



NEKE METODE I NAČINI ZA SMANJENJE SMETNJI PREKIDAČKIH NAPOJNIH UREĐAJA

Vladimir Šinik

Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Republika Srbija

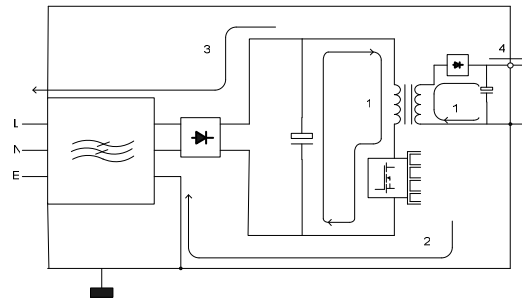
Kratak sadržaj: U radu su date metode za redukovanje visokofrekventnih smetnji utičući na fizički razmeštaj i konstrukciju pretvarača.. Data je metoda pasivnog poništavanja smetnji.

Ključne reči: fizički razmeštaj, konstrukcija pretvarača, pasivno poništavanje

1. UVOD

Visokofrekventne smetnje koje generišu prekidački napojni uređaji se pojavljuju na ulaznim i izlaznim priključcima ili ih uređaj može zračiti neposredno u okolni prostor [1]. Smetnje koje se u obliku visokofrekventnih struja šire vodovima, delimo na simetrične (differential mode – DM), koje se zatvaraju između vodova napajanja, i na nesimetrične (common mode – CM), koje se zatvaraju preko uzemljenja. Simetrične smetnje prostiru se po napojnim vodovima ulaza i izlaza tako da se napon smetnji meri između faznog i nultog voda ili dva fazna voda, a struja se zatvara kroz njih.

Nesimetrične smetnje se zatvaraju se kroz masu, najčešće preko parazitne kapacitivnosti. Nesimetrične smetnje mogu se zatvarati npr. od primarnog kruga preko kapacitivnosti među namotajima transformatora na sekundarno uzemljenje, ili ako sekundar nije uzemljen preko parazitne kapacitivnosti između sekundara, odnosno potrošača i mase. Drugi mogući put je kapacitet tranzistor – rashladno telo. Efekti koje izazivaju smetnje su parazitne kapacitivnosti izolacije elemenata koji su pričvršćeni ili dodiruju delove vezane za masu. Takođe, struje curenja te izolacije se mogu tretirati i kao paraziti otpori. Ponekad se javljaju i parazitne sprežne induktivnosti kad je motana struktura blizu velike ravni vezane za zemlju te može doći do indukcije usled rasipnog fluksa. Nabrojane vrste smetnji i putevi njihovog zatvaranja date su na slici 1. I mada većina petlji koje stvaraju smetnje u izvorima za napajanje treba da budu što idealnije konstruisane kako da struje smetnji cirkulišu samo u njima, stvarni krugovi i petlje nisu baš tako „uredne“, pre svega navedene parazitne kapacitivnosti i međuinduktivne veze zemnih petlji, uzrok su što smetnje teku ne samo u petljama koje stvaraju smetnje, već i kroz celokupni sistem opterećenja i izvora napajanja.

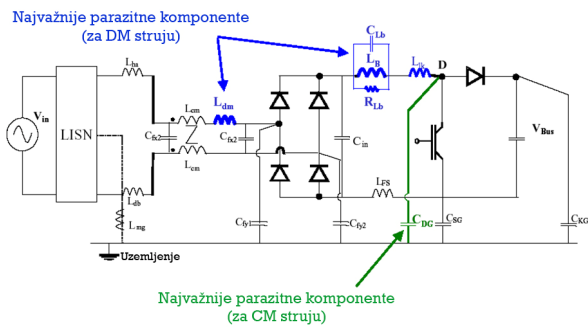


Sl. 1. – Smetnje i putevi njihovog zatvaranje u prekidačkom napojnom uređaju 1: petlja polja zračenja usled visokog di/dt 2: kapacitivna (common – mode) veza usled visokog du/dt 3: konduktivne (differential – mode) smetnje 4: konduktivne i/ili smetnje zračenja na izlazu

2. FIZIČKI RAZMEŠTAJ KOMPONENTI I UTICAJ NA SMETNJE

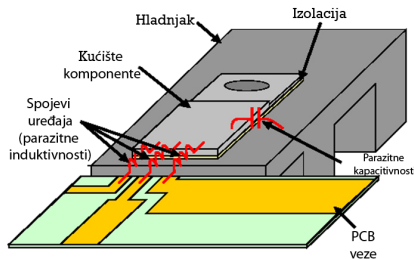
Pri svakoj fizičkoj izvedbi energetskeg dela pretvarača javljaju se parazitne induktivnosti i kapacitivnosti, kao posledica nesavršenosti komponenti pretvarača, njihovog razmeštaja i načina povezivanja kroz koje se zatvaraju i CM i DM smetnje [2]. Na slici 2 je to prikazano u slučaju izvedbe PFC podizača napona. To su kapacitet između kolektora/drejna i uzemljenja, parazitni kapacitet paralelan prigušnici podizača i parazitni induktivitet CM prigušnice ulaznog filtera. CM EMI se najvećim delom prenosi preko kapaciteta između kolektora/drejna i uzemljenja ($C_{D,RE}$ na slici 2.), a CM struju generiše visoka vrednost dV/dt . Glavna impedansa za DM struju je impedansa prigušnice podizača.

Uticaj parazitnih komponenti na rad pretvarača zavisi od vrednosti njihovog induktiviteta/kapaciteta i položaja u šemi. Jasno je da potpuna eliminacija parazitnih komponenti u praksi je teško ostvariva.



Sl. 2. – Parazitne komponente podizačkog PFC kruga

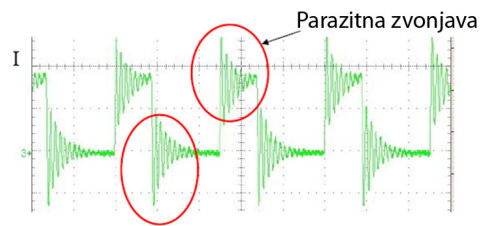
Međutim, pravilnim izborom topologije pretvarača i pravilnom konstrukcijom, moguće je minimizirati njihove vrednosti, a negativni uticaj na rad pretvarača, ponekad, u potpunosti eliminisati [2]. Položaj parazitnih komponenti ima značajan uticaj na smetnje koje se prenose provođenjem, posebno ako se parazitne komponente nalaze unutar petlji u kojima se zatvara visokofrekventna struja poluprovodničkih prekidača. Svaki snažni elektronski prekidač će biti izvor smetnji usled parazitnih elemenata u pakovanju same naprave. Postojeće parazitna induktivnost L_p koja potiče od veza unutar pakovanja i postojeće parazitna kapacitencnost C_p usled toplotne zaštite (hladnjaka) primenjene u samoj napravi. Slika 3 je ilustracija ovoga.



Sl. 3. – Parazitna induktivnost L_p koja potiče od veza unutar pakovanja i parazitna kapacitencnost C_p usled toplotne zaštite prekidača

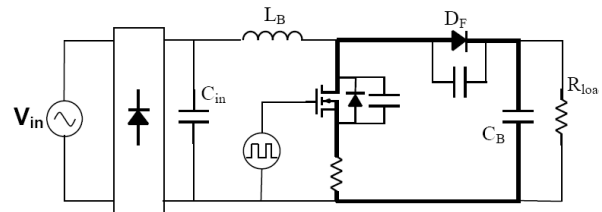
Parazitna induktivnost L_p prouzrokuje visokofrekventne oscilacije u talasnom obliku napona na krajevima prekidača usled $L_p di/dt$. Ovo ima dvostruki efekat, prvo povećava naprezanje prekidača i drugo služi kao izvor DM strujnih smetnji. Između poluprovodničke komponente i mase postoji parazitna kapacitencnost C_p preko koje se zatvara CM strujne smetnje koje će oticati prema masi. Prirodno, ako hladnjak može da bude neuzemljen (plivajući) smetnje će biti eliminisane, ali to povlači razmatranja bezbednosti i ponekad može biti nemoguće iz mehaničkih razloga. Pored parazitne kapacitencnosti usled pakovanja, postojeće i izvori smetnji vezani sa fizičkim procesima u napravi (komponenti).

Dakle, prilikom uključivanja/isključivanja poluprovodničkog prekidača, u krugu komutacije javljaju se velike vrednosti di/dt i dV/dt koji su glavni uzročnici pojave takozvane parazitne zvonjave kao što je prikazano na slici 4.



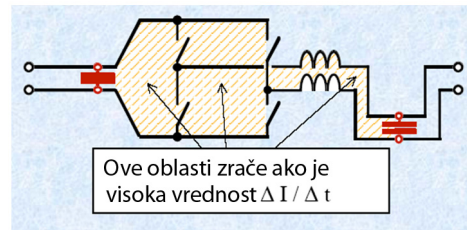
Sl. 4. – EMI usled tzv. parazitne zvonjave

U slučaju PFC podizača napona, prikazanog na slici 5, petlja u kojoj se javlja velika vrednost di/dt prikazana je podebljanom linijom.



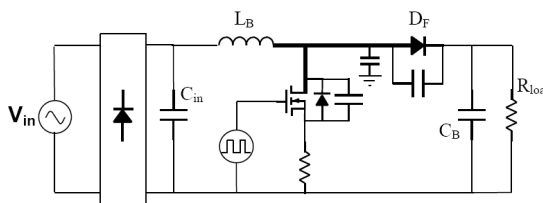
Sl. 5. – Podizač napona sa naznačenom di/dt petljom

Naznačena petlja identična je sa petljom na slici 6 koja opisuje uticaj parazitne induktivnosti grana jednofaznog mosta invertora.



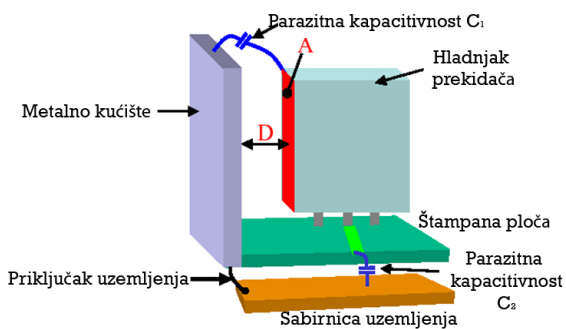
Sl. 6. – Površina označene petlje treba biti najmanja moguća, da bi se minimizirao uticaj parazitne induktivnosti

Da bi se minimizirao uticaj parazitne induktivnosti, koja, zbog velike vrednosti di/dt , osim smetnji može izazvati i prenapone na prekidačima površina (zapremina) označene petlje mora biti najmanja moguća. Slična analiza za druge vrste topologija dovodi do identičnog zaključka o neophodnosti minimizacije površine (zapremine) petlje u kojoj se dešava komutacija struje. (CM) smetnje, proporcionalne su CdV/dt , pri čemu je C parazitni kapacitet. Kod topologija sa tzv. tvrdim prekidanjem brzina porasta napona na poluprovodničkom prekidaču, dV/dt , određena je karakteristikama prekidača i otporom u krugu gejta, tako da je jedini način minimizacije ove vrste smetnji postizanje najmanje moguće vrednosti CM kapaciteta [2]. U slučaju PFC podizača, dominantni parazitni kapacitet smešten je između kolektora/drejna IGBT/MOSFET i uzemljenja (na slici 2 označen C_{DG}). Na slici 7 debelom linijom označena je trasa koja formira čvor u kome se javlja velika vrednost dV/dt . Da bi se minimizirao parazitni kapacitet, koji je uzročnik CM smetnji koje izaziva dV/dt , površina naznačene trase mora biti minimalna. Ovaj zaključak je opšti i nezavisan od topologije pretvarača.



Sl. 7. – PFC Podizač napona sa naznačenim dV/dt čvorom

Uloga kondenzatora C_{in} je realizacija niskoimpedantnog paralelnog puta za zatvaranje smetnji diferencijalnog tipa. Drugi bitan način za smanjenje CM kapaciteta je pravilan izbor tipa hladnjaka poluprovodničkog prekidača i njegovog položaja i orijentacije unutar uređaja. Na slici 8 dat je primer diskretnog poluprovodničkog prekidača na hladnjaku, u uređaju zapakovanom u metalno kućište. CM kapacitet se, u ovom slučaju, sastoji od dva parazitska kapaciteta. Da bi parazitski kapaciteti sa slike bili minimalni, rastojanja hladnjaka od kućišta (D), i sabirnice uzemljenja od štampane ploče moraju biti maksimalna moguća, dok površine gornja i sa strane moraju biti minimalne.

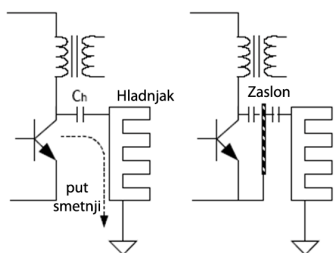


Sl. 8. Parazitski kapacitet hladnjaka

Sam način montiranja poluprovodničkih elemenata na hladnjak proizvodi staze rasipanja RF šumova omogućujući im da teku u kućište. Od projektanta se često zahteva da locira ove „vruće“ generatore na takav način da ne pregore, da ne prenose smetnje na osetljive izvode i da se mogu zameniti što lakše i brže.

Između poluprovodničkog elementa (tranzistora) i hladnjaka postoji kapacitet, te se mogu javiti strujne staze koje mogu biti i značajnije pri brzim uključenjima i isključenjima.

Za smanjenje ovih smetnji rešenje je postaviti zaslon između tranzistora i hladnjaka što je prikazano na slici 9.

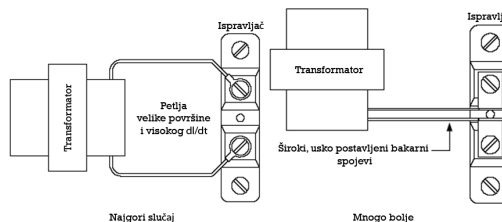


Sl. 9. – Za smanjenje CM smetnji rešenje je postaviti zaslon između tranzistora i hladnjaka

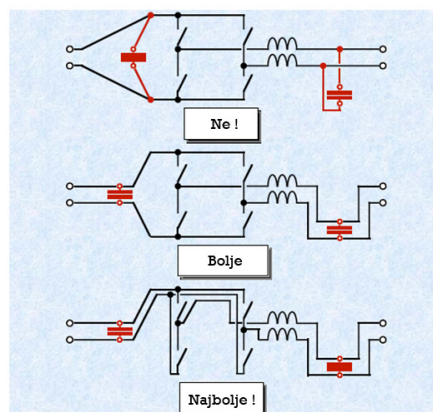
Ovim se vrši redukcija kapacitivnosti između hladnjaka i poluprovodničkog elementa (tranzistora). Pri ovome treba voditi računa, pošto je ubacivanjem zaslona došlo do još jednog toplotnog otpora, što ne ide u prilog boljem hlađenju, jer se povećava termički otpor u toplotnom krugu.

3. UTICAJ KONSTRUKCIJE PRETVARAČA NA SMETNJE

Svaki prekidački izvršni organ pretvarača energetske elektronike kao što je napred rečeno sastoji se poluprovodničkih prekidačkih komponenti, reaktivnih komponenti, transformatora, sistema za odvođenje toplote, modula za pobuđivanje i zaštitu. Postoji mnogo različitih topologija pretvarača, ali su principi njihovog rada, konstrukcije, upravljanja i zaštite prekidača isti. Konstrukcija pretvarača je veoma važan proces koji utiče ne samo na gabarite, složenost montaže, servisiranja i sl., već i na njegovu pouzdanost i zadovoljenje EMC [2]. Jedan od najvažnijih konstrukcionih zahteva, sa stanovišta povećanja pouzdanosti, je minimiziranje parazitske induktivnosti u krugu komutacije struje, zbog prenapona koje izaziva na prekidačima i smanjenja nivoa smetnji. Uticaj parazitske induktivnosti koja predstavlja sve raspodeljene induktivnosti unutar komutacione petlje prikazane šrafiranom površinom na slici 6, na pojavu prenapona na prekidačima dat je na primeru jednofaznog invertora (slika 11) i jednofaznog ispravljača napajan preko transformatora (slika 10).

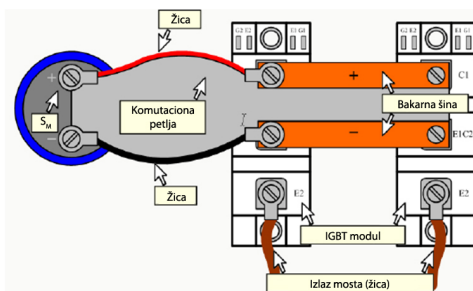


Sl.10. – Varijante loše i dobre konstrukcione izvedbe ispravljača i transformatora u smislu redukovanja parazitskih induktivnosti i smanjenje di/dt



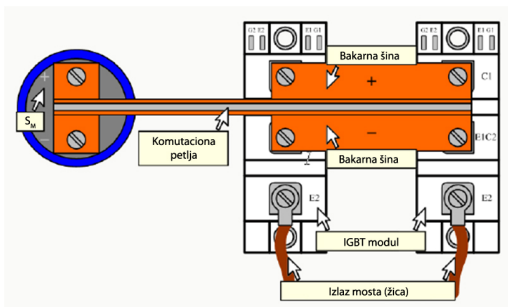
Sl. 11. – Varijante konstrukcione izvedbe izvršnog organa invertora kako bi se redukovale parazitske induktivnosti

Prilikom komutacije struje, zbog velikih vrednosti di/dt i zbog prisustva parazitne induktivnosti dolazi do pojave prenapona koji mogu (u slučaju velike vrednosti parazitne induktivnosti) premašiti probojni napon prekidača [2]. Uobičajeni načini smanjenja prenapona na prekidačima su izbor veće vrednosti otpora za isključenje u krugu gejta prekidača i upotreba neke od snabber zaštita. U prvom slučaju dolazi do povećanja prekidačkih gubitaka, a u drugom do usložnjavanja konstrukcije i dodatnih materijalnih izdataka. Mnogo bolji pristup je pravilnom konstrukcijom minimizirati vrednost parazitne induktivnosti i tako sprečiti pojavu prenapona i eliminisati potrebu za korišćenjem prenaponskih zaštita [2]. Induktivnost električnog kola proporcionalna je zapremini koja se nalazi pod uticajem nekog magnetnog polja, pa se minimizacija parazitne induktivnosti svodi na izbor razmeštaja komponenti kruga i načina njihovog povezivanja koji će omogućiti postizanje minimalne zapremine. To u praksi znači integraciju izvršnog organa pretvarača i ulaznog C filtera, a, po mogućnosti, i ostalih funkcionalnih delova pretvarača u jednu celinu. Na slici 12 dat je primer loše realizacije invertorskog mosta, i njegovo povezivanje sa ulaznim C filterom kod koga komutaciona petlja ima veliku površinu/zapreminu [2]. Vrednost parazitne induktivnosti je velika pa su i problemi, koji su posledica te činjenice, izraženi.



Sl. 12.– Loša realizacija mosta invertora sa aspekta EMC [2]

Obavezno je korišćenje RC (D) zaštite za gušenje prenapona koji se javljaju na prekidačima. Rešenje na slici 13 je dobro, jer je površina/zapremina komutacione petlje minimalna i veze sa ulaznim elektrolitskim kondenzatorom treba biti izvedena paralelnim bakarnim šinama [2].



Sl. 13.– Dobra realizacija mosta invertora sa aspekta EMC [2]

Još bolji efekat postiže se ubacivanjem izolacionog materijala između bakarnih šina, radi povećanja kapaciteta kondenzatora koga one formiraju. Površina komutacione petlje je minimalna, a kapacitet kondenzatora koga formiraju bakarne ploče i izolator maksimalan. Tako je, ne samo postignuta minimalna zapremina (parazitna induktivnost), već je formiran i zaštitni kondenzator čiji kapacitet je (najčešće) dovoljan za potpuno eliminisanje prenapona na prekidačima i smanjivanje nivoa smetnji [2].

4.METOD PASIVNOG PONIŠTAVANJA

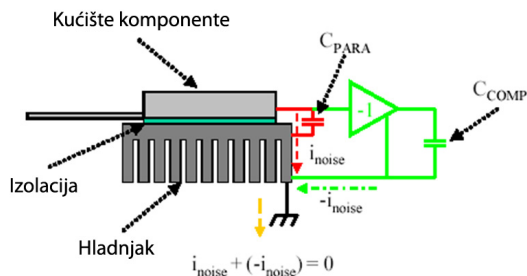
4.1 Konvencionalne metode

Jedan od načina da se smanje elektromagnetne smetnje je da se smanje dv/dt i di/dt prekidača. Ove tehnike imaju prednost da smanjuju stvaranje smetnji, ali tu postoji veoma važna nepogodnost da usled povećanja snage gubitaka u prekidačima može da se zahtevaju dopunska ograničenja u pogledu snage (fizički veće naprave) što u pojedinim slučajevima može da smanji efikasnost sistema ispod nivoa koji može da se toleriše. Kompenzaciona kola (snubbers) su takođe i sama potrošači te će, prema tome, značajno umanjiti ukupnu efikasnost i povećati obim i složenost sistema. Sa povećanjem naznačene snage sistema cena za primenu ovih opcija može da postane neprihvatljiva. Kada su sve ostale metode za smanjenje provodnih smetnji iscrpljene, primenjuje se metod u vidu linijskog filtera na izlazu za spregu sa ostalim delovima sistema. U praksi, primena filtera je praktično neizbežna ukoliko treba da se zadovolje propisi u pogledu elektromagnetnih smetnji. Normalno ovi filteri se sastoje samo od pasivnih elemenata u formi niskopropusnog filtera. Elektromagnetni filteri su veoma efektna metoda za slabljenje provodnih smetnji, ali to može da bude veoma skupo rešenje. Prema tome, biće korisno razmotriti druge načine kojima se provodne smetnje mogu smanjiti na jeftiniji način i tako smanjiti veličinu i cenu filtera.

4.2 Pasivno poništavanje smetnji u izolovanim DC/DC konvertorima

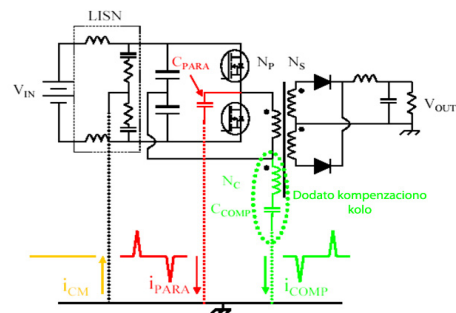
Slika 14 prikazuje suštinu metoda na koju se oslanja novi metod za poništavanje CM smetnji. Promena dv/dt na parazitnoj kapacitivnosti komponente odnosno između hladnjaka i kućišta komponente prouzrokuje da struje smetnji teku prema masi, kao što je opisano u prethodnom delu. Metod poništavanja smetnji kompenzuje tu smetnju prepoznavanjem znaka dv/dt na komponenti, izmenom smera ove promene i zatim njenom primenom na kompenzacioni kondenzator. Ovo prouzrokuje novu struju istovetne jačine, ali faze koja je pomerena za 180° u odnosu na struju smetnje koja teče prema masi. Ove dve struje se tada sabiraju u skladu sa I Kirhofovom zakonom tako da će dejstvo smetnji biti poništeno. Ovaj efekat se takođe može objasniti preko prenosa energije. Ono što se dešava je da kompenzator smetnje zatraži energiju tačno u momentu kada izvor smetnje injektuje energiju prema masi. Očigledno ovo znači da je vremenski trenutak kritičan da bi ovo bilo

dobro, što znači da praktično kompenzaciono kolo mora da sadrži elemente sa minimalnim kašnjenjem u prostiranju signala. Drugi kritični parametri koji moraju da se uzmu u obzir su potrebne naznačene vrednosti napona i struja. Naznačeni napon potiče od napona koji postoji na prekidaču, a naznačena struja od veličine kompenzacione struje koju kompenzator smetnje mora da utera u masu. Ovo rešenje ima prednost što ne zahteva bilo kakvo upravljanje ili pomoćno napajanje i predstavlja vrlo jednostavnu i kompaktnu metodu za eliminaciju smetnji koja je potpuno nezavisna od rada ostalog dela sistema za konverziju energije.



Sl. 14.– Osnove principa pasivnog poništavanja CM smetnji[3]

Slika 15 pokazuje kako se dobro može polu – mosna izolovana topologija modifikovati radi ubacivanja poništavača CM smetnji. Prikazana je ravan mase u koju se injektuju parazitne dv/dt struje (crvena boja) iz prekidačkih elemenata i anti – šumne struje (zeleno boja) koje injektuje kolo za kompenzaciju. U idealnom slučaju ove dve struje će se sabrati i dati nulu, što rezultuje u značajno manju struju smetnji. Upotrebom postojećeg transformatora za prenos snage, jedan dopunski namotaj N_C se može dodati sistemu namotaja. Pošto N_C treba da provodi samo kompenzacionu struju koju stvara C_{COMP} , on se može motati sa znatno tanjom žicom u odnosu na žice primarnog i sekundarnog namotaja N_P i N_S . Druga dodata komponenta je kompenzacioni kondenzator C_{COMP} . On se koristi za generisanje kompenzacione struje koja će poništiti parazitnu smetnju generisanu sa C_{PARA} . Veličina C_{COMP} se određuje na osnovu veličine C_{PARA} i odnosa broja navojaka $N_P:N_C$. Ako je ovaj odnos 1:1, tada C_{COMP} treba da bude jednak sa C_{PARA} . [4]



Sl. 12.– Osnove principa pasivnog poništavanja CM smetnji primenjen na DC/DC polu most

5. ZAKLJUČAK

Fizički razmeštaj komponenti kao i konstruktivna izvedba pretvarača znatno utiče na visokofrekventne smetnje u prekidačkim napojnim uređajima. Metod pasivnog poništavanja smetnji predstavlja vrlo jednostavan i kompaktno metod za eliminisanje smetnji prekidačkih uređaja.

6. LITERATURA

- [1] M. Šinik, *EMC Switches Supply Devices*, 13. International Symposium on Power Electronics-Ee 2005, November 2005, Novi Sad, paper No. T6-2.1, pp. (1-5),
- [2] Šoja, S. Lubura, P. Kovač, *EMC i konstrukcija pretvarača energetske elektronike*, Zbornik radova 51. Konferencije za ETRAN, Herceg Novi-Igalo, jun 2007.
- [3] Cochran, *Passive Cancellation of Common-Mode Electromagnetic Interference in switching Power Converters*, MS in Electrical Engineering, Blacksburg, VA, 2001
- [4] Zhang, *Integrated EMI/Thermal Design for Switching Power Supplies*, MS. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998 Blacksburg, Virginia

METHODS AND MEANS FOR REDUCING INTERFERENCE DEVICES SUPPLY SWITCHING

Abstract: The paper provided methods for reducing high-frequency interference affecting the physical arrangement and construction of the converter. Give is a passive method of nullifying interference.

Keywords: physical arrangement, construction of transducers, passive cancellation