

ELEKTRIČNI PRETVARAČI SNAGE

ENERGETSKI PRETVARAČI



UVODNO PREDAVANJE

PREDAVAČ: Dr Željko Despotović

Energetski pretvarači električne energije su uređaji koji transformišu električnu energiju od predajnika (generator, izvor) ka prijemniku (potrošaču).

Električna energija može biti:

- jednosmerna (jednosmerna struja i napon) =  **DC-Direct Current**
- naizmenična (naizmenična struja i napon) ~  **AC-Alternating Current**

Prema ovoj osnovnoj funkciji postoji podela na:

AC/DC pretvarače (pretvaraju naizmeničnu struju/napon u jednosmernu struju/napon) – **ISPRAVLJAČI**

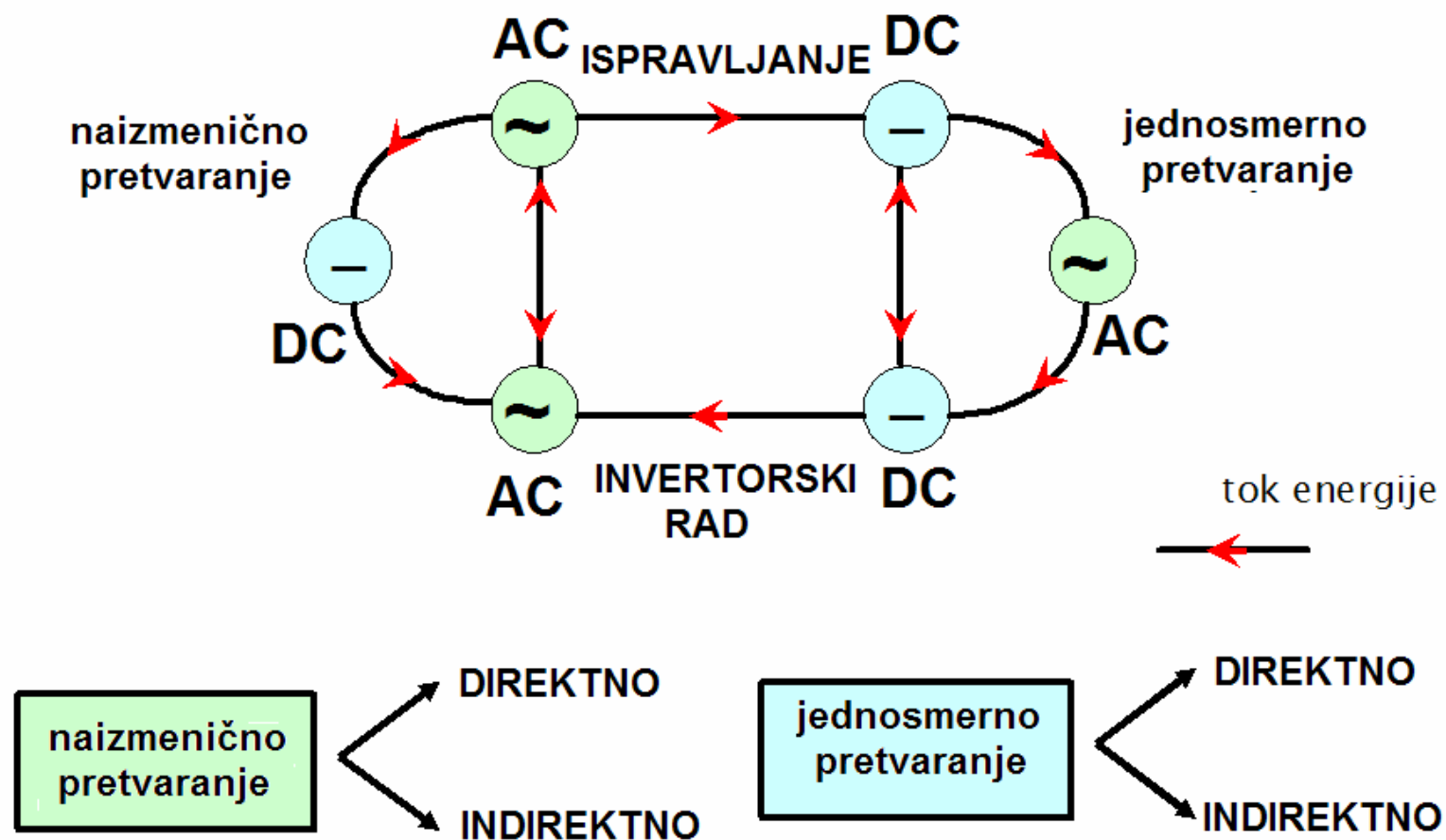
DC/AC pretvarače (pretvaraju jednosmernu struju/napon u naizmeničnu struju/napon) – **INVERTORI**

DC-DC pretvarače (pretvaraju jednosmernu struju jednog naponskog nivoa u jednosmernu struju drugog naponskog nivoa)-transformatori napona - **ČOPERI**
Mogu biti spuštači napona (*step-down*) ili podizači (*step-up*)

AC-AC pretvarače (pretvaraju naizmeničnu struju jednog naponskog nivoa u naizmeničnu struju drugog naponskog nivoa)

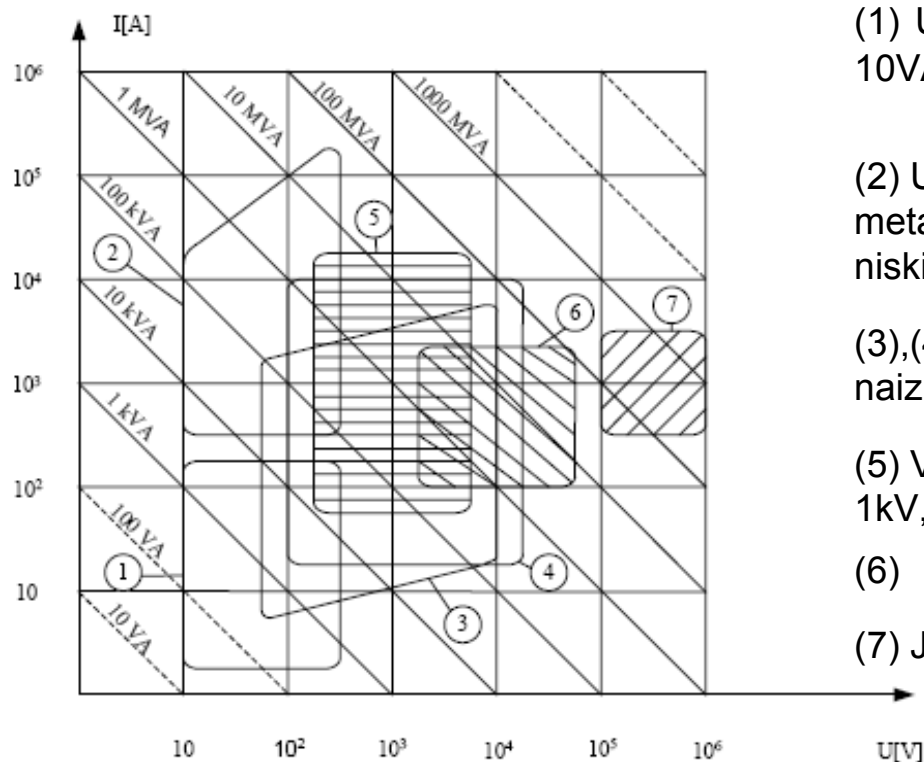
- podizači i spuštači naizmeničnog napona (**PODEŠAVAČI NAPONA**)
- pretvarači učestanosti (**CIKLOKONVERTORI**)

OSNOVNI VIDOVI PRETVARANJA ENERGIJE



Primena pretvarača je raznovrsna, a njihove snage mogu biti reda od 1W (npr. u kućnim uređajima, u elektronskim uređajima) do reda 100 MW.

Podela oblasti primene pretvarača, po snazi (naponu i struji).



(1) U ovoj oblasti snage pretvarača su u opsegu od npr. 10VA do 100VA i to su aparati široke potrošnje.

(2) Uređaji koji se koriste u hemijskoj industriji i metalurgiji npr. za elektrolizu; naponi su ovde relativno niski ali struje zato mogu imati veoma velike jačine.

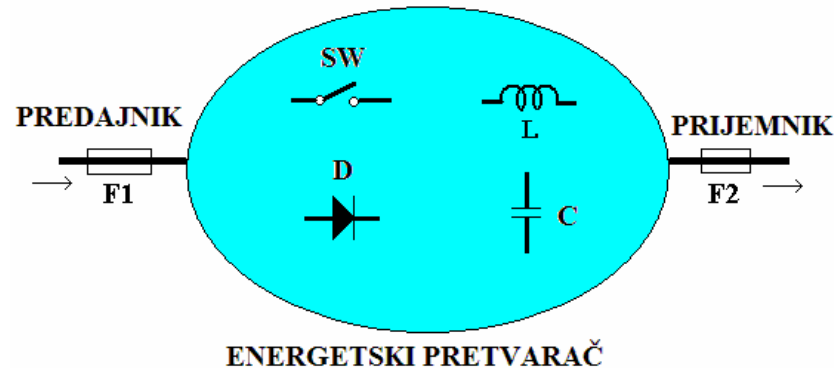
(3),(4) Jednosmerni elektromotorni pogoni i naizmenični elektromotorni pogoni.

(5) VF (visokofrekventne) peći: ovde je napon reda 1kV, $P \sim 10\text{kW}$, $\sim 1\text{MW}$.

(6) Električna vuča

(7) Jednosmerni prenos električne energije

Poluprovodničke komponente koje se koriste u energetskim pretvaračima



SW-kontrolisani prekidački element (tranzistor ili tiristor)

D-dioda

L-induktivnost

C-kapacitivnost

F1,F2-zaštitni elementi

(ultra brzi osigurači)



U elektronici je najbitnije da li poluprovodnička komponenta verno prenosi ili održava signal, dok je koeficijent korisnog dejstva manje važan.

U energetici je situacija potpuno obrnuta. Najvažniji pokazatelj nekog pretvarača je njegov stepen korisnog dejstva.

Prekidački elemenat -SW

TIRISTORI-**SCR** (Silicon Controlled Rectifiers)

MCT (Mos Controlled Thyristor)

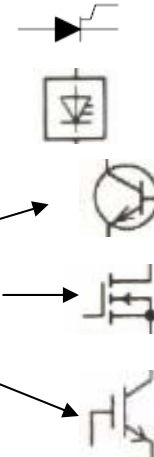
GTO (Gate Turn- Off)

TRANZISTORI:

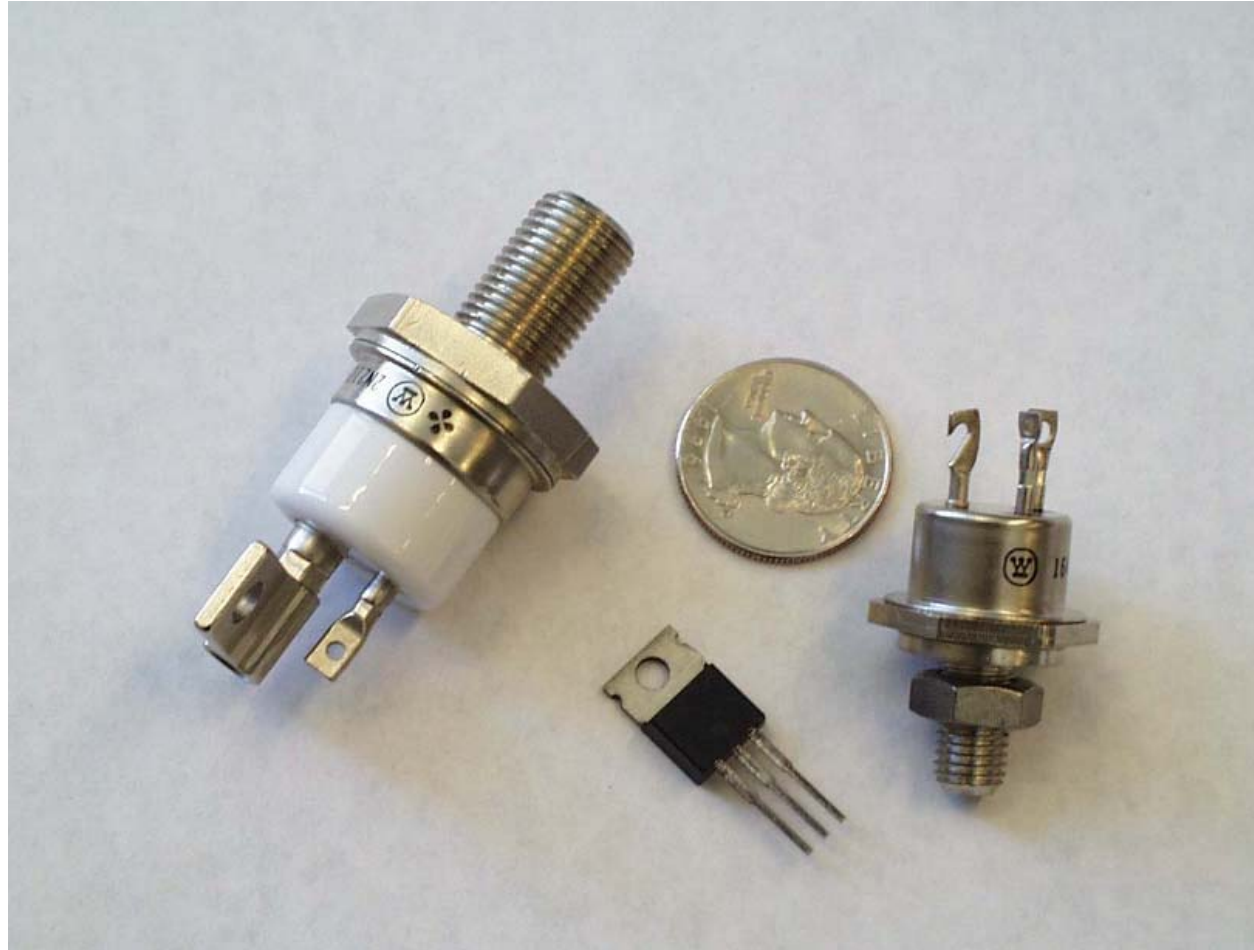
BJT (Bipolar Junction Transistor)

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor **FET**)

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)



TIRISTORI-SCR



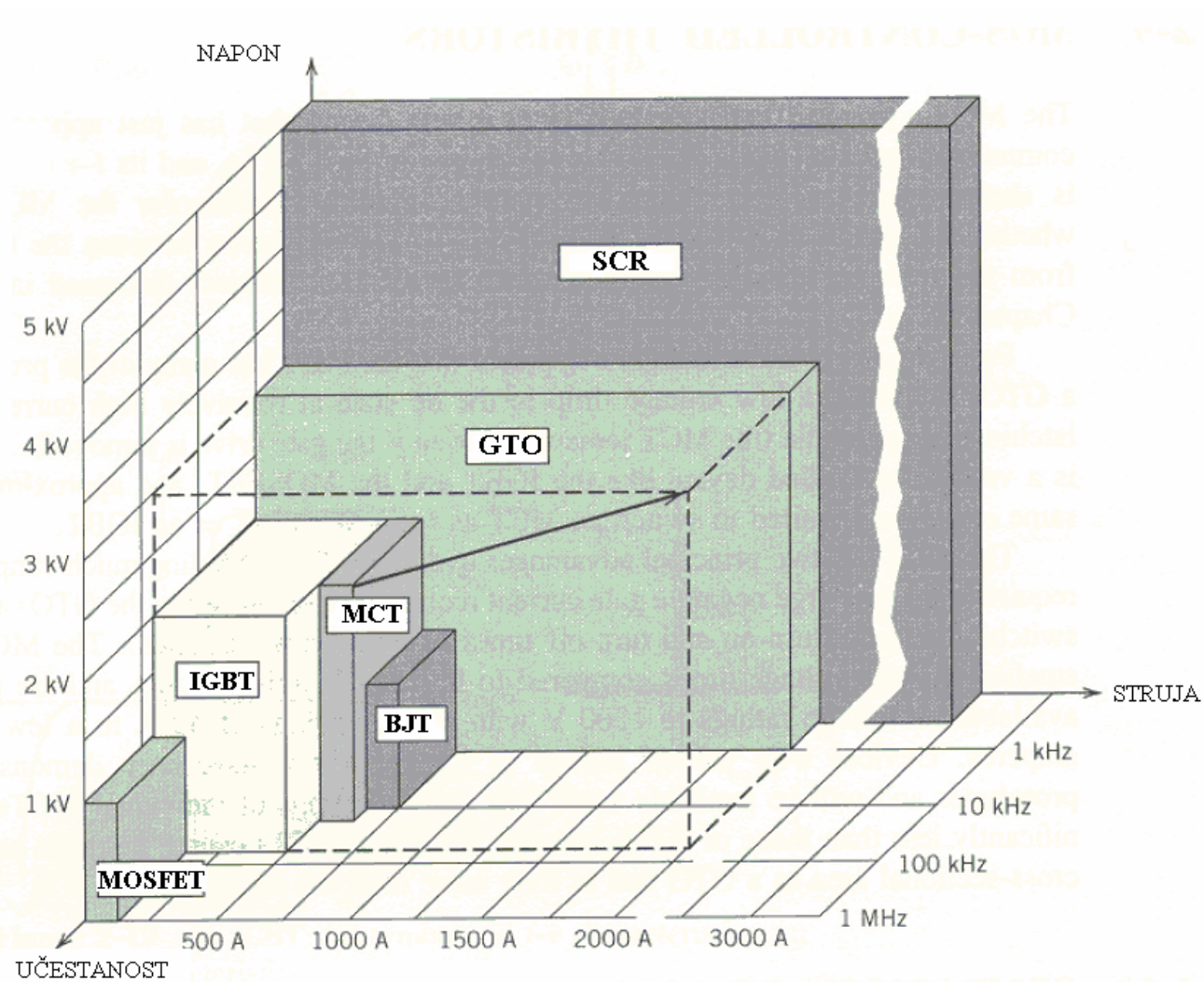
TIRISTORI ZA VELIKE SNAGE



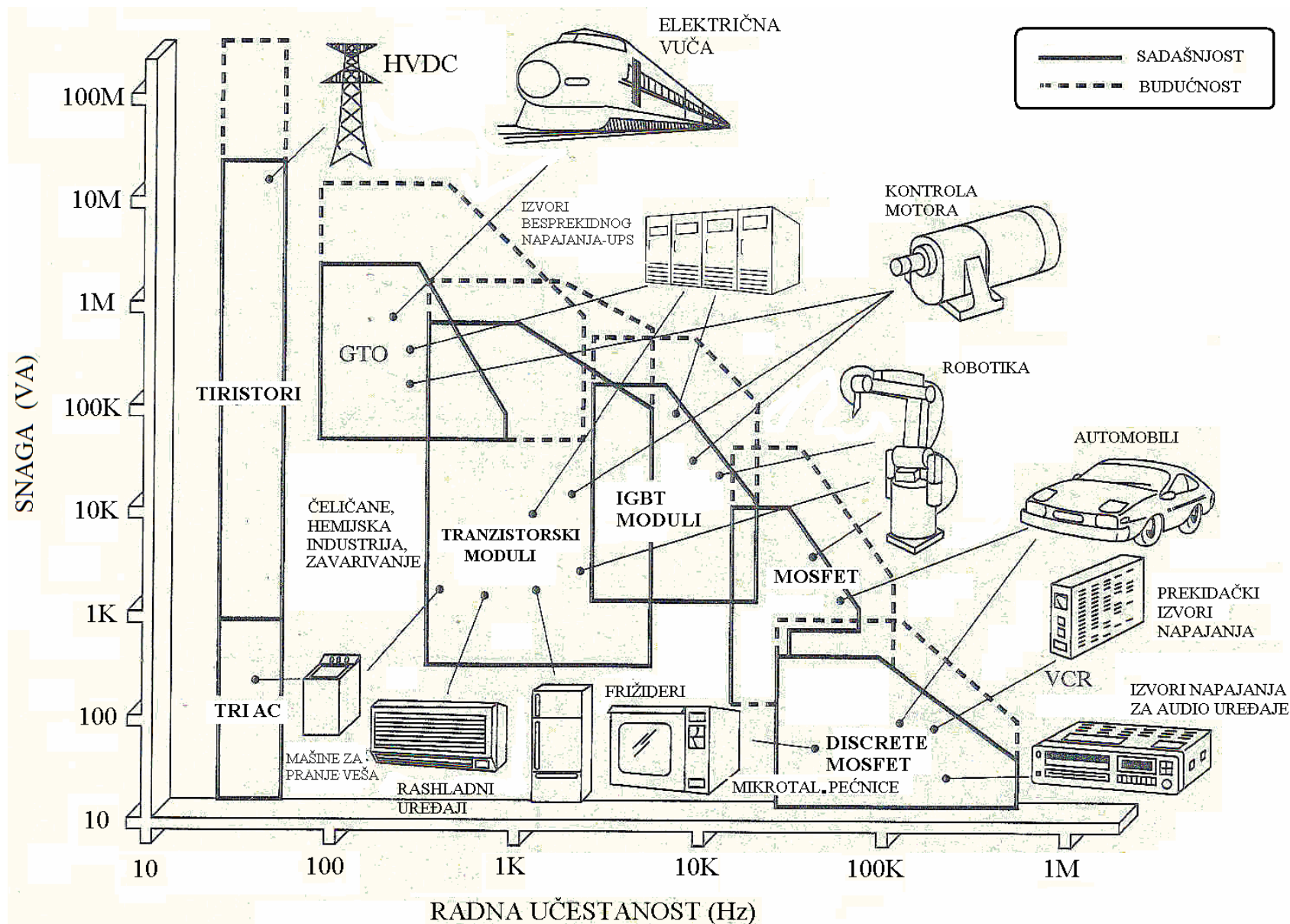
IGBT tranzistor 150A/600V(danas je to glavni poluprovodnički prekidač snage)



OPSEZI PRIMENE KONTROLISANIH PREKIDAČKIH ELEMENATA-SW



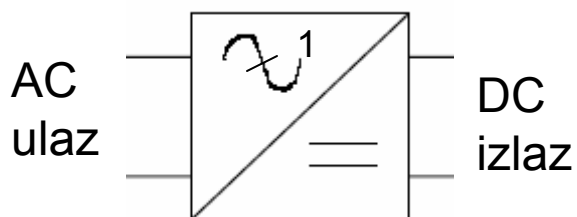
Podela oblasti primene energetskih prekidača po snazi i radnoj učestanosti



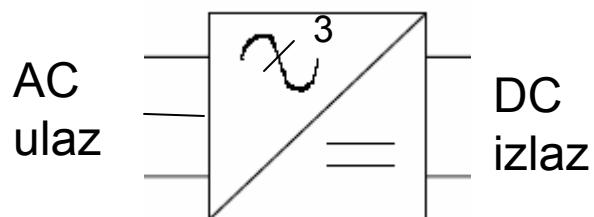
AC/DC pretvarači-ISPRAVLJAČI

AC ulaz: monofazni ili trofazni

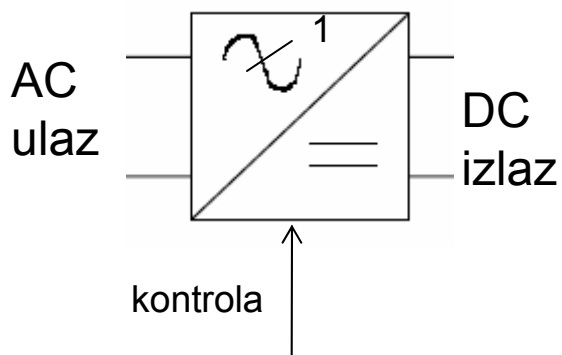
220V, 50/60Hz
3x380/220V, 50/60Hz



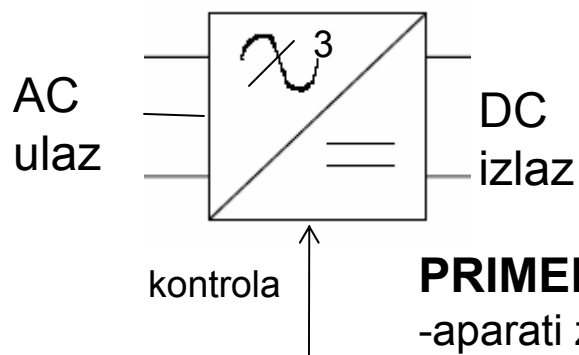
MONOFAZNI DIODNI ISPRAVLJAČI



TROFAZNI DIODNI ISPRAVLJAČI



**KONTROLISANI
TIRISTORSKI ili TRANZISTORSKI ISPRAVLJAČI
MONOFAZNI , TROFAZNI**

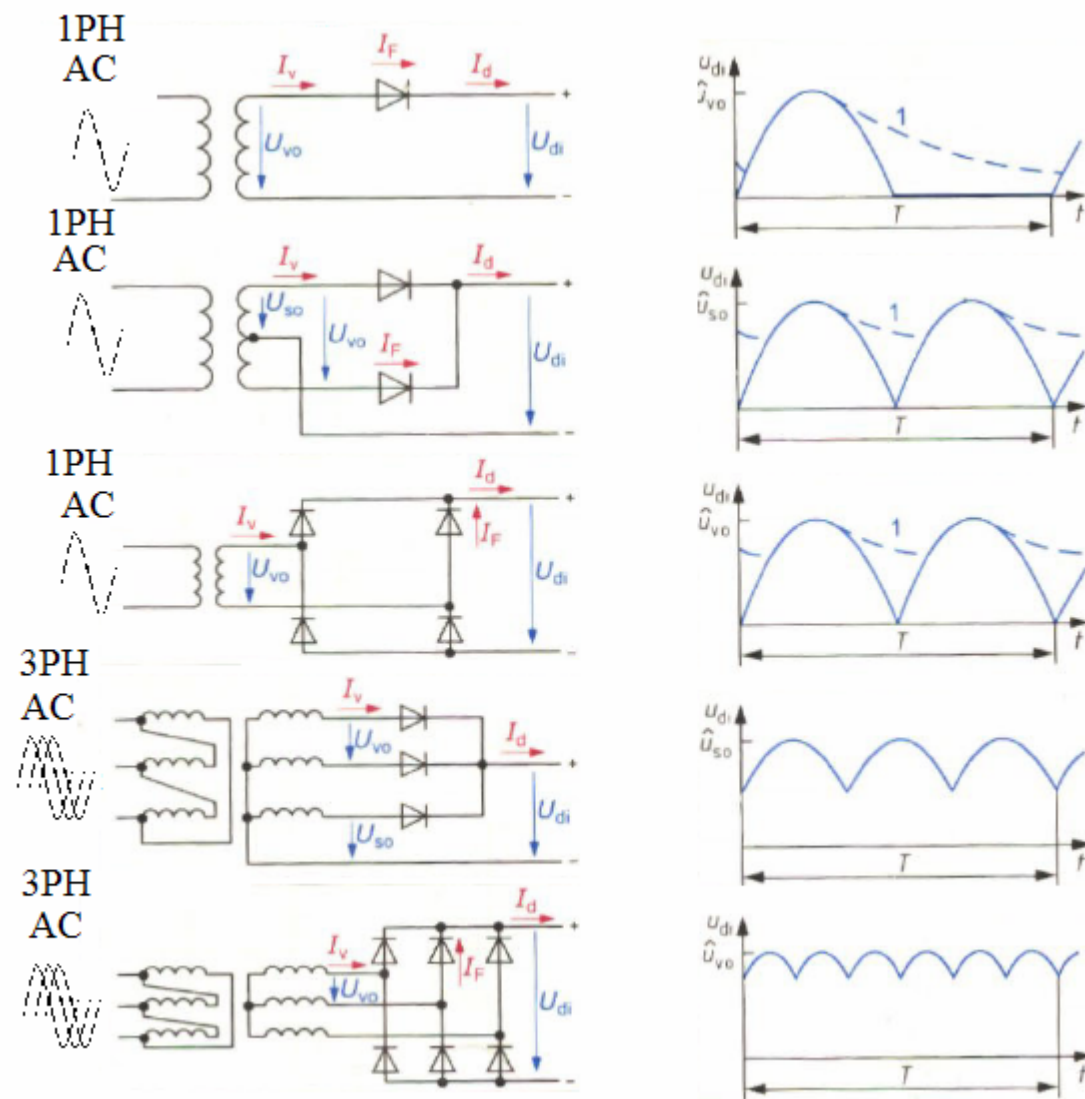


PRIMENA:

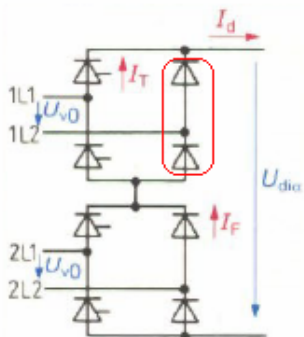
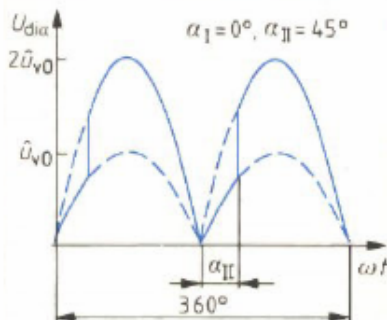
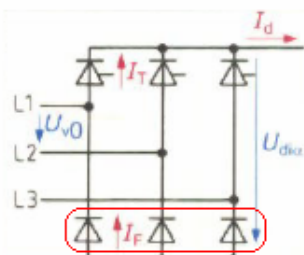
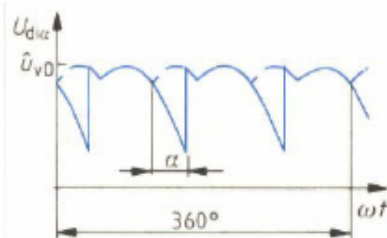
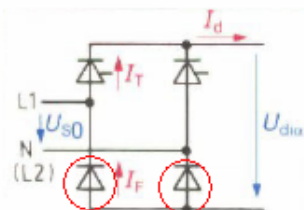
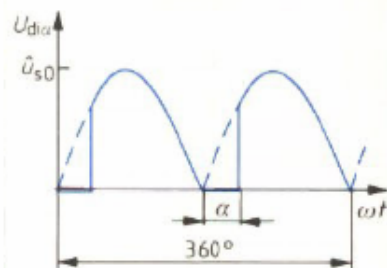
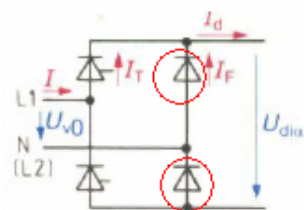
- aparati za zavarivanje
- jednosmerni motorni pogoni
- punjači baterija
- jednosmerni izvori napajanja
- visokonaponske DC aplikacije
- DC transmisije dalekovodima

TIRISTORSKI: POLUUPRAVLJIVI I PUNOUPRAVLJIVI

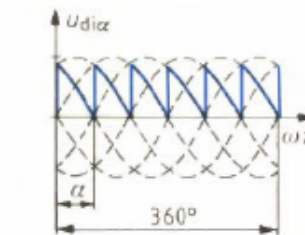
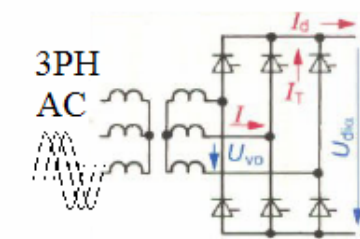
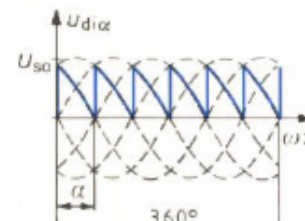
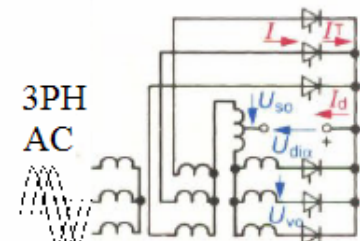
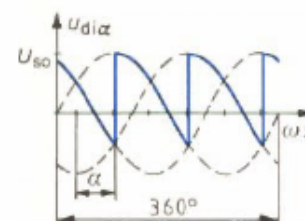
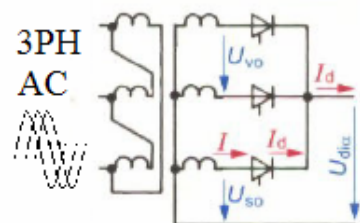
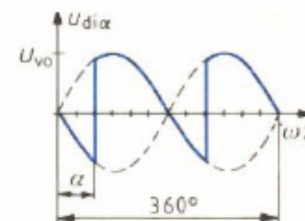
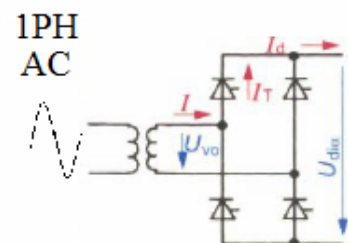
NEUPRAVLJIVI AC/DC PRETVARAČI DIODNI ISPRAVLJAČI



POLUUPRAVLJIVI I PUNOUPRAVLJIVI AC/DC PRETVARAČI-ISPRAVLJAČI

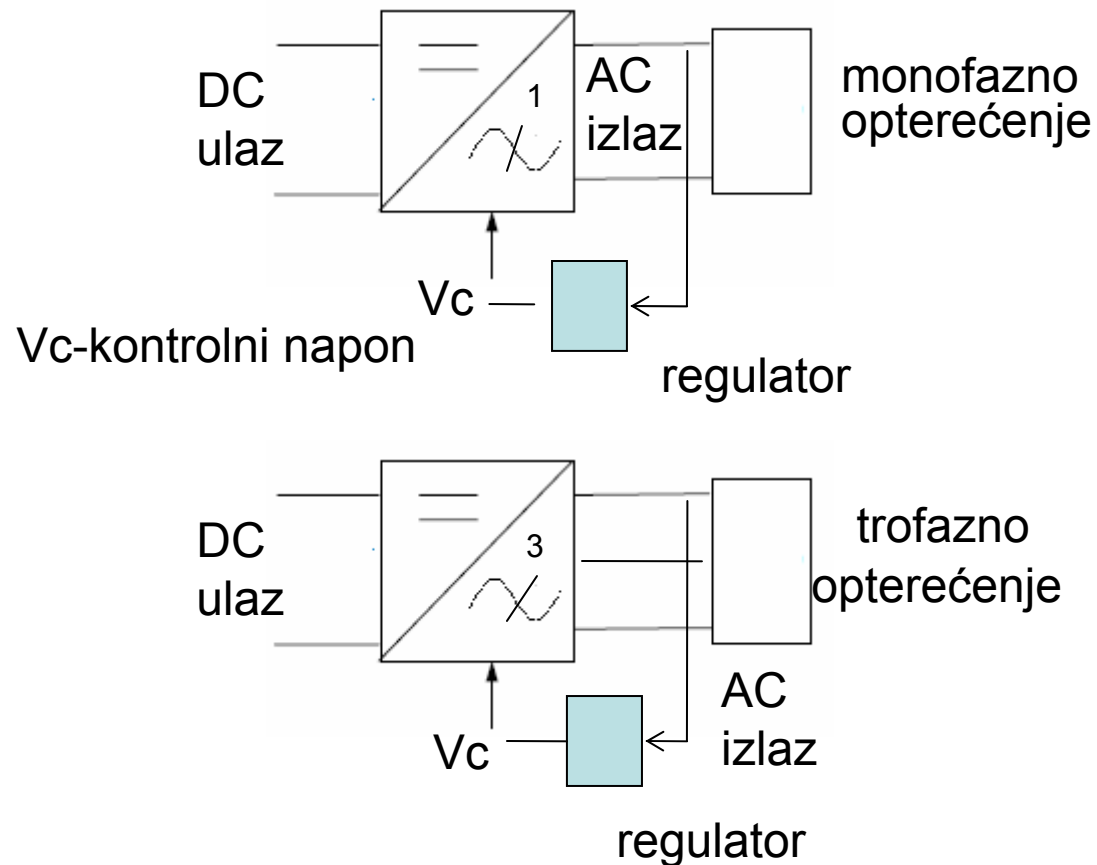


POLUUPRAVLJIVI



PUNOUPRAVLJIVI

DC/AC pretvarači-INVERTORI



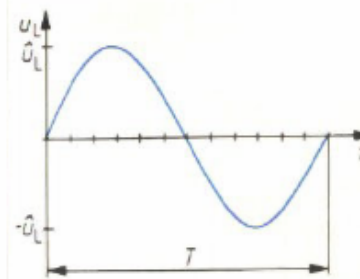
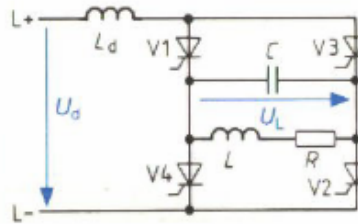
PRIMENA:

- regulisani motorni pogoni
- kućne aplikacije
- el.vuča
- DC transmisije

DC ulaz: jednosmerni izvori napajanja, izlaz ispravljačkih jedinica, solarne ćelije, DC vetrogeneratori, baterije, gorivne ćelije

Praktične realizacije DC/AC pretvarača-INVERTORA

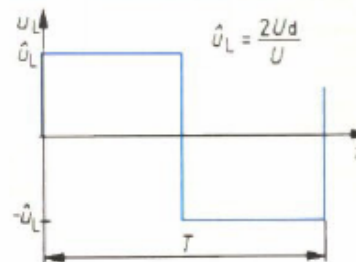
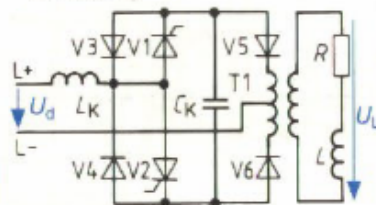
**Paralelno oscilatorno kolo
(inverter vođen opterećenjem)**



- Upotreba u području srednjih frekvencija kod peći za topljenje
- Izvedba sa opterećenjem kao: paralelno oscilatorno kolo sa sinusoidnim naponom i pravougaonom strujom ili redno oscilatorno kolo sa sinusoidnom strujom i pravougaonim naponom.

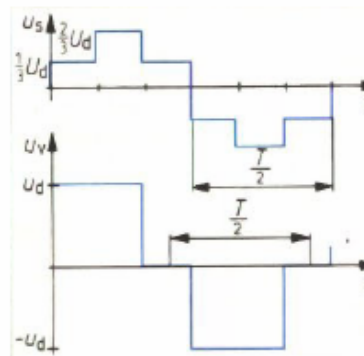
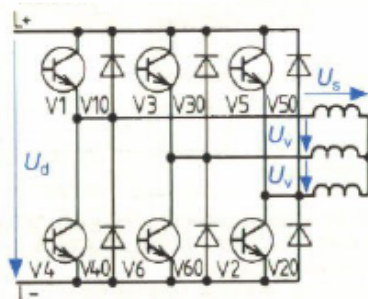
$$\frac{1}{T} = f_B \approx f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

**SAMOVODEĆI
INVERTOR-1PH**



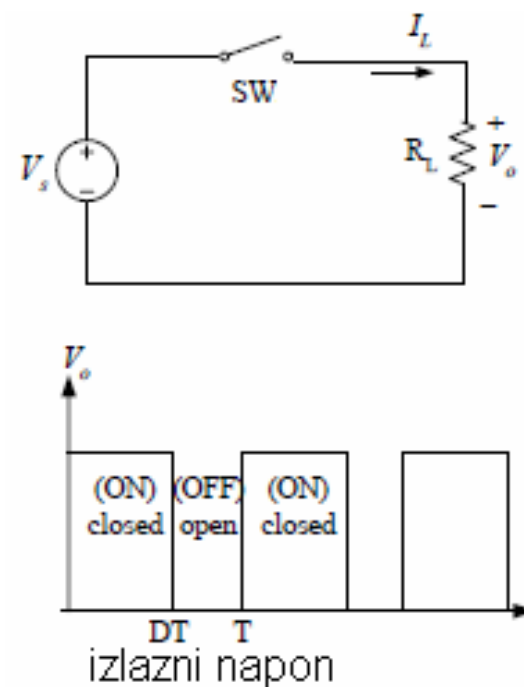
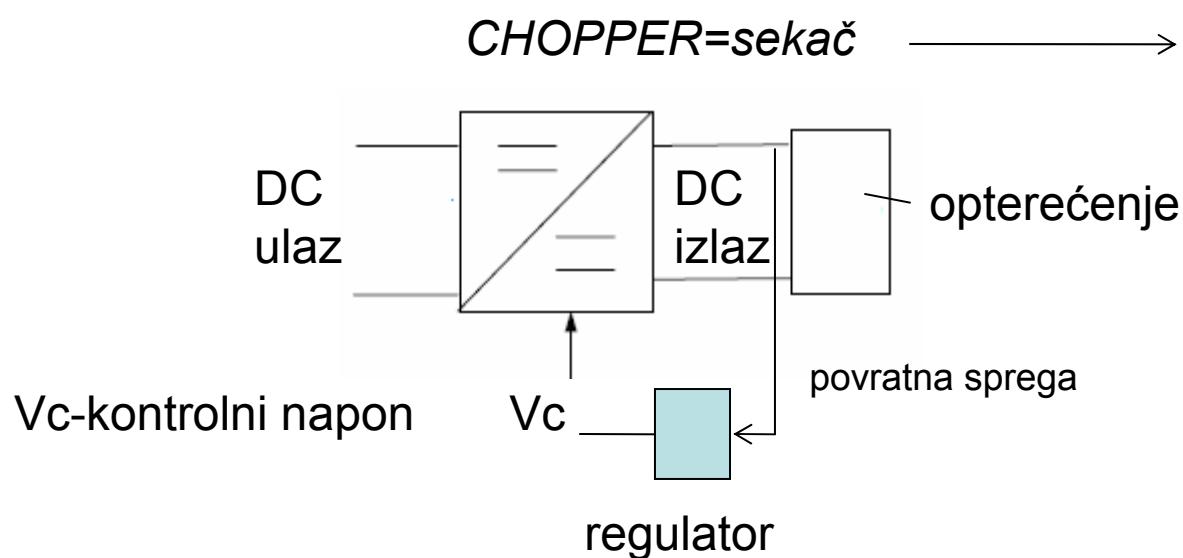
- Invertor u spoju sa srednjom tačkom napaja gotovo pravougaonim naizmeničnim naponom preko povratnih dioda V3 i V4 bilo koje opterećenje.
- Upotreba npr. kao nužno napajanje strujom postrojenja telekomunikacione tehnike.

**SAMOVODEĆI
INVERTOR-3PH**



- Primena prvenstveno kod pogona trofaznih mašina sa regulisanim brojem obrtaja.
- Invertor za snage od 10 kW sa tiristorima i pojedinačnim kolima gašenja.
- Dijagram napona kod ugla vođenja struje ventila od $\Theta = 180^\circ$.

DC/DC pretvarači-ČOPERI

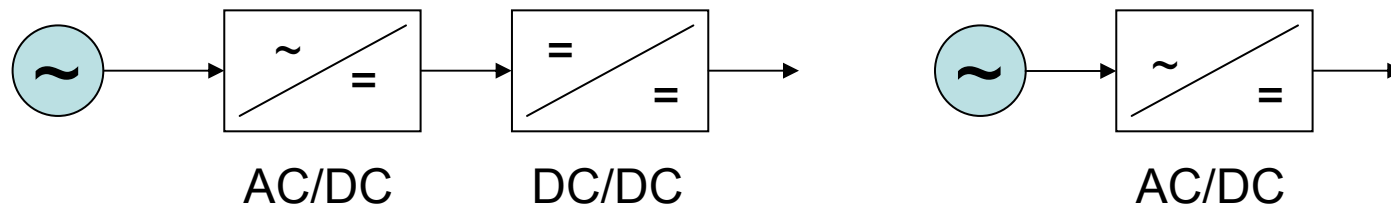


Pretvaraju nestabilisani DC ulazni napon u stabilisani DC izlazni napon zahtevanog nivoa

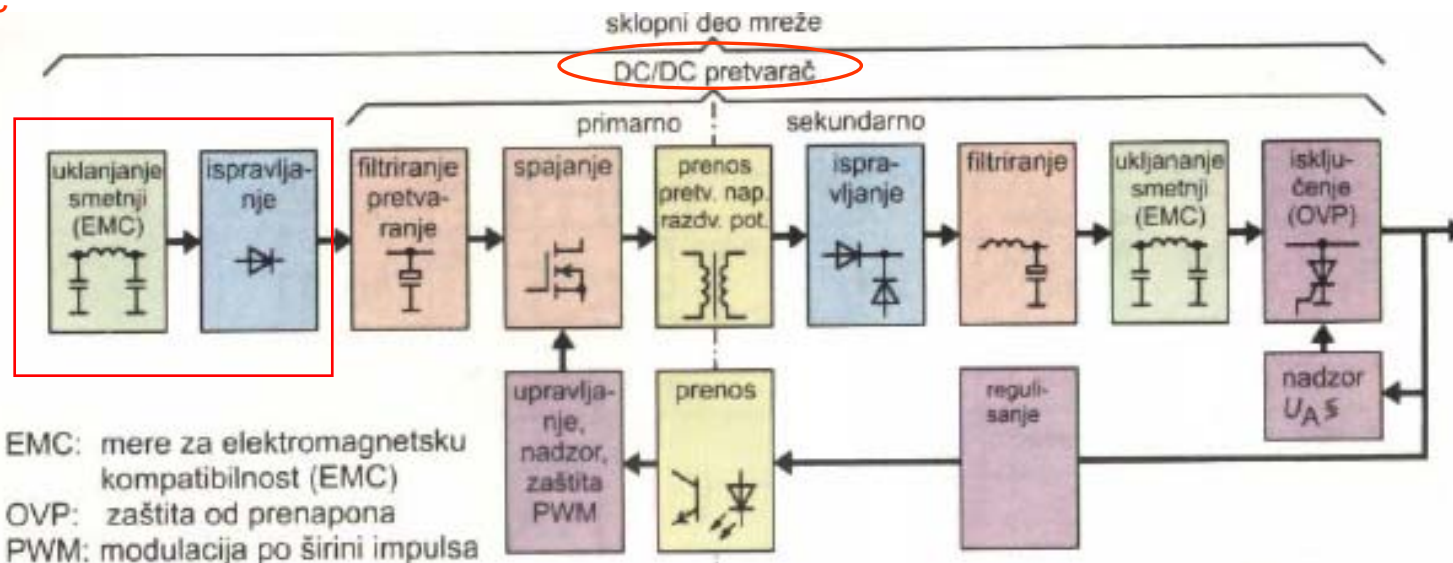
DC ulaz: jednosmerni izvori napajanja, izlaz ispravljačkih jedinica, solarne ćelije, DC vetrogeneratori, baterije, gorivne ćelije

PRIMENA: Prekidački izvori napajanja-Switch Mode Power Supply (SMPS), kontrola jednosmernih motora, punjači baterija

Kombinovani AC/DC i DC/DC pretvarač = AC/DC pretvarač (ispravljač)

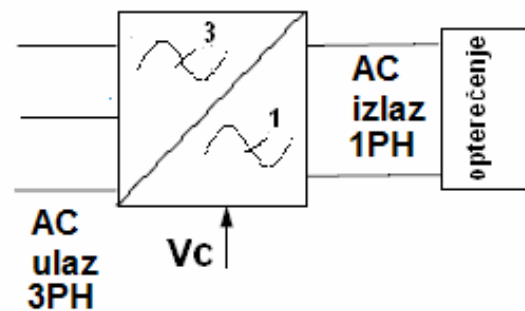
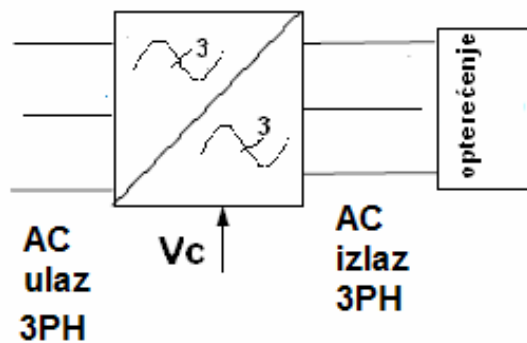
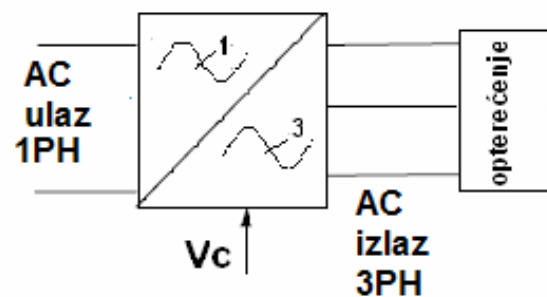
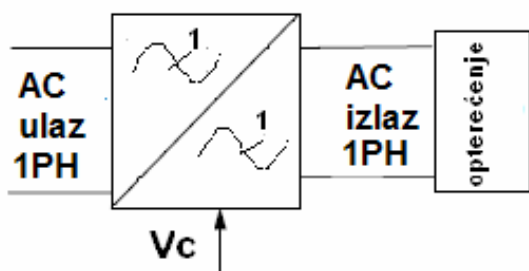


AC/DC
pretvarač



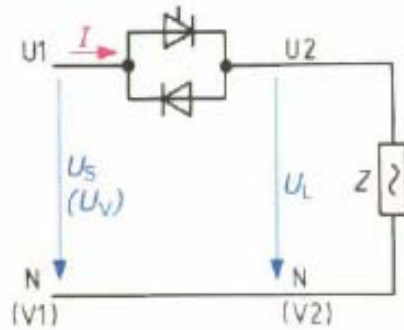
AC/AC pretvarači

PODEŠAVAČI NAPONA
PRETVARAČI UČESTANOSTI



PODEŠAVAČI NAPONA- Dvosmerni spojevi

MONOFAZNI



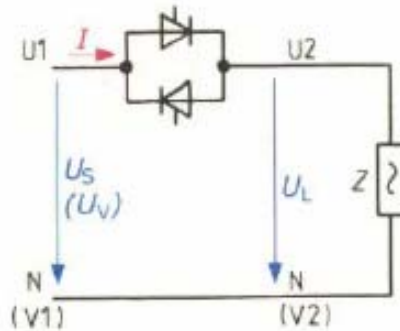
poluupravljivi

Osobine

- Nesimetrični napon opterećenja kod delimičnog upravljanja
- Jednosmerna komponenta u struji mreže pri $\alpha > 0^\circ$

Primene

- Naizmenični podešavač u opsegu snage od 50% ... 100%



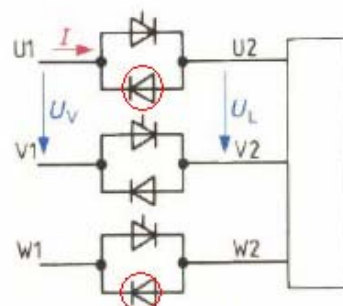
punoupravljivi

- Simetrični napon opterećenja
- Upravljačka reaktivna snaga u mreži pri $\alpha > 0^\circ$

- Naizmenični podešavač u opsegu snage od 0% ... 100%
- Sa trijakom kao potamnjivačem ili elektronskim relejem opterećenja

PODEŠAVAČI NAPONA- Dvosmerni spojevi

TROFAZNI



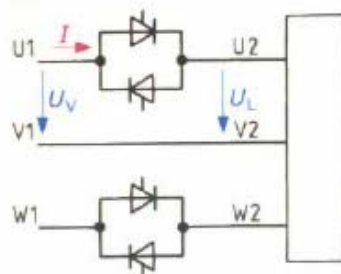
poluupravljivi

Osobine

- Nesimetrični napon opterećenja pri $\alpha > 0^\circ$ povećava nastajanje šuma kod motornog opterećenja.
- Neznatni utrošak pri ventilnog upravljanja

Primene

- Trofazni podešavač u opsegu snage od 0% ... 100% kod pogona sa neznatnim zahtevima kao npr. mali zaletni moment



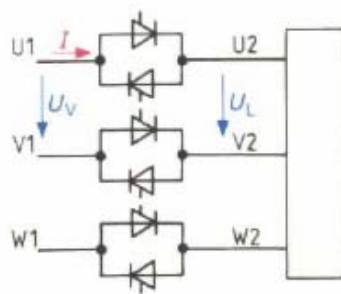
dvofazno upravljani

Osobine

- Stalna veza opterećenja sa mrežom
- Jednostavni uslovi paljenja
- Kod spoja opterećenja u zvezdu neutralni vod ne sme biti priključen.

Primene

- Trofazna sklopka (elektronski sklopnik) sa reduciranim utroškom ventila za upotrebu kod čestog uključivanja i isključivanja velikih struja.



punoupravljivi

Osobine

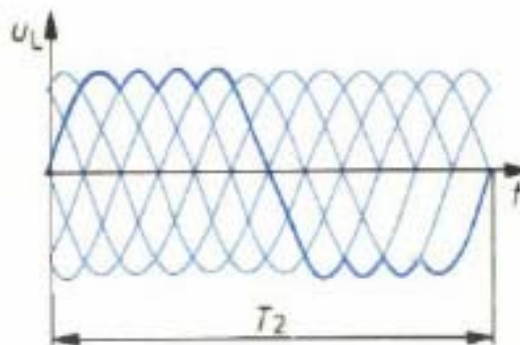
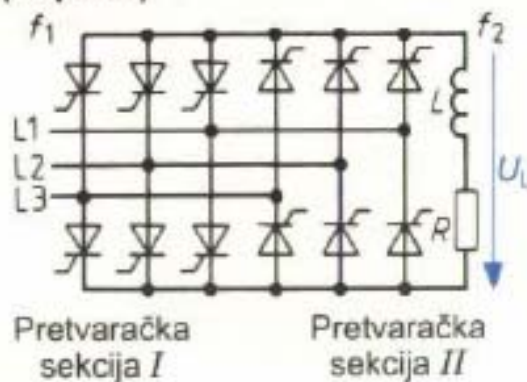
- Povećani gubitak za paljenje, jer se strujno kolo zatvara najmanje preko dva spoljna provodnika.

Primene

- Trofazni podešavač za pogone sa neznatnim zahtevima (npr. ventilator)
- U rasvetnim i grejnim postrojenjima spojenim u zvezdu sa neutralnim vodom kao 3W1C-podešivač

DIREKTNI AC/AC pretvarači-CIKLOKONVERTORI

Direktni pretvarač frekvencije (trapezni)



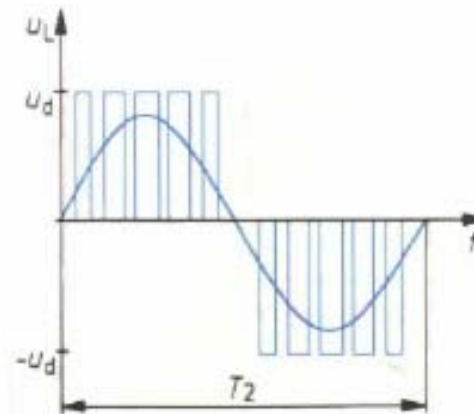
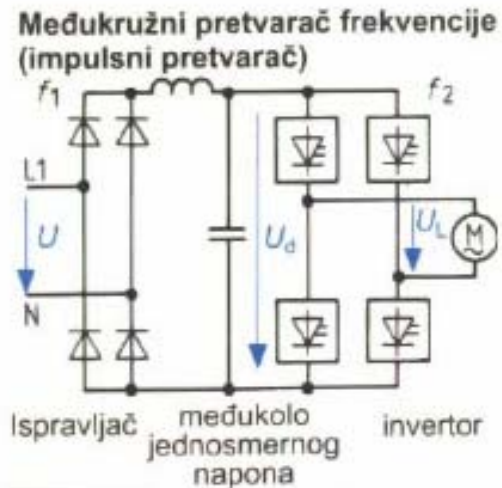
- Antiparalelni spoj dve potpuno upravljane pretvaračke sekcije omogućava naizmenični napon sa $f_2 < f_1$.
- Kod trapeznog pretvarača izlazni napon se određuje iz broja vrhova mrežnog napona.
- Tri pretvarača (kao i ciklopretvarač) omogućavaju snabdevanje iz trofaznih pogonskih mehanizama.

Ulazna učestanost je veća od izlazne $f_1 > f_2$

PRIMENA: sporohodni motorni pogoni velikih snaga ($>1\text{MW}$)

INDIREKTNI PRETVARAČ UČESTANOSTI PRETVARAČ 1PH/1PH

Dva pretvaranja energije
AC-DC i DC-AC što je ustvari AC-AC

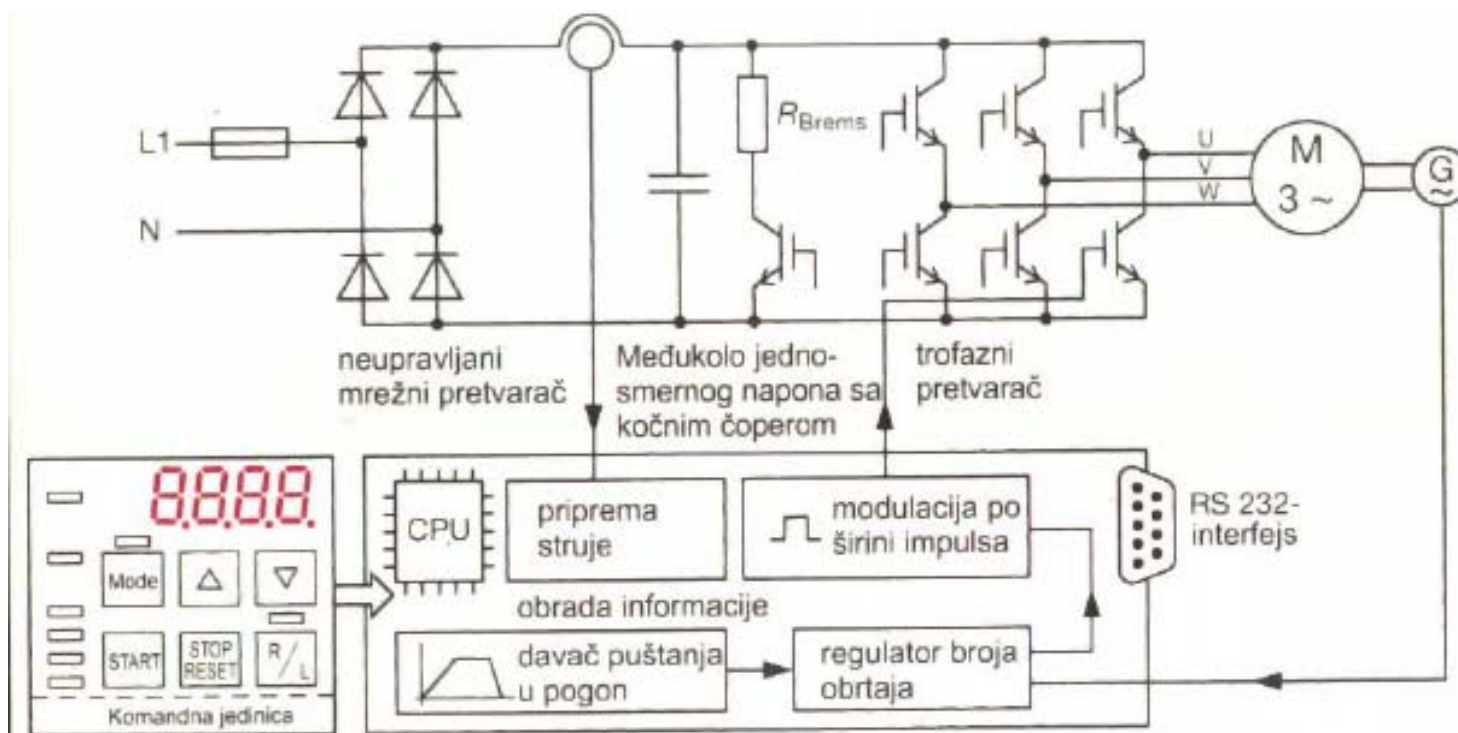


- Posebnim upravljanjem širine impulsa može se naizmenični napon menjati s obzirom na frekvenciju i amplitudu.
- Sinusoidna frekvencija osnovnog oscilovanja leži ispod frekvencije impulsa (podoscilatorni postupak).
- Simbol za ventil sa funkcijom gašenja.

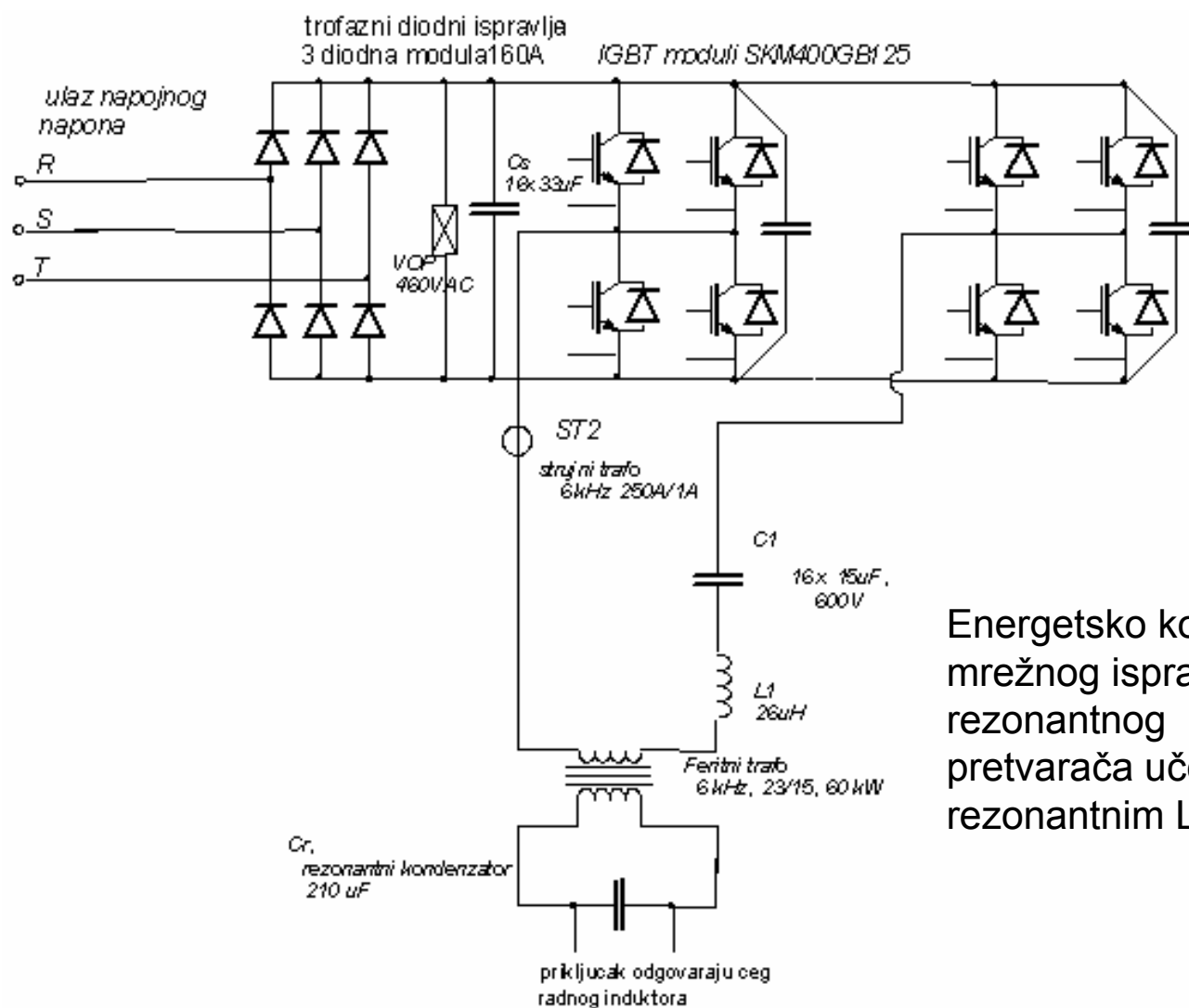


INDIREKTNI PRETVARAČ UČESTANOSTI PRETVARAČ 1PH/3PH

Dva pretvaranja energije: AC-DC i DC-AC što je ustvari AC-AC

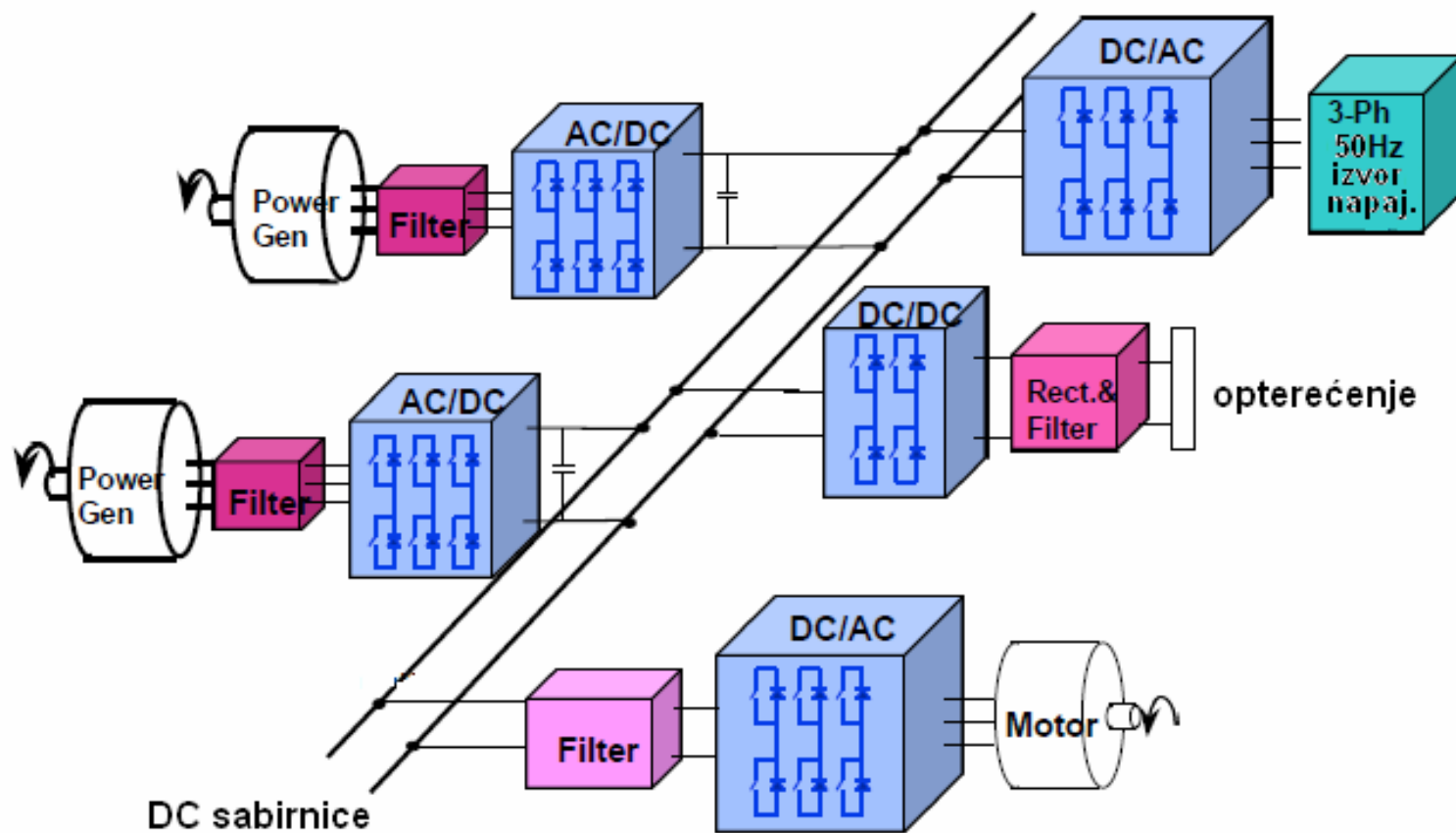


AC-DC-AC pretvarač: Rezonantni inverter za indukciono grejanje P=60kW, izlazne učestanosti 5kHz



Energetsko kolo trofaznog mrežnog ispravljača i rezonantnog pretvarača učestanosti sa rezonantnim LC kolom

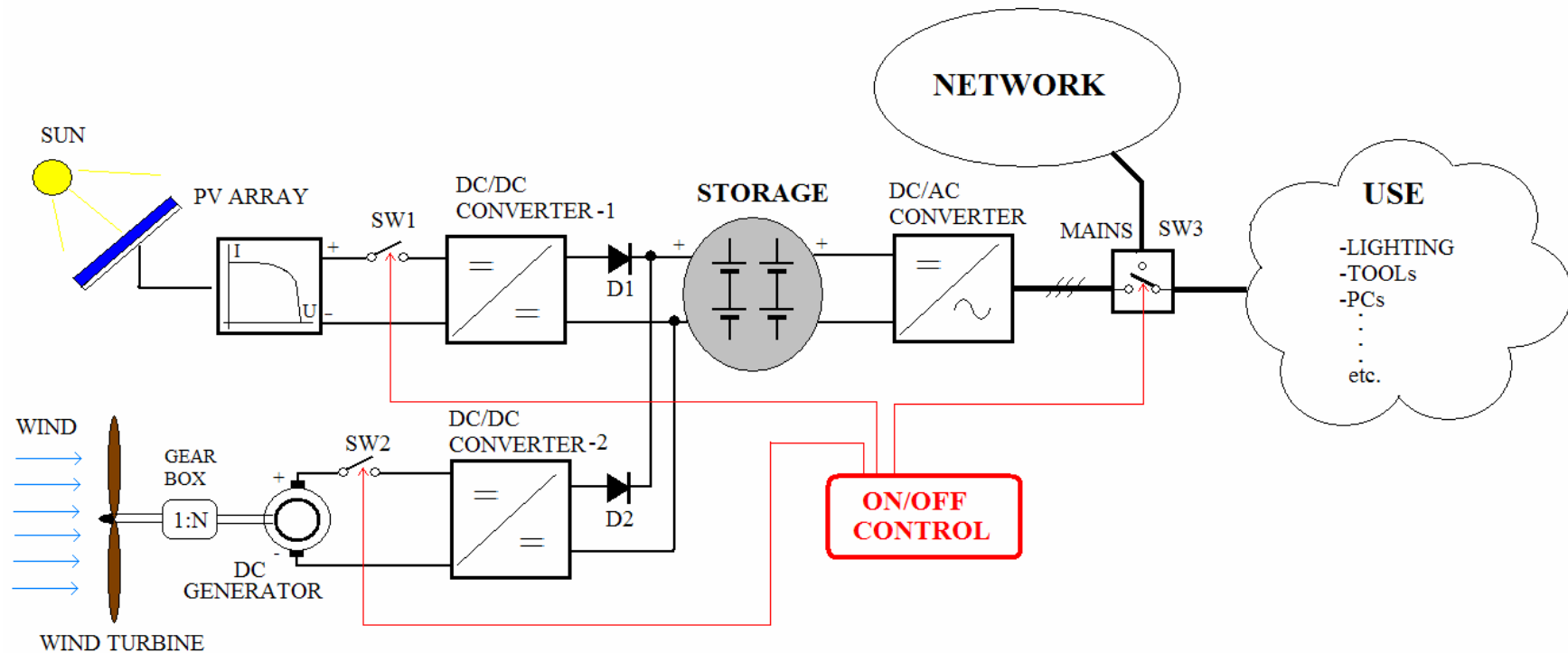
SISTEM ENERGETSKIH PRETVARAČA-Koncentrisani DC BUS sistem



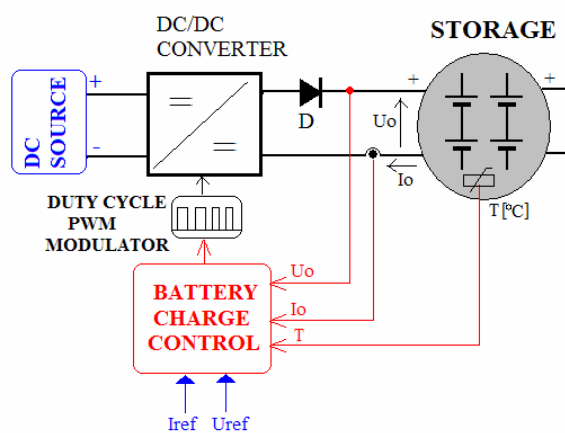
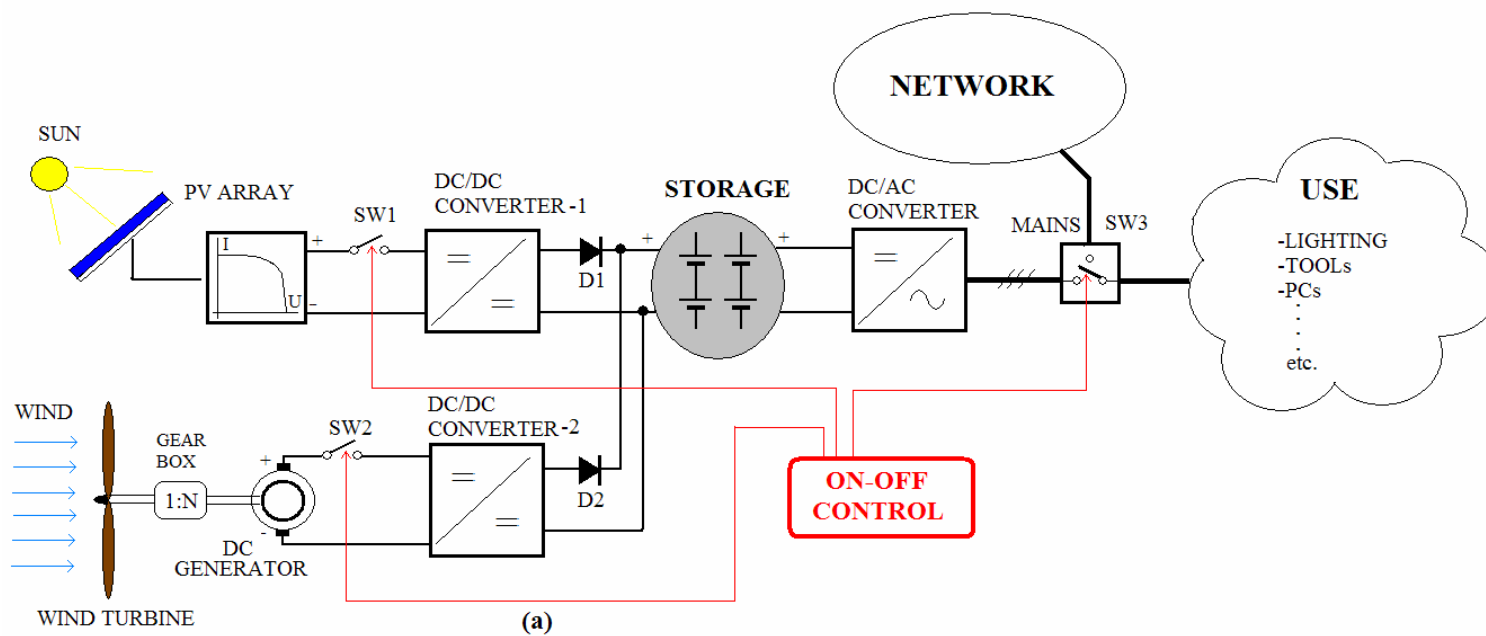
SISTEM ENERGETSKIH PRETVARAČA- Alternativni izvori napajanja

Solarne ćelije

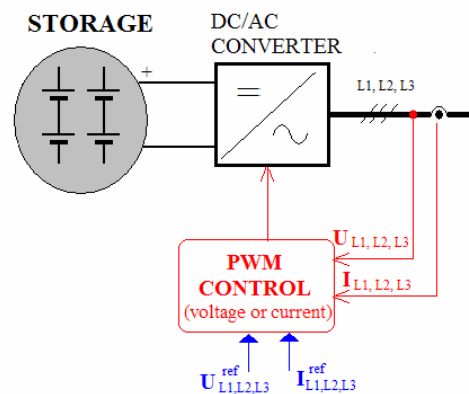
Jednosmerni vetrogenerator



Kontrolisani DC-DC i DC-AC pretvarači- Alternativni izvori napajanja



(b)

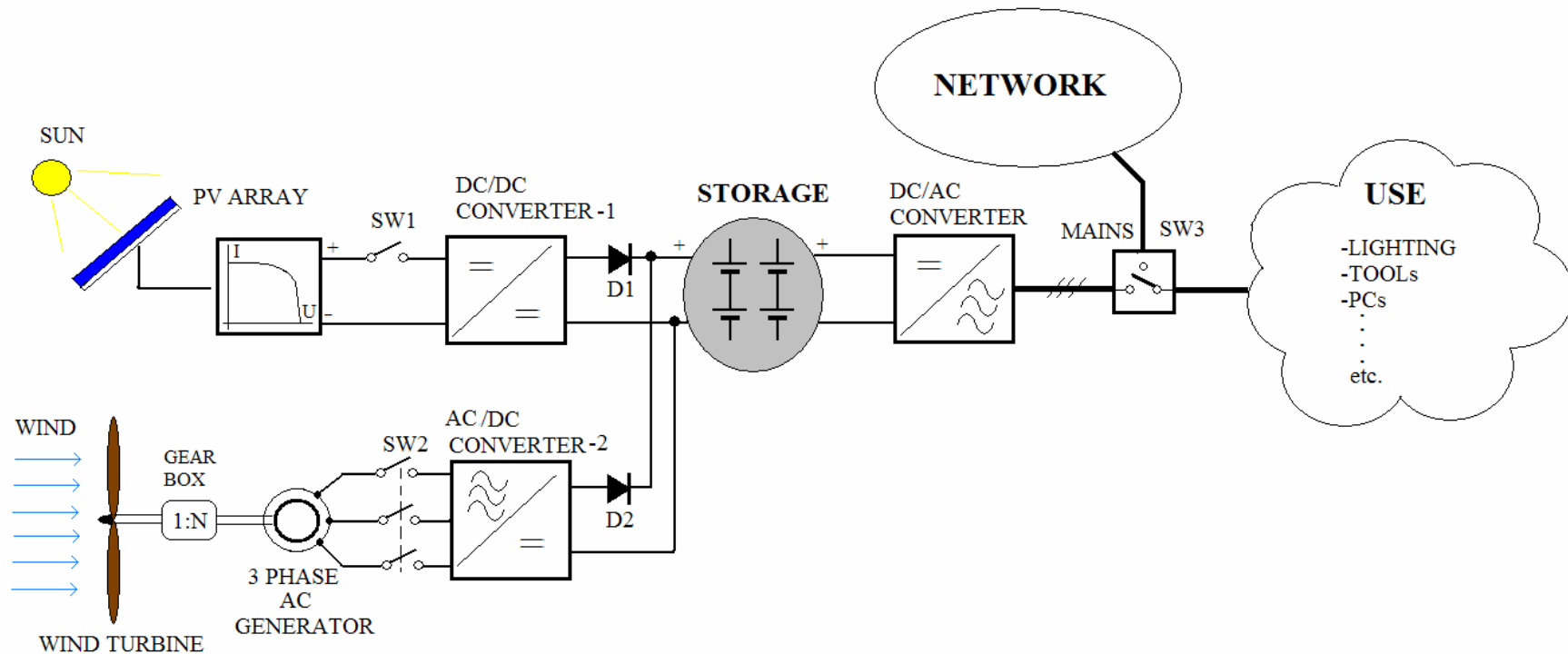


(c)

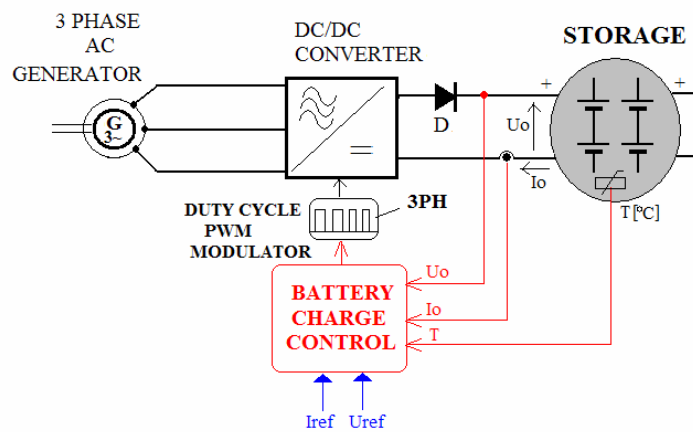
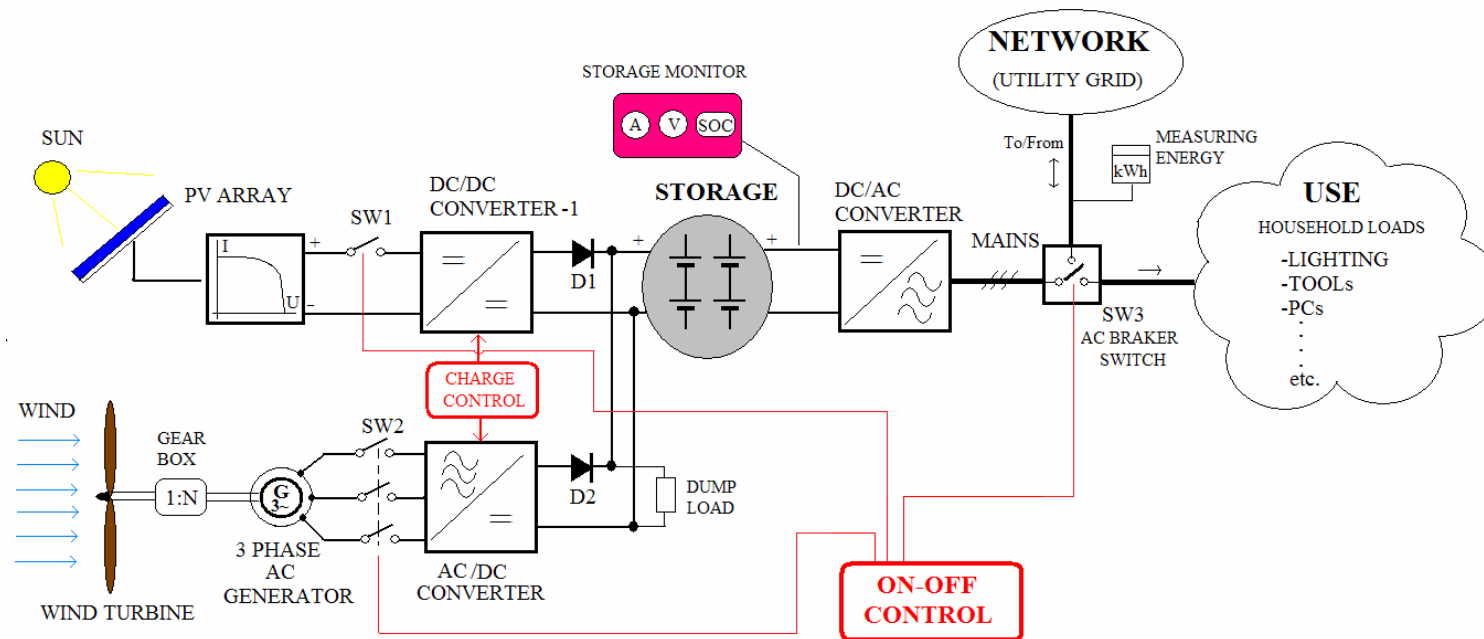
SISTEM ENERGETSKIH PRETVARAČA-Alternativni izvori napajanja

Solarne ćelije

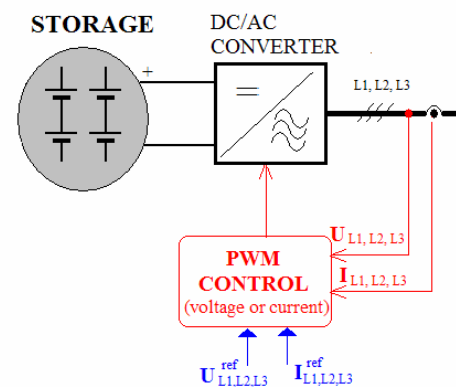
Trofazni vetrogenerator



Kontrolisani AC-DC i DC-AC pretvarači- Alternativni izvori napajanja

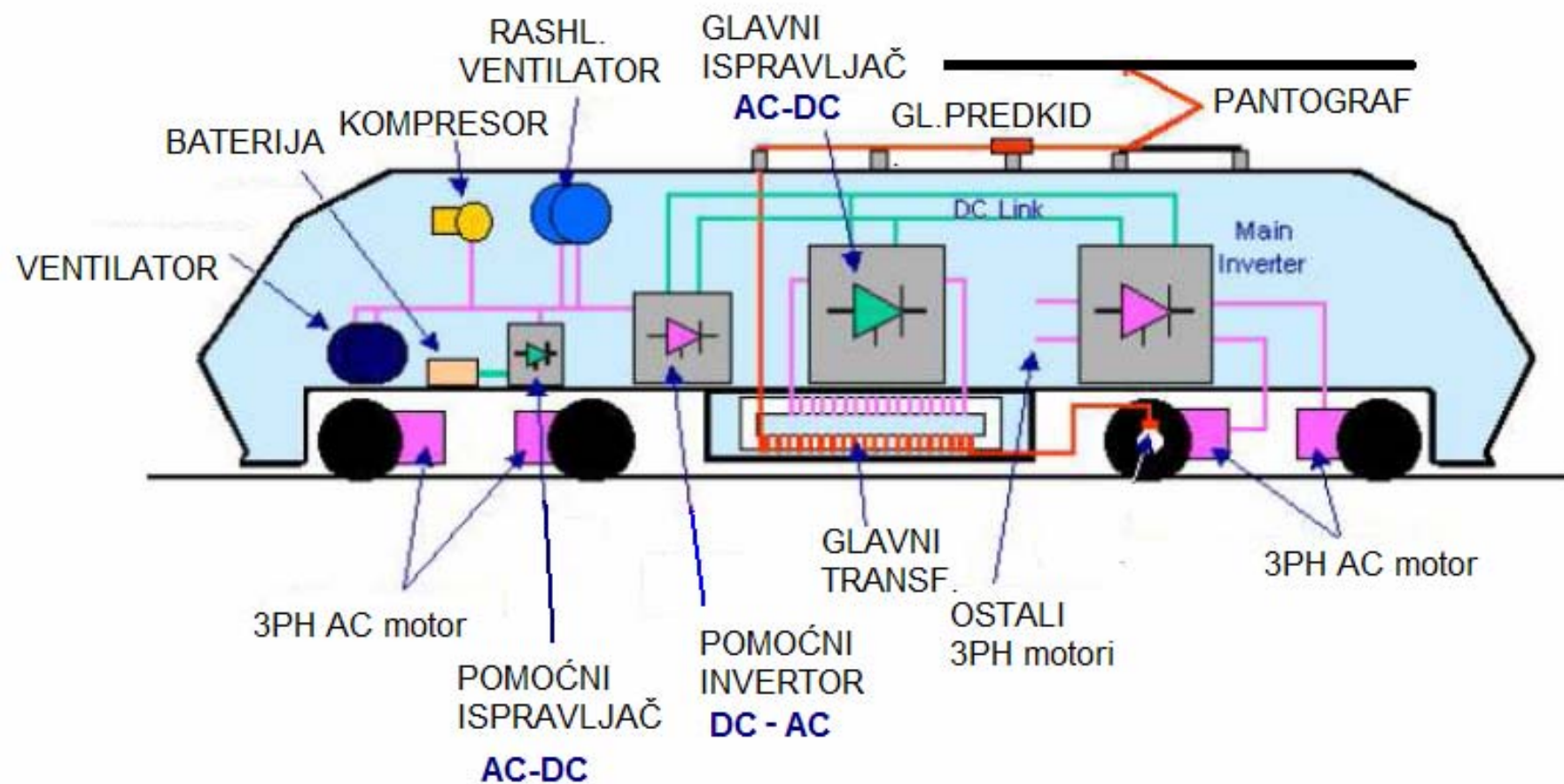


(b)

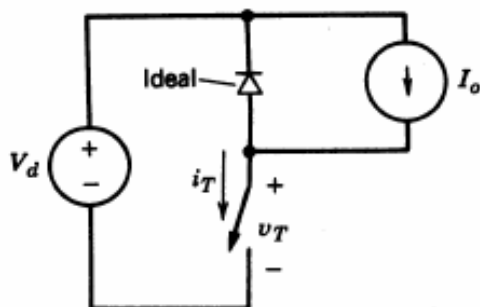


(c)

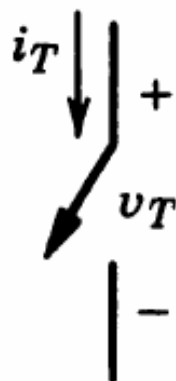
SISTEM ENERGETSKIH PRETVARAČA-ELEKTRIČNA VUČA



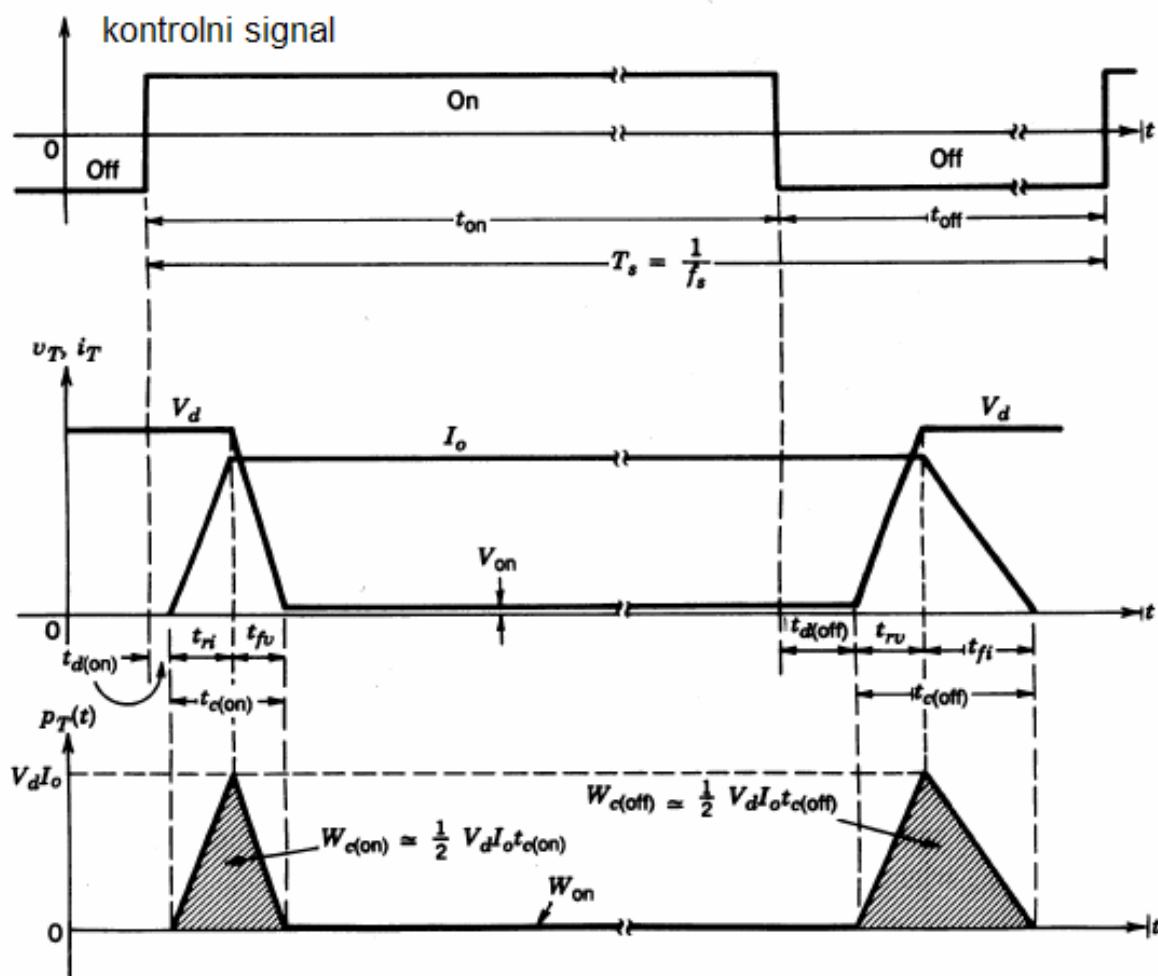
PREKIDAČ KAO OSNOVNI ELEMENAT ENERGETSKOG PRETVARAČA



osnovno
prekidačko
kolo



PREKIDAČ-SW



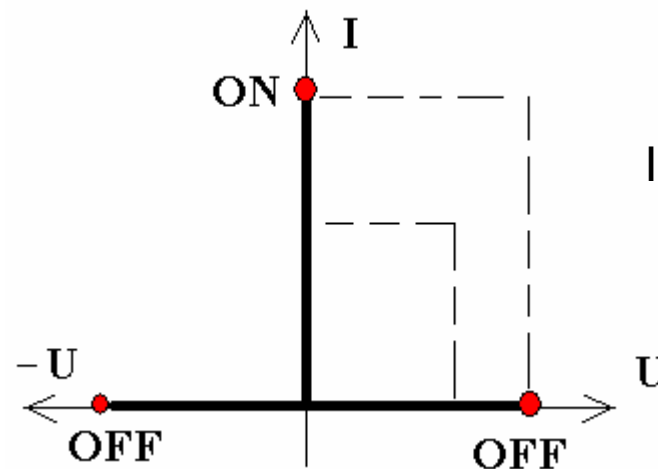
U ENERGETSKOJ ELEKTRONICI JE OD MAKSIMALNE VAŽNOSTI
SLEDEĆE :

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

To ustvari znači ovo:

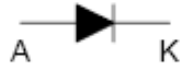
**poluprovodnička komponenta ne sme biti u isto vreme izložena i
spoljašnjem naponu i spoljašnjoj struji – u tom slučaju zbog prevelikog
zagrevanja trenutno dolazi do proboja, tj. razaranja materijala.**

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



Idealna prekidačka karakteristika

DIODA

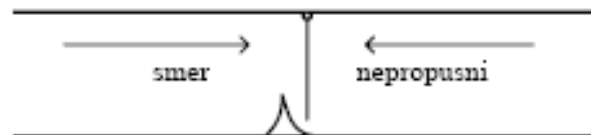


Kada je polarizovana direktno, kroz diodu protiče relativno velika struja; pad napona na njoj je, međutim vrlo mali, pa je discipacija snage mala.

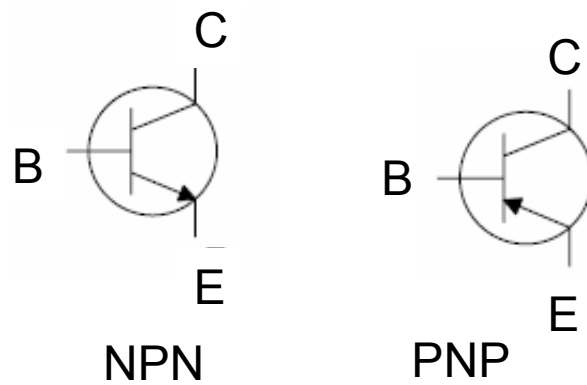
Na krajevima inverzno polarizovane diode javlja se veliki napon ali je inverzna struja dosta mala pa je i discipacija snage vrlo mala.

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

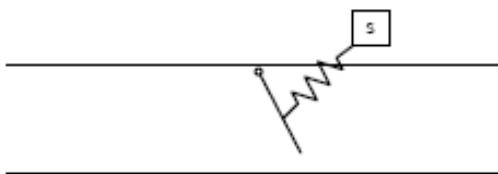
NEPOVRATNA KLAPNA U CEVOVODU



TRANZISTOR



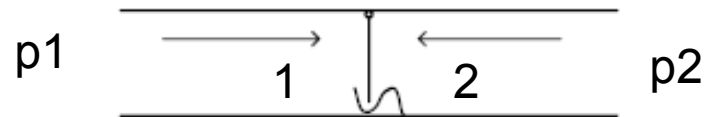
ANALOGNI MEHANIČKI MODEL JE
KONTROLISANA KLAPNA U CEVI U
KOJOJ STRUJI FLUID



TIRISTOR - SCR



ANALOGNI MEHANIČKI MODEL



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

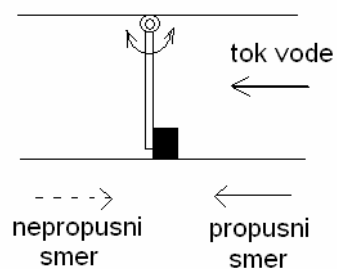
Očigledno kada “struja” teče ne možemo ponovo da stavimo rezu, jedino ako se spolja ne promene uslovi.

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

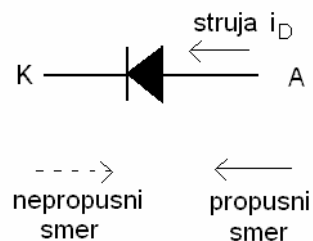
HIDRAULIČKE ANALOGIJE PREKIDAČKIH ELEMENTA

HIDRAULIKA

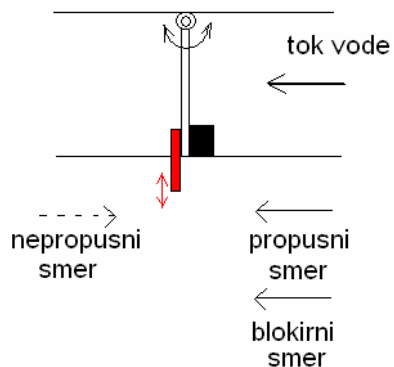
ELEKTRONIKA



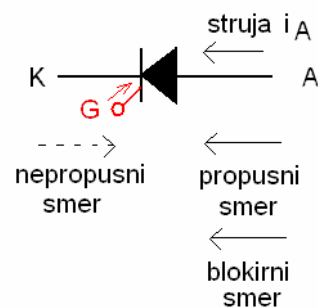
=



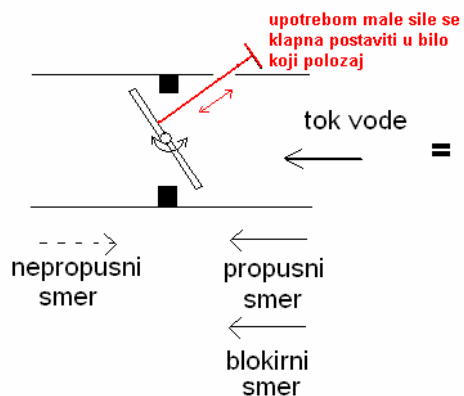
DIODA



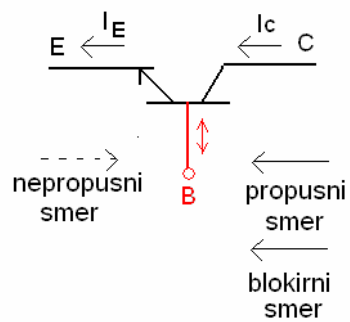
=



TIRISTOR

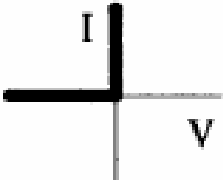
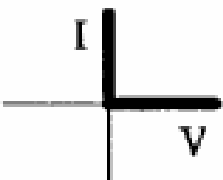
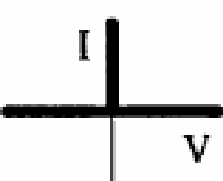
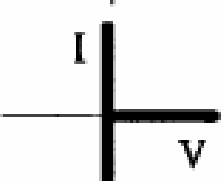
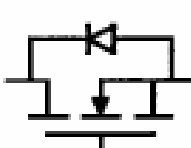
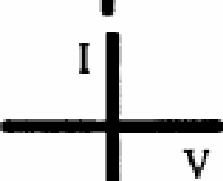


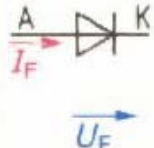
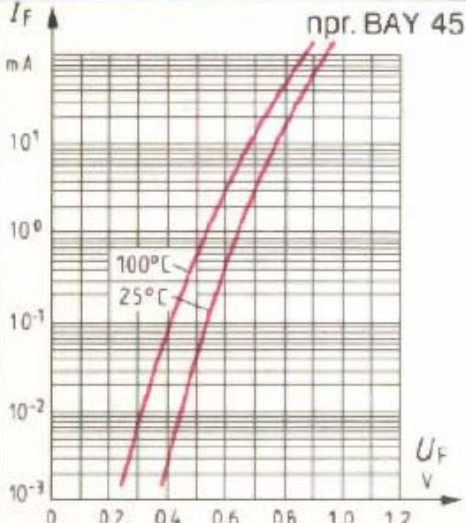
=



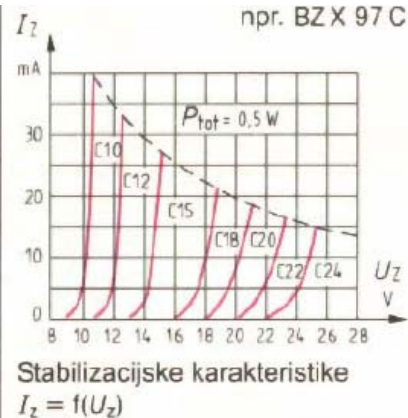
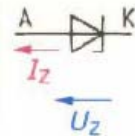
TRANZISTOR

IDEALNE KARAKTERISTIKE PREKIDAČKIH ELEMENATA

Diode			
BJT			
GTO			
FET			
Ideal switch			

Simboli spoja	Karakteristične krive	Karakteristične vrednosti	Primena
Dioda 	 Karakteristika vođenja $I_F = f(U_F)$ pri $\vartheta_u = 25^\circ\text{C}$ odnosno 100°C	Germanijumske diode $U_{T0} = 200\text{ mV} \dots 400\text{ mV}$ $U_{RM} \leq 100\text{ V}$ $I_F \leq 150\text{ mA}$ $I_R \leq 300\text{ }\mu\text{A}$ $R_{th\text{ }JU} \leq 400\text{ }\frac{\text{K}}{\text{W}}$ $\vartheta_u = -55^\circ\text{C} \dots +75^\circ\text{C}$ Silicijumske diode $U_{T0} = 0,6\text{ V} \dots 0,8\text{ V}$ $U_{RM} = 30\text{ V} \dots 3,5\text{ kV}$ $I_F = 150\text{ mA} \dots 750\text{ A}$ $I_R = 0,5\text{ }\mu\text{A} \dots 50\text{ mA}$ $\vartheta_u = -40^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$	Germanijumske diode: - univerzalna dioda u VF području uslovljeno malom kapacitivnošću zapornog sloja - sklopna dioda - uparena kao par faznog diskriminatora u otklonskom delu televizora Silicijumske diode - ispravljачke diode do najvećih snaga - diodna sklopka, npr. zaštita od pogrešnog polariteta - granična dioda za male napone

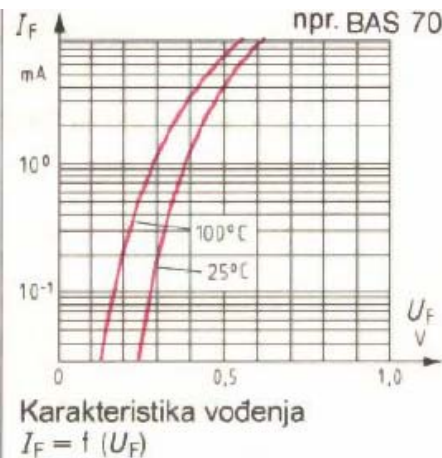
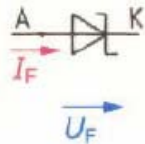
Zenerova dioda



Stabilizacijski efekt kod rada u inverznom smeru
 $U_Z = 1,8 \text{ V} \dots 200 \text{ V}$
 $P_{\text{tot}} \leq 50 \text{ W}$
 $\vartheta_u \leq 150^\circ\text{C}$
 Pri $U_Z \leq 5,1 \text{ V}$ negativni, a pri $U_Z \geq 5,1 \text{ V}$ pozitivni temperaturni koeficijent

- stabilizacija, odnosno, ograničavanje jednosmernih napona
- inverzno-serijski spoj Zenerove i normalne diode prema referentnim diodama sa posebno malom temperaturnom zavisnošću
- TAZ diode (Transient Absorption Zener) za zaštitu od velikih prenapona

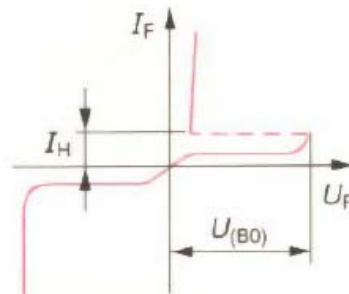
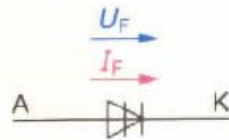
Šotkijeva dioda (simbol spoja nije standardizovan)



Vreme sklapanja $< 1 \text{ ns}$
 $U_{T0} < 300 \text{ mV}$
 $U_{RM} \leq 70 \text{ V}$
 $I_F < 80 \text{ A}$
 $I_R < 200 \text{ nA}$
 $\vartheta_u = -65^\circ\text{C} \dots +125^\circ\text{C}$

- ekstremno brze diodne sklopke u VF i mikrotalasnoj tehnici $f > 15 \text{ GHz}$
- integrisani sklopovi digitalne tehnike
- ispravljač u prekidnom načinu rada (SMPS)

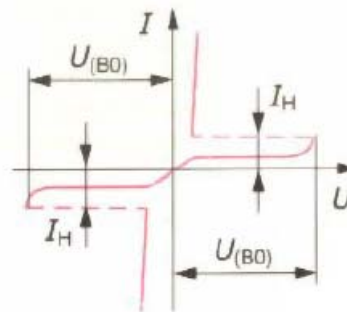
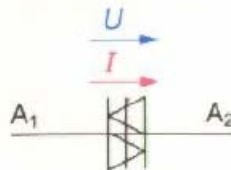
**Tiristorska dioda
(četvoroslojna dioda)**



posle prekoračenja
napona preklapanja
 $U_{(BO)}$ u propusnom
smeru ponaša se
kao ispravljačka
dioda (naponski
zavisna sklopka).

okidanje struja
paljenja u tirostorskim
sklopovima, element
vremenskih sklopova;
napon preklapanja
od 20 ... 200 V
 $I_{F \max}$ 30 A
Struja držanja
15 ... 45 mA

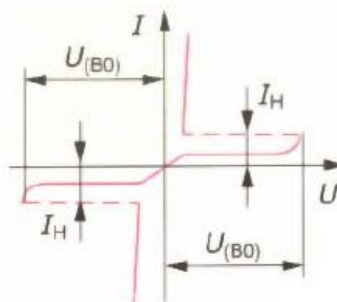
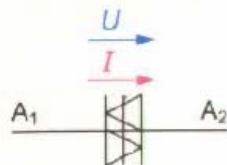
**Dvosmerna
tirostorska dioda
(petoslojna dioda)**



ponaša se kao
antiparalelno
spojene četvo-
roslojne diode

okidanje struje
paljenja za trijake;
naponi preklapanja
do 10 V;
struja držanja
ispod 5 mA;
propusna struja oko
200 mA

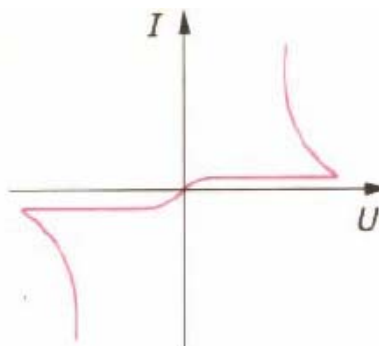
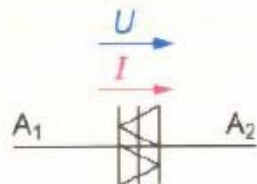
**Dvosmerna
tirostorska dioda
(petoslojna dioda)**



ponaša se kao
antiparalelno
spojene četvo-
roslojne diode

okidanje struje
paljenja za trijake;
naponi preklapanja
do 10 V;
struja držanja
ispod 5 mA;
propusna struja oko
200 mA

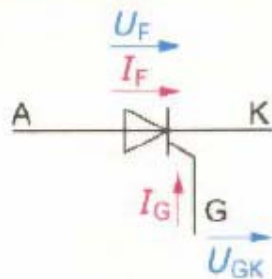
**Dvosmerna dioda,
dijak (Diac: diode
alternating current)**



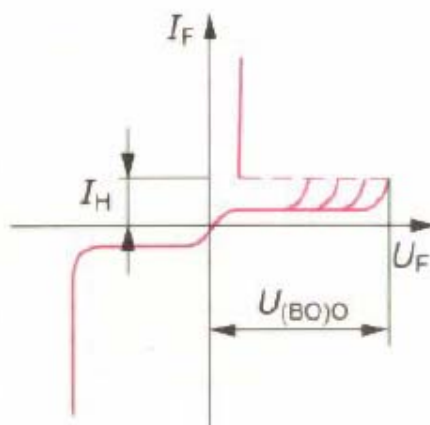
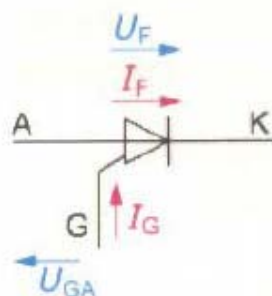
neprekinut prelaz u
probojno područje.
Visoki propusni
napon.

okidanje struje
paljenja za trijake;
napon preklapanja
oko 35 V;
propusna struja
jako zavisna od
dužine impulsa;
maksimalni gubitak
snage oko 300 mW

P-gejt tiristor



N-gejt tiristor



Tiristorska trioda

- upravljanje sa katodne strane
- navođenje u inverznom smeru

pretvarač sve do najvećih snaga

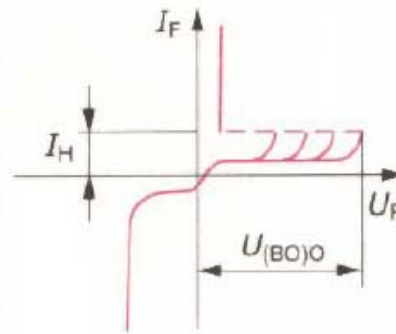
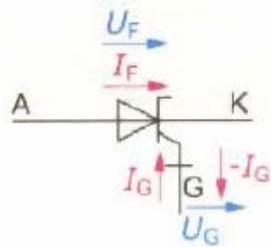
od 100 V ... 4000 V;
struje zavisne od izrade, do max 1000 A
kod vodom hlađenih plastičnih tiristora.

Tiristorska trioda

- upravljanje sa anodne strane
- navođenje u inverznom smeru

područje malih snaga
pri spajanju sa deliteljem napona kao
i PUT (vidi str. 67)

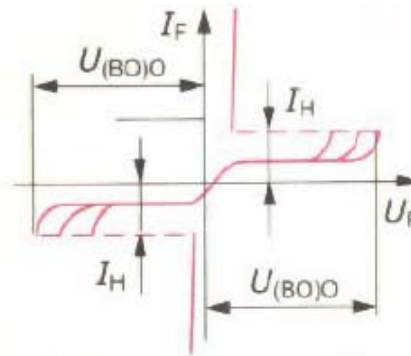
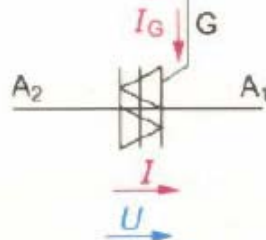
Isključni tiristor
(GTO, gate-turn-off)



Tiristorska trioda
- upravljanje sa
katodne strane
- prekidanje I_F sa
negativnom
strujom gejta I_G

Čoper sve do područja
srednjih snaga;
napon ≤ 1200 V,
struja ≤ 400 A.

Dvosmerni tiristor
trijak (triac: triode
alternating current)



- karakteristika poput
antiparalelno
spojenih tiristora
- paljenje pozitivnom
ili negativnom
strujom gejta
nezavisno od
polariteta anode.

Upravljanje otsecanjem
faze, elektronski relej
i kontaktor u području
male i srednje snage;
naponi do 1200 V,
struje do oko 300 A.