

JEDNOSTEPENI AC/DC KONVERTOR SA KOREKCIJOM FAKTORA SNAGE

Zoran Stojiljković, Marijeta Zonjić, Predrag Ristić, Elektrotehnički fakultet, Beograd

Kratak sadržaj - U ovom radu je predstavljen jedno-stepeni, jednofazni AC/DC konvertor sa korekcijom faktora snage. Pažnja je usmerena na jednostepenu koncepciju u kojoj su integrisane funkcije dva pretvarača, korekcija faktora snage i dc-dc izolovana konverzija. Kao glavni važan projektni zahtev je minimiziranje prekidačkih gubitaka na poluprovodničkim visoko frekventnim prekidačima, pa je iz tog razloga posebna pažnja posvećena tehnika mekog prekidanja (*soft-switching*).

1. UVOD

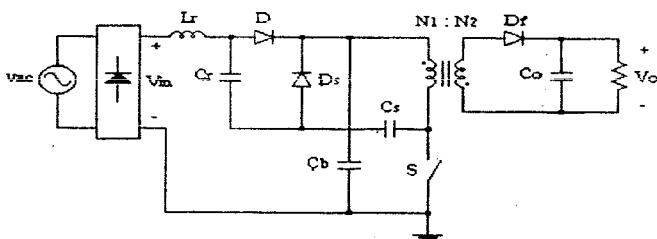
Zbog povećanog broja nelinearnih potrošača, priključenih na distributivnu mrežu, problem zagađenja mreže harmonima postao je značajan. Da bi se zadovoljili propisi o maksimalnom harmonijskom izobličenju struje potrošača, povećani su napor i u oblasti istraživanja aktivne korekcije faktora snage. Osnovni zahtevi u projektovanju AC/DC konvertora sa korekcijom faktora snage su oblikovanje ulazne struje, tako da ona prati ulazni napon (da je u fazi sa ulaznim naponom i filtrirana od viših harmonika u skladu sa propisima), visoka efikasnost konverzije snage, održavanje izlaznog napona konstantnim, male dimenzije i niska cena pretvarača. U cilju smanjenja veličine i težine reaktivnih komponenti (prigušnica i transformatora) i samim tim pretvarača, kao i da bi se poboljšale performanse upravljanja strujom, poželjno je da se koriste vrlo visoke prekidačke frekvencije. Ovim se ujedno postigne i niza cena pretvarača. Međutim, pri visokim frekvencijama, prekidački gubici i naprezanje poluprovodničkih sklopova postaju ozbiljan problem, tako da primena tehnika mekog prekidanja (*soft-switching*) dobija veliki značaj. Većina tehnika mekog prekidanja je nastala u oblasti jednosmernih konvertora, razvijajući se od rezonantnih konvertora, preko kvazi i multi-rezonantnih konvertora, do konvertora sa kvazi-pravougaonom impulsno-širinskom modulacijom i konvertora sa mekim prekidanjem pri nultom naponu (ZVS) i konvertora sa mekim prekidanjem pri nultoj struji (ZCS). Rezonantni konvertori (redni i paralelni rezonantni konvertori, konvertori klase E, [1]), kvazi-rezonantni i multi-rezonantni konvertori, oblikuju struju i napon u sinusni ili kvazi-sinusni oblik, što omogućava da se prekidački proces obavlja pri nultom naponu i/ili struji i tako značajno smanje prekidački gubici i naprezanje prekidača. Međutim, zbog rezonantne prirode struje i napona, u ovim kolima se ima visoka cirkulaciona energija, što prouzrokuje povećanje provodnih gubitaka. Osim toga, zbog širokog opsega opterećenja, mnogi rezonantni konvertori rade sa širokim opsegom prekidačkih frekvencija, tako da je teško projektovati optimalno kolo. Kao kompromis između PWM i rezonantnih tehnika, u cilju kombinovanja željenih karakteristika oba konvertora, razvijeni su PWM konvertori sa mekim prekidanjem (*zero-voltage soft-switching PWM* i *zero-current soft-switching PWM converter*). Različiti tipovi ovih konvertora izloženi su u radovima. [2], [3], [4].

2. OPIS PREDLOŽENOG KONVERTORA

U konvertorima sa korekcijom faktora snage, pretvaranje električne energije se može obaviti na dva načina. Prvi način koristi dvostepenu šemu u kojoj ulazni stepen (konvertor faktora snage) omogućuje upravljanje ulaznom strujom uz grubu regulaciju napona (ili struje) na međuspoju, dok se upravljanje na potrošaču vrši pomoću izlaznog stepena. Drugi je jednostepena konverzija, pri kojoj se u jednom pretvaraču vrši upravljanje ulaznom strujom, upravljanje na potrošaču i prema potrebi, galvansko odvajanje ulaza i izlaza. Dvostepeni konvertori imaju dobre električne karakteristike (visok faktor snage) i brzu regulaciju izlaznog napona, ali nedostatak je visoka cena usled većeg broja komponenti. Ovaj nedostatak je moguće prevazići jednostepenim konvertorima, a da se dobre osobine dvostepenih konvertora bitno ne naruše. Jedan takav konvertor se predlaže u ovom radu. On predstavlja kombinaciju PFC (*Power Factor Correction*) stepena i dc-dc pretvarača spojenih u jednu celinu sa razdelnim prekidačem.

Da bi se povećala regulacija izlaza potrebno je ubaciti kondenzator za skladištenje energije, čime se postiže da izlazni napon bude bez talasnosti. Veliki faktor snage se postiže tako što se u PFC stepen ponaša kao *boost* konvertor koji radi u režimu prekidne struje sa stalnom kontrolom *duty-cycle*. Ukoliko dc-dc stepen radi u režimu kontinualne struje zbog smanjenja gubitaka tada se *duty-cycle* ne menja čak ni kada se menja opterećenje. Zbog toga postoji nejednakost ulazne i izlazne snage kada opterećenje postane suviše malo. Razlika ulazne i izlazne snage se skladišti u kondenzatoru što dovodi do povećanja napona na liniji. *Duty-cycle* mora da se smanji da bi izlazni napon ostao konstantan. Smanjenje *duty-cycle* dovodi do opadanja snage na ulazu i time se postiže nova energetska ravnoteža. Zbog postojanja naprezanja usled visokog napona na kondenzatoru potrebno je koristiti komponente koje su u stanju da izdrže takva naprezanja. Postoje dva načina da se to izbegne, jedan je korišćenje promjenljive prekidačke učestanosti, kada pretvarač ima nizak stepen iskorisćenja, a drugi je da dc-dc pretvarač radi u režimu prekidne struje, jer će, zbog same karakteristike tog režima i zbog automatskog smanjenja *duty-cycle* pri malom opterećenju, da bude izbegnuto naprezanje kondenzatora. Međutim, ovaj režim povećava gubitke usled provodjenja kao i gubitke na prekidaču tako da se stepen iskorisćenja takodje smanjuje. Dakle, obe metode imaju nedostatke.

Predloženi konvertor primenjuje PFC tehniku, koja koristi "pumpu za naelektrisanje". [5]. Taj pojam predstavlja rezonantni rezervoar (*tank*) koji se koristi da bi se postigla korekcija faktora snage, kao i da bi se minimizovao THD. Jednostepena PFC pumpa za naelektrisanje sa jednim prekidačem je interesantna, jer se tom prilikom kondenzator koristi za postizanje korekcije faktora snage. Šema energetske kola, prikazana je na sl.1.



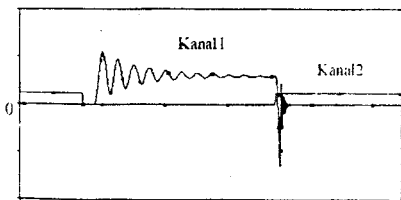
Sl.1 Šema kola

3. REZULTATI

U ovom radu, najpre su predstavljeni rezultati simulacije predložnog konvertora, za šta je korišćen program PSPICE, [6]. Ovi rezultati potvrđuju mogućnost primene tehnika mekog prekidanja, kako za prekidač, tako i za diodu D_f. Obezbeđivanjem nulte vrednosti napona na prekidaču i struje kroz diodu D_f, u trenutku uključivanja, odnosno nulte vrednosti struje kroz prekidač, u trenutku isključenja prekidača, minimizirani su prekidački gubici. Parametri kola za koje je izvršena simulacija su:

$L_r = 580\mu\text{H}$, $C_r = 10\text{nF}$, $C_b = 200\mu\text{F}$, $C_s = 6.8\text{nF}$, $L_1 = 6\text{mH}$, $L_2 = 74\mu\text{H}$, $C_o = 1000\mu\text{F}$, $P_o = 60\text{W}$; D_x, D_s MUR8100. D_f MUR1520, S BUZ81/S1E

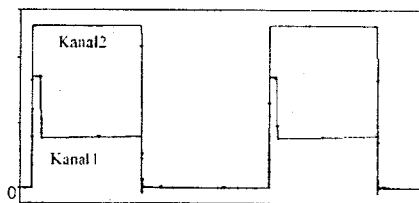
Na sl.2 je dat talasni oblik struje kroz diodu D_f. Može se videti da u trenutku uključivanja prekidača, struja kroz diodu D_f ima vrednost nula.



Sl.2 Struja kroz diodu D_f i upravljački signal

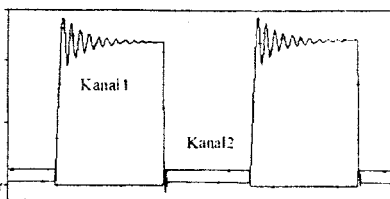
x-osa: 5 μs/pod y-osa: kanal1 3A/pod
kanal2 40V/pod

Na sl.3 i sl.4, prikazani su talasni oblici struje kroz prekidač i napona na prekidaču, za vreme u toku koga je prekidač uključen, odnosno isključen.



Sl.3 Struja kroz prekidač i upravljački signal

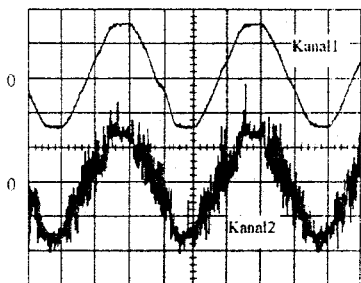
x-osa: 5 μs/pod y-osa: kanal1 1A/pod
kanal2 4V/pod



Sl.4 Napon na prekidaču i upravljački signal

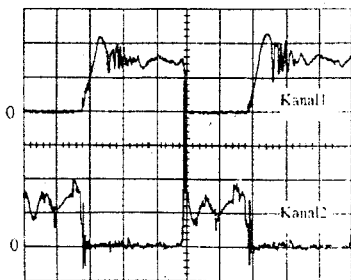
x-osa: 4 μs/pod y-osa: kanal1 100V/pod
kanal2 50V/pod

Eksperimentalni rezultati su dobijeni na prototipu, u Laboratoriji za energetske pretvarače, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Ovi rezultati potvrđuju da predloženi pretvarač (energetsko i kontrolno kolo) ispunjava osnovne zahteve za projektovanje pretvarača sa korekcijom faktora snage. Prvo, postignuti su istovremeno korekcija faktora snage i konstantan izlazni napon, što se vidi na sl.5 i sl.8. Drugo, pomoću rezonantnog kola, obezbeđeno je meko prekidanje (*soft-switching*), nulta vrednost napona na prekidaču pri uključanju i nulta vrednost struje kroz prekidač D_f pri isključenju, kao i nula vrednost struje kroz diodu D_f pri uključanju, čime su minimizirani prekidački gubici. Ovo potvrđuju rezultati sa sl.6 i sl.7. Pretvarač je projektovan za snage potrošača do 80 W i za opseg vrednosti ulaznog napona od 70 V do 150 V. Rezultati sa sl.5, talasni oblici ulaznog napona i struje i sa sl.8, izlazni napon, dobijeni su za ulazni napon od 110 V i za snagu potrošača 20 W. Talasni oblici napona na prekidaču i struje kroz prekidač, prikazani na sl.6, dobijeni su pri ulaznom naponu od 80 V i za snagu potrošača 75 W. Rezultati sa sl.7 dobijeni su za ulazni napon 110 V i snagu potrošača 20 W.



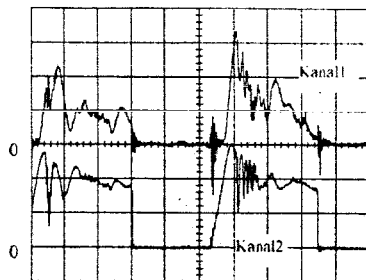
Sl.5 Talasni oblici ulaznog napona i struje

Kanal 1: ulazni napon, 110 V
 Kanal 2: ulazna struja, 0.2 A/pod
 Vremenska osa: 5 ms/pod



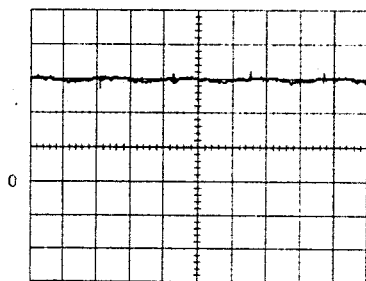
Sl.6 Talasni oblici napona na prekidaču i struje kroz prekidač

Kanal1: napon na prekidaču, 100 V/pod
 Kanal2: struja kroz prekidač, 0.5 A/pod
 Vremenska osa: 2μs/pod



Sl.7 Talasni oblici struje kroz izlaznu diodu D_f i napona na prekidaču

Kanal1: Struja kroz izlaznu diodu, 5 A/pod
 Kanal2: Napon na prekidaču, 100 V/pod
 Vremenska osa: 2μs/pod



Sl.8 Izlazni napon

Izlazni napon: 5 V/pod
 Vremenska osa: 5 μs/pod

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana moderna problematika poboljšanja kvaliteta prekidačkih izvora napajanja. Atributi koji čine pomenute uređaje kvalitetnijim je korekcija faktora snage i eliminacija viših harmonika prisutnih u ulaznoj struji nizmofrekventnog mrežnog izvora napajanja.

Cilj rada bio je, ne samo postizanje pomenutih poboljšanja kvaliteta signala mreže, nego i povećana efikasnost i pouzdanost rada uređaja. Posebno se naglašava potreba da rešenja budu jednostavne konstrukcije i, naravno, konkurentne cene. Kao dobar izbor, u radu se obrađuje jednostavna koncepcija u kojoj su integrisane funkcije oba pre-

tvarača, i korekcija faktora snage i dc/dc izolovana konverzija. Rezultati dobijeni na fizičkom prototipu i simulacijom u PSPICE programu, realizovani su u Laboratoriji za energetske pretvarače, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

REFERENCE

- [1] N.Mohan, T.Undeland, W.Robbins, Power Electronics: converters, applications and design, J.Wiley, 1995.
- [2] K.H.Liu, F.C.Lee, "Zero-Voltage Switching Technique in DC/DC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 5, no. 3, july 1990, pp. 293-304.
- [3] G.Hua, E.X.Yang, Y.Jiang, F.C.Lee, "Novel-Zero-

Current-Transition PWM Converters". IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 9, no. 6, november 1994, pp. 601-606.

- [4] G.Hua, F.C.Lee, "Soft-Switching Techniques in PWM Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 42, no. 6, december 1995, pp. 595-603.

- [5] Jinrong Qian, Fred C. Y. Lee, " A High-Efficiency Single-Stage Single-Switch High-Power-Factor AC/DC Converter with Universal Input", in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13, no. 4, july 1998, pp. 699-705.

- [6] Predrag Ristić, "Simulacija kola ispravljača sa korekcijom faktora snage pomoću programskog paketa OrCad", semestralni rad iz predmeta Upravljanje energetskim pretvaračima, Beograd, 1999.