

ZAŠTITA FLYBACK KONVERTORA OD ZAMENE LINIJA FAZE I NULE U TROFAZNIM PRIMENAMA SA PRECIZNOM REGULACIJOM IZLAZNOG NAPONA

Nenad Jovičić, Vladimir Rajović, Slavoljub Marjanović, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

Sadržaj – U ovom radu je opisano kolo za prenaponsku zaštitu ulaznog stepena trofazno napajano flyback konvertora, a u slučaju nepravilnog povezivanja linija nule i jedne od faza. Predloženo rešenje ne menja topologiju samog flyback konvertora i elemenata od kojih se on sastoji, već se između niskonaponske mreže i konvertora umeće razdvojni stepen. Razdvojni stepen je jednostavan i jeftin, jer se sastoji od svega jedne integrisane, i nekoliko diskretnih komponentata.

1. UVOD

Flyback je najčešće korišćeni prekidački konvertor za dobijanje niskog izlaznog od visokog ulaznog napona. Ulazni napon se najpre ispravlja (polu- ili punim mostom), i dovodi na elektrolitski kondenzator i flyback.

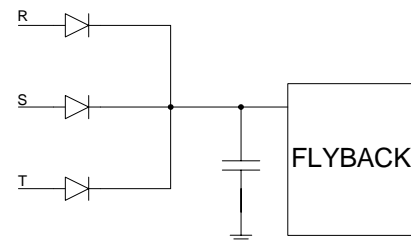
Za ulazni napon od 3 x 220V (3 x 110V) AC, kondenzator će biti dimenzionisan za napon od 400V (200V) DC, dok će MOSFET imati probojni napon definisan prenosnim odnosom transformatora, koji je svakako veći od 400V (200V). Za izvesne industrijske primene postoji potreba da se osigura ispravno funkcionisanje izvora za napajanje u slučaju zamene linija nule i jedne od faza, kada se na jednom od ulaznih priključaka pojavljuje napon od 390V (195V); ne postoji nikakva regulativa koja se tiče ovoga vezano za neindustrijske primene (kućni aparati itd). Standardni flyback sposoban da izdrži ovakvu promenu ulaznog napona bi trebalo da sadrži predimenzionisane ulazni elektrolitski kondenzator (u smislu DC napona) i MOSFET (u smislu probojnog napona). Štaviše, javlja se dodatni problem kontrole flybacka, pošto široki opseg promene ulaznog napona zahteva širok opseg promene faktora ispunjenosti kontrolnih impulsa. Sve gore navedeno uzrokuje upotrebu skupih komponenti koje funkcionišu na granicama elektrostatičke izdržljivosti.

Rešenje za dati problem u primenama koje koriste jednofazno napajanje je dato u našem radu [1]. Rešenje predloženo u našem radu [2] bavi se trofaznim napajanjem, ali se zbog nepostojanja negativne povratne sprege ne postiže potpuna regulacija maksimalne vrednosti izlaznog napona, tj. maksimalna (i srednja) vrednost izlaznog napona zavisi od opterećenja; za flyback to ne predstavlja prepreku za ispravan rad jer je on svakako predviđen da radi u širokom opsegu ulaznog napona. Kao pokušaj da se dostigne savršenstvo, u ovom radu je predstavljeno rešenje pomenutog problema u trofaznim primenama, ali uz dodatnu regulaciju maksimalne vrednosti izlaznog napona. Mada donekle redundantno za flyback, predloženo rešenje bi se takođe moglo iskoristiti i za zaštitu drugih konfiguracija izvora za napajanje. Rešenje opisano u ovom radu se sastoji od zaštitnog stepena umetnutog između ulaznih priključaka i elektrolitskog kondenzatora na ulazu flybacka koji kontroliše punjenje kondenzatora.

2. PRINCIP FUNKCIONISANJA

Standardni flyback ispravljački stepen prikazan je na slici 1. Ispravljački stepen se sastoji od tri diode na red sa elektrolitskim kondenzatorom koji obezbeđuje DC napajanje potrebno za ispravno funkcionisanje flybacka.

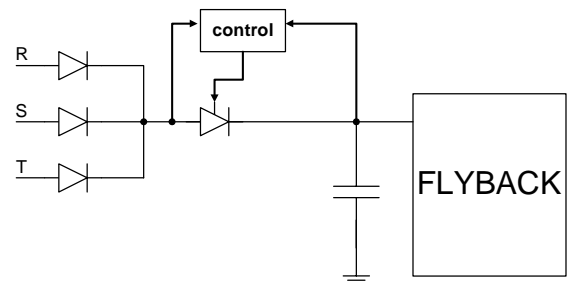
Ova topologija se obično dimenzioniše za nominalne uslove, tj. 3 x 220V (3 x 110V) AC. Ukoliko dođe do zamene linija nule i neke od faza kondenzator će eksplodirati, i/ili će MOSFET pregoreti, pošto će se na ulaznim priključcima pojaviti napon od 2 x 380V + 1 x 220V (2 x 195V + 1 x 110V) AC.



Slika 1. Standardni flyback ispravljački stepen

Problem se principski može rešiti dvojako, bilo isključivanjem ulaznog napona kada on premaši neki prag, bilo korišćenjem povratne sprege po naponu na elektrolitskom kondenzatoru, tako da jednosmerno napajanje flybacka ne premašuje nominalni napon kondenzatora; posebna pažnja mora se obratiti na koeficijent korisnog dejstva, koji mora biti što veći.

Pristup koji koristi tri nezavisna monofazna zaštitna stepena iz rada [1], po jedan za svaku fazu, ima neopravdano veliki broj komponentata. Rešenje iz rada [2] upošljava samo nekoliko diskretnih komponenti, ali nema precizne regulacije izlaznog napona, dok rešenje koje na ovom mestu predlažemo upošljava negativnu povratnu spregu korišćenjem jednostavne kontrolne logike zasnovane na integrisanom CMOS tajmerskom kolu TLC555. Pored povratne sprege po izlaznom naponu takođe se prati i trenutna vrednost ulaznog napona.

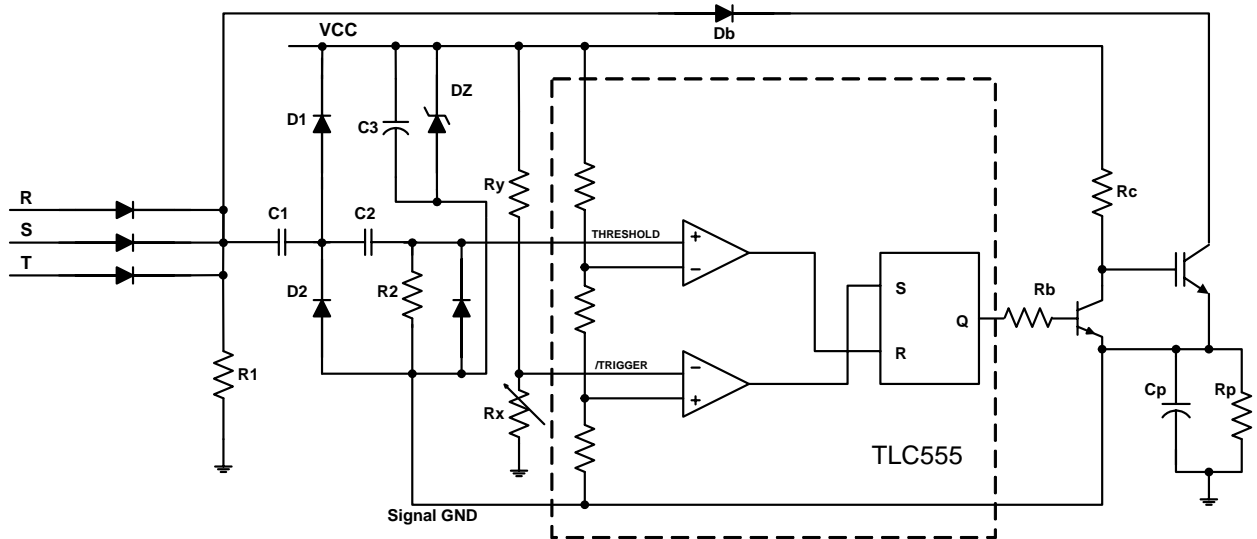


Slika 2. Principna šema ispravljača

3. OPIS UREĐAJA

Električna šema uređaja prikazana je na slici 3. Kao prekidački element korišćen je bipolarni tranzistor sa izolovanim gejtom (IGBT), sa otpornošću reda 0.1Ω [3,4]. Integrirani tajmer TLC555 se koristi u konfiguraciji koja nije tajmerska već se upotrebljavaju njegovi unutrašnji sklopovi – dva komparatora i SR leč. Ovo dovodi do uštede jer bi alternativa bila korišćenje najmanje dva druga integrirana

kola (dupli komparator i leč). Osim smanjenja potrebne površine štampane pločice, te činjenice da je integrirano kolo TLC555 vrlo jeftino (što se ne može reći za CMOS komparatore) i lako dostupno kolo, prednost ovoga kola se ogleda i u potrošnji, koja je na 10V ispod 1mA [5]. Napajanje tajmerskog kola TLC555 izvedeno je pomoću kapacitivnog razdelnika C1 – C3 i iznosi 10V. Zbog male potrošnje kondenzatori u kapacitivnom razdelniku mogu biti manjih gabarita, C1 ~ 10nF, C3 ~ 10μF.



Slika 3. Električna šema uređaja

U konstrukciji uređaja je izbegnuta potreba za *high-side* driverom za kontrolu prekidača, na taj način što je signalna masa postavljena na emiter IGBT tranzistora. Ovim je dobijena mogućnost direktne kontrole prekidača iz digitalne logike, bez upotrebe sprežnih elemenata (optokaplera ili visokonaponskih tranzistora male snage).

Željena vrednost izlaznog nestabilisanog napona se podešava naponskim razdelnikom Rx – Ry, prema jednačini:

$$R_x = \frac{R_y}{2} \left(3 \frac{V_{out}}{V_{cc}} + 1 \right)$$

gde je V_{out} vršna vrednost nestabilisanog napona (u momentu isključenja prekidača, tj. gašenja IGBT tranzistora), a V_{cc} predstavlja napon napajanja integriranog kola, određen zener diodom DZ.

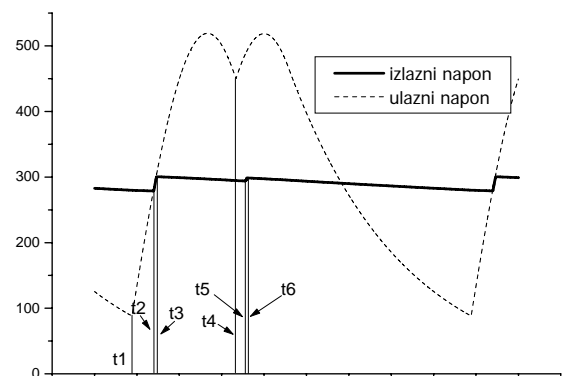
Otpornik R1 i dioda Db omogućuju ispravno funkcionisanje kapacitivnog razdelnika. Otpornik R1 je neophodan (“bleeder”), ali on doprinosi disipaciji kola, čime se smanjuju njegove ukupne performanse u poređenju sa monofaznim rešenjem iz rada [1] i trofaznim rešenjem bez povratne sprege iz rada [2].

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I PRINCIP RADA UREĐAJA

Na slici 4. su prikazani karakteristični oblici ulaznog i izlaznog napona i označeni su karakteristični trenuci u uslovima zamene linije nule i jedne od faza, dobijeni eksperimentalnim putem. Na izlazu se održava nestabilisani

napon vršne vrednosti od 300V, a na ulazu je prisutan napon $2 \times 380V + 1 \times 220V$ AC. Korišćeni IGBT tranzistor je IRGBC20S [3].

U trenutku t_1 ulazni napon dostiže minimum i počinje da raste. Pri porastu napona, bez obzira na trenutnu vrednost izlaznog napona, kontrolna logika se napaja preko kapacitivnog razdelnika C1 – C3. U isto vreme se, preko istog kapacitivnog razdelnika, diferencijatora C2 – R2, i komparatora u integriranom kolu, vrši resetovanje leča što napon gejt – emiter izjednačava sa naponom napajanja logike (10V DC).



Slika 4. Ulazni i izlazni napon u ustaljenom stanju, u slučaju zamene linije nule i jedne od faza

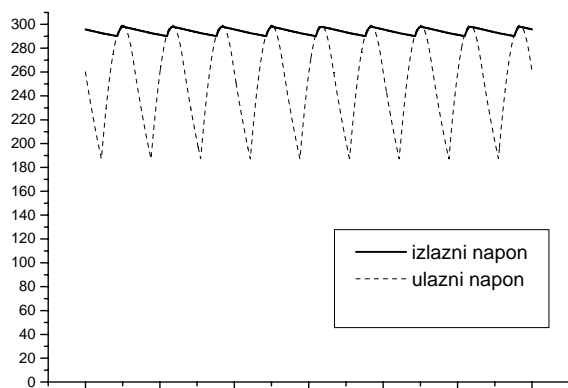
Kada ulazni napon pređe vrednost izlaznog napona (trenutak t_2) IGBT tranzistor počinje da vodi i ponaša se kao prekidač otpornosti reda 0.1Ω . Izlazni napon se od tog trenutka simultano povećava sa ulaznim. Povećavanje izlaznog napona, preko razdelnika $R_x - R_y$, rezultuje relativnim smanjivanjem napona na /trigger ulazu TLC555 u odnosu na signalnu masu. Kada taj napon padne na $1/3 V_{cc}$, preko drugog komparatora se setuje leč što gasi IGBT tranzistor (t_3).

U trenutku t_4 ulazni napon još jednom menja smer, i IGBT tranzistor počinje da vodi posle izvesnog kašnjenja, od trenutka t_5 pošto je ulazni napon veći od izlaznog. U trenutku t_6 se ponavlja situacija iz trenutka t_2 jer se ponovo isključuje IGBT tranzistor.

Dopunjavanje izlaznog kondenzatora u periodu $t_5 - t_6$ je uzrok izvesnog povećavanja disipacije na IGBT tranzistoru, pošto sada ne postoji simultanost menjanja ulaznog i izlaznog napona, već je ulazni napon skoro duplo veći od izlaznog. Disipacija na izlaznom tranzistoru pri izlaznoj snazi od 9W iznosi 1W. Kada se ovome doda još i značajna disipacija na otporniku R1 ($100k\Omega$ u eksperimentu) koja ne zavisi od potrošnje i iznosi 1.27W, dolazi se do koeficijenta korisnog dejstva od 80%.

Slika 5. prikazuje karakteristične oblike ulaznog i izlaznog napona u normalnom režimu rada (na ulazu je prisutan napon $3 \times 220V$ AC. U ovom slučaju je IGBT tranzistor neprestano uključen, pošto ulazni napon nikada ne dostiže napon praga; IGBT tranzistor se u ovom slučaju u stvari ponaša kao dioda.

Disipacija na izlaznom tranzistoru pri izlaznoj snazi od 9W iznosi 20mW, a disipacija na otporniku R1 iznosi 0.66W; koeficijent korisnog dejstva ima vrednost 93%.



Slika 5. Ulazni i izlazni napon u ustaljenom stanju, u normalnom režimu rada

5. ZAKLJUČAK

Opisano rešenje je elegantno jer se kolo kao međustepen može dodati ispred bilo kakvog trofaznog prekidačkog napajanja male snage koje na svom ulazu ima ispravljaj. Ima veliki koeficijent korisnog dejstva tako da ne narušava smisao upotrebe prekidačkog napajanja uz koga se koristi. Sastoji se iz malog broja jeftinih i lako dostupnih komponenata. Samim tim je i malih je dimenzija. Korišćenjem kola TLC555 omogućeno je jednostavno i precizno podešavanje izlaznog napona na proizvolju vredost. Pouzdanost je velika jer je jedina komponenta koja trpi naponske i strujne udare, IGBT tranzistor, i projektovan da radi u aplikacijama takvog tipa.

LITERATURA

- [1] V. Rajović, N. Jovičić, S. Marjanović, *Extension of the Input Voltage Range of Flyback Converter by Means of IGBT*, *Electronics*, Vol. 7, No. 1, September 2003, pp. 25-26
- [2] V. Rajović, N. Jovičić, S. Marjanović, *Zaštita Flyback konvertora od zamene linija faze i nule u trofaznim aplikacijama*, INFOTEH 2005
- [3] *IRGBC20S datasheet*, International Rectifier.
- [4] C.Blake, C.Bull, *IGBT or MOSFET: Choose Wisely*, International Rectifier
- [5] *TLC555 datasheet*, Texas Instruments

Abstract - In this paper we presented a circuit for overvoltage protection of input stage of three-phase mains flyback switching power supply, in case of bad connections of null and a phase line. The proposed solution does not change the topology of the flyback; a coupling stage is inserted between mains and the flyback instead. The coupling stage is simple and cheap, since it consists of only a single integrated and handful of discrete components.

GETTING A FLYBACK CONVERTER IMMUNE TO A SWAP OF PHASE AND NULL LINES IN THREE-PHASE DRIVEN APPLICATIONS, WITH A PRECISE REGULATION OF OUTPUT VOLTAGE

Nenad Jovičić, Vladimir Rajović, Slavoljub Marjanović