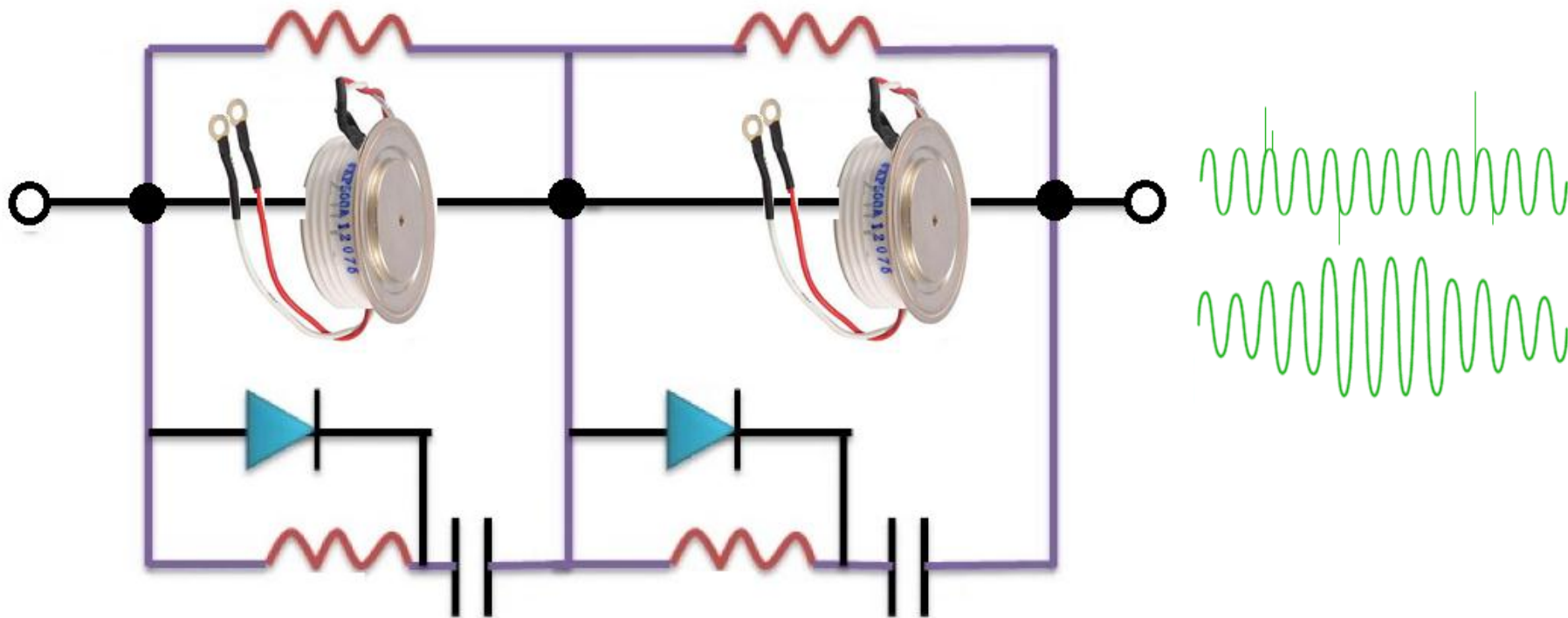




# PRENAPONSKA ZAŠTITA TIRISTORA i DIODA

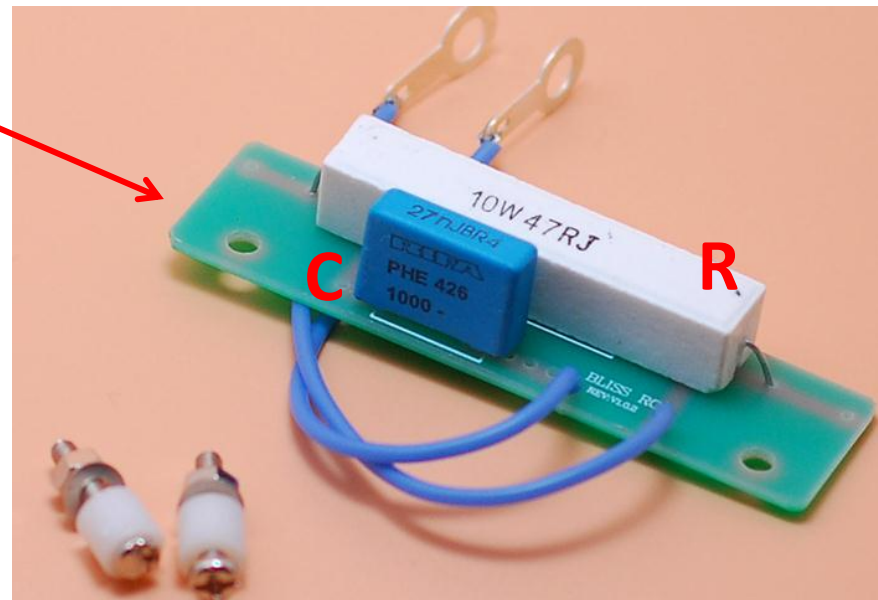
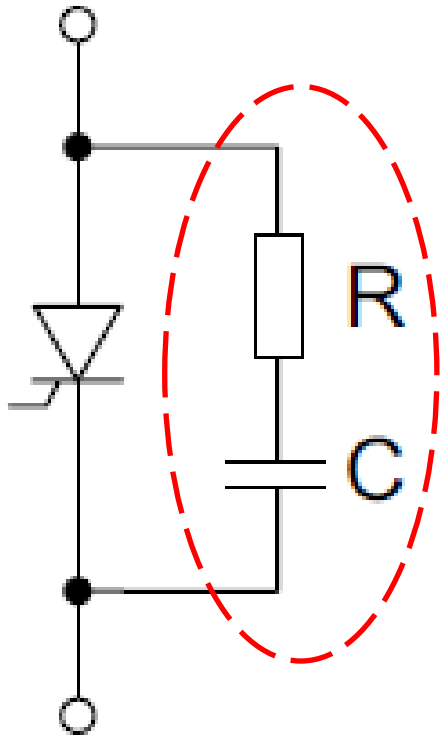


# UVOD

- Poluprovodničke komponente su osetljive na prenapone
- Ako su naponi koji su dati u katalogima za datu komponentu, premašeni, komponenta može biti uništena.
- Iz ovih razloga, komponente moraju biti zaštićene od bilo kakvih prenapona koji se mogu pojaviti u bilo kojem od strujnih kola u kojim su oni vezani
- Napon mora biti smanjen na nivo koji je ispod maksimalnog nazivnog za određenu komponentu.
- Otpornici i kondenzatori (RC elementi), kao i određene poluprovodničke komponente poput varistora i Si- lavinskih dioda su se pokazali pouzdanim kao zaštita od prenapona. Ovi sklopovi se popularno nazivaju SNABERI (engl. *snubbers*)
- Korišćenje RC mreža u kolima tiristorskih prekidača uslovljava da se tokom isključenja induktivnosti formira redno RLC kolo, pri čemu strmo povećavanje napona na prekidaču uslovljava pojavu prigušenih oscilacija.
- Kao rezultat toga, energija prenapona se smanjuje na niskom nivou tokom dužeg vremenskog intervala, a ne u kratkom vremenskom intervalu i pri velikoj snazi.
- Komponente zaštite od prenapona mogu se integrisati na AC strani sklopa prekidača, na strani DC ili paralelno sa pojedinačnim prekidačima

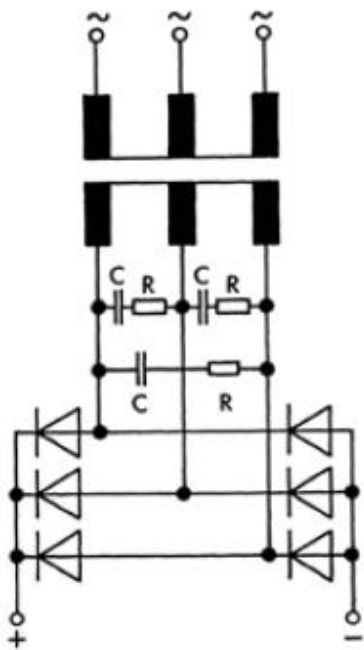
# SNABERI U KOLIMA SA JEDNIM PREKIDAČEM

- Najčešći način zaštite poluprovodničkih elemenata od prenapona je redna veza otpornika R i kondenzatora C koji su kao takvi vezani u paraleli sa pojedinačnim prekidačem
- Ovim se osigurava da je komponenta uvek zaštićena, bez obzira gde dolazi do prenapona.
- Ipak ova metoda nije uvek idealna i u određenim slučajevima neće biti dovoljna.

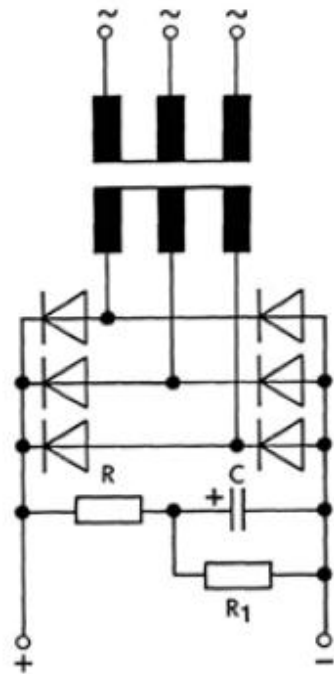


## SNABERI U NEKONTROLISANIM ISPRAVLJAČKIM KOLIMA

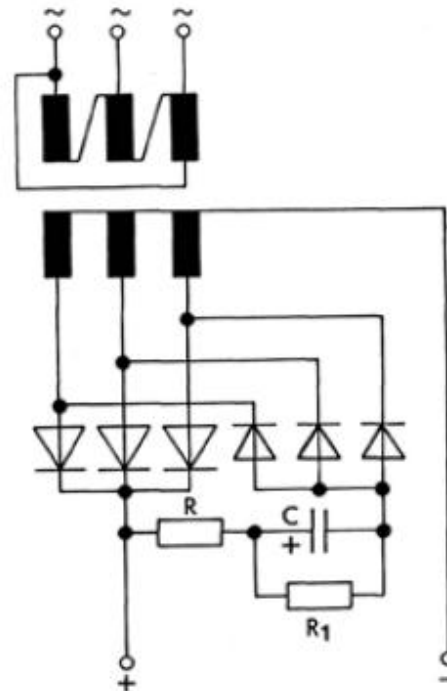
- U nekontrolisanim diodnim ispravljačkim kolima, snaber za jedan prekidač obično nije ekonomičan.
- Umesto toga, projektuje se zaštitno kolo na AC strani, kao što pokazuje slika (a) ili ako je potrebno, dodatni strujno kolo na DC strani (b), a to automatski znači da je potrebno manje komponenti.
- U nekontrolisanim (diodnim) mosnim kolima obično je dovoljno projektovati *snubber* na DC strani, budući da su dva elementa u stanju stalnog vođena i povezuju AC stranu sa DC stranom.
- U jednosmernim kolima (kolima sa srednjom tačkom) često ima smisla koristiti drugo slično kolo sa pomoćnim diodama male snage. Zajedno sa glavnim tiristorima, ovo rezultuje sa mostom gde se komponente snabera mogu postaviti na DC strani, kao što pokazuje slika (c).



(a)



(b)

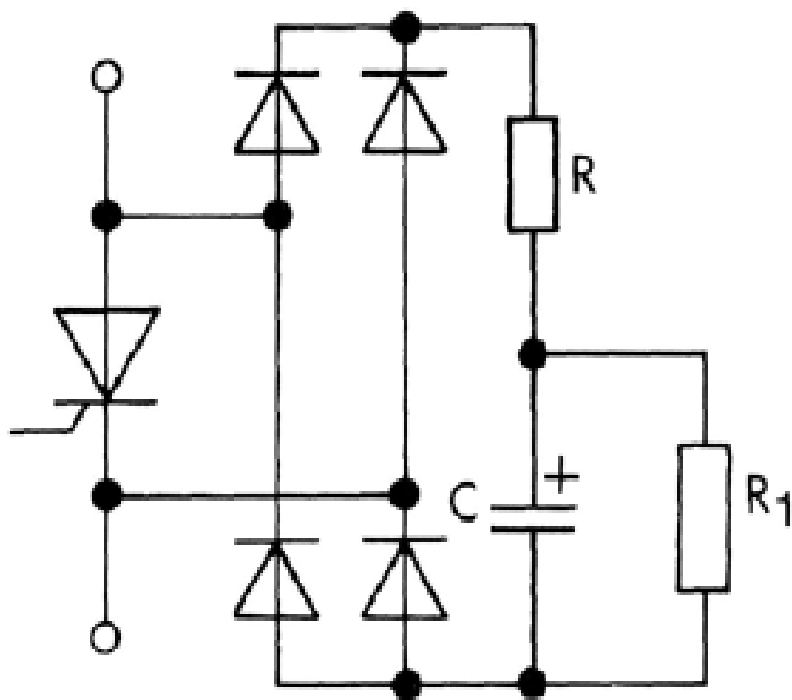


(c)

# SNABERI U KONTROLISANIM ISPRAVLJAČKIM KOLIMA

- Dok su u nekontrolisanim diodnim ispravljačkim kolima , jednostruki snaberi na prekidačkim elementima izuzetak, u kontrolisanim tiristorskim kolima se oni veoma često koriste.
- To je posledica činjenice da tiristori moraju biti zaštićeni ne samo od prekomernih naponskih udara, nego što je još važnije, i od strmog porasta napona ( $dV/dt$ ).
- Veoma strmo povećanje napona može izazvati uništenje tiristora
- Takođe tiristorski snaber takođe može biti potreban kako bi se olakšalo isključenje tiristora u slučaju pretežno induktivnih opterećenja i diskontinualnih struja. Ovo se može postići i sa DC snaberima
- Korišćenje jednostrukih tiristorskih snabera je, međutim, ograničena jer kondenzatori prazne kroz prekidače i pripadajuća kola, tokom uključanja i stoga prouzrokuju neželjeni stres koji je posledica porasta struje ( $di/dt$  stres).
- U tiristorskim sklopovima sa relativno niskim strujama i visokim naponima, gde su relativno mali kapaciteti i visoki -omski otpori dovoljni, ovaj  $di/dt$  stres je još uvek relativno nizak. Ovo znači da je u za ovaj slučaj samo jedan snaber za pripadajući prekidač često dovoljan. Ovo kolo treba biti dimenzionisan kao snaber na AC strani (AC side snubber).
- U tiristorskim sklopovima namenjenim za veće , kapaciteti potrebni za osiguranje zaštite od prenapona su toliko visoki, a „optimalne“ otpornosti toliko niske, tako da će primena ovih snabera rezultovati visokom  $di/dt$  prouzrokovanim pražnjenjem kondenzatora tokom uključanja.
- Stoga, dodatna zaštita ne može biti osigurana samim RC članovima prekidača. U ovom slučaju, rešenje je korišćenje snabera na AC strani ( a ponekad je potrebno ovo ostvariti sa dodatnim kolima na DC strani).

## JEDNOSTRUKI TIRISTORSKI SNABER baziran na diodnoj mreži i RC članu

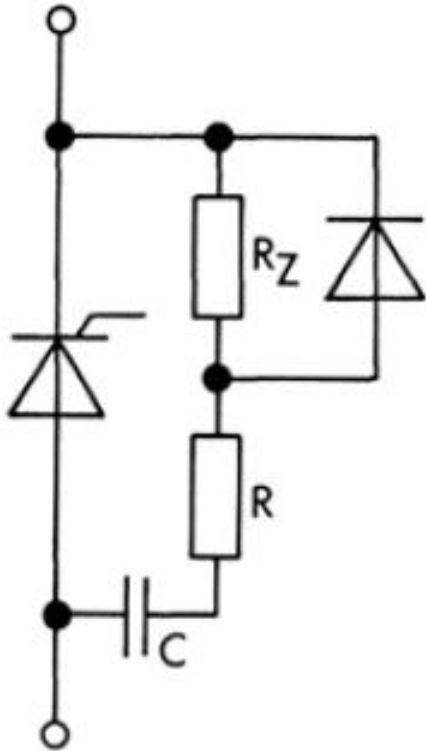


*Jednostruki tiristorski snaber baziran na diodnoj mreži i RC članu*

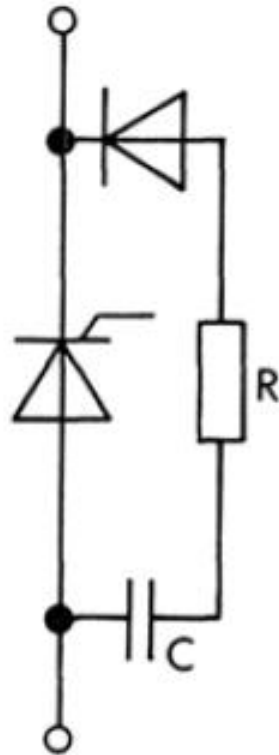
Otpornik  $R_1$  služi za pražnjenje  $C$ .

- Za sklopove relativno velike snage, naročito za paralelna tiristorska kola, povezivanje RC snaberskog kola preko pomoćnog diodnog mosta, može dati pozitivan efekat
- Dodatni troškovi ovih pomoćnih mostova kompenzovani su donekle korišćenjem manje skupog elektrolitskog kondenzatora i prigušnog otpornika male snage
- Ovde treba imati u vidu da kada se koristi pomoćni most, struja pražnjenja kondenzatora neće proticati kroz tiristor, prilikom njegovog uključnje
- Ovo automatski znači da je efekat  $di/dt$  koji je posledica snabera, eliminisan
- Preporučene vrednosti a otpornosti i kapacitivnosti za ove snabere su obično dati u katalogzima ili se mogu proračunati uz date smernice.

## JEDNOSTRUKI TIRISTORSKI SNABER baziran na diodi i RC članu



(a)

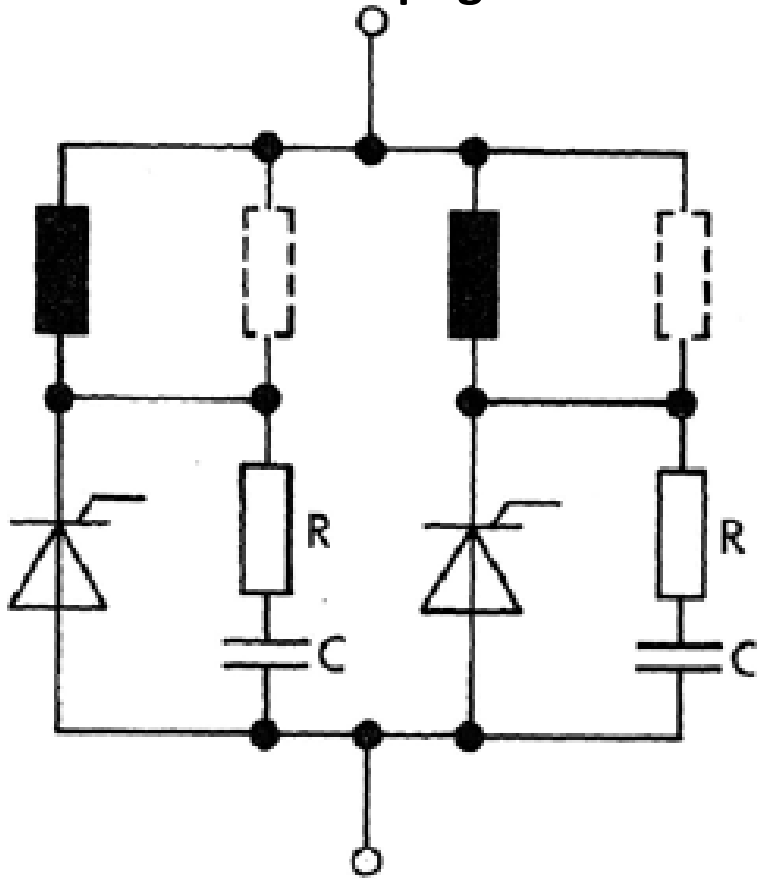


(b)

- Pomoću kola prikazanog na slici (a), brzina porasta direktnog napona blokiranja može se smanjiti pomoću komponenta R i C, dok se za pražnjenje kondenzatora C za vreme uključenja tiristora koristi dodatni otpora  $R_z$  koji ograničava trenutni porast struje koji je manji od dozvoljenog.
- U inverznom smeru (porast inverznog napona)  $R_z$  je takođe delotvoran, međutim to znači da za ovaj slučaj redukcija naponskog pika nije idealna
- U samo-komutujućim ispravljačima, prigušenje prenapona se ne zahteva u inverznom smeru
- Iz ovog razloga se može koristiti kolo na slici (b)

*Jednostruki tiristorski snaber baziran  
na RC članu i diodi*

## JEDNOSTRUKI TIRISTORSKI SNABER baziran na rednim prigušnicama



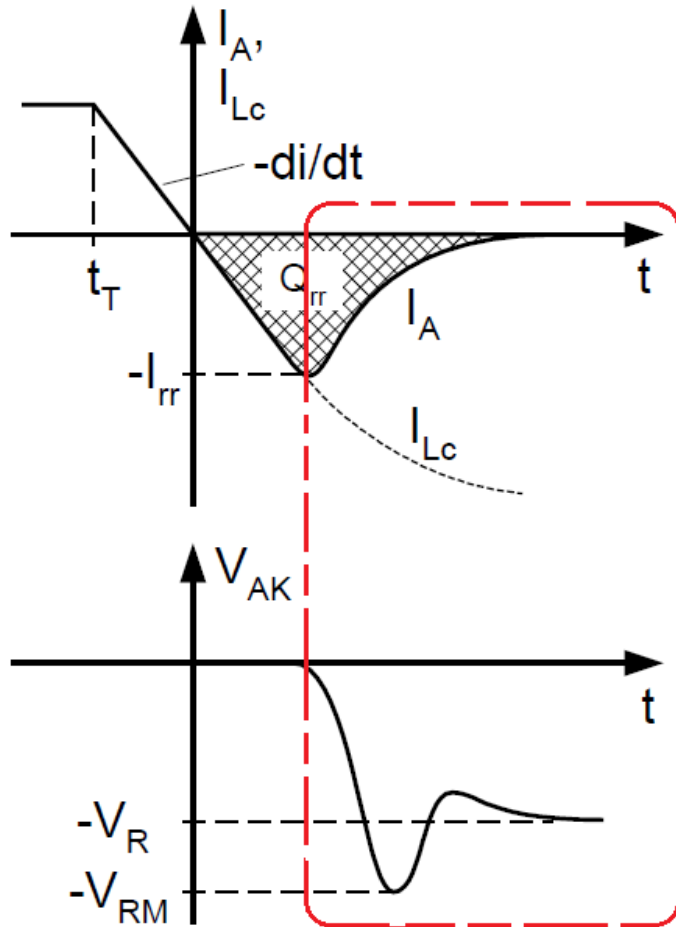
*Jednostruki tiristorski snaber za paralelnu tiristorsku spregu, baziran na RC članu i prigušnici.*

- Paralelna sprega tiristora se koristi kada se imaju velike struje opterećenja
- Prigušnice na red sa tiristorima se koriste za ravnomernu raspodelu struja u stacionarnom stanju ali i u režimu preopterećenja.
- Prigušnice takođe deluju povoljno na raspodelu struja u režimima kratkih spojeva
- Redne prigušnice u kombinaciji sa RC snabermom su naročito efikasne kod ograničenja vršnih trenutnih vrednosti napona, ali su takođe delotvorne ograničenje brzine porasta napona  $dv/dt$  na tiristorskom prekidaču.
- Ovo je naročito važno u šesto-pulsnim ispravljačima
- U isto vreme ove redne prigušnice sprečavaju pražnjenje kondenzatora C kroz tiristore koji sekvencijalno ulaze u vođenje
- Na ovaj način se eliminiše potreba za pomoćnim diodnim mostom
- Za ublažavanje oscilacija, odnosno njihovo zadovoljavajuće prigušenje, paralelno sa prigušnicom se vezuje otpornost (opciono)



## DIMENZIONISANJE SNABERA ZA SLUČAJ JEDNOG TIRISTORA-preporuka SEMIKRON

Ako pretpostavimo da se oko polovine energije koju potiče od povraćenog naelektrisanja  $Q_{rr}$  tokom isključenja tiristora prenosi na strujno kolo u obliku prenapona, najpovoljnije vrednosti za kapacitet i otpornost RC snabera mogu se izračunati iz jednačina:



$$C = \frac{Q_{rr}}{V_v \cdot \sqrt{2}} \quad [\mu F]$$

$$R = \sqrt{\frac{L_s}{C}} \quad [\Omega]$$

$Q_{rr}$  -Povraćeno naelektrisanje u  $[\mu C]$

$L_s$  -Ukupna induktivnost u kolu u  $[\mu H]$

$V_v$  -Efektivna vrednost napona na krajevima prekidača (tiristora) u  $[V]$

$$P_R = \sqrt{2} \cdot V_v \cdot Q_{rr} \cdot f + k_1 \cdot C \cdot V_v^2 \cdot f$$

u  $[C]$  a ne u  $[\mu C]$ !!!

$$P_R = \sqrt{2} \cdot V_V \cdot Q_{\pi} \cdot f + k_1 \cdot C \cdot V_V^2 \cdot f$$



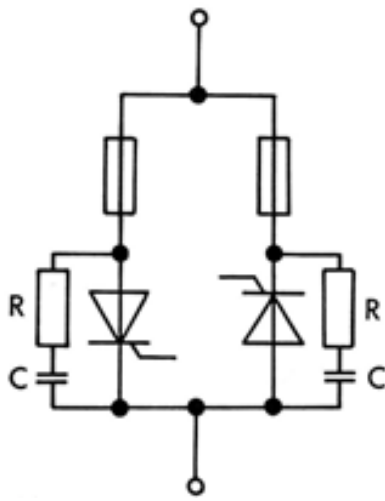
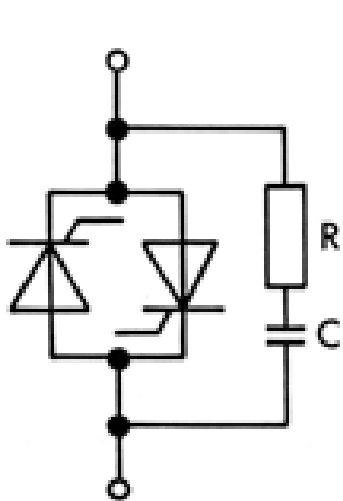
$k_1 = 0$  za SCR prekidačke elemente (diode) u nekontrolisanim ispravljačkim kolima

$k_1 = 2 \cdot 10^{-6}$  - za SCR prekidače (tiristore) u kontrolisanim jedno-impulsnim i dvo-impulsnim sa „midpoint“, kao i u slučaju polu-upravljivih mosnih kola i na kraju u slučaju AC/AC kontrolera

$k_1 = 3 \cdot 10^{-6}$  -za prekidačke SCR elemente u kontrolisanim tro-impulsnim i šesto-impulsnim kolima , kao i za slučaj dvo-impulsnih mosnih kola i AC/AC kontrolera

$k_1 = 4 \cdot 10^{-6}$  - za prekidačke elemente u kontrolisanim šesto-impulsnim mosnim kolima

## DIMENZIONISANJE SNABERA ZA SLUČAJ ANTIPARALELNE VEZE TIRISTORA prema preporukama firme SEMIKRON



$$C \approx 700 \cdot \frac{I_V}{V_V^2} \quad [\mu\text{F}]$$

$$R \approx \frac{9000}{C \cdot V_V} \quad [\Omega]$$

$$P_R \approx 3 \cdot 10^{-6} \cdot C \cdot V_V^2 \cdot f \quad [\text{W}]$$

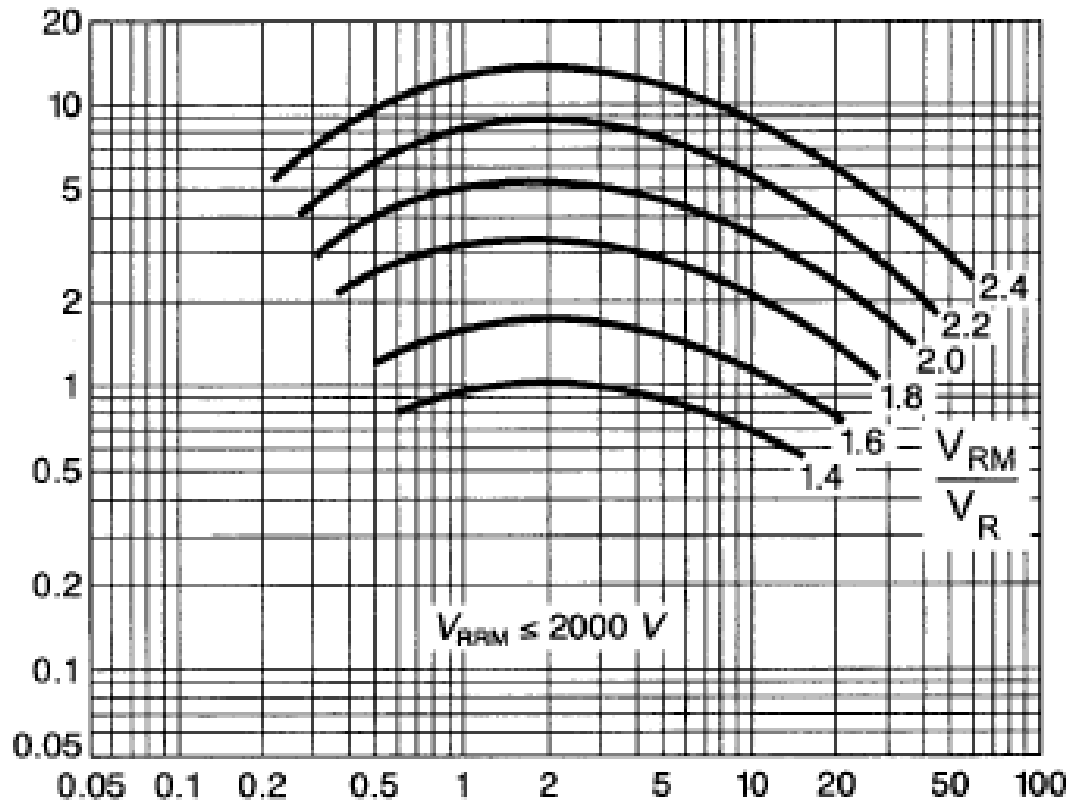
$V_V$ -efektivna vrednost napona[V],  $I_V$  –efektivna vrednost struje [A],  $f=50\text{Hz}$ ,

### W1C tip pretvarača (antiparalentna veza tiristora)

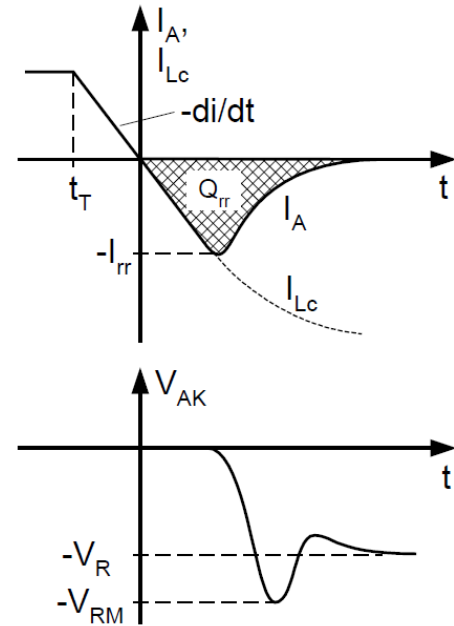
- Date formule se odnose na slučaj jednog tiristora sa antiparalelnom diodom (slučaj sa zajedničkim RC članom)
- U ovom slučaju se cela antiparalelna sprega se štiti od kratkih spojeva jednim osiguračem (iz ovog razloga se koristi jedan zaštitni RC član)
- Ako se svaki od tiristora štiti od kratkih spojeva osiguračima ponaosob, onda svaki tiristor mora imati svoj RC zaštitni član
- Proračunati RC član se ravnomerno raspoređuje na oba tiristora
- RC članovi sa C većim od  $1\mu\text{F}$  se moraju priključiti u sprezi sa pomoćnim diodama ili diodnim mostom

# Krive za optimalni dizajn RC snabera za fazno kontrolisanetiristore proizvodnje ABB i za vrednosti inverznog napona $V_{RRM} < 2000V$

$$\frac{Q_{rr}}{C_s \cdot V_R} \left[ \frac{\mu As}{\mu F \cdot V} \right]$$

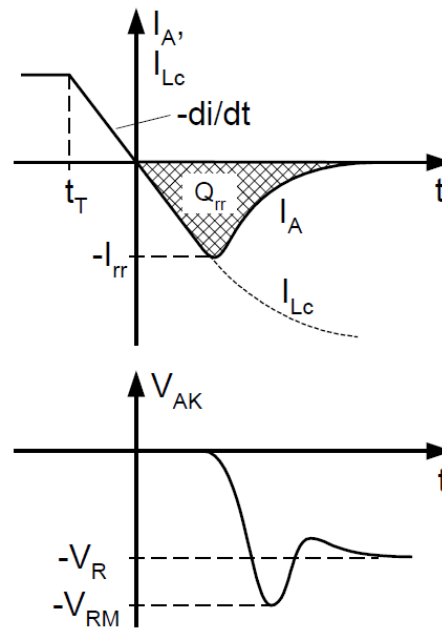
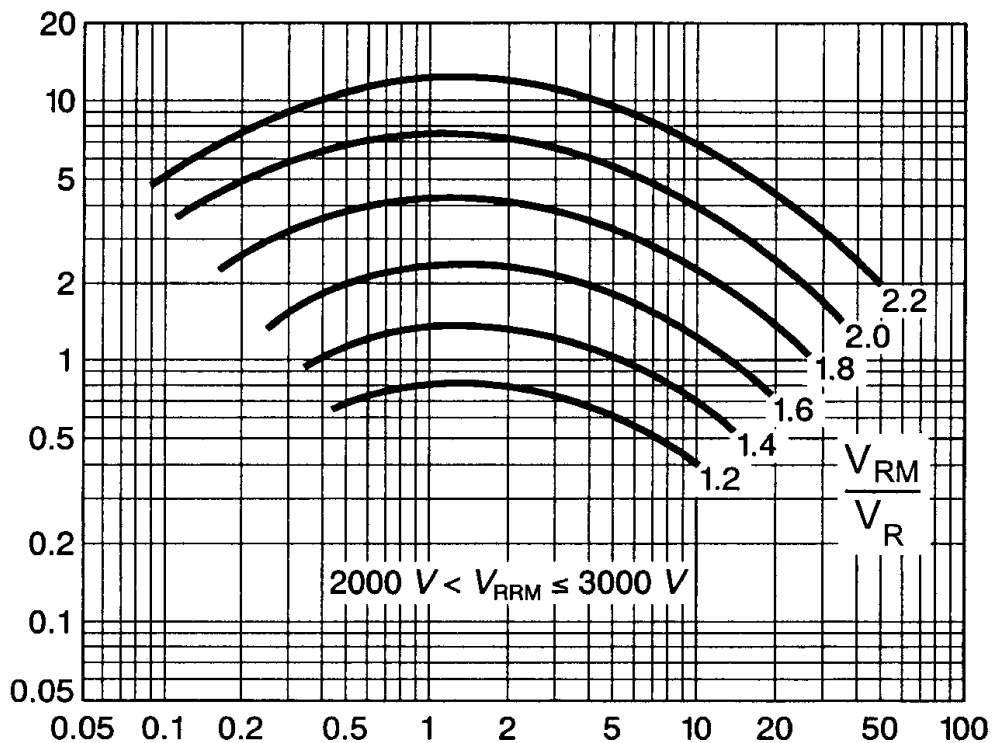


$$\frac{R_s^2 \cdot C_s}{L_c} \left[ \frac{\Omega^2 \cdot \mu F}{\mu H} \right]$$



# Krive za optimalni dizajn RC snabera za fazno kontrolisanetiristore proizvodnje ABB i za vrednosti inverznog napona $2000V < V_{RRM} < 3000V$

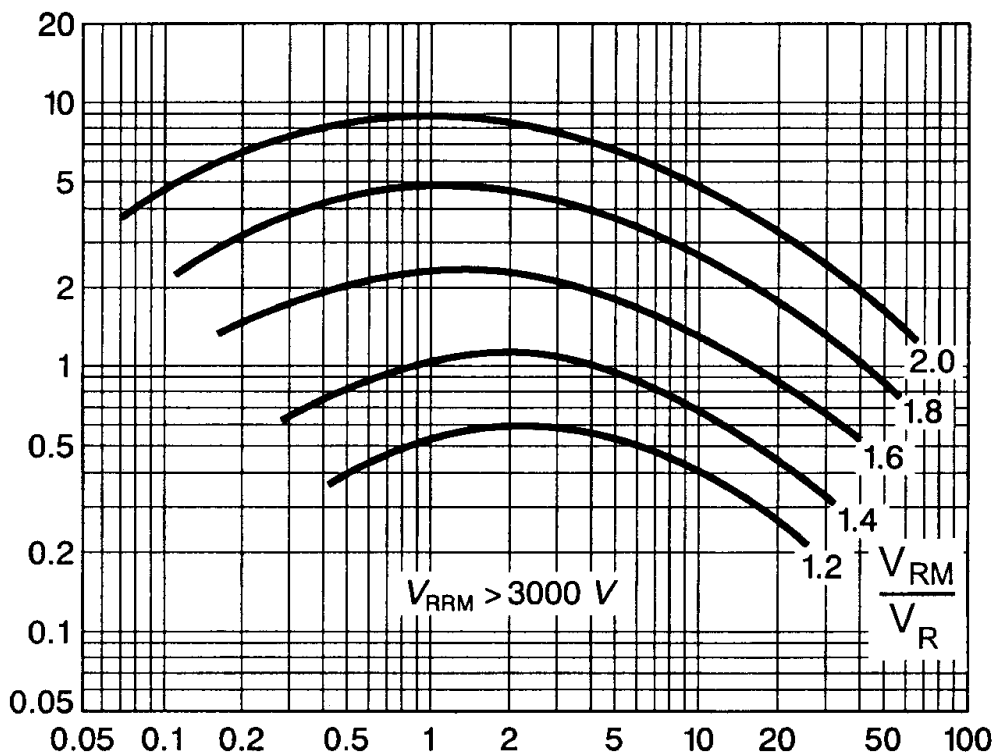
$$\frac{Q_{rr}}{C_s \cdot V_R} \left[ \frac{\mu As}{\mu F \cdot V} \right]$$



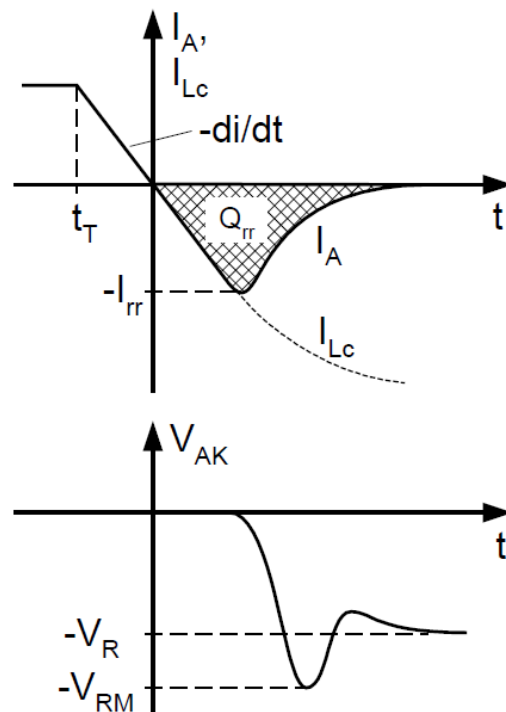
$$\frac{R_s^2 \cdot C_s}{L_c} \left[ \frac{\Omega^2 \cdot \mu F}{\mu H} \right]$$

# Krive za optimalni dizajn RC snabera za fazno kontrolisanetiristore proizvodnje ABB i za vrednosti inverznog napona $3000V < V_{RRM}$

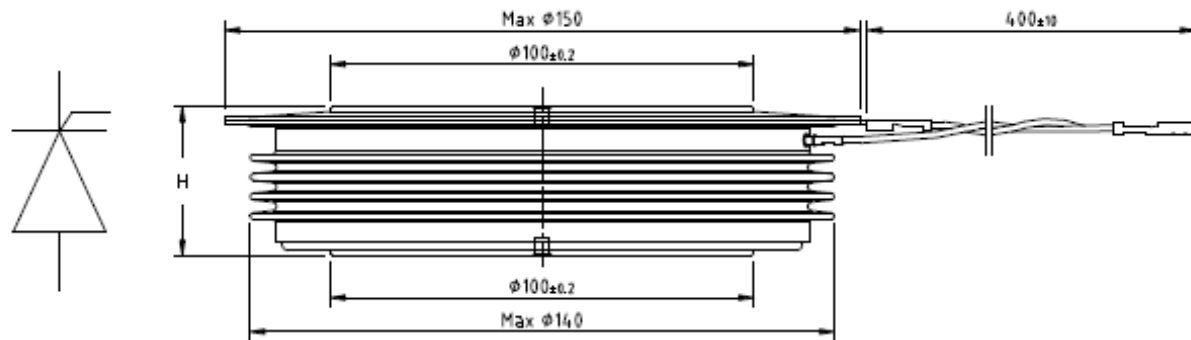
$$\frac{Q_{rr}}{C_s \cdot V_R} \left[ \frac{\mu As}{\mu F \cdot V} \right]$$



$$\frac{R_s^2 \cdot C_s}{L_c} \left[ \frac{\Omega^2 \cdot \mu F}{\mu H} \right]$$



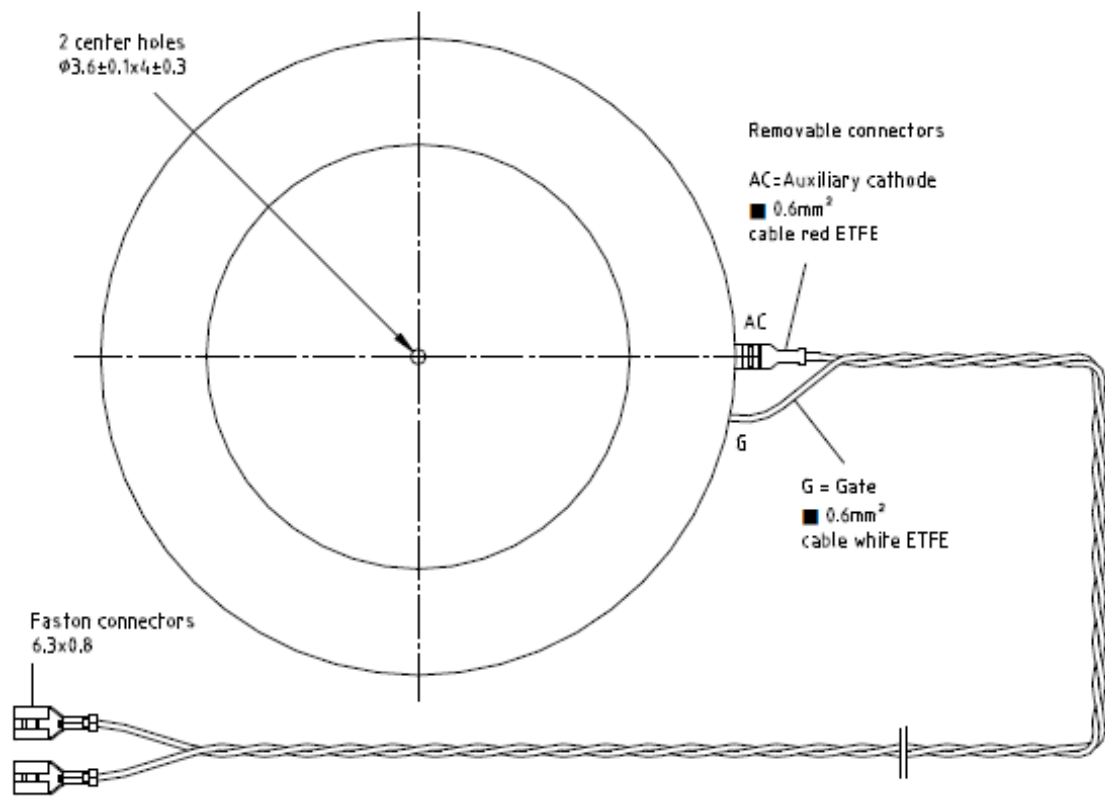
# PRIMER DIMENZIONISANJA R-C SNABERA ZA JEDAN ENERGETSKI TIRISTOR



Phase Control Thyristor

**5STP 26N6500**

$V_{DRM}$	=	6500 V
$I_{T(AV)M}$	=	2810 A
$I_{T(RMS)}$	=	4410 A
$I_{TSM}$	=	$65 \cdot 10^3$ A
$V_{T0}$	=	1.12 V
$r_T$	=	0.29 m $\Omega$



Removable connectors

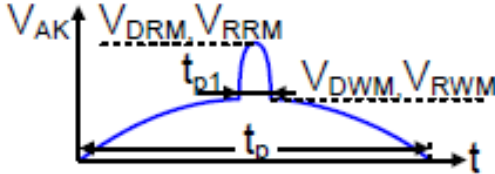
AC=Auxiliary cathode  
■ 0.6mm<sup>2</sup>  
cable red ETFE

G = Gate  
■ 0.6mm<sup>2</sup>  
cable white ETFE

Faston connectors  
6.3x0.8

## Tehnički podaci za BLOKIRNO STANJE- tiristor 5STP 26N6500 proizvodnje ABB

### Maximum rated values <sup>1)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	5STP 26N6500	Unit
Max. surge peak forward and reverse blocking voltage	$V_{DSM}$ , $V_{RSM}$	$t_p = 10 \text{ ms}$ , $f = 5 \text{ Hz}$ $T_{vj} = 5 \dots 125 \text{ }^\circ\text{C}$ , Note 1	6500	V
Max repetitive peak forward and reverse blocking voltage	$V_{DRM}$ , $V_{RRM}$	$f = 50 \text{ Hz}$ , $t_p = 10 \text{ ms}$ , $t_{p1} = 250 \text{ } \mu\text{s}$ , $T_{vj} = 5 \dots 125 \text{ }^\circ\text{C}$ , Note 1, Note 2	6500	V
Max crest working forward and reverse voltages	$V_{DWM}$ , $V_{RWM}$		4340	V
Critical rate of rise of commutating voltage	$dv/dt_{crit}$	Exp. to $0.67 \cdot V_{DRM}$ , $T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	3000	V/ $\mu\text{s}$

### Characteristic values

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Forward leakage current	$I_{DRM}$	$V_{DRM}$ , $T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			600	mA
Reverse leakage current	$I_{RRM}$	$V_{RRM}$ , $T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			600	mA

Note 1: Voltage de-rating factor of 0.11% per  $^\circ\text{C}$  is applicable for  $T_{vj}$  below  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Note 2: Recommended minimum ratio of  $V_{DRM} / V_{DWM}$  or  $V_{RRM} / V_{RWM} = 2$ . See App. Note 5SYA 2051.



# Tehnički podaci za ON –STATE

tiristor 5STP 26N6500 proizvodnje ABB

## Maximum rated values <sup>1)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Average on-state current	$I_{T(AV)M}$	Half sine wave, $T_c = 70\text{ °C}$			2810	A
RMS on-state current	$I_{T(RMS)}$				4410	A
Peak non-repetitive surge current	$I_{TSM}$	$t_p = 10\text{ ms}$ , $T_{vj} = 125\text{ °C}$ , sine half wave, $V_D = V_R = 0\text{ V}$ , after surge			$65 \cdot 10^3$	A
Limiting load integral	$I^2t$		$21.13 \cdot 10^6$	$A^2s$		
Peak non-repetitive surge current	$I_{TSM}$	$t_p = 10\text{ ms}$ , $T_{vj} = 125\text{ °C}$ , sine half wave, $V_R = 0.6 \cdot V_{RRM}$ , after surge			$40 \cdot 10^3$	A
Limiting load integral	$I^2t$		$8.0 \cdot 10^6$	$A^2s$		

## Characteristic values

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
On-state voltage	$V_T$	$I_T = 3000\text{ A}$ , $T_{vj} = 125\text{ °C}$			2	V
Threshold voltage	$V_{(T0)}$	$I_T = 1300\text{ A} - 4000\text{ A}$ , $T_{vj} = 125\text{ °C}$			1.12	V
Slope resistance	$r_T$		0.29	$m\Omega$		
Holding current	$I_H$	$T_{vj} = 25\text{ °C}$			125	mA
		$T_{vj} = 125\text{ °C}$			75	mA
Latching current	$I_L$	$T_{vj} = 25\text{ °C}$			500	mA
		$T_{vj} = 125\text{ °C}$			250	mA

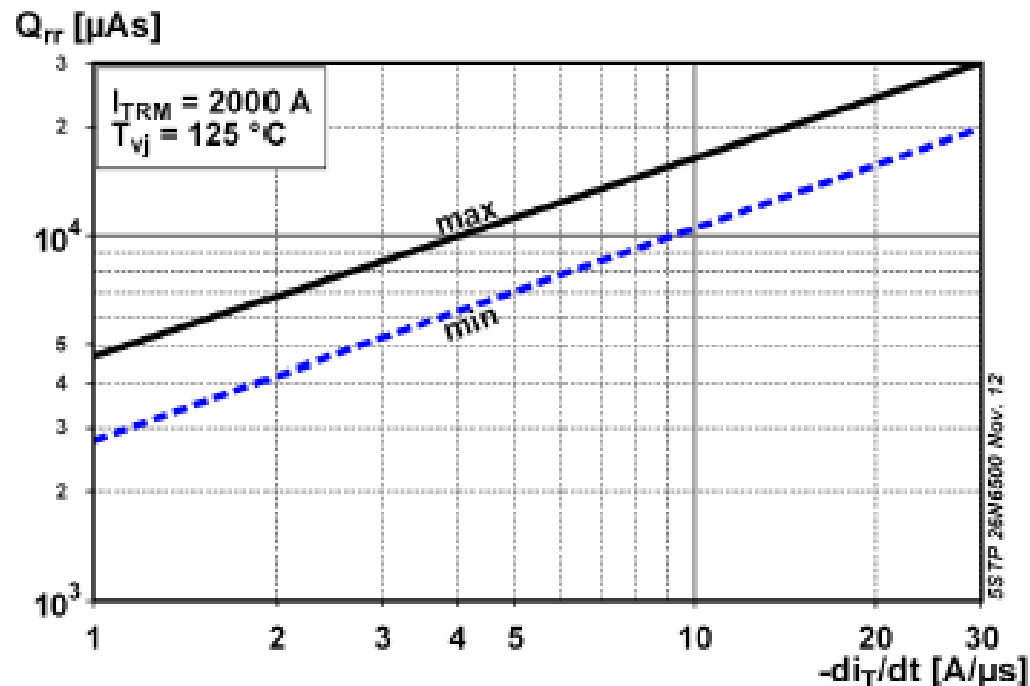
# Prekidačke karakteristike za tiristor 5STP 26N6500 proizvodnje ABB

## Maximum rated values <sup>1)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit	
Critical rate of rise of on-state current	$di/dt_{crit}$	$T_{vj} = 125\text{ °C}$ , $I_{TRM} = 3000\text{ A}$ , $V_D \leq 0.67 \cdot V_{DRM}$ , $I_{FG} = 2\text{ A}$ , $t_r = 0.5\text{ }\mu\text{s}$	Cont. $f = 50\text{ Hz}$			200	A/ $\mu\text{s}$
			Cont. $f = 1\text{ Hz}$			1000	A/ $\mu\text{s}$
Circuit-commutated turn-off time	$t_q$	$T_{vj} = 125\text{ °C}$ , $I_{TRM} = 2000\text{ A}$ , $V_R = 200\text{ V}$ , $di_T/dt = -1.5\text{ A}/\mu\text{s}$ , $V_D \leq 0.67 \cdot V_{DRM}$ , $dV_D/dt = 20\text{ V}/\mu\text{s}$			800	$\mu\text{s}$	

## Characteristic values

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Reverse recovery charge	$Q_{rr}$	$T_{vj} = 125\text{ °C}$ , $I_{TRM} = 2000\text{ A}$ , $V_R = 200\text{ V}$ , $di_T/dt = -1.5\text{ A}/\mu\text{s}$	3500		5800	$\mu\text{As}$
Reverse recovery current	$I_{RM}$		60		90	A
Gate turn-on delay time	$t_{gd}$	$T_{vj} = 25\text{ °C}$ , $V_D = 0.4 \cdot V_{RM}$ , $I_{FG} = 2\text{ A}$ , $t_r = 0.5\text{ }\mu\text{s}$			3	$\mu\text{s}$



## PRIMER:

Pretpostavimo da imamo na raspolaganju tiristor 5STP 26N6500 proizvodnje ABB čija je maksimalna vršna vrednost direktnog i inverznog napona  $V_{RM} = 4700 \text{ V}$  i stacionarna vrednost inverznog napona  $V_R = 2600 \text{ V}$ . Odnos  $V_{RM}/V_R = 1.8$ . Poznata je komutaciona induktivnost od  $L_c = 520 \mu\text{H}$ , i stvarni pad struje  $di/dt = 5 \text{ A}/\mu\text{s}$ . U katalogu proizvođača za dati tiristor (prethodni slajd) se nalazi da je maksimalna vrednost povraćenog naelektrisanja  $Q_{rr}$  pri  $125 \text{ }^\circ\text{C}$  oko  $9000 \mu\text{As}$ .

Za dati tiristor i za grafik koji odgovara opsegu napona  **$3000\text{V} < V_{RRM}$  (ABB preporuka)** optimalna vrednost za  $C_s$  se dobija iz relacije:

$$Q_{rr}/C_s \cdot V_R = 9000/2600 \cdot C_s = 5 \mu\text{As}/\mu\text{F} \cdot \text{V} \rightarrow \text{odakle se dobija da je } C_s = 0.7 \mu\text{F}.$$

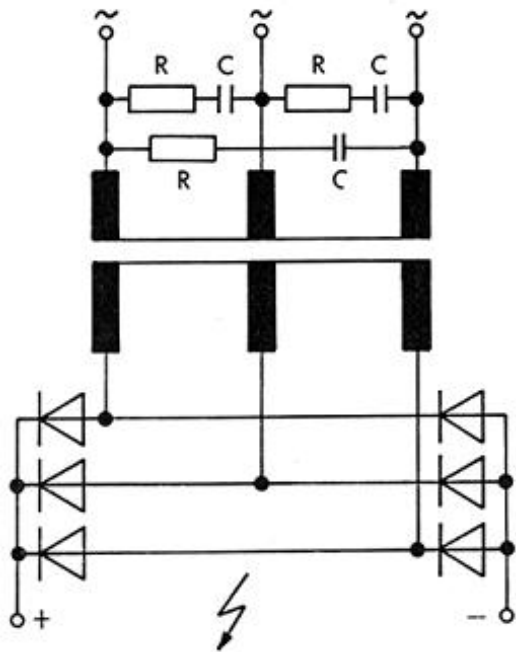
Sa horizontalne ose grafika u opsegu napona  **$3000\text{V} < V_{RRM}$**  se dobija da je

$$R_s^2 \cdot C_s / L_c = 1 \Omega^2 \cdot \mu\text{F}/\mu\text{H}, \rightarrow \text{odakle se dobija da je } R_s = 27,25 \Omega.$$

$$\text{Prema preporuci SEMIKRON } C_s = Q_{rr}/1.41V_v = 9000/1.41 \cdot 6500 = 0.9 \mu\text{F}$$

$$R_s = \text{SQRT}(520 \mu\text{H}/0.9 \mu\text{F}) = 24 \Omega$$

## DIMENZIONISANJE SNABERA NA NAIZMENIČNOJ (AC) STRANI



Dimenzionisanje AC snabera na primarnoj VN strani transformatora

$$C = 170 \cdot \frac{\varepsilon \cdot P_T}{k_2 \cdot f \cdot V_V^2}$$

$$R = \frac{k_3}{C \cdot f} \cdot 10^3$$

Disipacija snage na otporniku R:

$$P_V = 1,2 \cdot k_2 \cdot V_V^2 \cdot f^2 \cdot C^2 \cdot R \cdot 10^{-10} \text{ [W]}$$

$P_T$  [VA]: prividna snaga transformatora

$\varepsilon$  [%]: relativna vrednost struje magnećenja transformatora

$V_V$  [V]: AC napon (efektivni) na RC elementu

$C$  [ $\mu$ F]: Kapacitet snabera

$R$  [ $\Omega$ ]: Otpornost snabera

$f$  [Hz]: Učestanost

$k_2$ : ?

$k_3$ : ?

## PRAKTIČNE VREDNOSTI KOEFICIJENATA $k_2$ i $k_3$

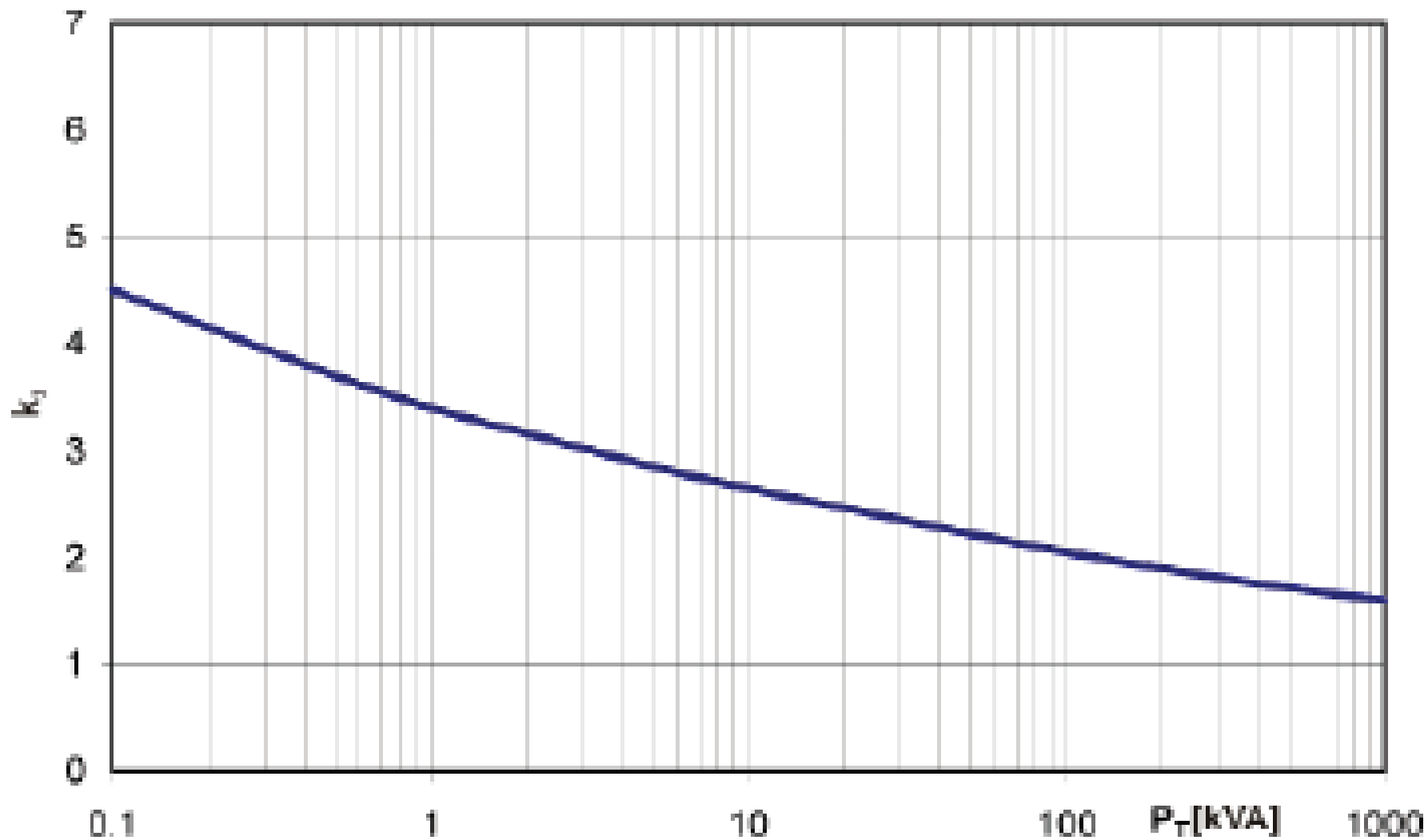
$k_2 = 1$  za sva monofazna pretvaračka kola

$k_2 = 2$  za trofazna pretvaračka kola i za snabere na DC strani, ili u slučaju korišćenja pomoćnog mosta

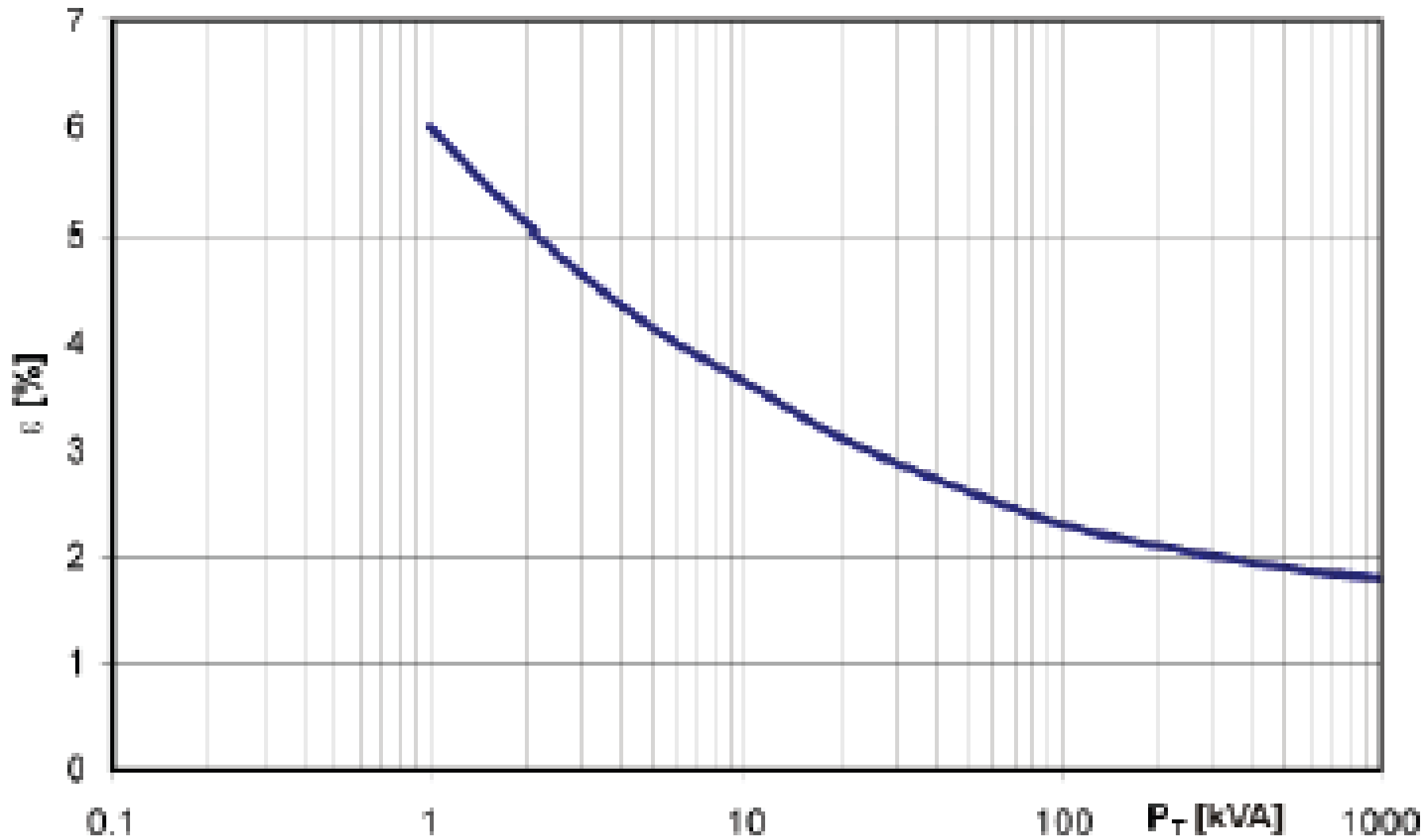
$k_2 = 3$  za trofazna kola i za slučaj proračuna snabera na AC strani

Faktor  $k_3$  je funkcija nominalne prividne snage transformatora  $P_T$ . Obično se daje tabelarno ili kao grafička funkcija  $k_3 = f(P_T)$

Takođe, ako struja relativna struja magnećenja  $\varepsilon$  transformatora nije poznata približnu vrednost je moguće dobiti sa dijagrama koji predstavlja zavisnost  $\varepsilon = f(P_T)$

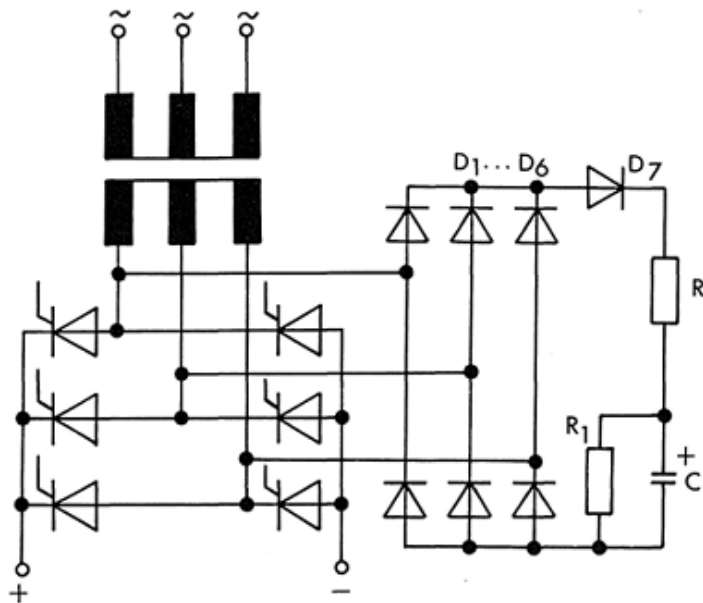


*Zavisnost koeficijenta  $k_3$  (koja se koristi za dimenzionisanje snabera na AC strani) od prividne snage transformatora*



*Zavisnost relativne struje magnećenja (%) od prividne snage transformatora*

## POMOĆNI DC MOST na AC strani (obično sekundar transformatora) U KOMBINACIJI SA JEDNIM RC-ČLANOM



$$R_1 \approx \frac{1}{C \cdot f} \cdot 10^7$$

$$P_{V(R_1)} = \frac{2 \cdot V_V^2}{R_1}$$

$$I_{LM} = \frac{V_V \cdot \sqrt{2}}{R}$$

U trofaznim kolima je vrlo često kao snaber tehnički korisnije ali i jeftinije koristiti jedan RC element u kombinaciji sa pomoćnim diodnim mostom (trofaznim), umesto tri RC elementa koja se obično traže. Jedno takvo kolo je dato na slici. Otpornik R je disipacije reda 2W-5W i ne predstavlja kritični element. Dodatna dioda D7 nije neophodna. Ona je odgovorna za smanjenje opterećenja na R i C koje je prouzrokovano harmonicima (naročito u slučaju fazne kontrole). Otpor R1 služi za brzo pražnjenje C nakon isključenja tiristora. Diode D1-D7 se dimenzionišu za udarnu struju i to u toku intervala  $t \approx R \cdot C$ . Ova udarna struja je obično **2xI<sub>LM</sub>** (I<sub>LM</sub>- vrša struja kondenzatora pri uključenju). Diode sa udarnom strujom od 150-300A u intervalu 10ms bi bile zadovoljavajuće rešenje. Obično ne treba hlađenje za ovo snabersko kolo (nema potrebe za hladnjakom ili dodatnom opremom)



- Često su ispravljači dimezionisani tako da se između dioda ili tiristorskog sklopa i izvora naizmeničnog napona nalazi samo autotransformator i / ili prigušnica.
- U trofaznim kolim su potrebne tri prigušnice (svaka postavljena u po jednu fazu)
- U tom slučaju, prigušnica mora ispuniti nekoliko ključnih zahteva, koje bi transformator inače već imao.
- Pored osiguravanja galvanske izolacije od napajanja i prilagođenja radnog napona prigušnica mora da obezbedi:

*-ograničenje struja kratkih spojeva tokom delovanja zaštitnih osigurača*

*-što manji pad napona tokom komutacije tiristora*

*- redukciju vršnih vrednosti i smanjenja porasta pikova u linijskim naponima u kombinaciji sa prenaponskim zaštitnim elementima.*

- Da bi bili ispunjeni ovi zahtevi prigušnica nebi smela da prouzrokuje pad napona veći od 4% od radnog napona  $V_v$ :

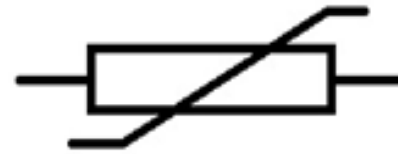
$$L \geq \frac{4}{100} \cdot \frac{V_v}{2\pi f \cdot I_v} \leftarrow \text{Efektivna vrednost fazne struje}$$

# VARISTORI KAO PRENAPONSKA ZAŠTITA U TIRISTORSKIM KOLIMA

Električni simbol za varistor:



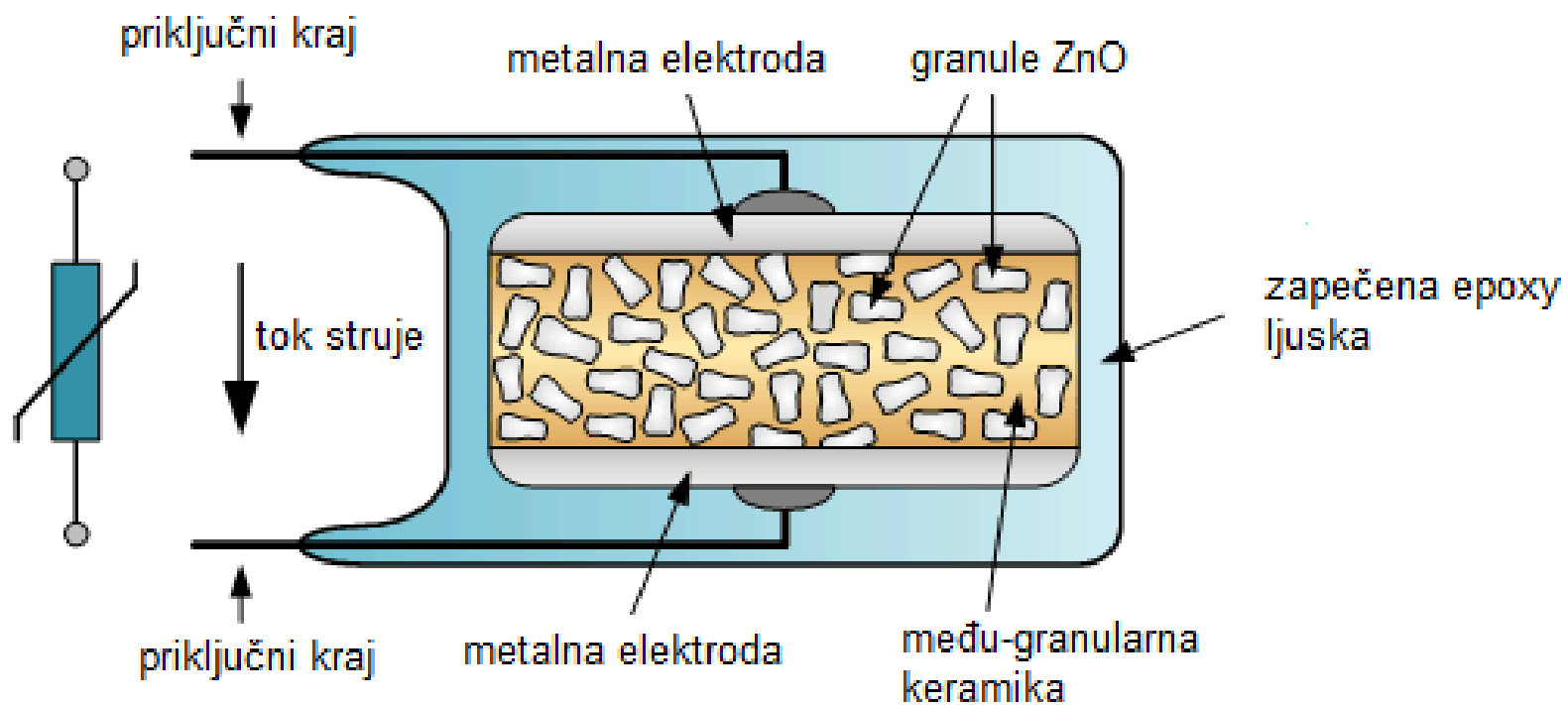
IEEE Standard Symbol for Varistor



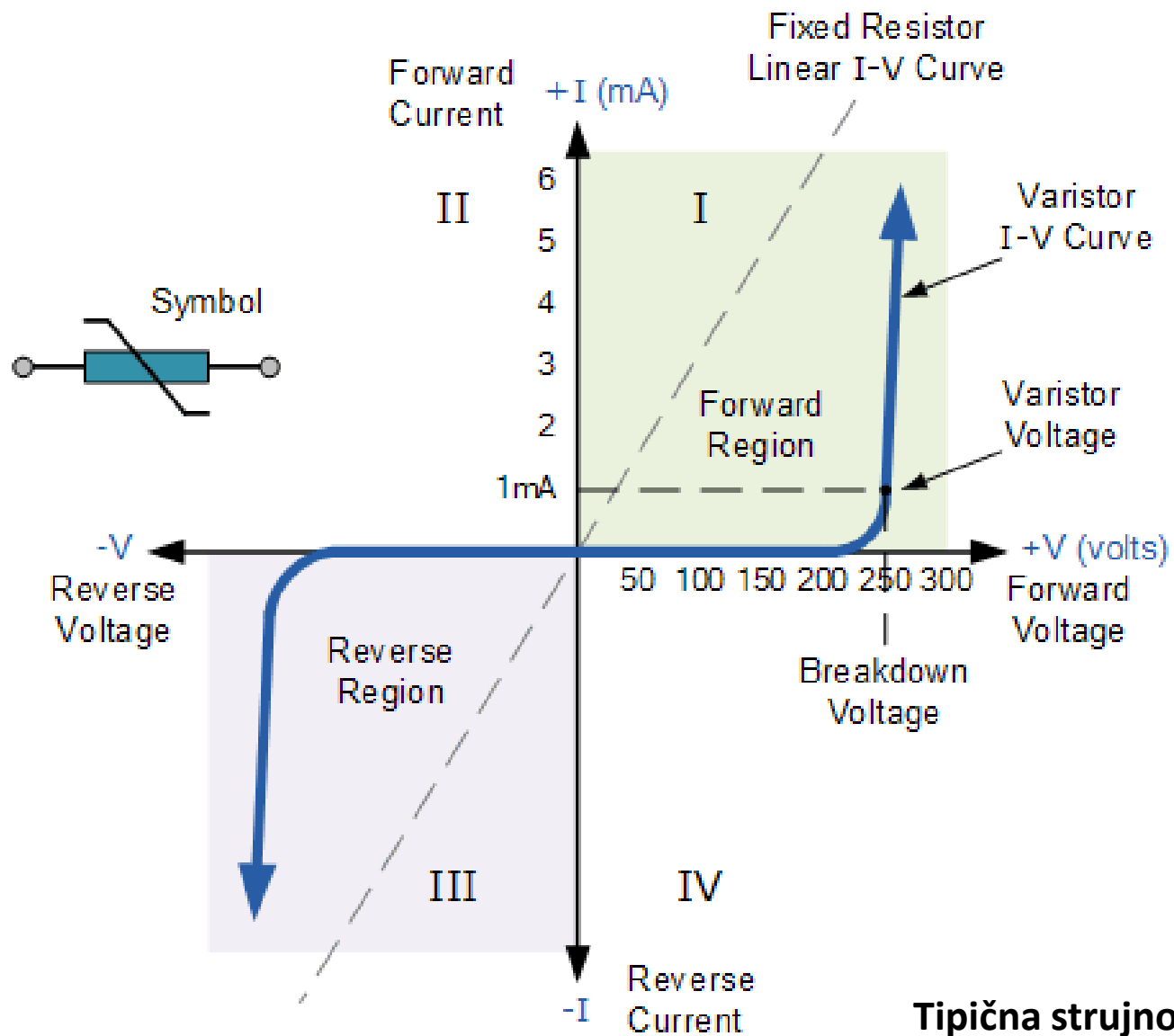
IEC Standard Symbol for Varistor



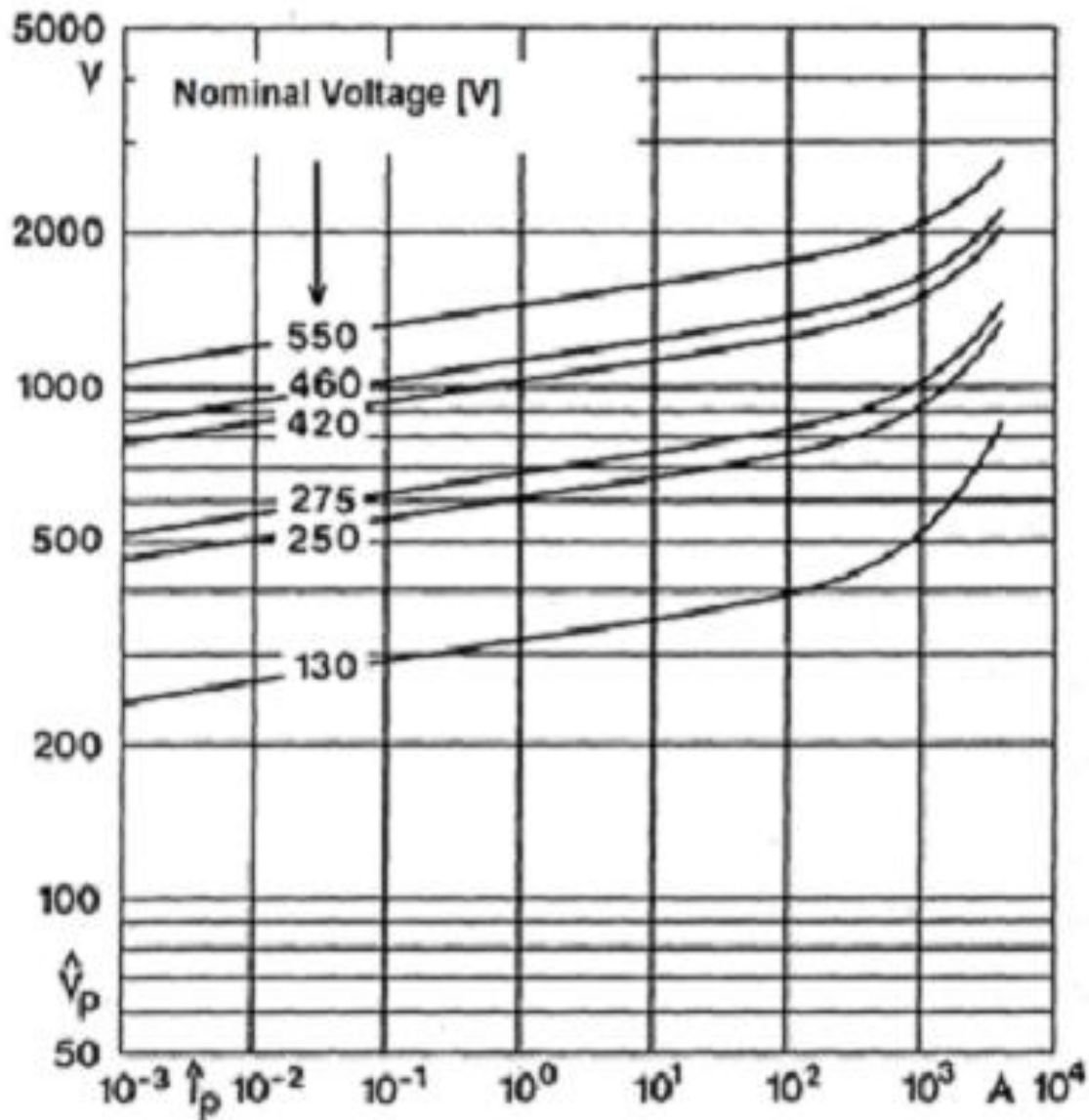
- Varistori su otpornici čija otpornost zavisi od napona primenjenog na njihovim krajevima.
- Oni se sastoje od poluprovodničkog materijala koji je, poput keramike, presovan u praškastom obliku i potom sinterovan da bi se stvorio čvrsti disk.
- Njihov učinak temelji se na postojanju brojnih slučajnih PN-spojeva na kontaktnim tačkama između malih fragmenata ili zrna.
- Većina varistora su od cink oksida ZnO, zbog čega su često poznati pod nazivom **metal-oksidni varistori (MOV)**.
- Otpornost varistora se smanjuje se kad se napon povećava.
- U kombinaciji sa konstantnim serijskim otporom, kolo deluje kao razdelnik napona sa odnosom (faktor prigušenja) koji se povećava u skladu s povećanjem ulaznog napona.
- Za kratke vršne vrednosti, redni otpornik se može zameniti prigušnicom.
- U pretvaračima sa transformatorima, to je rasipna induktivnost namotaja transformatora; u slučajevima direktnog spajanja na mrežu, to je dodatna serijska induktivnost (reaktor)
- Karakteristike varistora daje proizvođač, a na narednom slajdu je prikazana jedna takva karakteristika za ZnO varistor



**Poprečni presek kroz VARISTOR**



**Tipična strujno naponska karakteristika VARISTORA**



**ZA PRAKTIČNU  
PRIMENU:  
V-I karakteristika tipičnog  
ZnO varistora u oblasti  
probojnog napona**

U ZnO varistorima su  
gubici snage obično  
zanemarljivi!!!

**Nedostatak varistora je taj ,  
što ne smanjuju porast  
napona  $dv/dt$ !!!!**

Stoga se vrlo često kod tiristora  
varistori upotrebljavaju  
u kombinaciji sa RC članom

# PRENAPONSKA ZAŠTITA BAZIRANA NA PROBOJNIM (AVALANCHE) DIODAMA



Probojna („avalanche“) dioda

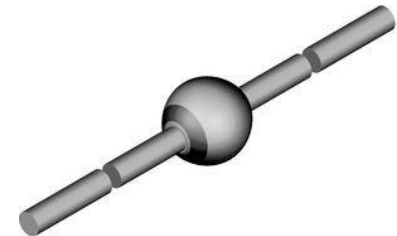


Bipolarna „avalanche“ dioda

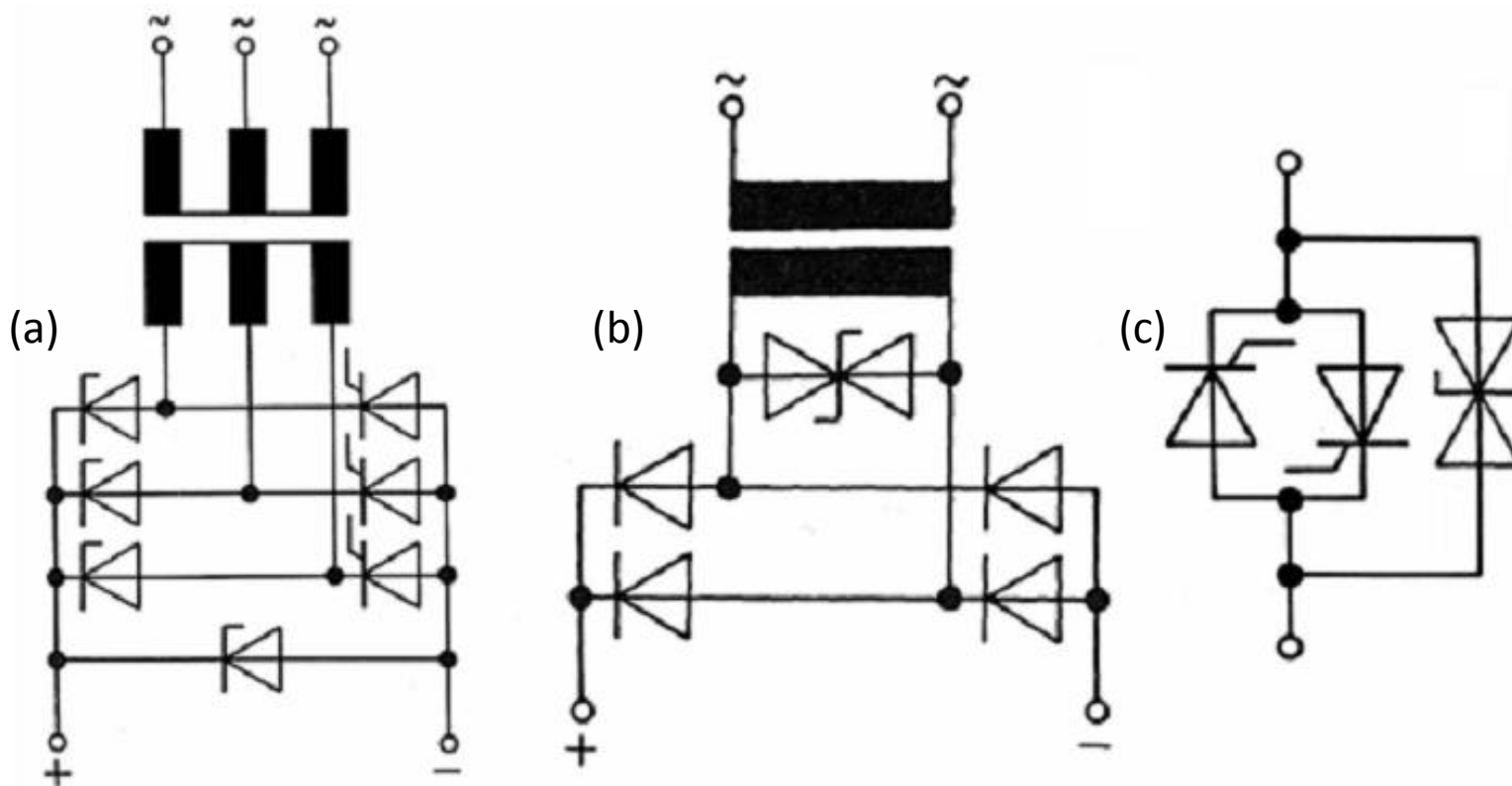
Silikonske probojne diode se razlikuju od običnih po tome što imaju jak strmu karakteristiku u oblasti proboja (za mali porast napona iznad granice proboja struja značajno raste. Njihova karakteristika u katalogizima proizvođača je probojni napon  $V_{BR}$ .

Ovaj probojni napon je zavisan od temperature:

$$V_{(BR)1} = V_{(BR)0} \cdot [1 + 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot (T_1 - T_0)]$$



## TIPIČNE APLIKACIJE PROBOJNIH DIODA ZA PRENAPONSKU ZAŠTITU U ISPRAVLJAČKIM KOLIMA



- (a) polu-upravljivi šestopulsni mosni ispravljač sa probojnim diodama koje u isto vreme štite tiristore od prenapona
- (b) Zaštita na AC strani za dvopulsno mosno kolo sa bipolarnom probojnom diodom
- (c) AC voltage naponski kontroler sa bipolarnom probojnom diodom

- Uopšteno govoreći Si diode sa lavinskim probojom („avalanche diode“) se ne mogu koristiti pri visokim naponima, kao što su oni koji se javljaju kada se vrši isključenje transformatora (na primer u praznom hodu).
- U takvim slučajevima, RC snaberski elementi su stoga neminovni i obično se koriste paralelno sa probojnim diodama.

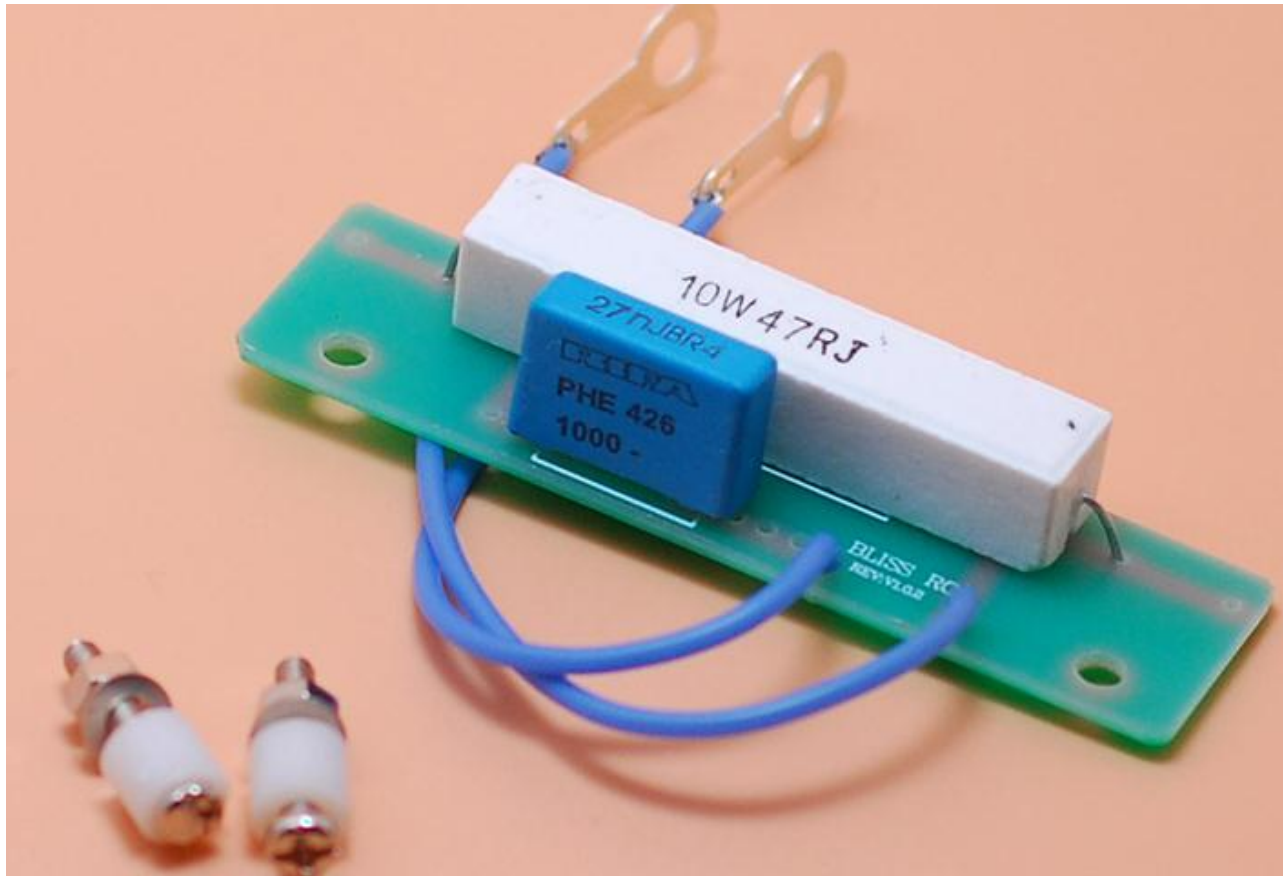




# LITERATURA

1. A.Wintrich, U.Nicolai, W.Tursky, T.Reimann „**Application Manual Power Semiconductors**“- **SEMIKRON 2017**, International GmbH
2. William McMurray, **OPTIMUM SNUBBERS FOR POWER SEMICONDUCTORS**, IEEE IAS transactions, Vol. IA-8, No. 5, Sept/Oct 1972, pp. 593-600
3. Jürg Waldmeyer, Björn Backlund, **DESIGN OF RC SNUBBER FOR PHASE-CONTROL APPLICATION**, Doc. No. 5SYA 2020-01, ABB, semiconductor, February 2001
4. Rice, L. R. **“Why R-C Networks And Which One For Your Converter”**, Westinghouse Tech Tips 5-2.

# HVALA NA PAŽNJI!!! PITANJA???



NOVEMBAR 2017