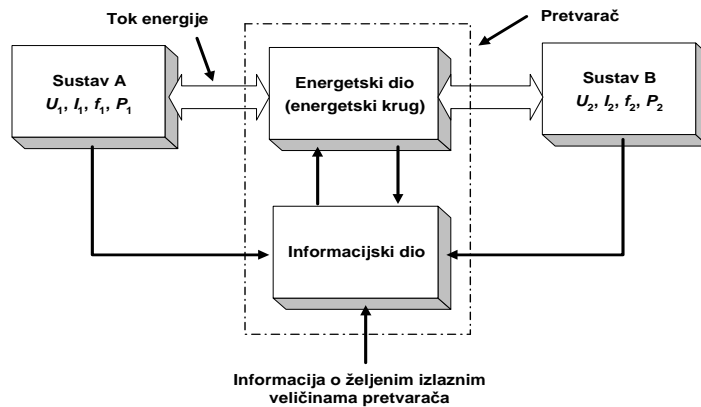


OBRTNIČKA I TEHNIČKA ŠKOLA OGULIN



Predmet – Energetska elektronika

Nastavna cijelina: Pretvarači

Nastavne jedinice:

1. Istosmjerni pretvarači
2. Izmjenični pretvarači

Materijali za nastavnu cjelinu izrađeni za učenike zato što za predmet ne postoji nikakva preporučena literatura. Učenici te materijale trebaju presnimiti sebi na računalo i isprintati. To je gradivo koje se obrađuje na nastavnom satu zamjene prof. Borića sata gospođe Vučić (Energetska elektronika – ožujak mjesec 2014. godine)

Materijali koji su korišteni su sa nastavnih materijala nastavnika iz Šibenika, Karlovca i materijali s prezentacija sa fer-a

Nadam se da ovi materijali mogu u potpunosti koristiti učenici na nastavnom satu iz kojih mogu učiti i pripremati se za nastavu.

Zdravko Borić, prof.
Ogulin; 16.3.2014.

1. ISTOSMJERNI PRETVARAČI

1.1. Osnovni pojmovi i podjela

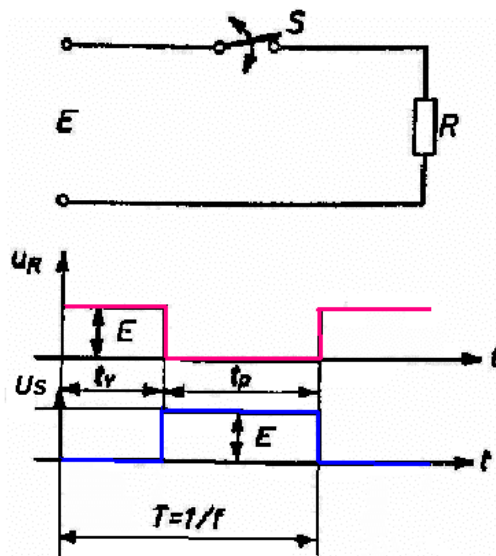
Istosmjerni pretvarači su pretvarački uređaji koji povezuju istosmjerne sisteme. Osnovni parametri koji su podvrgnuti promjeni su iznos napona i struje. Dok se to u izmjeničnim sistemima jednostavno radi pomoću transformatora, u istosmjernim sistemima je to znatno složenije.

Tzv. **indirektni pretvarači** su serijska kombinacija izmjenjivača i ispravljača. Između njih može se staviti transformator radi galvanskog odvajanja. Nedostatak ove izvedbe je lošija korisnost zbog trostruke pretvorbe.

Druga mogućnost je impulsno doziranje toka prenesene energije iz jednog sistema u drugi, čime je moguće, u određenoj mjeri, utjecati na promjenu napona ili struje trošila. Pretvorba je jednostruka pa je korisnost u pravilu bolja u odnosu na sistem izmjenjivač-ispravljač (tzv. **direktni pretvarači**).

Osnovna značajka istosmjernih pretvarača je sloboda u izboru radne frekvencije koja je ograničena gubicima u poluvodičkim ventilima i reaktivnim komponentama. U spojevima s tiristorima kreće se do 20kHz, a u spojevima s tranzistorima 50kHz.

1.2. Principi rada istosmjernih pretvarača



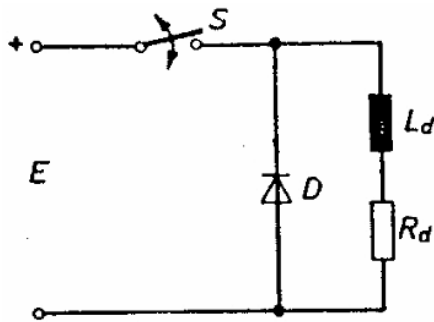
Sl. 1.1. principna shema spoja istosmjernog pretvarača opterećenog omskim trošilom

Između istosmjernog izvora napona E i trošila otpora R uključena je sklopka čiji se kontakti sklapaju frekvencijom f . Unutar intervala vođenja t_v kroz sklopku teče struja trošila $i_s = E / R$, a na trošilu je napon izvora.

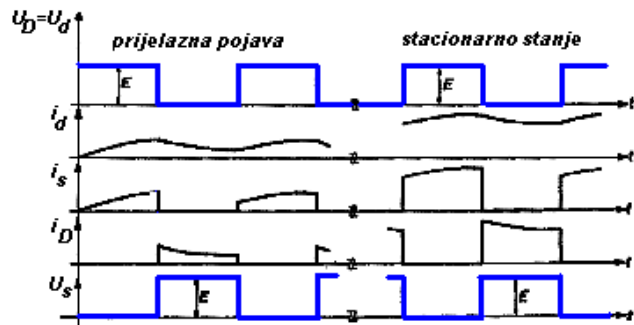
Unutar intervala pauze t_p napon na trošilu je nula, a na sklopki je napon izvora. Srednja vrijednost napona na trošilu iznosi:

$$U_d = E \times \frac{t_v}{t_v + t_p} = E \times \frac{t_v}{T}$$

Razmotrimo rad sklopa za slučaj omsko-induktivnog opterećenja (npr. namoti rotacijskih strojeva, uzbude sklopnika itd.). Razmatramo prvih nekoliko perioda i stacionarno stanje.



Sl.1.2. principna shema spoja istosmjernog pretvarača opterećenog omsko-induktivnim opterećenjem.

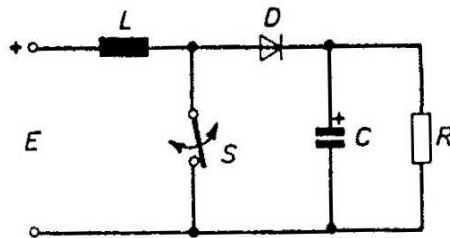


Sl. 1.3. karakteristični valni oblici napona i struja za vrijeme uključenja i isključenja i nakon dostizanja stacionarnog stanja u krugu

U trenutku $t=0$ zatvara se sklopka, napon izvora pojavljuje se na trošilu, struja raste po eksponencijalnom zakonu.

U trenutku $t=t_v$ sklopka se otvara. Time se prisilno prekida struja trošila, a energija akumulirana u induktivitetu se mora razgraditi. Da se to ne desi između kontakata sklopke, potrebno je osigurati drugi put struji trošila. Najefikasnije rješenje je tzv. nul-dioda postavljena paralelno trošilu. Dakle, struja trošila nastavlja teći preko diode, a magnetska energija akumulirana u induktivitetu se pretvara u toplinu u otporu trošila. Struja opada po eksponencijalnom zakonu do trenutka ponovnog zatvaranja sklopke.

Ako želimo realizirati izlazni napon na iznos koji je viši od ulaznog napona, potrebno je u seriju s naponskim izvorom E spojiti dodatni izvor. Dodatni izvor mogu simulirati reaktivne komponente (prigušnica i kondenzator) koje predstavljaju privremene spremnike magnetske, odnosno električne, energije.



Sl.1.4. shema spoja istosmjernog pretvarača za podizanje napona trošila iznad napona napajanja

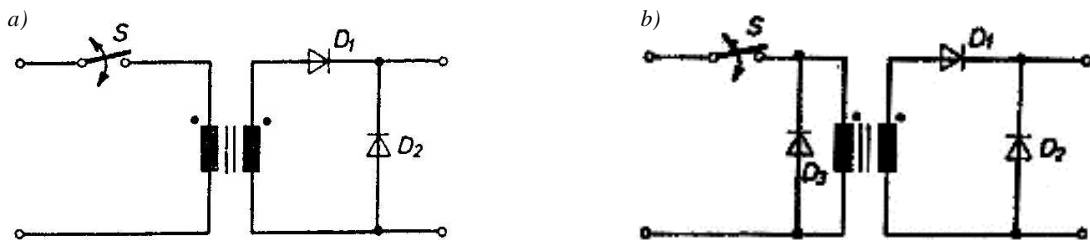
Sklop sa slike prikazuje realizaciju ovog principa. U trenutku zatvaranja sklopke sav napon je na prigušnici i struja kroz nju raste, dakle, u intervalu vođenja u njoj se akumulira magnetska energija. Kroz to vrijeme kondenzator napaja trošilo. Dioda sprječava izbijanje kondenzatora preko sklopke.

Unutar intervala pauze (sklopka otvorena) energija akumulirana u prigušnici prenosi se u kondenzator i u trošilo.

Srednja vrijednost napona i struje trošila iznosi:

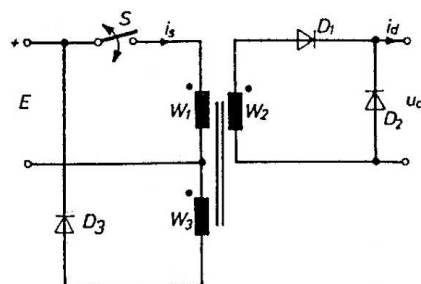
$$U_d = \frac{T}{t_p} \times E \qquad I_d = \frac{t_p}{T} \times I$$

Drugi način jest korištenje transformatora. Odabiranjem prijenosnog omjera transformatora ostvaruje se željeno podizanje napona. Uz to, na ovaj način postiže se i galvansko odvajanje ulaza od izlaza. Uvođenje transformatora dovodi i do novih problema jer primarom transformatora, osim struje trošila, teče i struja magnetiziranja. Njenim prekidanjem dolazi do opasnih prenapona. Nuldioda pridodana primaru rješava problem samo ako je sklopka dovoljno dugo otvorena da se stigne razgraditi akumulirana energija u induktivitetu. To toliko smanjuje radnu frekvenciju sklopke da se u praksi ne koristi.

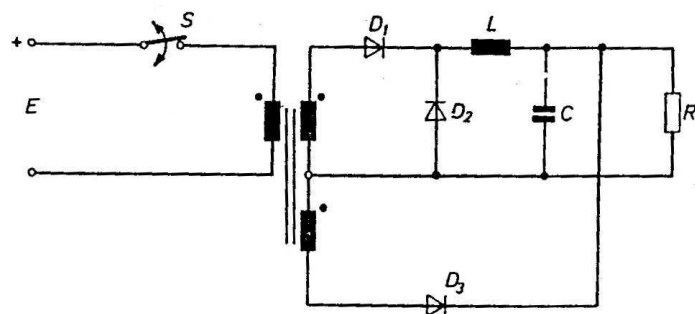


Sl. 1.5. isklapanje transformatora sklopkom u krugu prema shemi a) vodi na opasne prenapone, dok isklapanje transformatora sklopkom u krugu prema shemi b) vodi na drastično smanjenje radne frekvencije sklopke.

Pravo rješenje je da se magnetska energija pohranjena u transformatoru što brže vrati u izvor (sl.1.6.) ili prenese u trošilo (sl.1.7.).

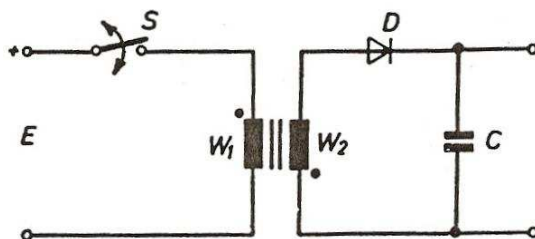


Sl.1.6. tzv. propusni spoj (engleski: forward) kod kojeg se magnetska energija tercijarnim namotom w_3 vraća u izvor.



Sl.1.7. shema spoja istosmjernog pretvarača s prijenosom magnetske energije transformatora u trošilo.

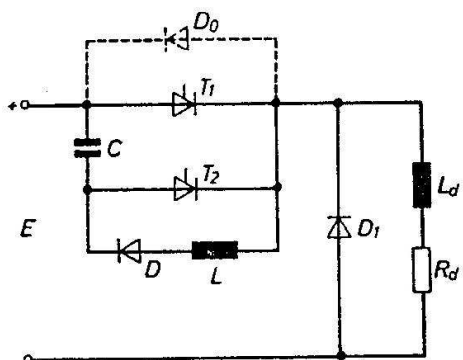
Ako iz sklopa sa sl.1.7. izbacimo sekundarni namot w_2 , diode D_1 i D_2 i prigušnicu L , a ukoliko je teret je naponski izvor (npr. akumulatorska baterija) nepotreban je i kondenzator C , dolazimo na sklop kod kojeg se u intervalu vođenja energija akumulira u magnetskoj jezgri da bi se otvaranjem sklopke predala trošilu (sl.1.8.). Prijenos energije nije transformatorski.



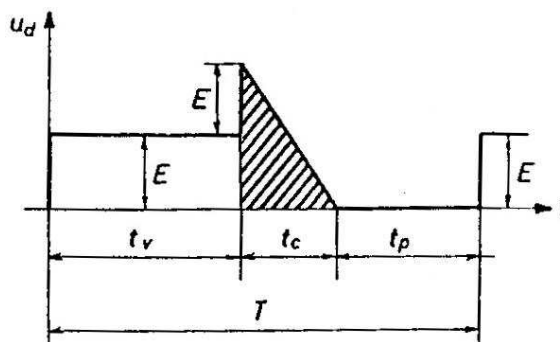
Sl.1.8. shema spoja istosmjernog pretvarača s netransformatorskim prijenosom energije. U literaturi se ovaj spoj naziva zaporni spoj (engleski: fly-back)

Ako sklopke u shemama zamijenimo tiristorom ili tranzistorom dobivamo osnovne sheme tiristorских ili tranzistorских istosmjernih pretvarača. Kod tranzistorских izvedbi trajanje vođenja t_v određeno je trajanjem impulsa na bazi tranzistora, a valni oblici struja i napona približno su jednaki onima dobivenim pomoću sklopki. Kod tiristorских izvedbi potrebni su komutacijski krugovi za isklapanje tiristora čije djelovanje značajno utječe na odvijanje procesa u pretvaraču.

1.3. Primjeri spojeva tiristorskih istosmjernih pretvarača



Sl.1.9. shema spoja jednog tiristorskog istosmjernog pretvarača.

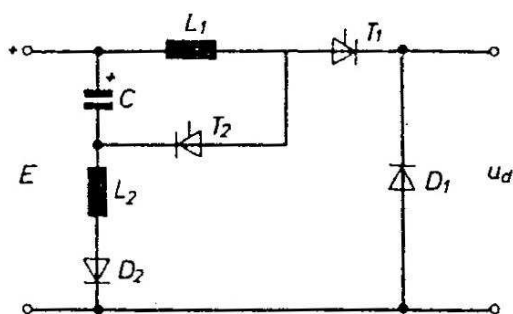


Sl.1.10. neregulirani dio izlaznog napona (šrafirana površina) povećava srednju vrijednost izlaznog napona, smanjuje radnu frekvenciju i onemogućuje rad pretvarača u praznom hodu.

Slika 1.9. prikazuje jedan od najčešće korištenih spojeva istosmjernih pretvarača čije su osnovne komponente tiristor s komutacijskim krugom i nulodiode. Izlazni napon se razlikuje od idealnog (sl.1.3.). Trajanje vođenja određeno je razmakom između okidnih impulsa tiristora T_1 i T_2 . Zbog zahtjeva za vremenom odmaranja u izlaznom naponu pojavljuje se interval unutar kojeg struju trošila vodi komutacijski kondenzator koji se pri tome prepolarizira. Posljedica je dio izlaznog napona na koji se ne može utjecati regulatorom (neregulirani dio).

Kondenzator se prepolarizira strujom trošila pa pretvarač ne može raditi u praznom hodu. Dio problema može se riješiti postavljanjem diode antiparalelno glavnom tiristoru.

Da bi se izbjegao u potpunosti neregulirani dio izlaznog napona koriste se sheme u kojima se procesi u komutacijskom krugu odvijaju neovisno od procesa u krugu trošila. Takvi se pretvarači po svojstvima približavaju tranzistorskim pretvaračima.

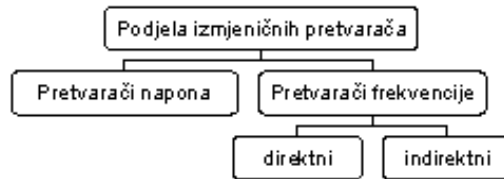


Sl.1.11. shema spoja istosmjernog pretvarača bez nereguliranog dijela izlaznog napona.

2. IZMJENIČNI PRETVARAČI

2.1. Osnovni pojmovi i podjela

Izmjenični pretvarači su pretvarački uređaji koji povezuju izmjenične sisteme različitih parametara (broja faza, frekvencije, valnog oblika napona odnosno struje i dr.). Slika prikazuje moguće načine podjele:



Sl.2.1. podjela izmjeničnih pretvarača

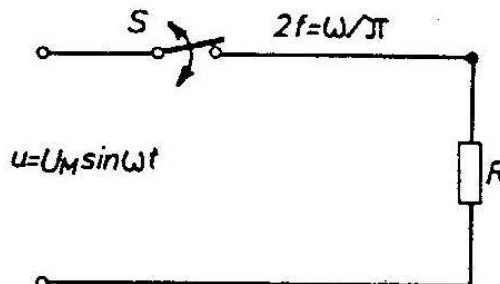
Ako povezuje dva izmjenična sistema različitog napona ali iste frekvencije, naziva se **izmjenični pretvarač napona**. Tok prenesene energije iz jednog sistema u drugi dozira se impulsno, analogno istosmjernim pretvaračima.

Ako izmjenični pretvarač povezuje dva izmjenična sistema različite frekvencije naziva se **pretvarač frekvencije**. Uz frekvenciju pretvaračem se može mijenjati broj faza i iznos izmjeničnog napona.

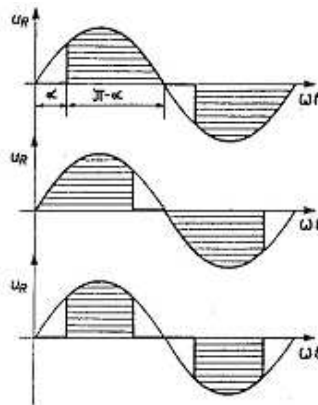
Pretvarač frekvencije se može izgraditi serijskom kombinacijom ispravljača i izmjenjivača (indirektni pretvarači frekvencije) ili se izravno iz valnog oblika ulaznog izmjeničnog napona uklapanjem odnosno isklapanjem poluvodičkih ventila dobiva željeni oblik izlaznog napona i frekvencija (direktni pretvarači frekvencije).

2.2. princip rada izmjeničnih pretvarača napona

Između izmjeničnog izvora i omskog trošila uključena je sklopka čiji se kontakti sklapaju u ritmu dvostruke frekvencije izmjeničnog izvora. Fazni pomak između nultočke napona izvora i trenutka prorade sklopke se može podesiti na različite načine tako da se na trošilu mogu dobiti različiti valni oblici napona.

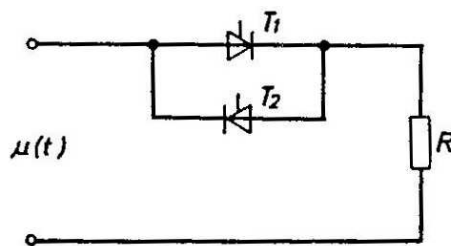


Sl.2.2. principna shema spoja izmjeničnog pretvarača napona



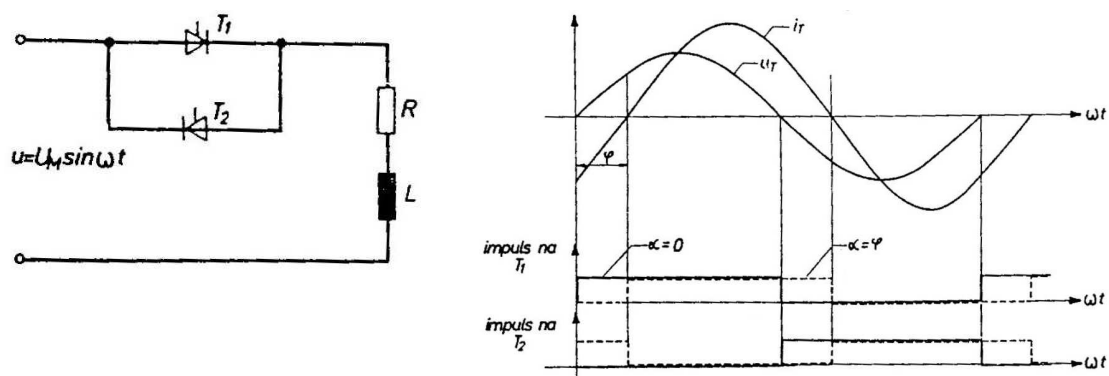
Sl.2.3. neki od mogućih valnih oblika napona trošila

Od tri nacrtana valna oblika najjednostavnije je dobiti prvi tako da se sklopka zamijeni s dva antiparalelno spojena tiristora jer se tiristori isklapaju na kraju svake poluperiode bez potrebe za posebnim komutacijskim krugovima. Efektivna vrijednost napona na trošilu ovisi o kutu upravljanja α koji se može mijenjati od vrijednosti 0° do 180° pri čemu se napon na trošilu mijenja od vrijednosti napona izvora do nule.



Sl.2.4. shema spoja izmjeničnog pretvarača napona opterećenog omskim trošilom

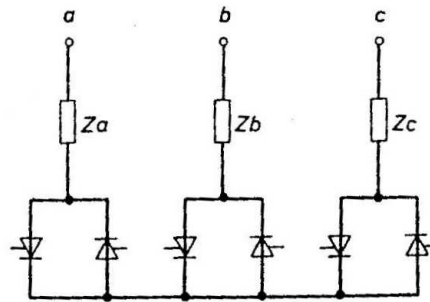
Za praksu je vrlo važan slučaj omsko-induktivnog opterećenja. Ako zamislimo da su tiristori T_1 i T_2 kratko spojeni nakon uključivanja sklopa i nestanka prijelazne pojave uspostavlja se kroz trošilo sinusna struja s faznim pomakom $\varphi = \arctan L/R$ prema izmjeničnom naponu.



Sl.2.5. shema spoja izmjeničnog pretvarača opterećenog omsko-induktivnim trošilom i karakteristični valni oblici napona i struje za slučaj $\alpha \leq \varphi$

Povećavanjem kuta upravljanja α od 0° do φ ne dolazi do promjena, struja je i dalje sinusna. Tek kada α naraste iznad φ struja trošila postaje diskontinuirana. Između vođenja tiristora pojavljuju se pauze. Kada α dostigne 180° struja trošila postaje jednaka nuli. Odavde slijedi da se efektivna vrijednost napona na trošilu odnosno struje trošila može regulirati od maksimalno moguće vrijednosti do nule promjenom kuta upravljanja u području $\varphi \leq \alpha \leq \pi$.

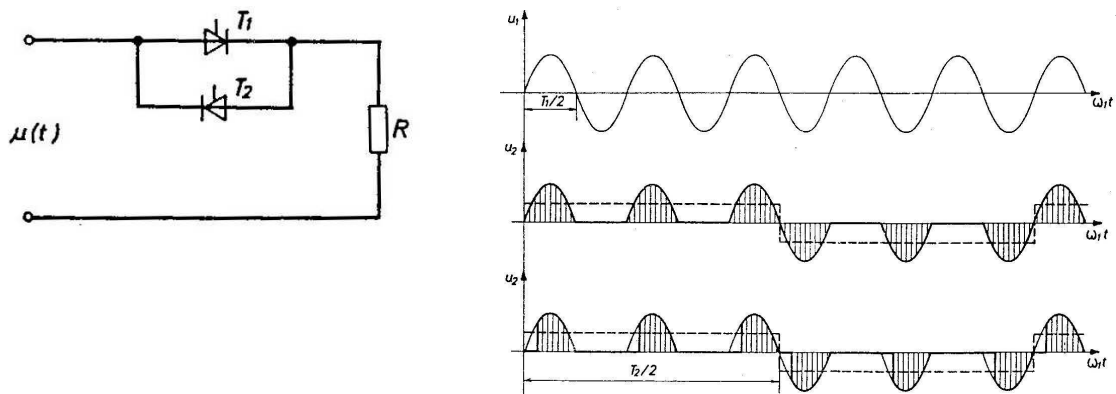
Osim jednofaznih pretvarača napona grade se i trofazni. Analiza njihova rada je vrlo slična izloženoj.



Sl.2.6. primjer sheme spoja trofaznog pretvarača napona

8.3. principi rada pretvarača frekvencije

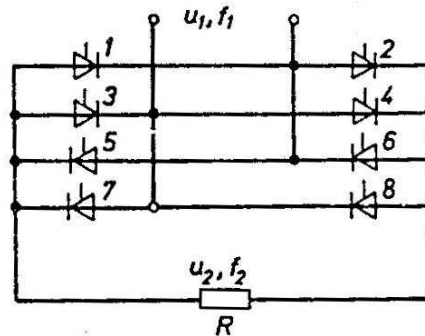
U analizi polazimo od najjednostavnije moguće sheme, poznate iz analize jednofaznih pretvarača napona. Energetski sklop s ovom shemom postaje pretvarač frekvencije promjenom načina upravljanja. Kroz n perioda mrežnog napona vodi tiristor T_1 , a zatim tiristor T_2 . Izlazna frekvencija je niža od ulazne frekvencije. Efektivnu vrijednost napona može se regulirati promjenom kuta upravljanja α .



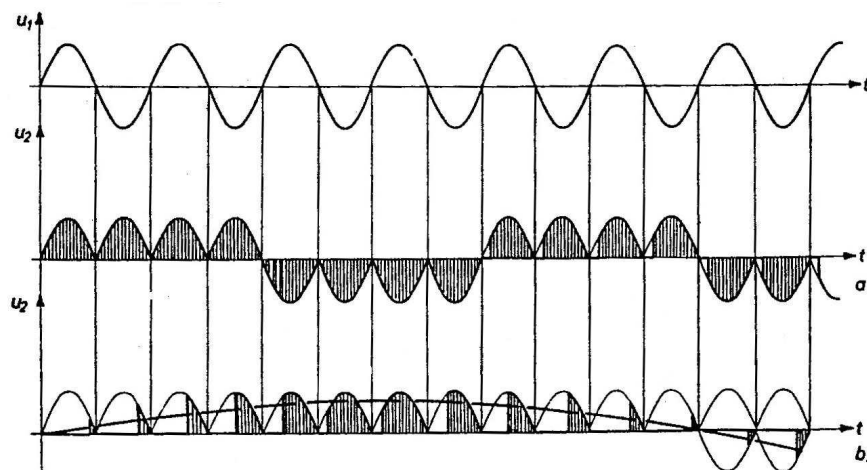
Sl.2.7. shema spoja pretvarača frekvencije i valni oblik izlaznog napona (šrafirani dio)

Moguća je i drukčija interpretacija. Može se reći da se pretvarač sastoji od dva ispravljača u protuspoju, aktivna u različitim vremenskim periodima. Ovakvi ispravljački spojevi se u usmjerivačkoj tehnici nazivaju reverziona usmjerivači.

Slika prikazuje shemu jednofaznog usmjerivača u mosnom spoju:



Sl.2.8. izborom zakona upravljanja reverziona usmjerivač postaje pretvarač frekvencije



Sl.2.9. valni oblici napona na trošilu: a) anvelopnog pretvarača (kut upravljanja je fiksna unutar periode $T_2=1/f_2$), i b) fazno upravljivog pretvarača (kut upravljanja se mijenja unutar periode T_2).

Ovaj se sklop može koristiti kao pretvarač frekvencije s dva različita načina upravljanja.

Pri prvom načinu upravljanja (a) kroz n poluperioda vodi jedan ispravljač ($\alpha = \text{konst.}$), a zatim kroz isti broj poluperioda drugi ispravljač. Izlazni napon je anvelopa (ovojnica) mrežnog napona, odatle naziv **anvelopni pretvarači frekvencije**.

Drugi način upravljanja je da se α unutar jedne poluperiode simetrično mijenja na jednom ispravljaču od minimalne do maksimalne vrijednosti i natrag. Pri tome je oblik izlaznog napona bliži sinusnom, te su i eventualni filteri za dobivanje sinusnog napona manji. Pretvarači s ovim načinom upravljanja se nazivaju **fazno upravljivi pretvarači**.

Usporedbom jednopulsnog i dvopulsnog reverzionog usmjerivača da se vidjeti da je izlazni napon bliži sinusnom obliku ako je broj pulzacija veći. Stoga se u praksi koriste isključivo trofazni reverziona usmjerivači, u pravilu u mosnom spoju.