

9 NAPAVALNA VEZJA

9.1 SPLOŠNO O NAPAVALNIH VEZJIH

Napajalna vezja ali naprave oskrbujejo aktivna elektronska vezja z električno energijo v želeni obliki (enosmerna napetost, izmenična napetost, visoka napetost,...) in morajo pri tem zagotavljati:

- ✓ ustrezno in stabilno izhodno napetost (napetosti)
- ✓ ustrezno tokovno obremenljivost posameznega napetostnega izhoda,
- ✓ ustrezno stopnjo stabilizacije napetosti glede na izhodne razmere,
- ✓ ustrezno stopnjo stabilizacije napetosti glede na vhodne razmere,
- ✓ ustrezno stabilnost vezja glede na temperaturne razmere,
- ✓ ustrezno frekvenčno obremenljivost na izhodu (npr. napajanje oscilatorja, oddajnika,...)
- ✓ minimalno stopnjo povzročanja VF motenj (RFM) na vhodu oz. izhodu,
- ✓ po potrebi zaščito bremena pred prenapetostjo oz. pretokovno zaščito.

9.2 NAČINI NAPAVALNJA ELEKTRONSKIH VEZIJ

Glede na vrsto napajalnega izvora in zahtev pri napajanju elektronskega vezja ločimo več načinov napajanja elektronskih vezij in naprav. Glede na zahtevnost naprave se lahko različni načini medsebojno nadomeščajo ali dopolnjujejo (npr. baterijsko napajanje za ohranjanje podatkov v spominu). Najznačilnejši načini napajanja so:

- ✓ Klasični napajalnik s transformatorjem, usmernikom in po potrebi stabilizatorjem napetosti
- ✓ Stikalni napajalnik (*SMPS- Switch Mode Power Supply*).
- ✓ Napajanje preko primarnega vira- baterija(MnZn, Hg, LiO₂,...).
- ✓ Napajanje preko sekundarnega vira-akumulator (NiCd, NiMH, LiIon,...).
- ✓ Napajanje preko solarne celice
- ✓ Napajanje preko induktivne zanke (npr. za elektronsko identifikacijo orodij-svedri, rezkarji,..).
- ✓ Kombinirano napajanje (baterija oz. omrežno napajanje).
- ✓ Brezprekinitveno napajanje (UPS naprave,...).

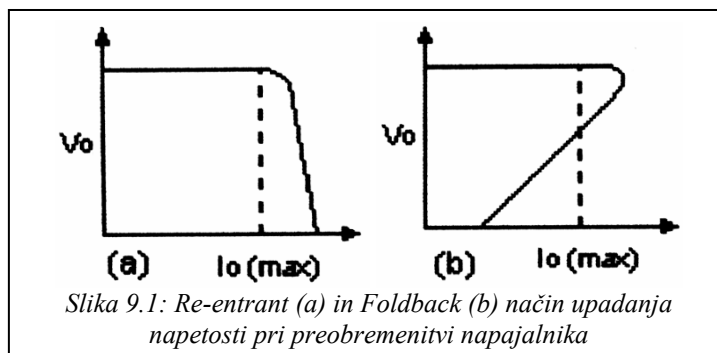
Vsak tip napajanja ima specifične lastnosti in ga je potrebno dimenzionirati glede na potrebe bremena. Glede na to, da napajalne naprave pogojujejo tudi v veliki meri varno delovanje električne naprave, obstaja kar nekaj standardov, ki se nanašajo na napajalna vezja kot npr:

- **British Standards:** BS2204- Transformers; BS5850- Transformers
- **IEC Standards:** IEC380-smmps; IEC435-smmps
- **VDE Standards:** VDE0730-power supplies; VDE0840-power supplies

V slučaju preobremenitve napajalnika lahko pride do poškodb napajalnika in tudi do poškodb elektronskega vezja, ki ga napaja. V mnogih primerih je cena napajalnika zanemarljiva v primerjavi z ostalo elektroniko, zato mora v takem primeru izpolnjevati še dodatne kriterije. V tem smislu razlikujemo dva načina delovanja.

Re-entrant način predstavlja sorazmerno zniževanje izhodne napetosti glede na tokovno preobremenitev.

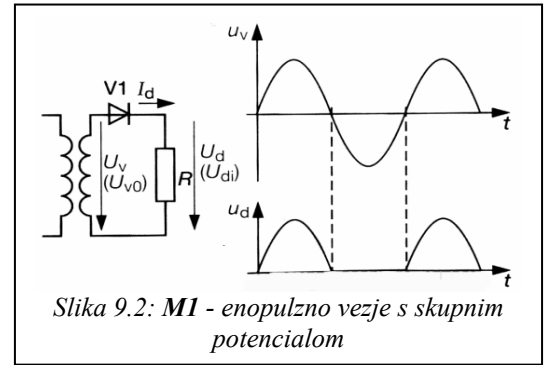
Foldback način predstavlja varnejšo metodo, saj se pri preobremenitvi poleg znižanja izhodne napetosti na nič, drastično zniža tudi izhodni tok.



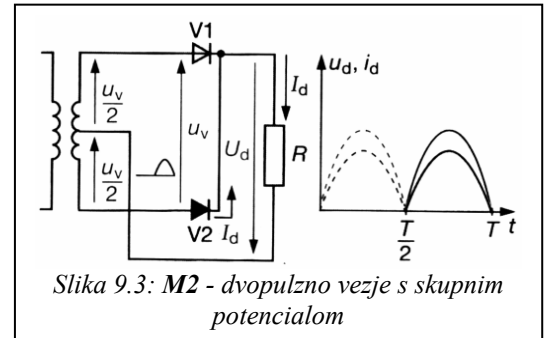
9.3 USMERNIŠKA VEZJA

V primeru napajanja preko omrežne napetosti je pogosto potrebno predhodno usmerjanje izmenične napetosti. Glede na enofazno oz. trifazno napajanje se poslužujemo primernih usmerniških vezij. Kot usmerniške komponente so najpogosteje uporabljene SI diode, za močnostne naprave pa uporabljamo večinoma tiristorje, ki so zmogljivejši in primernejši v smislu krmiljenja moči. Na sliki so predstavljene osnovne topologije vezav usmerniških vezij, ki jih lahko razvrstimo po oznakah:

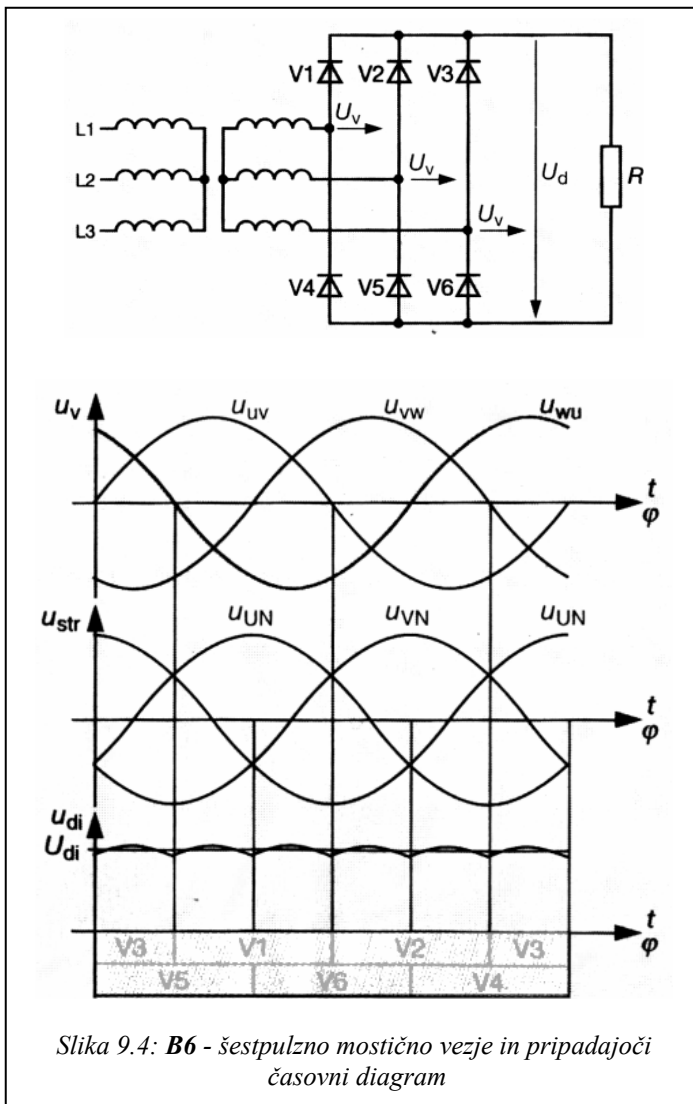
- **M1** – enopulzno vezje s skupnim potencialom
- **M2** – dvopulzno vezje s skupnim potencialom
- **M2** – tropulzno vezje s skupnim potencialom (vezava zvezda)
- **B2**- dvopulzno mostično vezje (enofazno mostično vezje)
- **B6**- šestpulzno mostično vezje (trifazno mostično vezje)



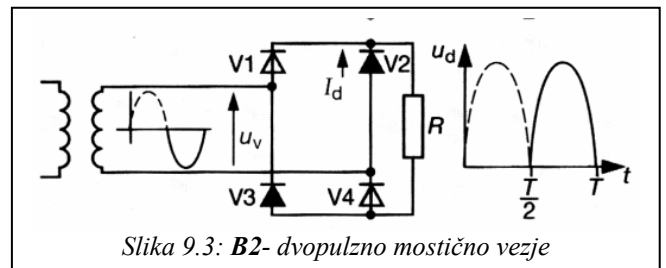
Slika 9.2: **M1** - enopulzno vezje s skupnim potencialom



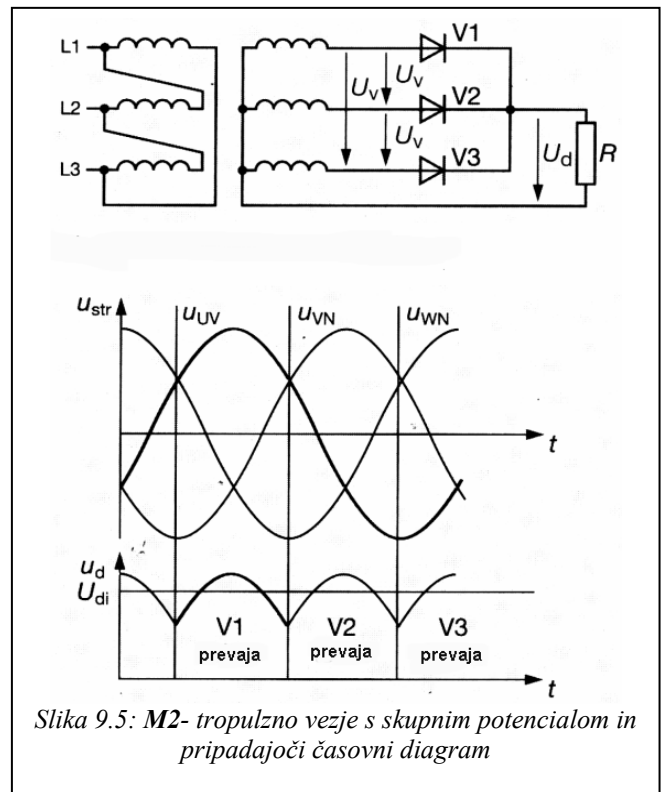
Slika 9.3: **M2** - dvopulzno vezje s skupnim potencialom



Slika 9.4: **B6** - šestpulzno mostično vezje in pripadajoči časovni diagram



Slika 9.3: **B2**- dvopulzno mostično vezje

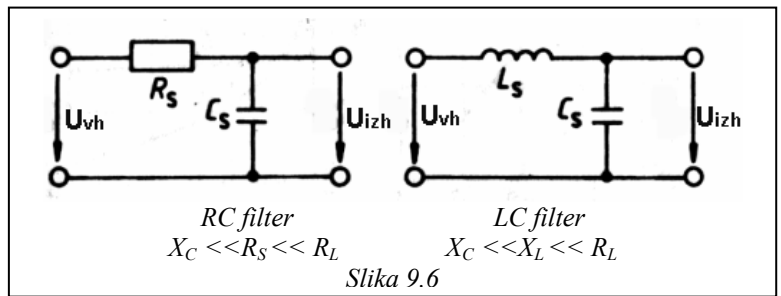


Slika 9.5: **M2**- tropulzno vezje s skupnim potencialom in pripadajoči časovni diagram

9.4 FILTRIRANJE VALOVITOSTI NAPETOSTI USMERNIKA

Valovitost usmerjene napetosti lahko ustrezno zmanjšamo s pomočjo RC ali LC vezja. V obeh primerih se kondenzator v času polperiode napolni z energijo, s katero premošča napajanje v vmesnem času med polperiodama. Potrebna kapacitivnost kondenzatorja mora biti zato sorazmerna glede na frekvenco in izhodni tok. Faktor glajenja je definiran kot:

$$G = \frac{\Delta U_{vh}}{\Delta U_{izh}}$$



Slika 9.6

Za filtra lahko približno izračunamo faktor glajenja:

Za **RC** filter: $G \approx \omega_{Br} \cdot R_S \cdot C_S$;

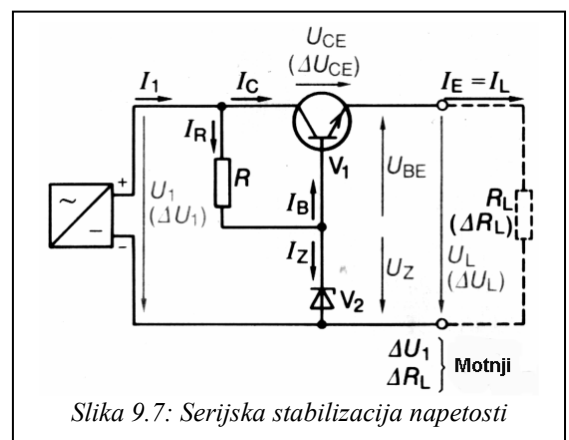
Za **LC** filter: $G \approx \omega_{Br}^2 \cdot L_S \cdot C_S$

9.5 STABILIZACIJA NAPETOSTI

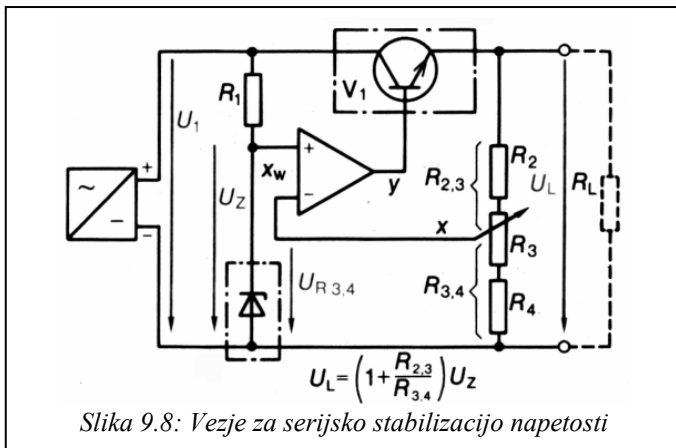
Zaradi nihanja napetosti na vходу in notranje upornosti usmerniškega vezja je večinoma potrebna še stabilizacija napetosti. Stabilizacijo napetosti lahko izvedemo s stabilizatorjem v linearnem režimu ali s pomočjo stabilizatorja v stikalnem režimu delovanja.

Linearni stabilizator je lahko izveden serijsko (npr. tranzistor v zaporedni vezavi) ali pa paralelno (npr. z zener diodo). V splošnem lahko faktor stabilizacije *S* definiramo kot:

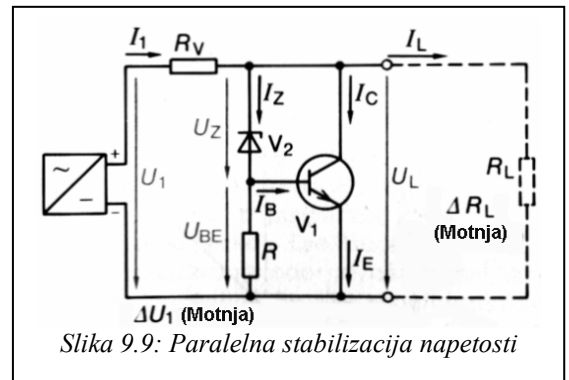
$$S = \frac{\Delta U_{vh} / U_{vh}}{\Delta U_{izh} / U_{izh}}$$



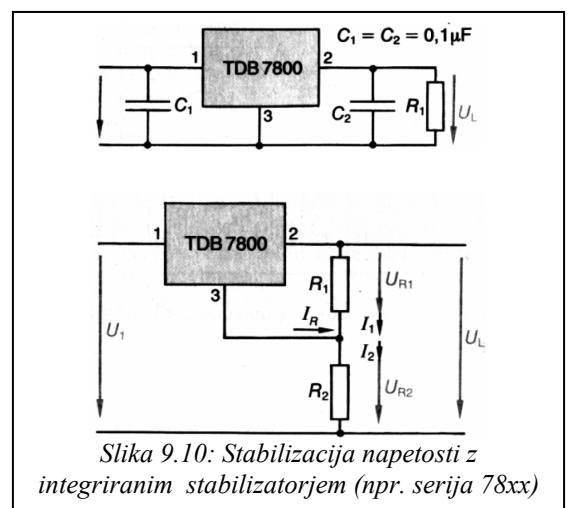
Slika 9.7: Serijska stabilizacija napetosti



Slika 9.8: Vezje za serijsko stabilizacijo napetosti



Slika 9.9: Paralelna stabilizacija napetosti



Slika 9.10: Stabilizacija napetosti z integriranim stabilizatorjem (npr. serija 78xx)

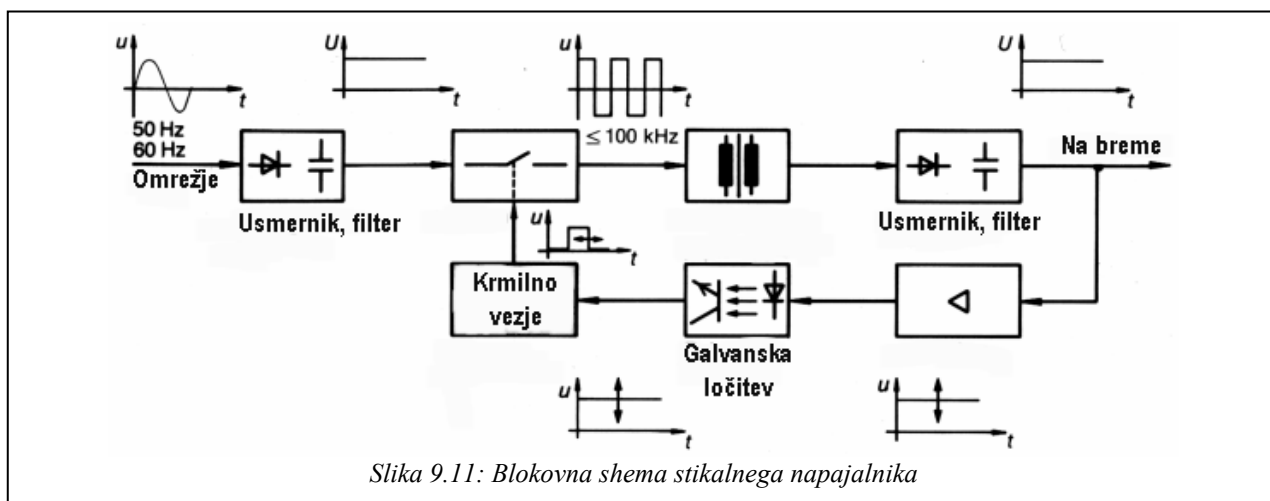
Kot linearni stabilizatorji so večinoma v uporabi številne izvedbe integriranih serijskih stabilizatorjev (npr. MC 78xx, MC 79xx, ...), ki omogočajo zelo dobro stabilizacijo in so temperaturno zaščiteni. Integrirani stabilizatorji so lahko narejeni za fiksno ali pa za nastavljivo izhodno napetost. Poleg tega omogočajo v različnih vezavah še številne druge možnosti (npr. zviševanje napetosti, tokovno omejitev, kratkostično zaščito, tokovno stabilizacijo, AM modulacijo,...).

9.6 STIKALNI NAPAVALNIKI - SMPS (Switched Mode Power Supply)

Zaradi povečanih zahtev za napajanje elektronskih vezij (veliko različnih napetosti, različne zaščite, širok razpon vhodne napetosti), potrebe po boljšem izkoristku, miniaturizaciji in zmanjšanju teže klasične napajalnike s serijsko stabilizacijo izpodrivajo stikalni napajalniki. Kljub kompliciranemu vezju in povzročanju RFM motenj imajo stikalni pretvorniki-napajalniki številne prednosti.

- ✓ Izkoristek $\geq 90\%$
- ✓ Prihranek na volumnu in teži..... $\geq 60\%$
- ✓ Stabilnost izhodne napetosti..... $< 1 \dots 2\%$
- ✓ Nižje kapacitivnosti oz. induktivnosti v filtrih
- ✓ Galvanska ločitev
- ✓ Ugodno razmerje cena/zmogljivosti

9.6.1 BLOKOVNA SHEMA PRETVORNIKA



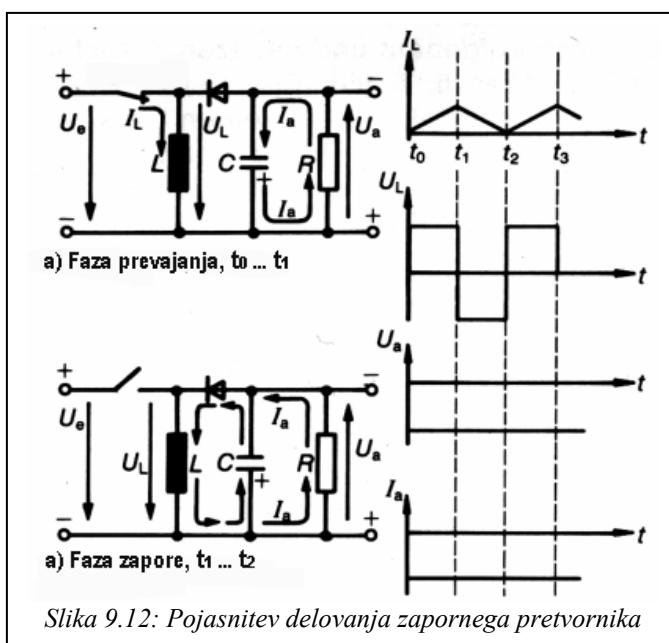
Stikalni napajalnik primarno enosmerno napetost (izmenična je predhodno usmerjena in glajena) s pomočjo elektronskega stikala »razseka« in energijo transformira na sekundarno stran, kjer se ponovno usmeri in gladi. Glede na to, da deluje na osnovi prehodnih pojavov je potrebno še regulacijsko vezje, ki regulira čas trajanja odprtja stikala in s tem velikost napetosti na izhodu. Glede na način delovanja lahko stikalne napajalnike razdelimo na zaporne in pretočne .

9.6.2 ZAPORNI PRETVORNIK

Za zaporni pretvornik je značilno, da je postopek dvofazen, saj se v času prevajanja stikala energija najprej akumulira v induktivni komponenti, nato pa stikalo tokokrog prekine (zapora) in nakopičena energija se preko diode prenese v kondenzator in na breme. Zaradi dosti krajšega časa prevajanja stikala glede na časovno konstanto velja izraz:

$$U_L = L \cdot \frac{\Delta I_L}{\Delta t}$$

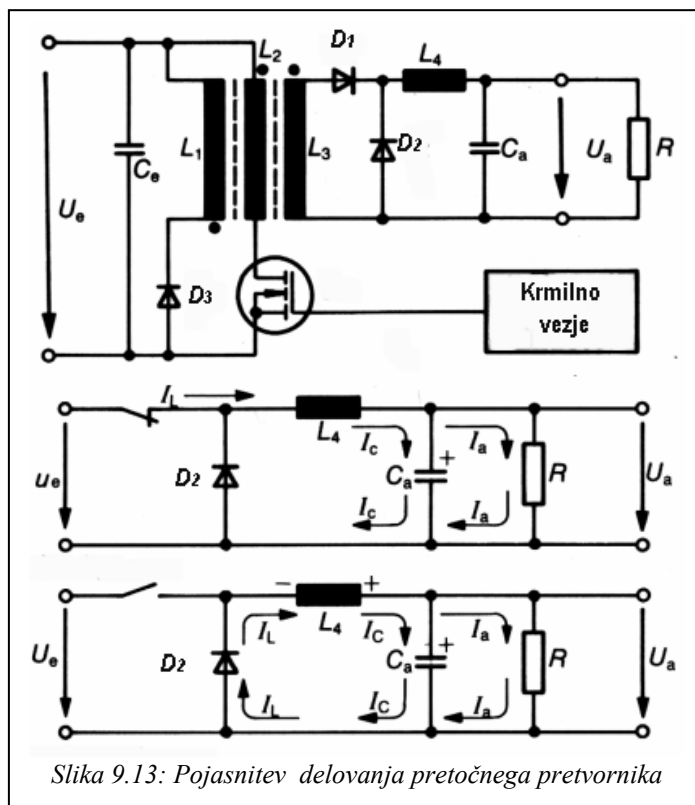
Iz izraza je razvidno, da tok skozi tuljavo pri konstantni napetosti linearno narašča. Ko se stikalo zapre, se polariteta na tuljavi obrne in tok linearno upada. Tuljava z nakopičeno energijo se prazni in polni kondenzator-induktivnost deluje kot generator. Zaradi prenosa energije v času zapore stikala, se imenuje zaporni pretvornik.



9.6.3 PRETOČNI PRETVORNIK

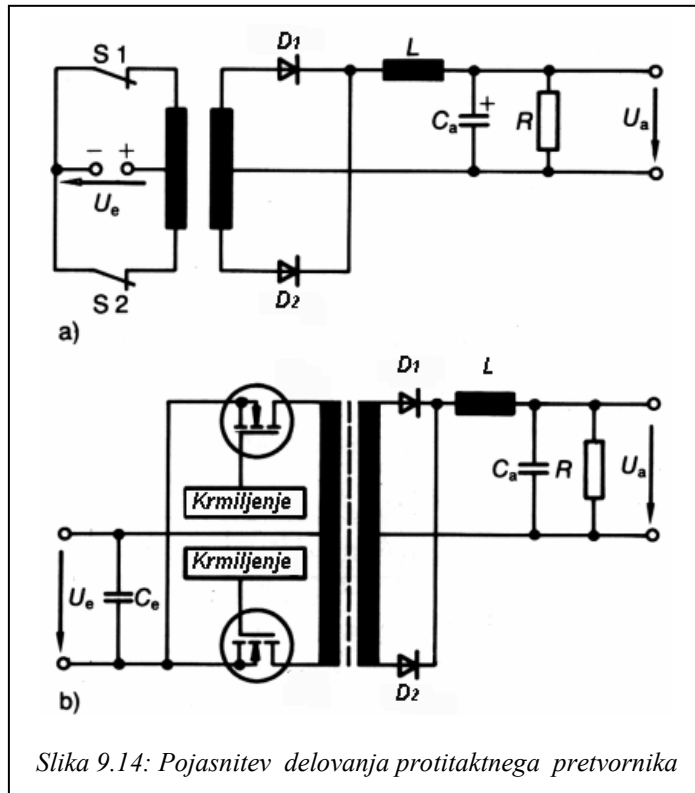
Za pretočni pretvornik je značilno, da se energija prenaša na sekundarno stran v času prevajanja stikala. V tem času se sekundarni stani se pojavi napetost pravokotne oblike, ki preko Schotky diode D_1 magneti dušilko L_4 in istočasno polni kondenzator C_a . Velikost napetosti je odvisna od prestavnega razmerja transformatorja, tok skozi dušilko pa linearno narašča, vse dokler se stikalo ne zapre. V času zapore stikala, se D_1 zapre (negativna perioda) dušilka pa deluje kot generator. Tok teče še vedno v isti smeri, vendar se znižuje, kljub temu pa preko D_2 z akumulirano energijo dušilke polni kondenzator. Transformator mora omogočiti dober magnetni sklop med navitji, in jedro ne sme imeti zračne reže.

Istočasno se tudi v transformatorju nakopiči magnetna energija, katera pa se v času zapore, ne mora posredovati na sekundarno stan. Zato se vrača preko navitja L_1 in diode D_3 v primarni kondenzator C_e .



9.6.4 PROTITAKTNI PRETVORNIK

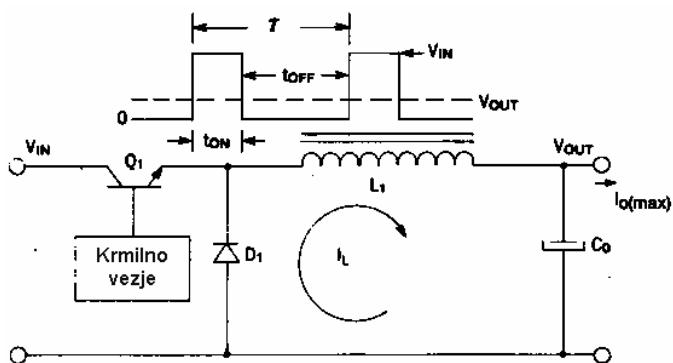
Protitaktni pretvornik je sestavljen iz dveh pretočnih. Zato potrebuje dva stikalna elementa transformator pa mora imeti primarno in sekundarno navitje s sredinskim odcepom. Na ta način je mogoče tudi nakopičeno energijo v transformatorju posredovati preko obeh Schotky-evih diod na sekundarno stan. Diodi D_1 in D_2 prevajata izmenoma glede na pozitivno oz. negativno periodo in preko dušilke L polnita kondenzator C_a . Med eno in drugo polperiodo mora biti dovolj pavze, da ne pride do kratkega stika zaradi zakasnitev. Frekvenca na filtru je dvojna, kar omogoča nižje vrednosti L in C_a . Dušilka L prazni nakopičeno energijo izmenoma preko diod D_1 in D_2 v času pavze.



9.6.5 ZNAČILNEJŠE VEZAVE STIKALNIH PRETVORNIKOV

(<http://www.hills2.u-net.com/electron/smps.htm>)

Pretvornik z zaporedno dušilko (BUCK konvertor, abwärtsregler)



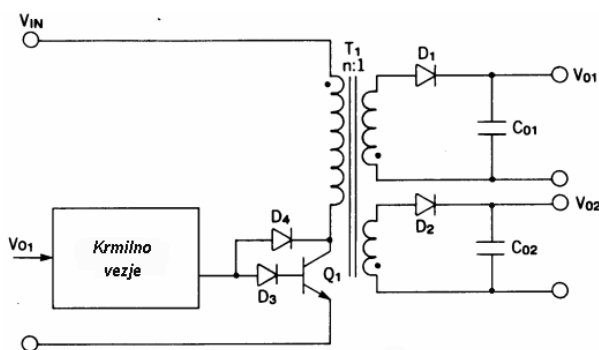
PREDNOSTI:

- visok izkoristek
- nizka cena, male dimenzije, majhna teža
- neobčutljiv na nihanje vhodne napetosti
- velika dopustna razlika med vhodno in izhodno napetostjo
- izhodna moč od 5 do 2000W

SLABOSTI:

- ni galvanske ločitve vhod - izhod
- samo eden napetostni izhod
- valovitost je večja glede na linearnega
- zagonski čas daljši glede na linearnega

Zaporni pretvornik (flyback konvertor, sperrwandler)



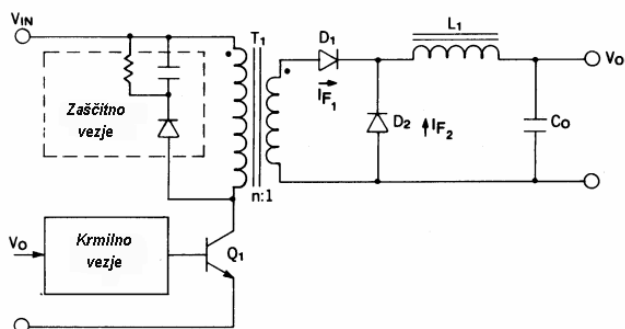
PREDNOSTI:

- enak odziv na vseh izhodih
- galvanska ločitev
- hiter zagonski čas
- glede na izhod je samo ena dioda
- nobene dušilke na sekundarni strani
- enostavna regulacija (samo en pol)
- izhodna moč je do 250W

SLABOSTI:

- visoke tokovne konice na diodah in tranzistorjih
- kondenzator je večje kapacitivnosti
- v nekaterih primerih je potrebna prilagoditev frekvence za doseg pričakovanih napetosti na izhodih

Enotaktni pretočni pretvornik (durchfluswandler, forward konvertor)

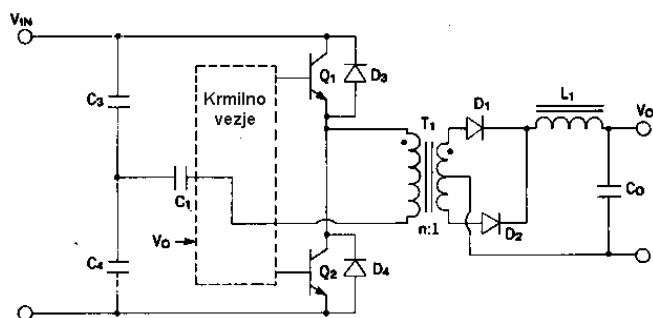


PREDNOSTI:

- enostavnejše krmiljenje tranzistorja
- moč je mala valovitost na izhodu
- ni problemov s simetrijo v magnetnem jedru transformatorja
- izhodna do 250W

SLABOSTI:

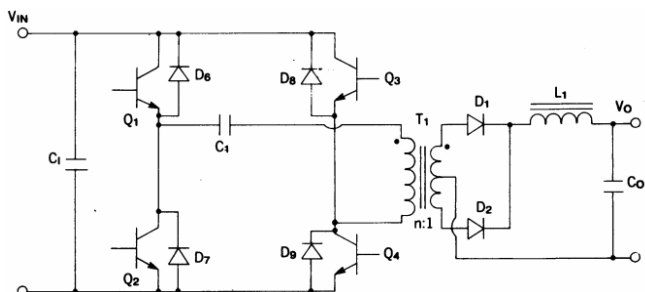
- dražji od zapornega pretvornika
- slabši izkoristek transformatorja
- zaporna napetost tranzistorja mora biti dvakrat večja od vhodne napetosti
- težave s krmiljenjem pri malih obremenitvah (dva pola)

Pretvornik s polovičnim mostičem (half bridge circuit)**PREDNOSTI:**

- visoka izhodna moč (do 500W)
- optimalni izkoristek transformatorja
- probleme s simetrijo odpravlja kondenzator
- povečan izkoristek, ker se energija

SLABOSTI:

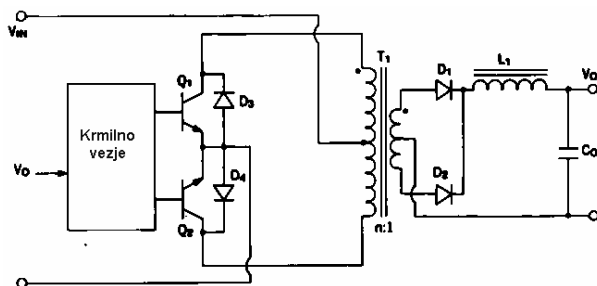
- stresane induktivnosti in magnetizacijska energija tudi prenašata v kondenzator na izhodu
- dva kondenzatorja na omrežni strani
- potreba po uparjenosti tranzistorjev zaradi možnosti asimetrije magnetnega fluksa
- galvanska ločitev pri krmiljenju tranzistorjev

Pretvornik z polnim mostičem (full-bridge switching regulator)**PREDNOSTI:**

- doseganje velikih moči (500 do 2000W)
- možnost vzporedne vezave več transformatorjev
- glede na polmostično izvedbo dosega ta izvedba dvakrat večjo moč

SLABOSTI:

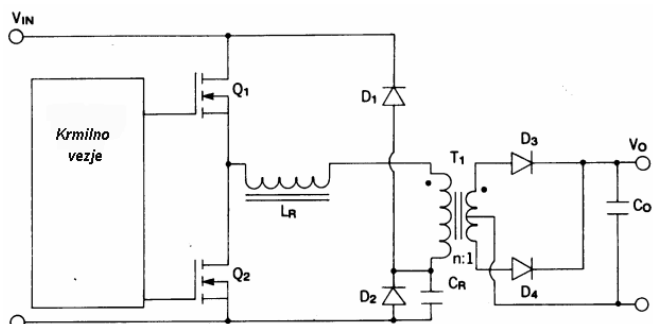
- potrebni so 4 tranzistorji z antiparalelnimi diodami
- vezava ima dva pola

Protitaktni napajalnik s srednjim odcepom (PUSH - PULL regulator)**PREDNOSTI:**

- mala teža, male dimenzije
- enostavno krmiljenje obeh tranzistorjev
- enostaven zasnutek

SLABOSTI:

- Problemi s simetrijo magnetnega fluksa
- transformator mora biti predimenzioniran
- tranzistorja morata biti za najmanj dvojno vhodno napetost
- vezje ima dva pola

Napajalnik na osnovi serijske resonance (series resonant regulator)**PREDNOSTI:**

- zmanjšana teža in dimenzije
- visok izkoristek ((85 do 90%)
- nizka izgubna moč na tranzistorjih zaradi visokofrekvenčnega delovanja
- zmanjšane elektromagnetne motnje
- večja zanesljivost
 - L omejuje primarni tok
 - preklop stanja pri prehodu toka skozi nič
 - ne povzroča izgub - segrevanja

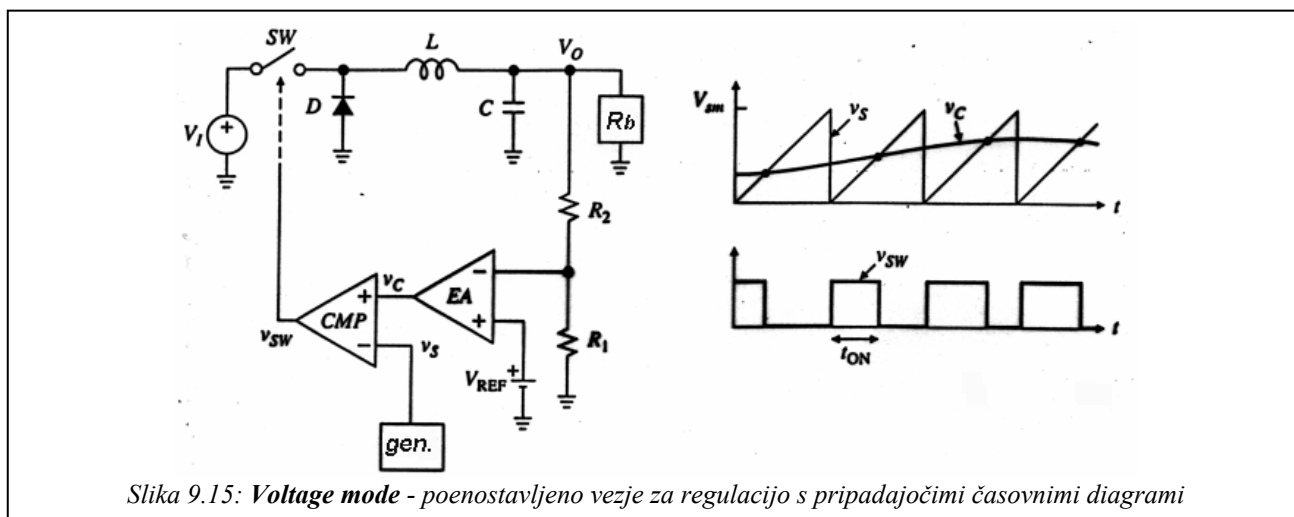
SLABOSTI:

- tok tranzistorjev je 4-krat večji
- izhodni kondenzator prenaša velike tokove potreba po L-C resonančnih elementih

9.6.6 REGULACIJA IZHODNE NAPETOSTI

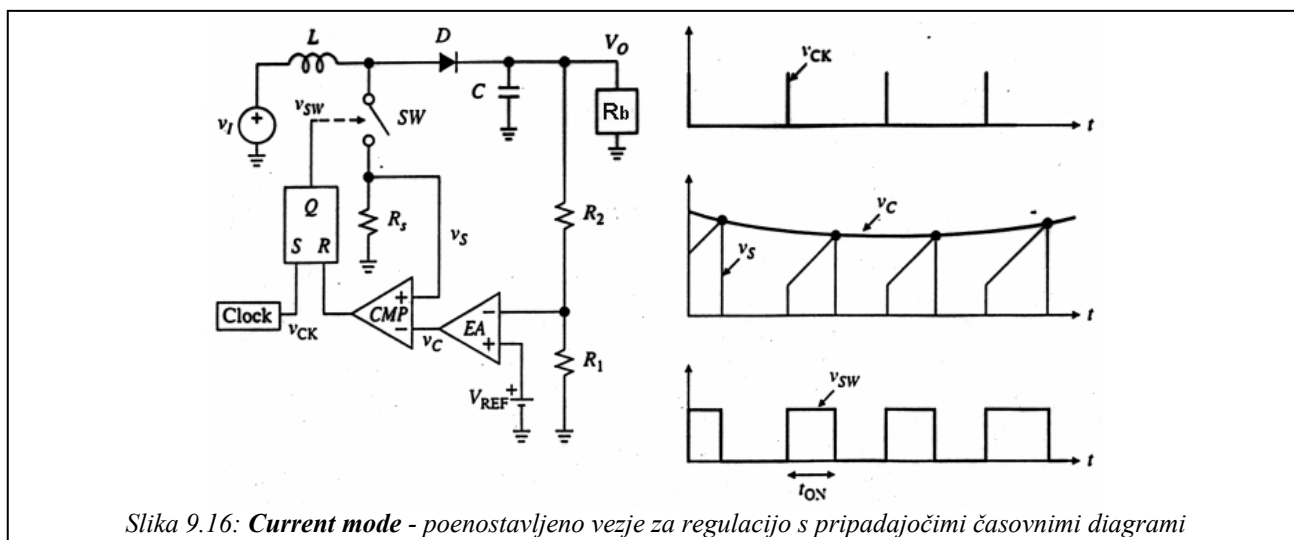
Regulacija izhodne napetosti je najpogosteje izvedena v obliki PWM ali FM modulacije oz. kombinacije obeh. Obstaja več načinov regulacije izhodne napetosti, ki pa jih lahko opredelimo v dve značilnejši skupini. Napetostni režim temelji na meritvi ene izmed izhodnih napetosti pri čemer pa ni kontrole nad obremenitvijo ostalih izhodov. Boljši način je tokovno-napetostni režim pri katerem širina impulza zavisi od trenutne vrednosti izhodne napetosti in trenutne vrednosti primarnega toka. Poleg osnovne regulacije mora krmilno vezje opravljati še druge funkcije kot npr. mehak zagon, pod-napetostno oz. nad-napetostno kontrolo, kratkostično zaščito in podobno.

Napetostni način (voltage mode)



Operacijski ojačevalnik EA ojačuje razliko med referenčno in izhodno napetostjo (preko uporovnega delilnika) ter ustvarja kontrolno napetost v_C . Primerjalnik primerja kontrolno napetost v_C z linearno naraščajočo napetostjo v_S in na izhodu ustvarja PWM impulze, ki krmilijo stikalni element.

Tokovno-napetostni način (current mode)



Enako kot pri prejšnji izvedbi ojačevalnik EA ustvarja kontrolno napetost v_C , ki jo primerjalnik primerja s trenutno vrednostjo naraščajočega toka (padec napetosti na upor R_S). Višja kontrolna napetost v_C pomeni premajhno napetost na izhodu, kar pomeni daljši čas prevajanja »stikala« in posledično večji prirastek napetosti na izhodu. Proženje flip-flopa in posledično aktiviranje stikalnega elementa je izvedeno z impulzi iz generatorja takta, resetiranje pa periodično sinhrono iz izhoda primerjalnika.

9.6.7 PRIMERI PRAKTIČNIH IZVEDB STIKALNIH NAPAVALNIKOV

