minimalna struja gejta pri kojoj se tiristor prevodi u provodno stanje

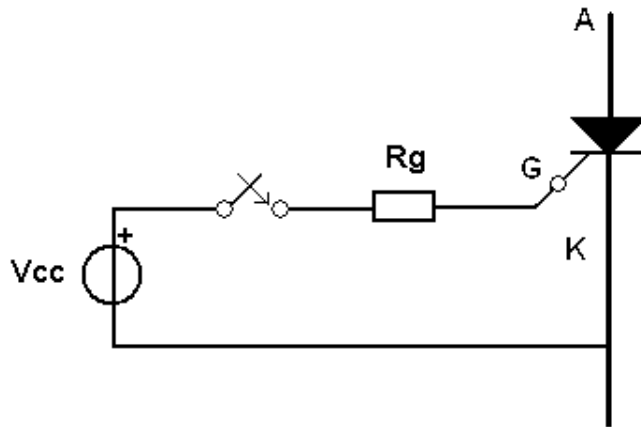
$P_{g_{MAX}}$ -maksimalna dozvoljena disipacija gejta

Vrednosti $U_{g_{min}}$ i $I_{g_{min}}$ su jako temperaturno zavisne- što je tiristor hladniji, to je potreban jači impuls struje u gejt da ga prevede u stanje vođenja i obrnuto.

JEDNOSTAVNA POBUDA GEJTA

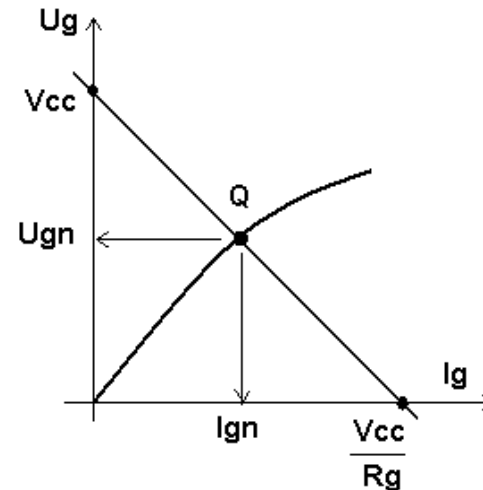
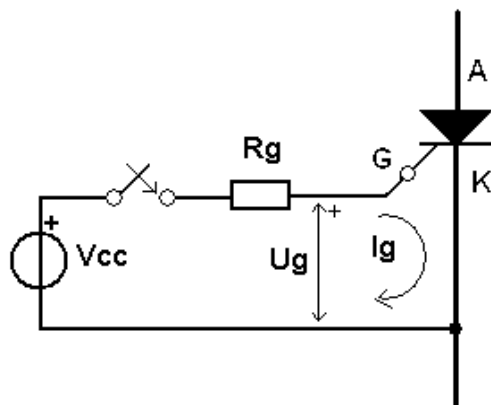
Jedno JEDNOSTAVNO kolo za generisanje struje gejta je dato na slici.

Zatvaranjem prekidača se generiše impuls struje gejta. U kolu gejta se nalazi električni otpor R_g koji se podešava radna struja gejta. Ovo električno kolo je nelinearno i za njegovo rešavanje se koristi koncept radne prave.



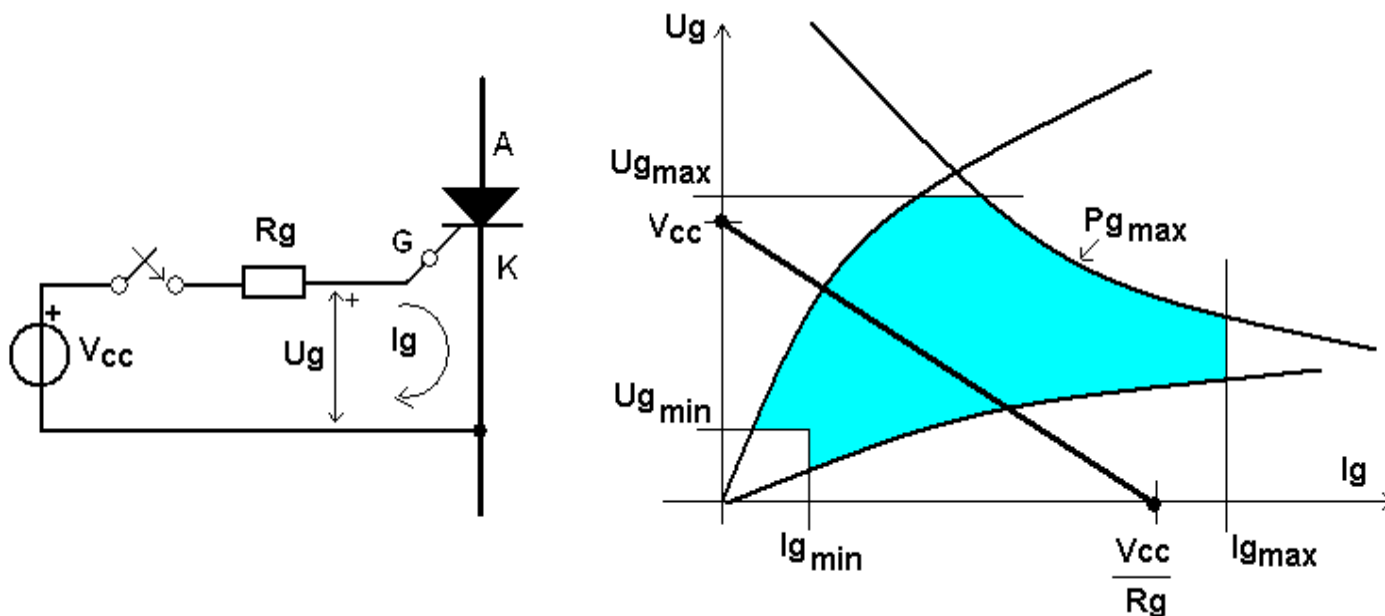
*Prekidačko kolo
pobude gejta*

$$I_g = \frac{V_{CC} - V_g}{R_g}$$



POLOŽAJ RADNE PRAVE U KOLU GEJTA

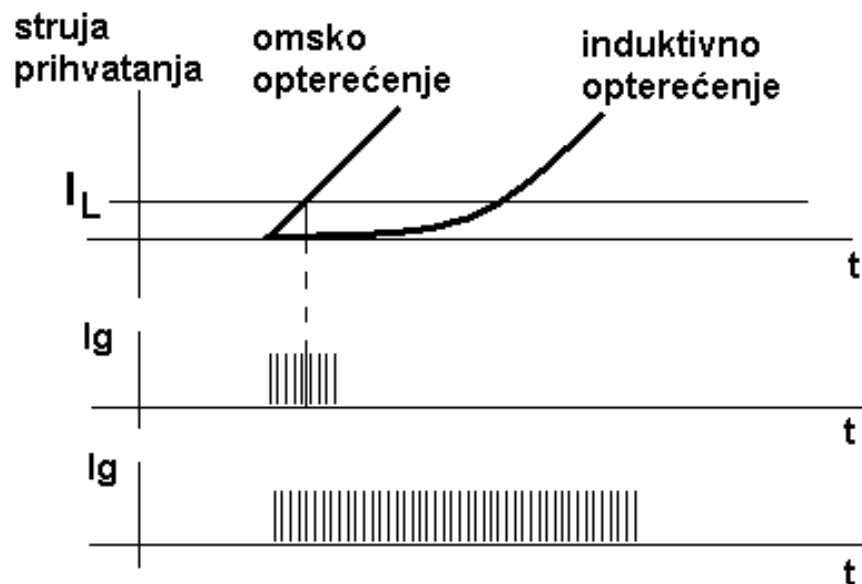
Napon napajanja V_{CC} i R_g biramo tako da radna prava prolazi kroz dozvoljenu radnu oblast karakteristike gejta. Tipično napon V_{CC} je u opsegu 15V...24V. Položaj radne prave u odnosu na moguću radnu oblast gejta je dat na slici



Radna prava u mogućoj radnoj oblasti gejta

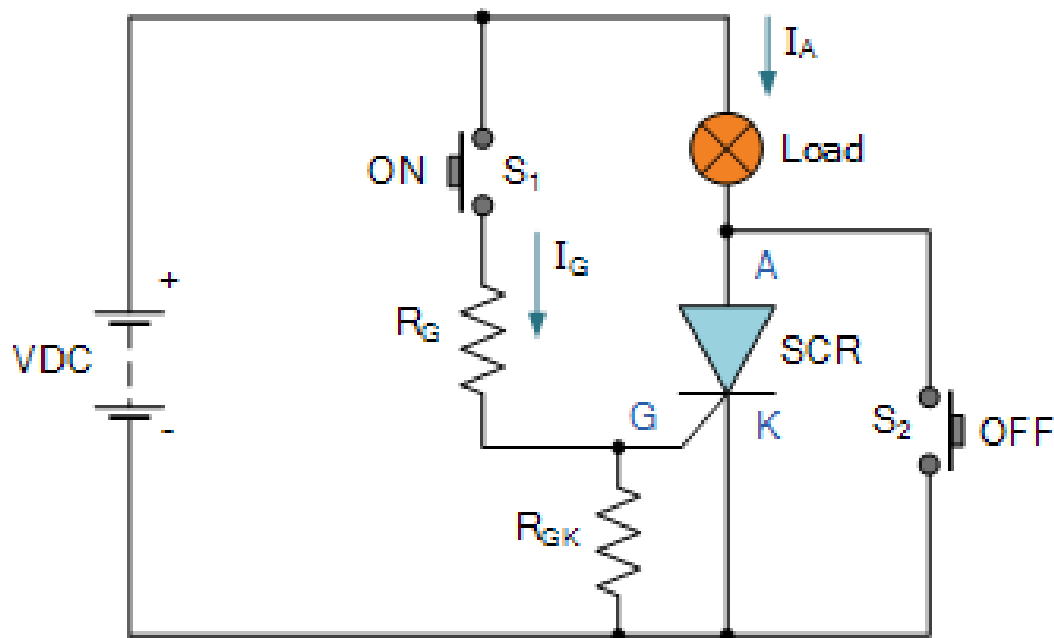
Potrebno vreme trajanja upravljačkog impulsa kod različitih strmina struje opterećenja

- Struja gejta, obično je reda 50 mA za male tiristore, dok je za velike tiristore 300-400mA.
- Trajanje impulsa treba da bude nekoliko desetima mikrosekundi. Kod uključenja omskog opterećenja trajanje impulsa na gejtju je znatno kraće nego u slučaju induktivnog opterećenja.
- U slučaju induktivnog tereta (struja se sporo uspostavlja), impuls treba da traje sve dok struja opterećenja ne premaši vrednost struje prihvatanja I_L



UPRAVLJAČKA KOLA ZA TIRISTORE

- Upravljačka kola (pobudna kola) koja se popularno nazivaju i DRAJVERI (od engl. reči “driver”)
- Ponekada se nazivaju i UPALJAČI
- FIRING (paljenje)
- FIRING CIRCUIT
- Test kola (za testiranje ispravnosti tiristora)
- Pobudna kola bez galvanske izolacije
- Pobudna kola sa galvanskom izolacijom
- Pobudna kola sa optičkom izolacijom (za ekstremno visoke napone)
- Galvanska izolacija?



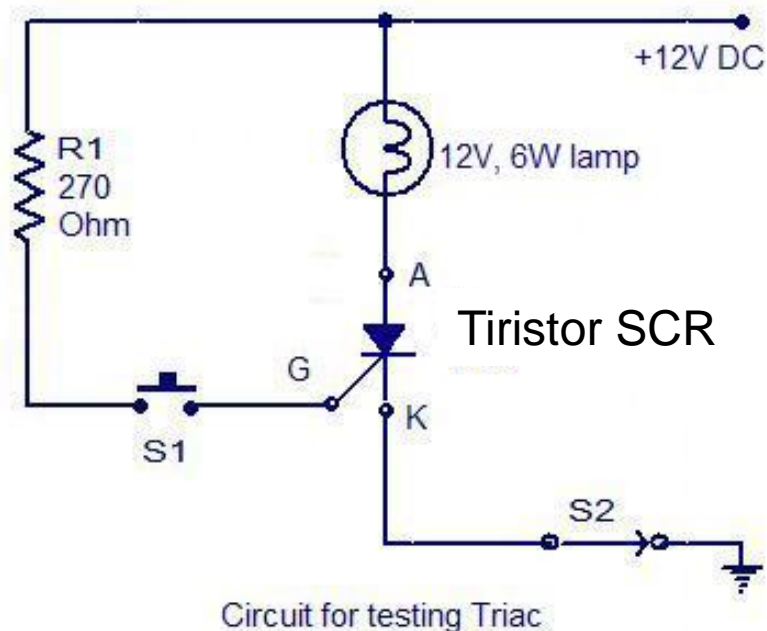
TEST KOLA

S1 i S2 su tasteri

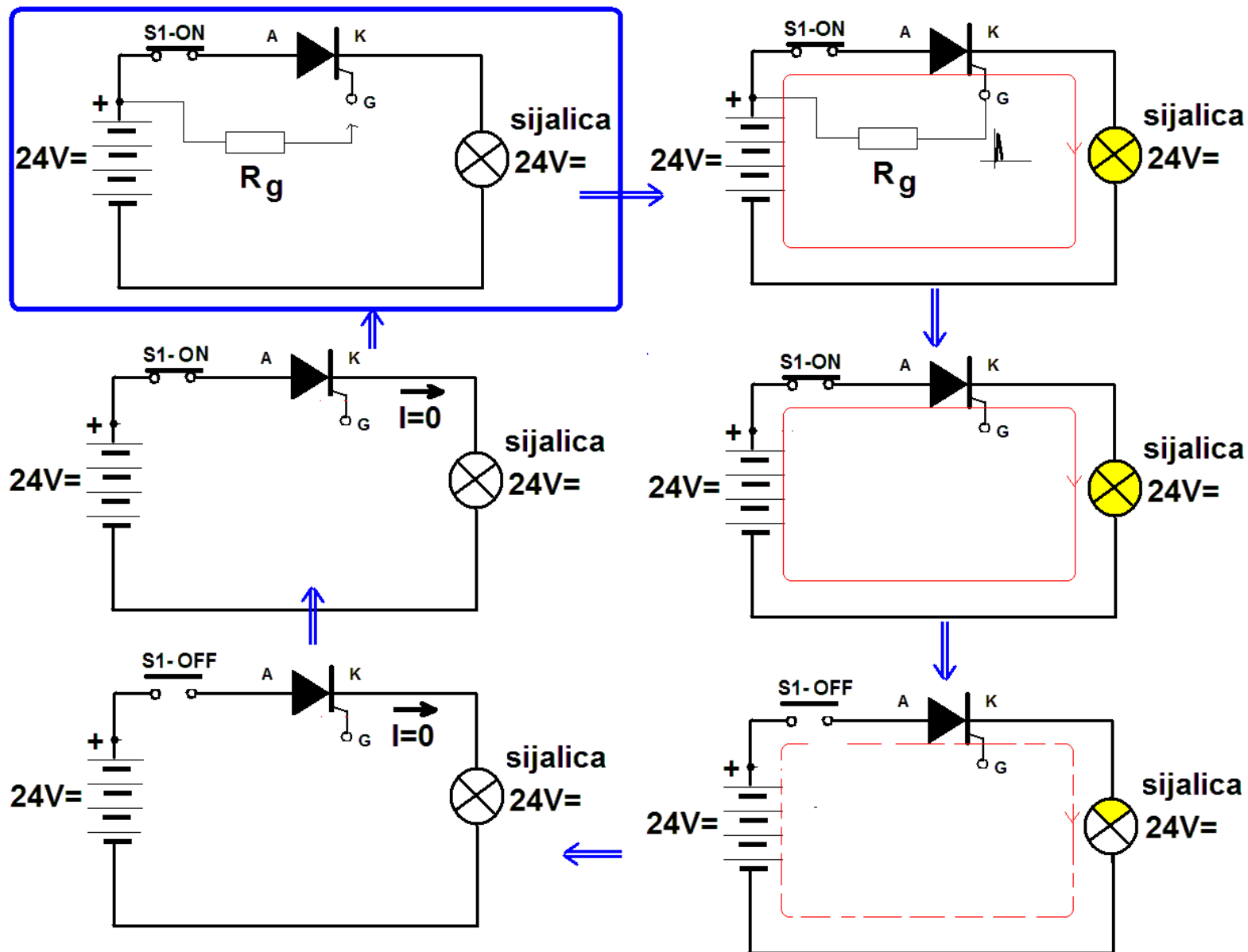
Pritiskom na S1 kratkotrajno
i otpuštanjem dovodimo
SCR u stanje vođenja
SIJALICA SVETLI!!!

**KOLIKO DUGO?
ŠTA SE DEŠAVA
KRATKOTRAJNIM PRITISKOM
NA S2?**

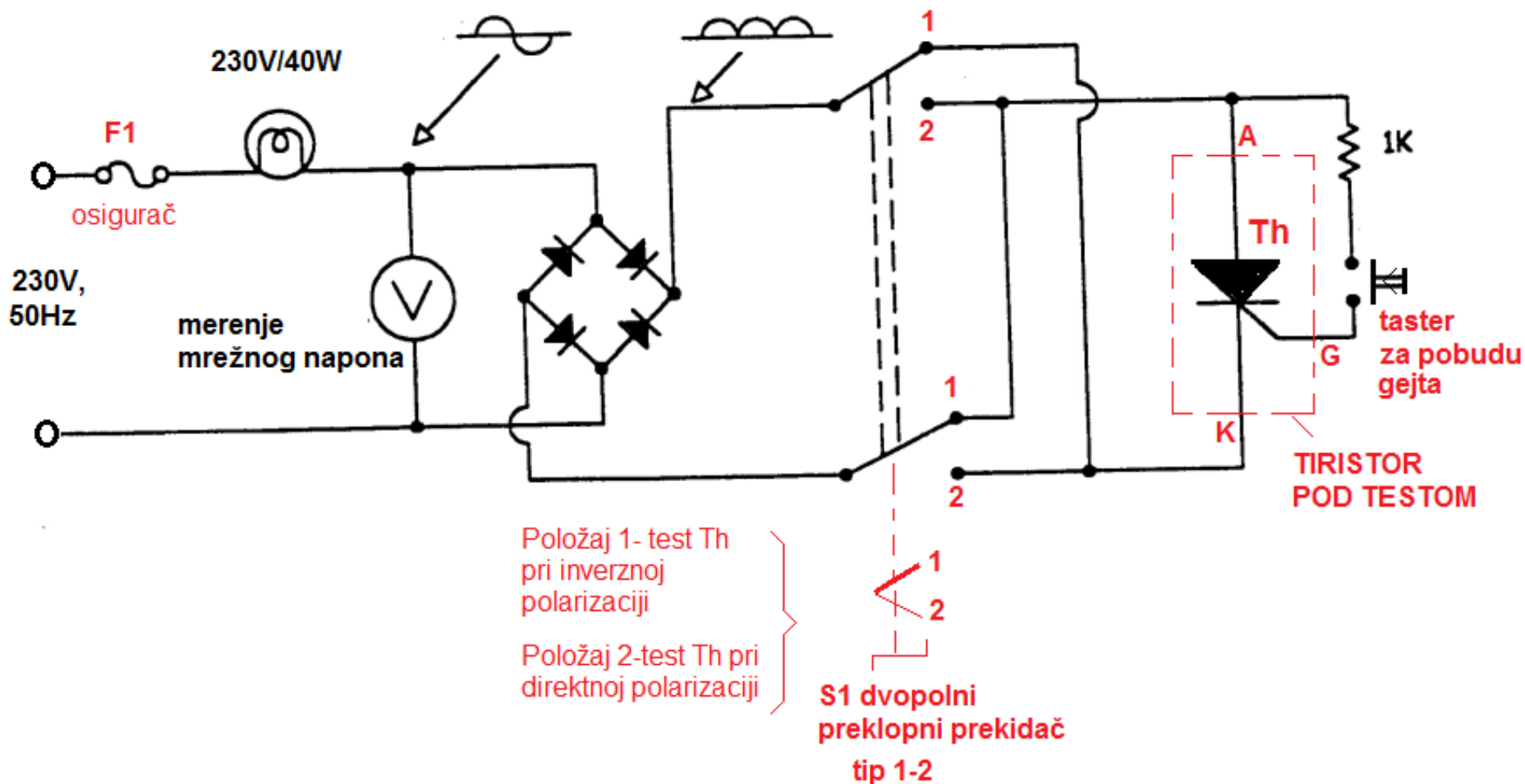
U ovom slučaju se T1 uključuje
kratkotrajnim pritiskom na S1.
Tada će sijalica da svetli!!!
I to dovoljno dugo ako se ništa ne
promeni u kolu. Tiristor se neće
nikada isključiti, osim ako ne
ostvarimo isključenje S2, kada
sijalica prestaje da svetli!!!



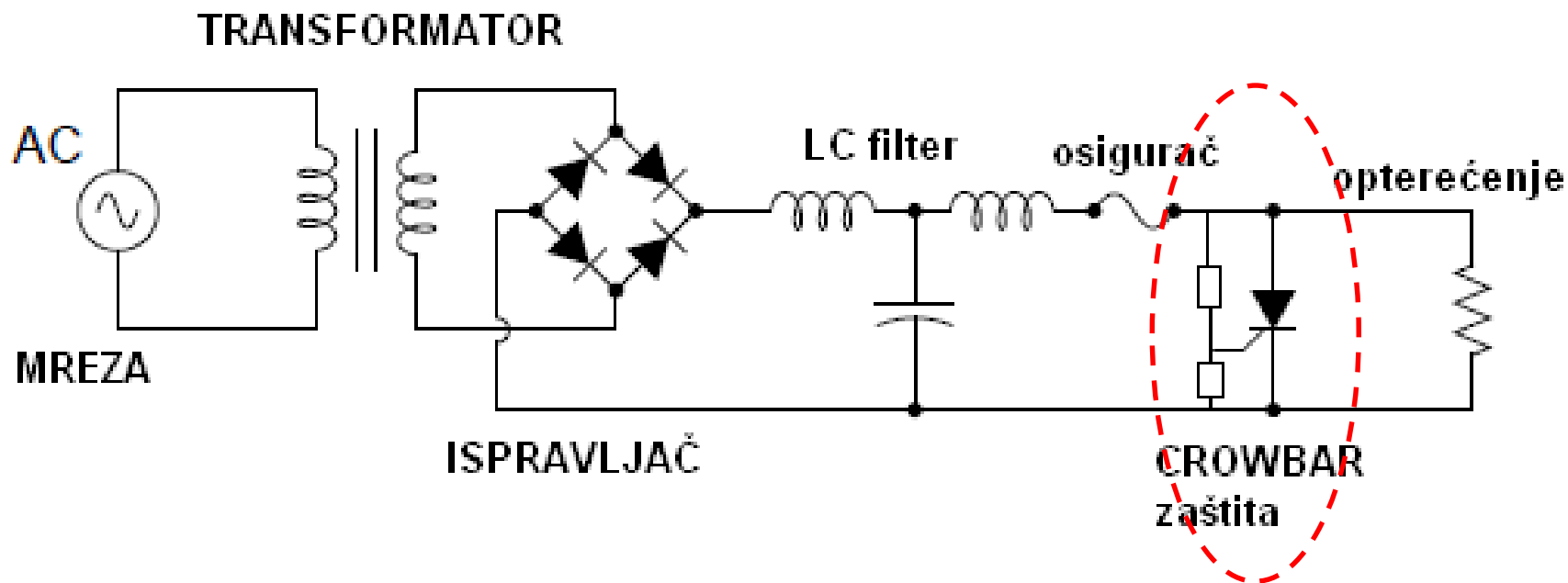
TEST TIRISTORA NA JEDNOSMERNOM BATERIJSKOM NAPONU



TEST TIRISTORA NA JEDNOSMERNOM PULSIRAJUĆEM NAPONU DOBIJENOM ISPRAVLJANJEM MREŽNOG NAPONA

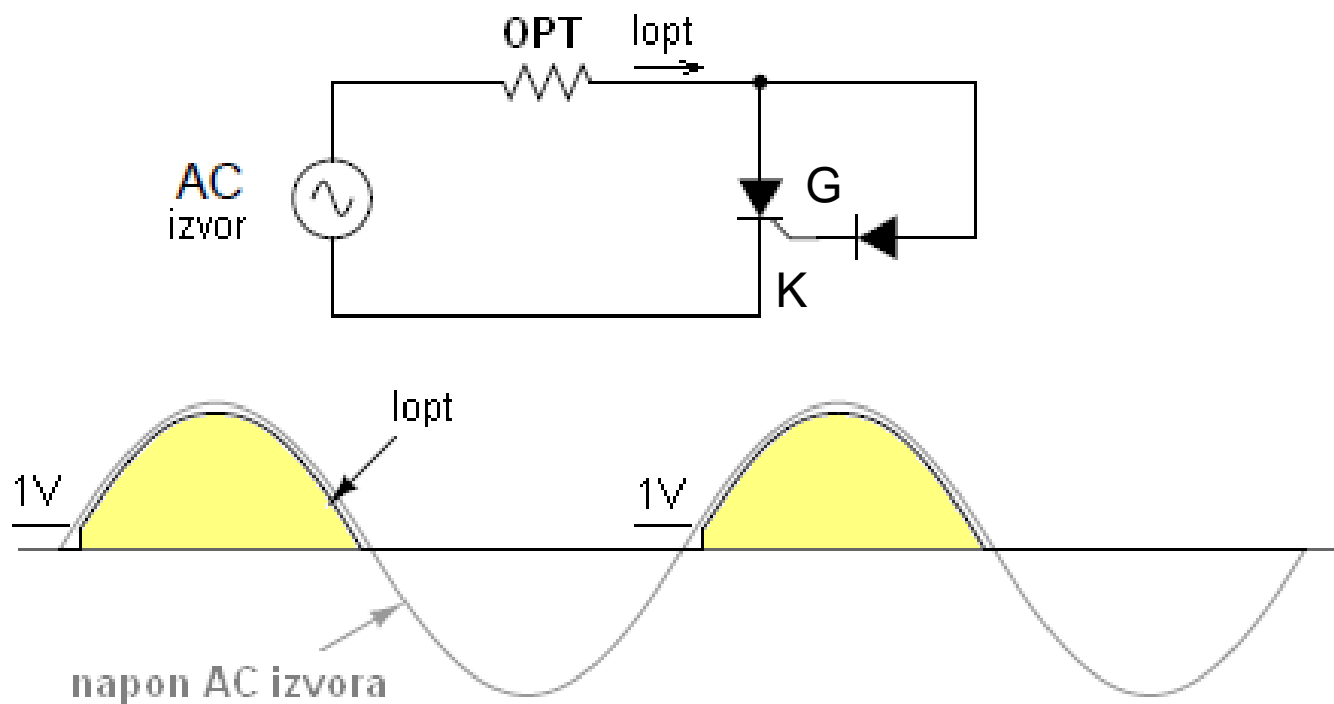


CROWBAR TIRISTORSKA PRENAPONSKA ZAŠTITA



Jedna od praktičnih primena tiristora u DC kolima je tzv. *crowbar* element za prenaponsku zaštitu. "**CROWBAR**" **kolo** se sastoji od tiristora paralelno postavljenog izlaznim krajevima DC izvora napajanja. Tiristor kratko spaja izlaz napajanja kada dođe do prenapona na opterećenju, tako da na taj način dovodi do pregorevanja osigurača koji je izložen tom kratkom spoju. Na ovaj način je sprečeno uništenje i tiristora i izvora.

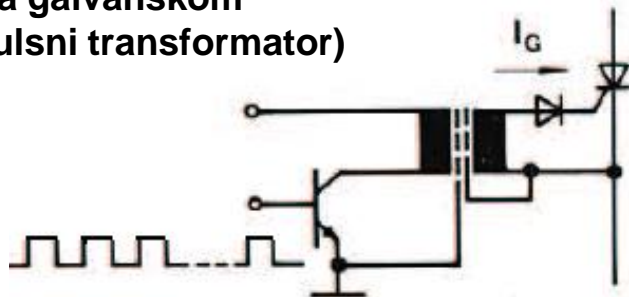
JEDNOSTAVNO POBUDNO KOLO BEZ GALVANSKE IZOLACIJE I SA JEDNOM DIODOM U KOLU GEJTA



Kada prag napona u tački A postane veći od 1-1.5V tada provde dioda i preko nje se uključi tiristor.

Zašto 1-1.5V?

Pobudna kola sa galvanskom izolacijom (impulsni transformator)

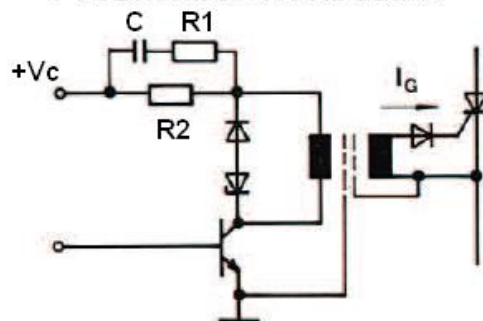


TALASNI OBLIK STRUJE GEJTA



Kratkotrajni impulsi
sekvenca- "cesalj" impulsa

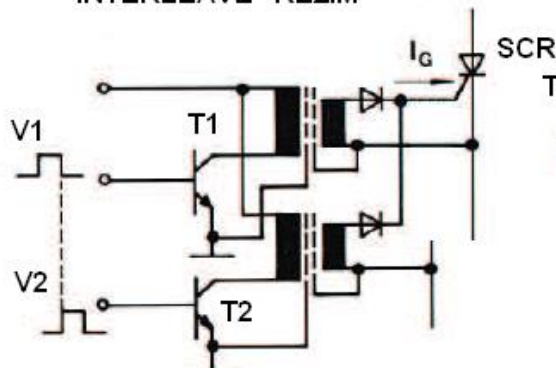
DUGOTRAJNI IMPULSI SA VEOMA VISOKOM POČETNOM STRUJOM GEJTA



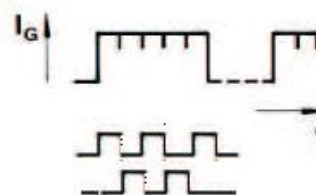
TALASNI OBLIK STRUJE GEJTA



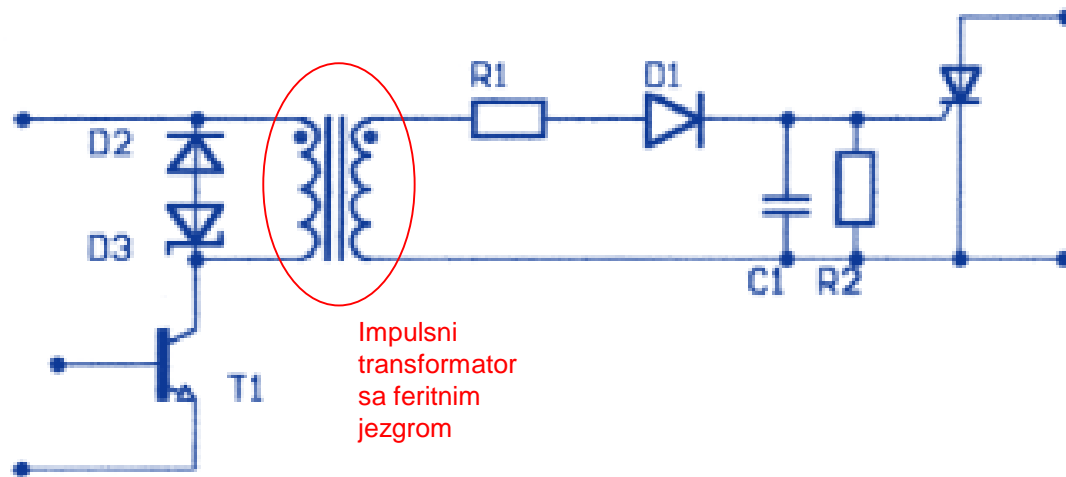
DUGOTRAJNI IMPULSI "INTERLEAVE" REŽIM



TALASNI OBLIK STRUJE GEJTA

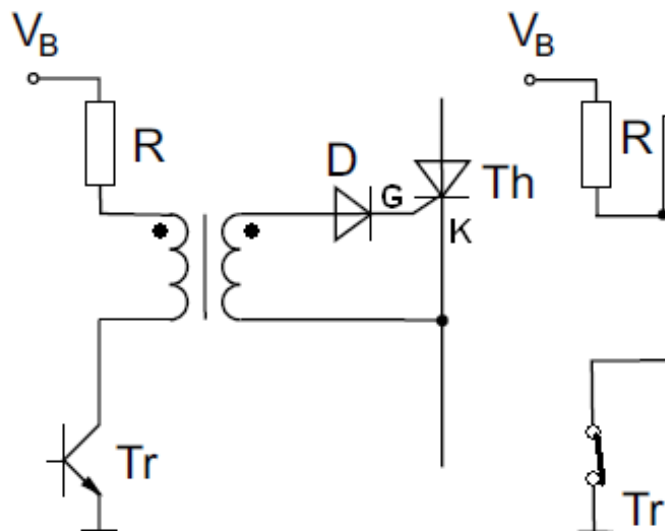


Pobudno kolo za tiristor (SCR) sa galvanskom izolacijom

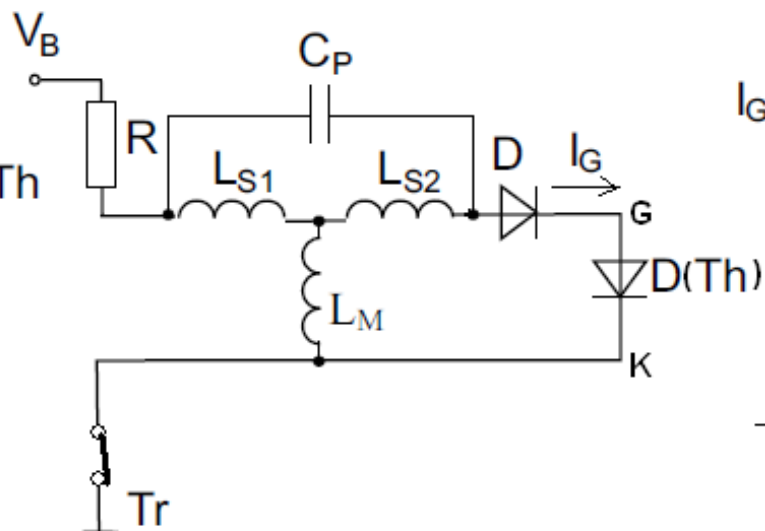


- Tranzistor T1 ima prekidačku ulogu
- Diode D2 i D3 (Zener dioda) obezbeđuju brzi oporavak (demagnetizaciju) transformatorskog feritnog jezgra
- R2 i C1 poboljšavaju otpornost pobudnog kola gejta na šum i sprečavaju neželjeno okidanje tiristora
- Otpornost R1 ograničava struju gejta
- Dioda D1 onemogućava struju u gejt, tokom demagnetizacije

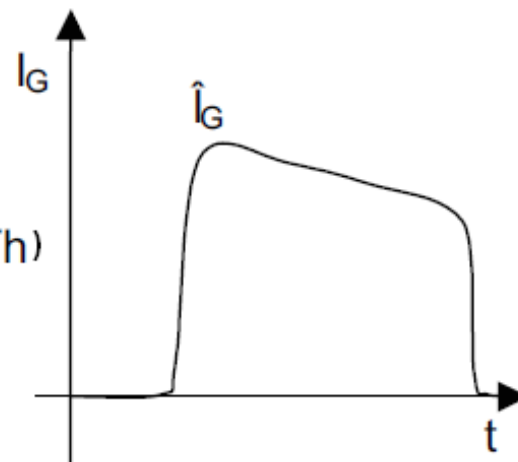
POBUDNO KOLO SA GALVANSKOM IZOLACIJOM SA IMPULSNIM TRANSFORMATOROM



pobudno kolo

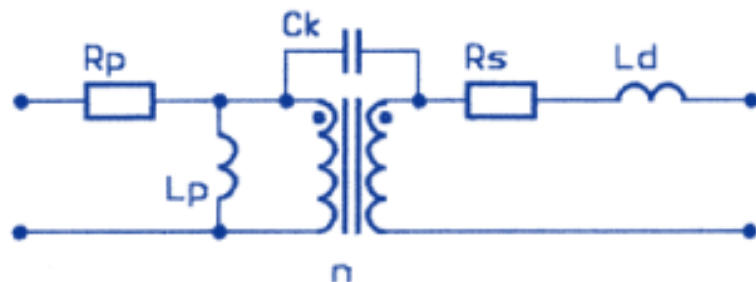


ekvivalentna šema

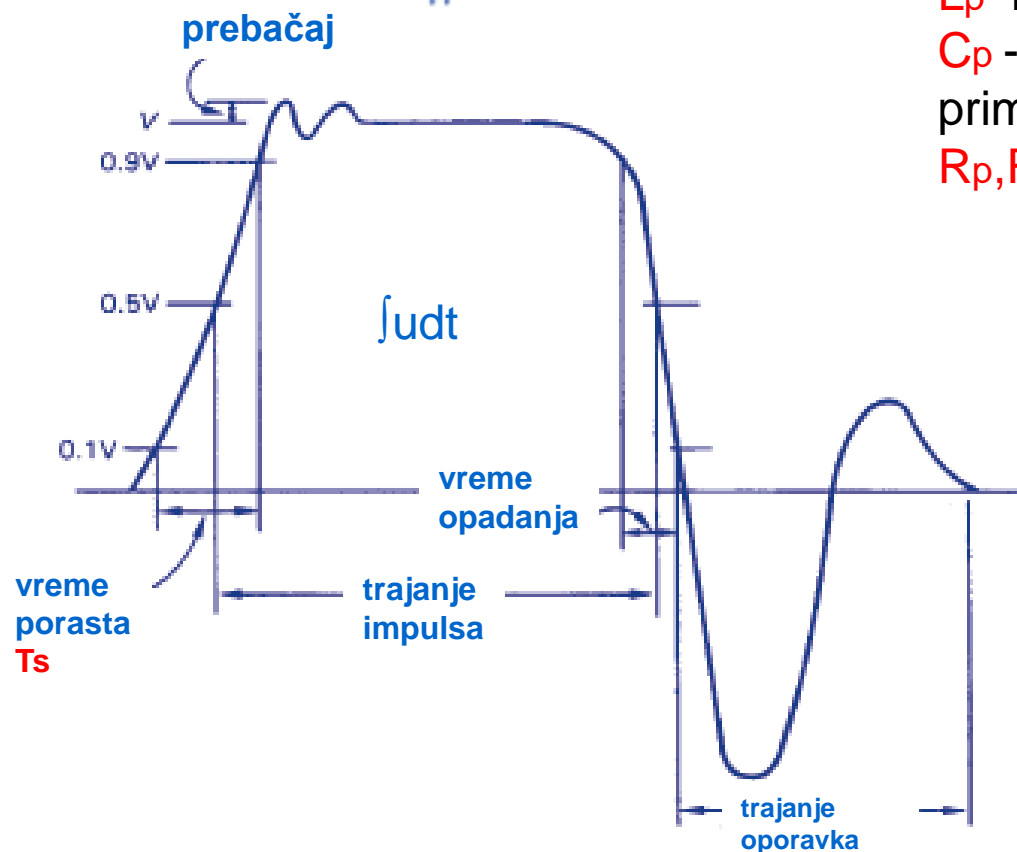


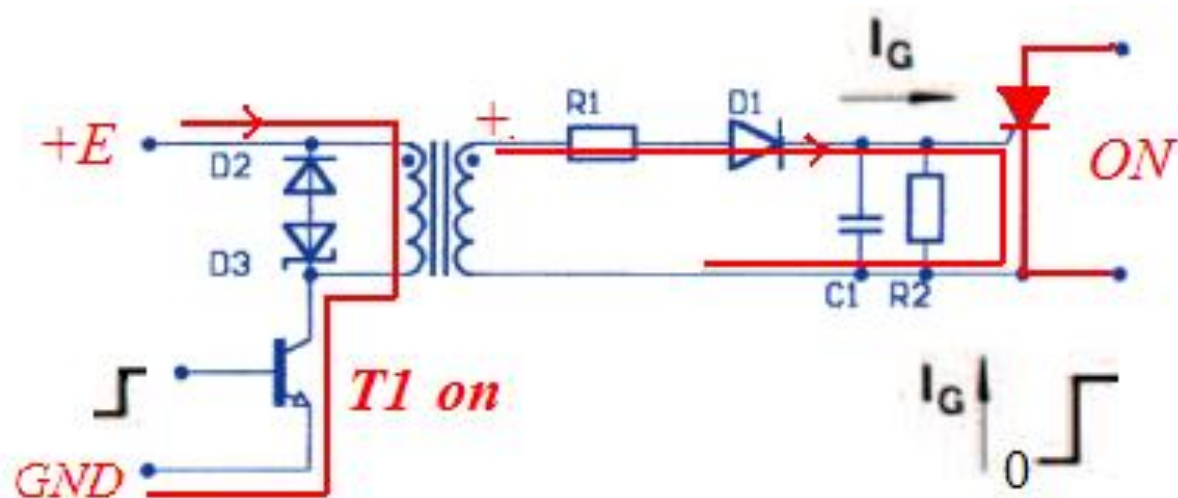
karakteristični
pobudni signal

MODEL IMPULSNOG TRANSFORMATORA

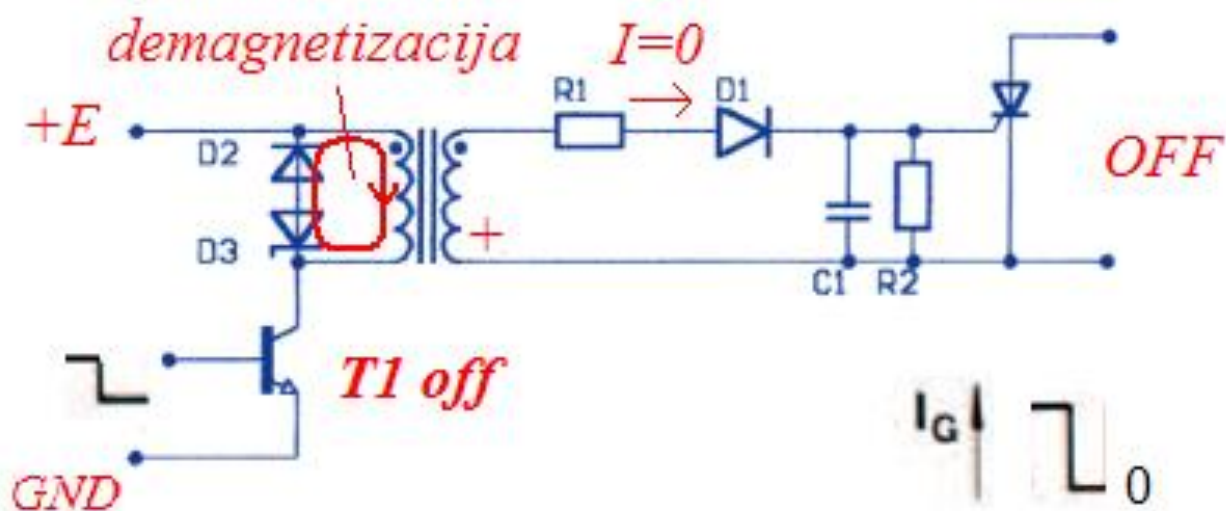


- n - prenosni odnos transformatora
- $\int u dt$ - fluks u jezgru tj. dozvoljeni $V\mu s$
- T_s - vreme porasta
- I_p - vršna vrednost pobudne struje
- L_p - induktivnost primara
- C_p - sprežna kapacitivnost između primara i sekundara
- R_p, R_s - otpornosti primara i sekundara



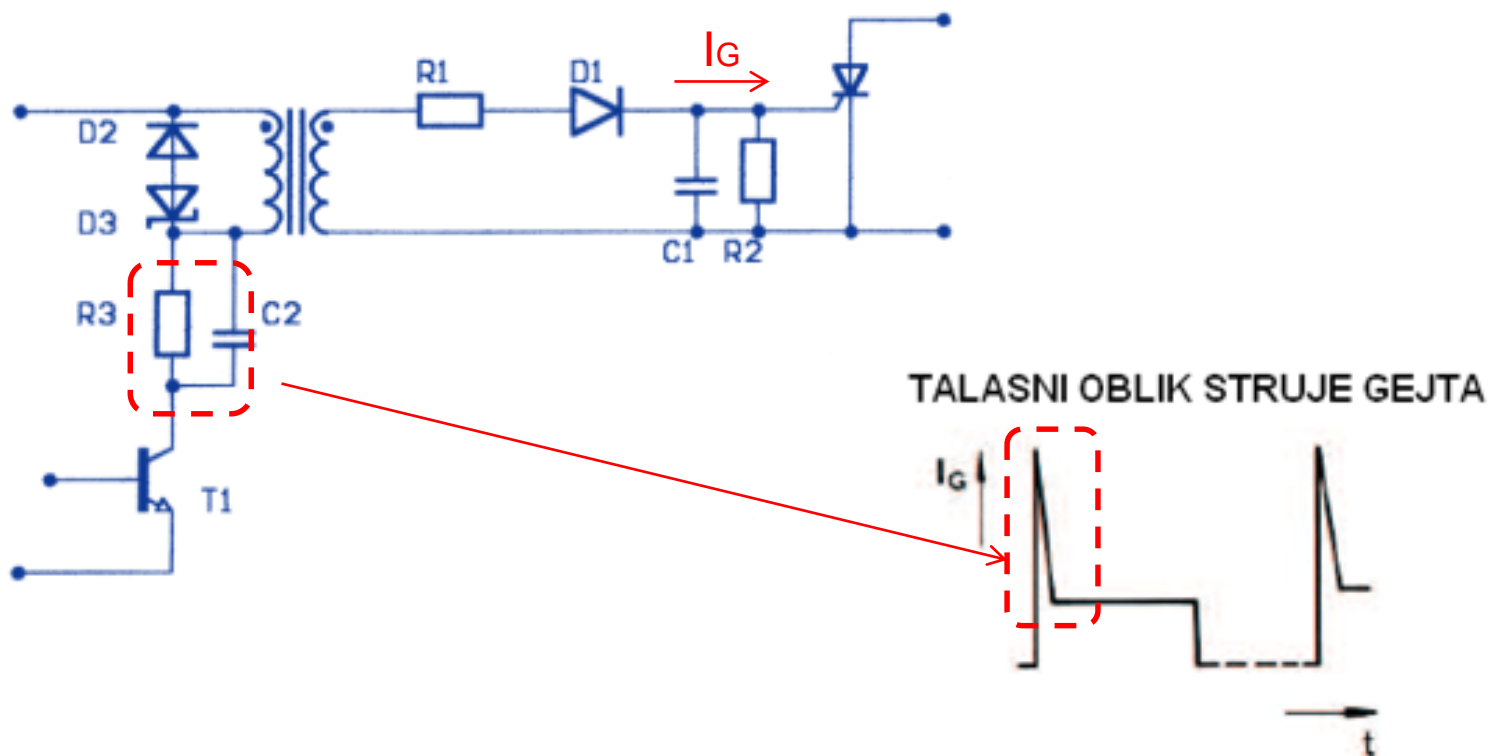


Pobudno kolo
pri uključenju tiristora



Pobudno kolo
pri isključenju tiristora

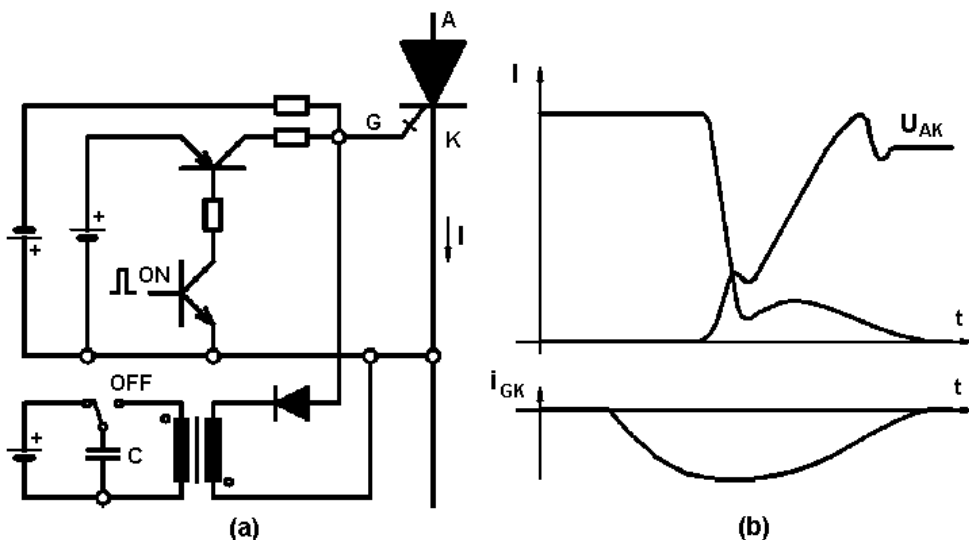
KAKO DOBITI OŠTRIJ E POBUDNE IMPULSE STRUJE !!!!



Preko R3 - C2 kola se dobija snažni pobudni impuls: visoki okidni pik koji obezbeđuje optimalno uključenje tiristora.

Ovaj pik je dobijen opadanjem pobudne struje i ovim je obezbeđene niska disipacija snage u pobudnom kolu.

UPRAVLJAČKO KOLO za GTO



*GTO prekidač; (a)-upravljačko kolo,
(b)-karakteristični talasni oblici pri isključenju*

Na slici (a) je prikazano je upravljačko kolo za GTO. Preporučuje se da na gejt u isključenom stanju postoji stalni negativni napon. Time se povećava imunitet prema nekontrolisanom uključenju zbog naglih promena napona, smetnji iz mreže i slično. U uključenom stanju ovaj napon nema dovoljnu snagu da isključi tiristor. Isključenje se postiže pražnjenjem kondenzatora preko primara transformatora. Prenosnim odnosom transformatora obezbeđuje se dovoljna jačina struje gejta za gašenje tiristora.

Na slici (b) su prikazani su tipični oblici napona , anodne struje i struje gejta , pri isključenju. Kao potpuno upravljiv prekidački element, GTO nalazi primenu kod čopera velikih snaga, invertora, itd. Sa daljim razvojem tehnologije i poboljšanjem karakteristika GTO će nalaziti sve širu primenu kod pretvarača najvećih snaga.

HVALA NA PAŽNJI!!!

PITANJA???

Novembar 2022

