

REGULIRANI ISTOSMJERNI PRETVARAČ ZA NAPAJANJE DIGITALNIH SISTEMA

Boris KOŠULJANDIĆ, dipl. inž.*

REGULATED SWITCH MODE POWER SUPPLY**SAŽETAK**

U članku je opisan regulirani istosmjerni pretvarač za napajanje digitalnih sistema stabiliziranim istosmjernim naponom 24 V električki odvojenim od izvora napona. Detaljno je opisan modulator snage uz date rezultate ispitivanja na modelu prototipa.

SYNOPSIS

The DC/DC converter regulator described here was developed to provide isolated and regulated power for digital systems. The power supply described here has a single 24 volt output rated at 12 amps. The results of analyses and simulation testing are included in this article, but more emphasis is given to hardware development.

1. UVOD

Postoje slučajevi u kojima je istosmjerni pretvarač nužno i jedino rješenje za uređaj za napajanje. To su slučajevi gdje je izvor električne energije istosmjernan (akumulatorska baterija, sunčeve ćelije itd.), a elektronička oprema mora biti električki izolirana od izvora, zahtijeva više napona napajanja ili napon viši od napona izvora. Takvi slučajevi su i sistemi besprekidnog napajanja istosmjernim naponom. Za napajanje digitalnog sistema za procesno upravljanje "KONČAR PRO MASTER" (L.1) stabiliziranim istosmjernim naponom 24 V i električkom izolacijom od izvora napona razvijen je regulirani istosmjerni pretvarač 20-60 V/24 V - 12 A. U članku je opisan rad uređaja po funkcionalnim cjelinama, a detaljno je objašnjen rad modulatora snage, sklopa koji obavlja prijenos energije s ulaza na izlaz i električki odvaja trošilo od izvora napona. Na kraju su dati rezultati mjerenja na modelu prototipa.

2. OPIS ISTOSMJERNOG PRETVARAČA

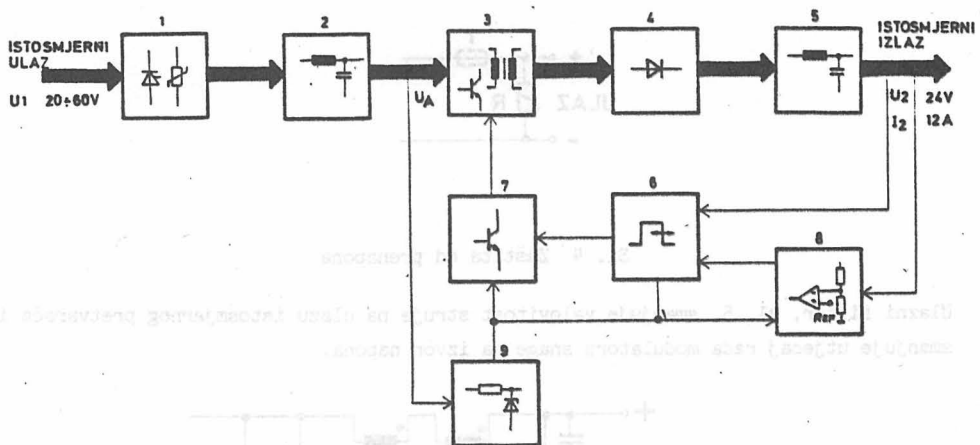
Istosmjerni pretvarač električki odvaja trošilo od izvora napona, akumulatorske baterije nazivnog napona 24 V ili 48 V i kompenzira promjene ulaznog napona, tako da se trošila napajaju stabiliziranim naponom 24 V i strujama do 12 A. Frekvencija impulsa kojima se pobuđuju tranzistorske sklopke u modulatoru snage je $20 \text{ kHz} \pm 10 \%$, tako da je rad pretvarača nečujan.

*Elektrotehnički institut "RADE KONČAR"

41000 ZAGREB, Baštijanova bb

Pretvarač se sastoji od slijedećih osnovnih funkcionalnih cjelina, sl. 1:

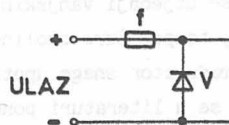
- ulazni sklopovi zaštite (1)
- ulazni filter (2)
- modulator snage (3)
- ispravljač (4)
- izlazni filter (5)
- regulirani pulsno-širinski modulator (6)
- pobudni stupanj (7)
- izlazni sklopovi zaštite (8)
- pomoćni istosmjerni pretvarač (9)



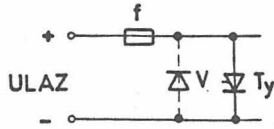
Sl. 1 Osnovne funkcionalne cjeline istosmjernog pretvarača

Ulazni sklopovi zaštite štite istosmjerni pretvarač od:

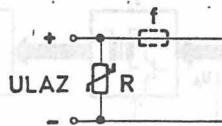
- priključaka na napon obrnutog polariteta osiguračem f i diodom V , sl. 2
- od previsokog ulaznog napona ("CROWBAR") tiristor T_y , sl. 3
- od prenapona naponski ovisnim otpornikom R , sl. 4



Sl. 2 Zaštita od obrnutog polariteta na ulazu pretvarača

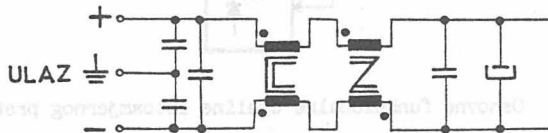


Sl. 3 Zaštita od previsokog ulaznog napona $U_{ul} > 60$ V



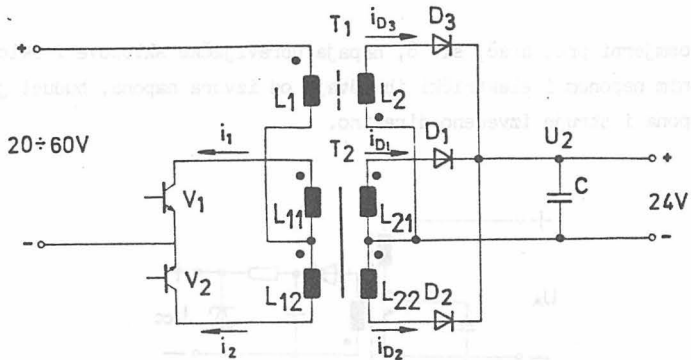
Sl. 4 Zaštita od prenapona

Ulazni filter, sl. 5, smanjuje valovitost struje na ulazu istosmjernog pretvarača i smanjuje utjecaj rada modulatora snage na izvor napona.



Sl. 5 Ulazni filter

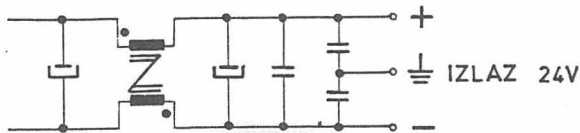
Modulator snage, glavni sklop istosmjernog pretvarača, pulsno-širinski modulira impulse snage, koji se iz izvora napona prenose transformatorom na trošilo. Pulsno-širinskom modulacijom kompenziraju se utjecaji vanjskih poremećajnih veličina (promjena ulaznog napona, struje trošila, temperature okoline) i na trošilu održava stabilan istosmjerni napon od 24 V. Za modulator snage upotrijebljen je protutaktni spoj sa strujnim ulazom, sl. 6, koji se u literaturi ponekad naziva i Biessovim spojem (L.2)



Sl. 6 Modulator snage

Ispravljač čine brze učinske diode D1, D2 i D3, sl. 6.

Izlazni filter, sl. 7, smanjuje valovitost izlaznog napona ispod zadane vrijednosti ($U_V \leq 500 \text{ mV}_{VV}$)



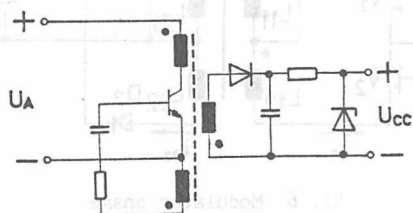
Sl. 7 Izlazni filter

Regulirani pulsno-širinski modulator upravlja radom modulatora snage i generira sinkronizacijske impulse za neki drugi istovrsni pretvarač, a preko njih se rad modulatora snage može sinkronizirati na rad drugih istovrsnih uređaja.

Pobudni stupanj povezuje tranzistore modulatora snage s upravljačkim sklopovima i prilagodava upravljačke impulse potrebne za pobudivanje sklopnih učinkovitih tranzistora. Izveden je kao proporcionalni pobudni stupanj (L.3, L.4).

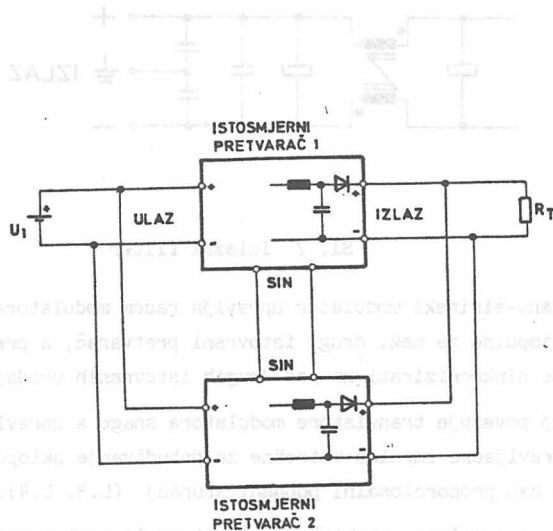
Izlazni sklopovi zaštite blokiraju rad pulsno-širinskog modulatora, a sastoje se od sklopa za strujno ograničenje i sklopa za nadnaponsku zaštitu izlaza ("CROWBAR").

Pomoćni istosmjerni pretvarač, sl. 8, napaja upravljačke sklopove i sklopove zaštite potrebnim naponom i električki ih odvaja od izvora napona, budući je mjerenje izlaznog napona i struje izvedeno direktno.



Sl. 8 Pomoćni istosmjerni pretvarač

U slučaju potrebe umnažanja opteretivosti izlazi i ulazi 2 ili više pretvarača mogu se povezati paralelno, sl. 9.



Sl. 9 Paralelni rad 2 pretvarača

3. OPIS RADA MODULATORA SNAGE

Modulator snage izveden je u protutaktnom spoju sa strujnim ulazom, sl. 6, a predstavlja kombinaciju blokirnog i protutaktnog spoja. Protutaktni spoj omogućava faktor vođenja D^* praktički jednak jedinici u pulsno-širinskoj modulaciji, te je strujno opterećenje tranzistora minimalno. Zato je ovaj spoj povoljniji za ulazne napone niže od izlaznog. Blokirni spoj je povoljniji kod ulaznih napona viših od izlaznog, jer su potrebne promjene faktora vođenja D , da se kompenzira utjecaj neke poremećajne veličine manje nego kod protutaktnog spoja.

Modulator snage radi na slijedeći način. Tranzistori V1 i V2 naizmjenično uklapaju i isklapaju s određenim intervalom vođenja. Dok tranzistori vode, struja se preko transformatora T2 i određene diode D1 ili D2 predaje trošilima. Istovremeno je dioda D3 zaporno polarizirana i energija se uskladištava u magnetskom polju jezgre transformatora-prigušnice T1. U intervalima kada ne rade tranzistori, dioda D3 je propusno paralizirana i ova se uskladištena energija predaje trošilima.

4. ANALIZA RADA MODULATORA SNAGE

Slika 10 prikazuje idealizirane valne oblike struja i napona komponenti.

Početno stanje: - vodi tranzistor V1

- magnetski tok u jezgri T₂ - Φ_0
- struja primarnog namota T₁, I_0

Pretpostavke: - komponente su idealne

- valovitost izlaznog napona U_2 zanemarlivo mala

U trenutku $t = t_0$ iskloppi tranzistor V2.

U transformatoru - prigušnici T1 magnetski tok se zadržava kontinuiranim induciranjem napona na sekundarnoj strani. pri kojemu provede dioda D3. Struja sekundarnog namota počinje padati prema

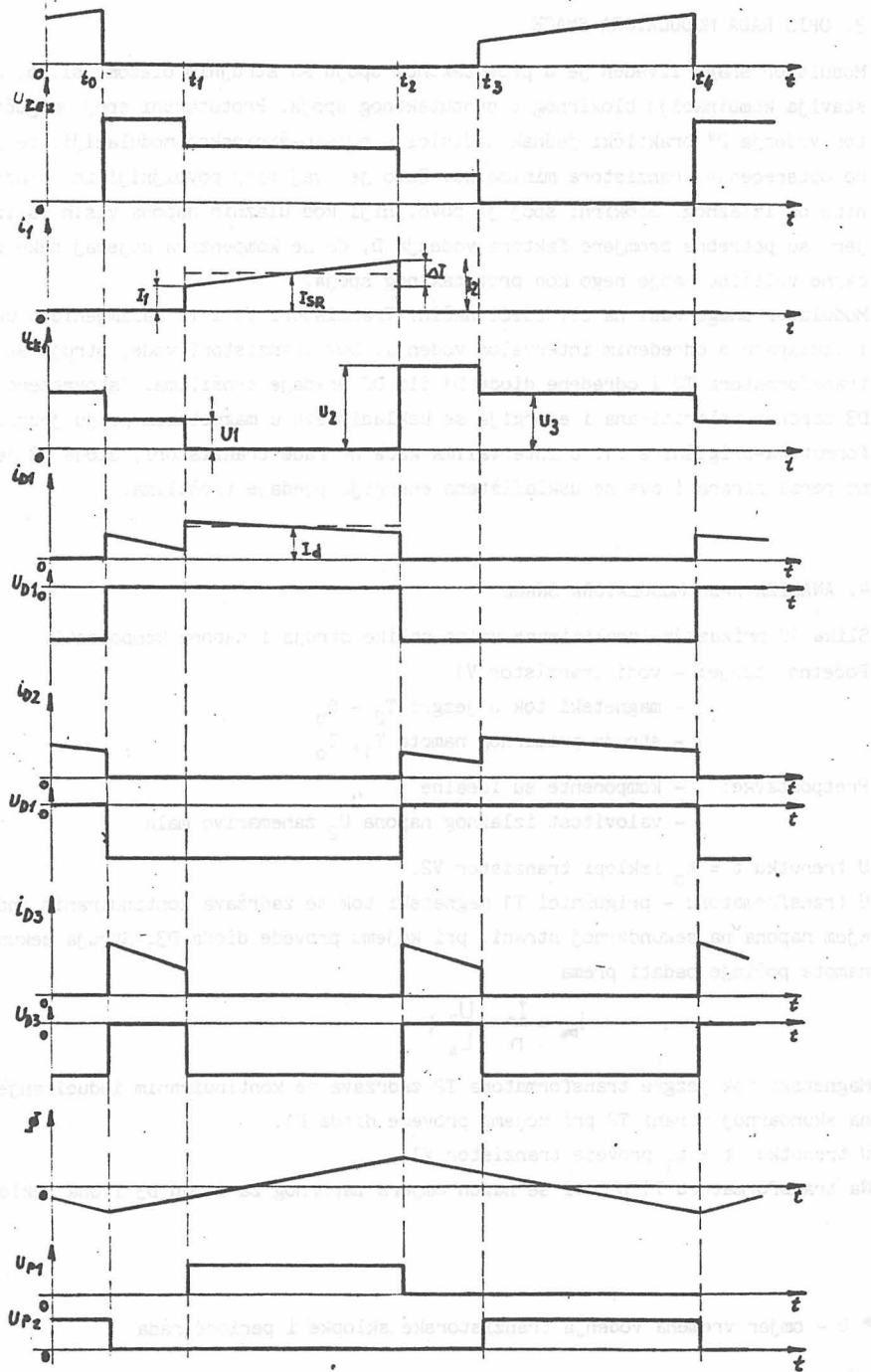
$$i_{D3} = \frac{I_0}{n} - \frac{U_2}{L_2} t$$

Magnetski tok jezgre transformatora T2 zadržava se kontinuiranim induciranjem napona na sekundarnoj strani T2 pri kojemu provede dioda D1.

U trenutku $t = t_1$ provede tranzistor V1.

Na transformatoru T1 pojavi se napon omjera zapornog za diodu D3 i ona iskloppi.

* D - omjer vremena vođenja tranzistorske sklopke i periode rada



Sl. 10 Idealizirani valni oblici struja i napona komponenti

Struja tranzistora V1 mijenja se prema:

$$i = I_0 \quad U_2(t_1 - t_0) \frac{1}{L_2} + (U_1 - \frac{U_2}{n}) \frac{t}{L_1}$$

a struja diode D1 prema

$$i_{D1} = \frac{1}{n} i_1 + i_m t_1 - \frac{U_2}{L_{21}} t$$

Tranzistor V2 je u blokiranom stanju i na njemu vlada napon

$$U_{CE2} = \frac{2}{n} U_2$$

dok je na diodi D2 napon

$$U_{D2} = -2U_2$$

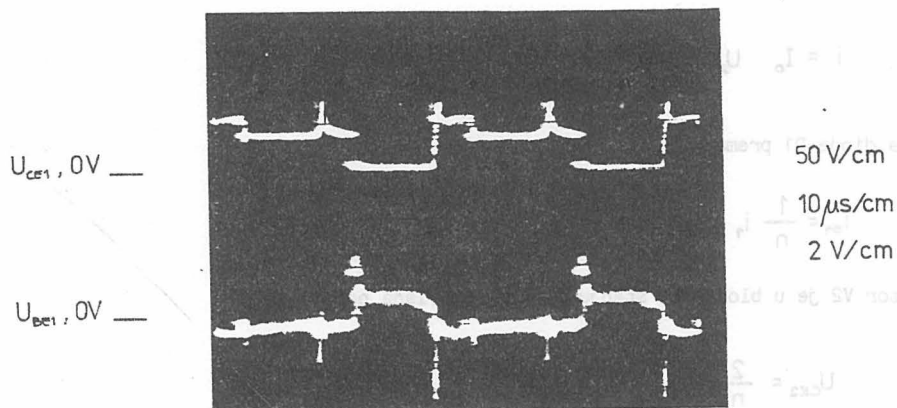
a na diodi D3

$$U_{D3} = nU_1$$

U trenutku $t = t_2$ isklupi tranzistor V1 i sve se ponovi, osim što se struje tranzistora zamijene u odnosu na interval $t_0 - t_1$.

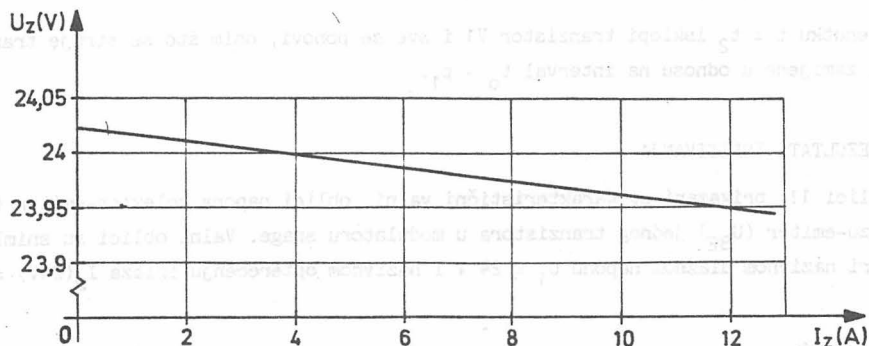
5. REZULTATI ISPITIVANJA

Na slici 11. prikazani su karakteristični valni oblici napona kolektor-emiter (U_{CE}) i bazu-emiter (U_{BE}) jednog tranzistora u modulatoru snage. Valni oblici su snimljeni pri nazivnom ulaznom naponu $U_1 = 24$ V, i nazivnom opterećenju izlaza $I_2(24V) = 12$ A.



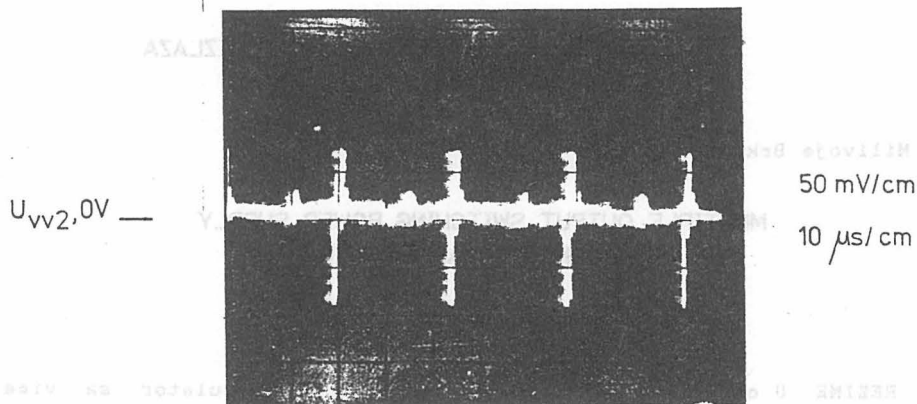
Sl. 11 Valni oblici na tranzistoru V1 (V2)

Statička izlazna karakteristika snimljena pri nazivnom ulaznom naponu i nazivnom teretu prikazana je na slici 12.



Sl. 12 Statička izlazna karkateristika pretvarača

Osnovna valovitost, sl. 13, izlaznog napona ne prelazi iznos od $50 \text{ mV}_{\text{VV}}$ pri nazivnom teretu i nazivnom ulaznom naponu $U_1 = 24 \text{ V}$. Oscilacije u izlaznom naponu (u stručnoj literaturi s engleskog govornog područja poznate pod nazivom SPIKES) ne prelaze iznos od $200 \text{ mV}_{\text{VV}}$ što je manje od 1 % nazivne vrijednosti izlaznog napona.



Sl. 13 Valovitost izlaznog napona U_{vv2}

6. ZAKLJUČAK

U slučajevima kad trošila zahtijevaju napajanje stabiliziranim istosmjernim naponom, a napon napajanja je nestabiliziran i mijenja se u širokim granicama (npr. 20–60 V), stabilnost bolja od 0,5 % i valovitost napona napajanja manja od 1 % može se na relativno jednostavan način postići istosmjernim pretvaračem u protutaktnom spoju sa strujnim ulazom. Opisano rješenje istosmjernog pretvarača koristi se za napajanje dviju konfiguracija programsko digitalnog sistema "KONČAR PRO MASTER" čija potrošnja iznosi 250 i 500 W. Osim navedenih kvaliteta pretvarači su se u praksi potvrdili visokom pouzdanošću i jednostavnim rukovanjem.

LITERATURA

1. KONČAR, Stručne informacije 1987, broj 4
2. John J. Biess, "2,4 kW DC/DC converter regulator" Research and Development Technical Report, ECOM, 75 - 132 - F, srpanj 1977.
3. Ž. Ivanović, "A Low consumption Proportional Base Drive Circuit With Simplified Electrical Structure", Power Conversion Conference 84, Paris, 1984.
4. Thomson Semiconducteurs: "Fast - Switching With Power Transistors And Darlingtons State Of The Art", Applications News