



PRIMENA NOVIH TEHNOLOGIJA U VIDU INTEGRISANIH AKTIVNIH, PASIVNIH I EMI-FILTERSKIH FUNKCIJA U SISTEME ENERGETSKE ELEKTRONIKE

Vladimir Šinik

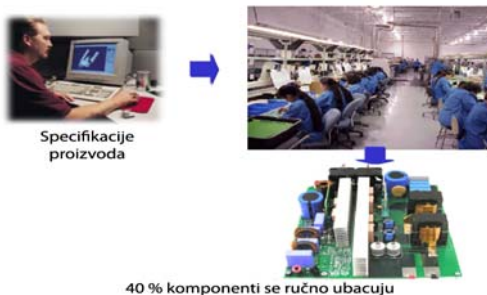
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Republika Srbija

Sažetak: U radu je prikazan je pregled primene novih tehnologija u vidu integrisanih aktivnih, pasivnih i EMI – filterskih funkcija u sisteme energetske elektronike kojim se pokušavaju prevazići dominantne postojeće tehnološke barijere.

Ključne reči: Integrisani aktivne, pasivne i EMI filterske funkcije

1. UVOD

Proizvodi energetske elektronike, do danas, su u osnovi projekti po narudžbini čije je projektovanje dugotrajno. Oprema se projektuje i proizvodi uz korišćenje nestandardnih delova. Proces proizvodnje zahteva puno rada i zato su cene visoke. Na slici.1 je prikazan tok procesa proizvodnje uređaja energetske elektronike na dosadašnji konvencionalan način.



Sl.1 – Tok procesa proizvodnje uređaja energetske elektronike u dosadašnjoj praksi

Tokom poslednje dekade, performanse sistema energetske elektronike su unapređene poboljšanjima ostvarenim kod poluprovodničkih komponenata. Prelazak sa bipolarne na MOSFET tehnologiju [1], doveo je do skraćanja vremena prekidanja tako da se danas ispituju ograničenja usled strukturnih induktivnosti vezanih za pakovanje kao i onih ograničenja koja potiču od termičkih zahteva. Tako će povećanje brzine

prekidanja za jedan red veličina, što je moguće sa novim tehnologijama aktivnih komponenti, zahtevati bitno smanjenje strukturnih kapacitivnosti i induktivnosti vezanih za pakovanje samih naprava i za pakovanje na nivou sistema.

Iako će poluprovodničke komponente i dalje biti jedan od podsticaja za budući razvoj energetske elektronike, same komponente za sada ne predstavljaju osnovno ograničenje u tehnologiji konverzije snage. Već neko vreme se tvrdi da pakovanje, upravljanje, uklanjanje toplote i sistemska integracija danas predstavljaju dominantne tehnološke barijere koje ograničavaju brzi porast primena konverzije snage [2]. Na osnovu [1] i [2] se ukratko diskutuje tehnološki napredak koji je neophodan za poboljšanje karakteristika sistema energetske elektronike, kao i tehnologija koje se razvijaju za integraciju više-kilovatne energetske elektronike.

Ovde se na osnovu literature iznose rezultati ostvareni različitim tehnologijama koje su u razvoju a koje su u delokrugu istraživanja novih centara za sisteme energetske elektronike (CSEE), čiji je zadatak da promovise pristup integraciji sistema energetske elektronike kroz visoko integrisane module energetske elektronike (IMEE). S obzirom da su ove tehnologije rezultat iz istraživačkog programa CSEE, jasno je da su one u osnovi još uvek na laboratorijskom nivou [1]. Osnovna vizija CSEE je da razvijaju pristup ka integrisanom sistemu kroz module energetske elektronike (IMEE) koji može da vodi ka pristupu standardizovanih sistema energetske elektronike koji je podesean za automatsku izradu i masovnu proizvodnju.

2. TEHNOLOGIJE ZA INTEGRACIJU

Tekući proizvodni procesi različitih tipova komponenata i njihovog pakovanja, koji su primenjeni u energetske elektronice, nisu usaglašeni sa integrisanjem u jednu proizvodnu liniju. Primeri ovakvih tehnologija su obrada snažnih poluprovodnika, motanje transformatora,

motanje kondenzatora i druge metode izrade kondenzatora, tehnologije izrade otpornika i konstruisanje snažnih elektronskih konvertora u diskretnoj tehnologiji metodom sprezanja namotaja [1].

Potrebni su kompatibilni procesi koji se mogu uključiti u jednu integrisanu proizvodnu liniju. Međutim, s obzirom da će priroda integrisanog modula biti hibridna, mora se pretpostaviti da će postojati proizvodni procesi za razne materijale (npr. za proizvodnju matrica – kalupa snažnih poluprovodnika, magnetnih limova, dielektričnih tabaka, slojnih podloga) koji prethode planarnoj metalizaciji, postavljanju metalnih i termalnih kontakata na velikim površinama, formiranju integrisanih planarnih pasivnih elemenata snage i operacijama slaganja slojeva i pakovanja [2]. U tehnologijama koje sa nadalje diskutuju, primenjeni su sledeći procesi pošto su svi oni kompatibilni sa već postojećim proizvodnim procesima za integrisane module [1]:

- 1) tehnologija planarne metalizacije korišćenjem postupka rasprašivanja i elektronanošenja;
- 2) lemljenje kvalitetnih električno – termalnih međuveza velikih površina;
- 3) nisko – temperaturno sinterovanje za kvalitetne električno – termalne međuveze velikih površina;
- 4) fotolitografija i vlažno hemijsko ecovanje za definisanje oblika;
- 5) plazma čišćenje kao međuproceni koraci za poboljšanje međuveza;
- 6) lasersko sečenje i trimovanje kao mehanički procesi oblikovanja;
- 7) tehnologija enkapsulacije radi električne, mehaničke i termalne zaštite.

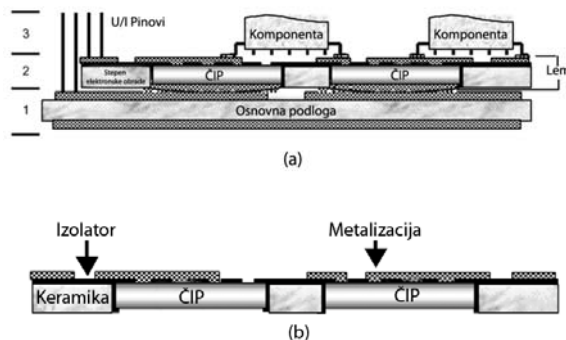
Termička i funkcionalna razmatranja favorizuju podelu na aktivne IMEE za snažne prekidačke stepene, pasivne IMEE za elektromagnetno skladištenje i konverziju energije i filterske IMEE za elektromagnetne smetnje.

3. INTEGRISANE STRUKTURE ENERGETSKE ELEKTRONIKE VISOKE GUSTINE SNAGE I NISKOG PROFILA

3.1 Integrisani prekidački moduli za umetnutu snagu

“Umetnuta snaga (US)” označava tehnologiju integracije koja je razvijena u svrhu pakovanja elektronskih prekidačkih (aktivnih) modula snage, uključujući i elemente snage kao što su bipolarni tranzistori sa izolovanim gejtom (IGBT), MOS-FET tranzistori i diode i prateći elementi za pobudu, upravljanje i zaštitu [2]. Pri sklapanju modula energetske elektronike, većina pločica poluprovodnika snage ima sopstvenu vertikalnu strukturu u koju se sa obe strane pločice umeću metalizacijom ulazno/izlazne elektrode. Obično su, ulošci za gejt i sors (emitor) locirani na gornjoj površini prevučeni sa tankim aluminijumskim metalnim filmom i spremni za ultrazvučno bondovanje. Slika 2-a ilustruje koncept poprečnog preseka modula energetske elektronike. On se sastoji od tri sloja: 1) osnovna podloga; 2) snažni stepen; i 3) komponente

povezane slojevima kalaja. U ovoj strukturi, snažni stepen – komponenta na integrisanoj “snažnoj” pločici – je izgrađen na ravnom keramičkom ramu, kao što je prikazano na slici 2b.

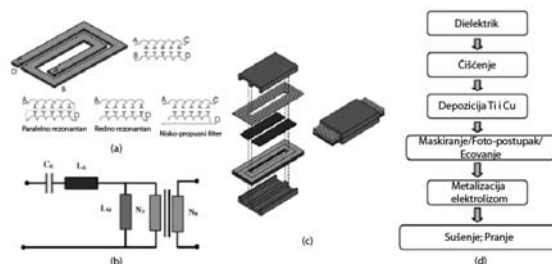


Sl. 2 – (a) Šema strukture umetnutog modula snage, (b) integrisana snažna pločica

Dielektrik je upotrebljen kao izolacioni sloj da zaštiti pločice koje imaju definisane prolaze ka vezama na gornjoj površini pločice. Metalizacija služi za ostvarenje međuveza između višestrukih pločica snage kroz prolaze u dielektričnom sloju i ovo zamenjuje bondovane veze u konvencionalnom modulu i takođe, koristi se kao sledeći nivo međuveza za dodate pridružene komponente.

3.2. Integrisani elektromagnetni pasivni moduli snage

Za integraciju u module elektromagnetnih pasivnih komponenta primenjenih u energetskej elektronici morala je da se inovira jedna dopunska tehnologija. Ova tehnologija integracije pasivnih komponenta snage se može najbolje opisti ako se najpre razmotri prost bifilarno motan spiralni namotaj prikazan na slici 3-a. Ova struktura se sastoji od dva namotaja (A – C i B – D), razdvojena dielektričnim materijalom. Ukupna struktura ima distribuisanu induktivnost i kapacitet i to je elektromagnetno integrisana rezonantna struktura čije ekvivalentne karakteristike zavise od spoljnih veza (slika 3.a). Još komplikovanije integrisane strukture se mogu realizovati dodavanjem dopunskih slojeva namotaja kao što je primer integrisane strukture rezonantnog transformatora (L–L–C–T) prikazane na slici 3.-b i 3.-c [3]. Neophodni tokovi procesa za realizaciju ovih integrisanih struktura su prikazani na slici 3.-d.



Sl. 3 – (a) Spiralna integrisana LC struktura sa distribuiranom kapacitivnošću i mogućim povezivanjem sa spoljašnjim konfiguracijama, (b) uprošćeno ekvivalentno kolo, (c) uvećana slika i (d) tok procesa[2]

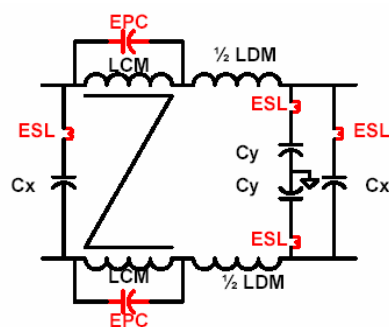
Projektovanje ovih struktura zahteva namerno povećanje i modifikaciju prirodno postojećih strukturnih impedansi radi realizacije određenog ekvivalentnog funkcionalnog kola – na primer, povećanje kapacitivnosti između namotaja radi formiranja LC rezonantne strukture.

3.3. Integrisani EMI filter IMEE

Povećana frekvencija prekidanja može u izvesnoj meri da smanji veličinu konvertora, njegovu težinu i cenu, ali će za uzvrat povećati brige oko elektromagnetne kompatibilnosti. Koristeći najnovije tehnologije za pakovanje i integraciju smeštaju se sve više komponente u sve manje prostore. Posledica je da projektanti kola moraju da brinu sve više o elektromagnetnoj kompatibilnosti (EMI). Za smanjenje preslušavanja između prekidačkog konvertora i okolne elektronike, puno napora se fokusira na poboljšanje topologije kola radi potiskivanja prekidačkog šuma primenom tehnologije mekog prekidanja, aktivnih i pasivnih prigušivačkih (snuber) kola, tako da se generisani visokofrekventni šum u prelaznim stanjima može smanjiti. Međutim, šum na frekvenciji prekidanja i njegovi harmonici su svojstvo prekidačke funkcije snažnih konvertora; on se ne može sasvim ukloniti tehnikom mekog prekidanja ili usavršenim poluprovodničkim napravama. Dakle, elektromagnetni filteri su uvek neophodni.

Konvencionalno, elektromagnetni filteri se primenjuju uz korišćenje diskretnih komponenta. Šema veza tipičnog elektromagnetnog filtera je prikazana na slici 4. Međutim, sa diskretnim filterima postoje izvesni problemi. To su, pre svega, postojanje degradirajućih parazitnih komponenta pasivnih diskretnih komponenta, kao što su ekvivalentna paralelna kapacitivnost (EPK) induktora i ekvivalentna redna induktivnost (ERI) kondenzatora usled čega je upotrebljivi frekventni opseg ograničen na nekoliko MHz. Drugo, parazitni parametri prouzrokovani rasporedom komponenta filtera će dalje degradirati visoko – frekventne performanse filtera, tako da elektromagnetni filter uvek zahteva veliku pažnju i potrebni su posebno znanje i iskustvo. Treće, diskretni elektromagnetni filter sadrži veći broj komponenta. One se moraju obrađivati različito i funkcionalno i strukturno one su odvojene. Takođe, svaka od komponenta se posebno pakuje. To povećava upotrebu materijala i proizvodnog vremena. Konačno, različite komponente diskretnog elektromagnetnog filtera su različitog tipa, vrednosti, veličine i oblika, a neophodan je i prostor za međusobno povezivanje svih komponenta. Dakle, prostor ne može da se upotrebi na optimalan način. U cilju poboljšanja visoko – frekventnih karakteristika, smanjenja veličine, smanjenja visine i postizanja strukturne, funkcionalne i procesne mehaničke integracije, a sve radi smanjenja vremena izrade i troškova, razvijena je planarna elektromagnetna integraciona tehnologija za integraciju elektromagnetnih filtera.

Primenjujući konfiguraciju nisko – propusnog filtera planarne integrisane L – C strukture, kao što je ilustrovano na slici 3.-a, elektromagnetni filter prikazan šematski na slici 4 se može integrisati u jedan planarni modul.

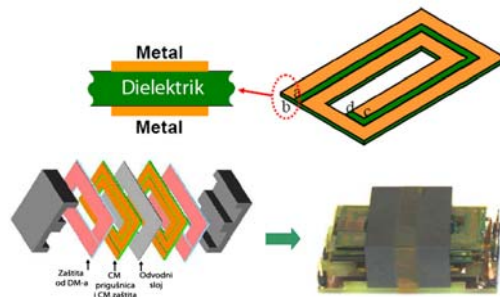


Sl.4 – Šema veza tipičnog elektromagnetnog filtera i odgovarajući parazitni elementi EPC i ESL[3]

Iako se elektromagnetni filteri takođe sastoje od pasivnih elektromagnetnih komponenta, njihove funkcije i zahtevi nisu skladištenje energije i prenos kao kod prekidačkih konvertora snage. To je stoga što elektromagnetni filteri moraju da priguše, umesto da prenesu energiju na frekvenciji prekidanja i iznad nje. Dakle, visoko – frekventne karakteristike, a ne efikasnost, su glavna briga za elektromagnetne filtere. Radi poboljšanja visoko – frekventnih karakteristika integrisanih elektromagnetnih filtera moraju se razviti posebne tehnologije koje će obuhvatiti smanjenje EPK, smanjenje ERI i povećanje faktora gušenja.

Za smanjenje EPK integrisanih induktora podesniji je uzan debeo provodnik nego konvencionalni širok i tanak provodnik koji je normalno podesniji za druge primene zbog zahteva za smanjenjem gubitaka usled visoko – frekventnih vrtložnih struja. Za elektromagnetne filtere uzan i debeo provodnik može da smanji površinu provodnika i tako strukturno smanji kapacitivnost namotaja. On takođe može da poveća gubitke usled visoko – frekventnih vrtložnih struja i tako poveća visoko – frekventni faktor slabljenja [3].

Za dalje smanjenje EPK koristi se raščlanjen i umetnut namotaj. On značajno povećava rastojanje između slojeva i značajno smanjuje EPK usled magnetne sprege između CM namotaja prigušnice i tako strukturna kapacitivnost namotaja može da se smanji. Primenom ovih tehnologija EPK konstruisanog prototipa je smanjena sa prvobitnih 100 pF na manje od 10 pF [3].



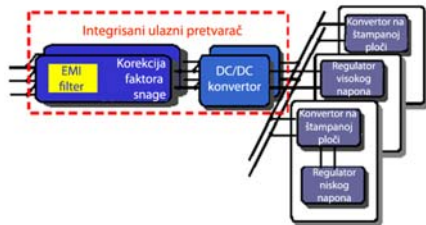
Sl. 5 - Struktura integrisanog elektromagnetnog filtera, izgled i presek [3]

Presek jednog integrisanog elektromagnetnog filtera sa raščlanjenim i umetnutim spiralnim namotajem je prikazan na slici 5. Projektovani prototip integrisanog elektromagnetnog filtera ima istu funkciju kao diskretni filter, ali ima veću gustinu snage, manje je visine (profila) i ima isto ili veće visoko – frekventno slabljenje.

4. INTEGRISANI SISTEMI ENERGETSKE ELEKTRONIKE (Distributed Power System-DPS)

DPS se široko koristi u telekomunikacionim i računarskim primenama kao standardna arhitektura u sistemima distribucije snage. U skladu sa zahtevima za snagom računarskih i telekomunikacionih sistema, integrisani ulazni pretvarač je standardni modul za isporuku snage koji ostvaruje PFC (Power Factor Correction) funkciju i regulisani izlazni napon 48 V. Ovaj standardni modul snage otvorio je mogućnost da se razvije standardizovani modularni pristup obradi snage koji će značajno da poboljša procese projektovanja i proizvodnje i podigne učinak električnog sistema. Iz tog razloga integrisani ulazni pretvarač DPS-a je odabran za demonstraciju preimucstava integrisanih sistema energetske elektronike, korišćenjem prethodno opisanih tehnologija.

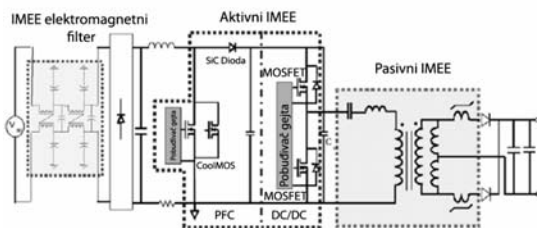
Struktura tipičnog DPS-a je prikazana na slici 6. U savremenim industrijskim primenama koriste se diskretne naprave za konstruisanje čitavog DPS sistema, uključujući stepen snage i odgovarajuće sisteme upravljanja, merenja i pobude.



Sl.6 – Distribuirani pretvarački sistem napajanja (DPS) [2]

Realizacija integrisanog sistema energetske elektronike zahteva napredak u tehnologijama koje zavise od načina rešavanja multi – disciplinarnih pitanja u vezi sa materijalima, elektromagnetnim smetnjama i termalnom kontrolom.

Krajnji cilj je da se integrišu funkcije i komponente kako za PFC tako i za DC/DC konvertore prikazane na slici 6. Saglasno prethodnim diskusijama, slika 7 identifikuje tri bloka: IMEE elektro – magnetni filter, aktivni IMEE i pasivni IMEE.

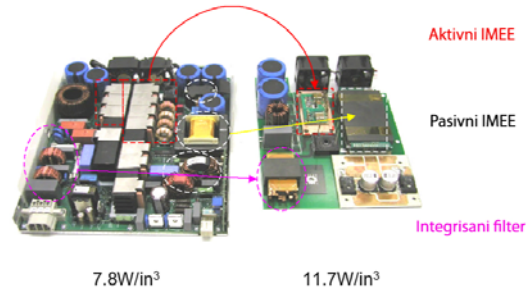


Sl. 7 – DPS sistem sa IMEE elektromagnetnim filterom, PFC isturenim asimetričnim polu-mosnim dc/dc konvertorom kao aktivnim IMEE i pasivnim IMEE

Aktivni IMEE predstavlja integraciju MOSFET tranzistora i pobudnih stepena kako za PFC tako i za DC/DC stepen. Glavni ciljevi ukupne integracije su da se

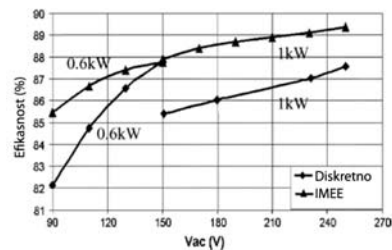
manji broj komponentata, razvije modularni pristup, poboljša upravljanje toplotom i smanji ukupan broj veza na nivou sistema.

U cilju demonstracije prednosti IMEE koncepta na sistemskom nivou, izrađena su dva ulazna AC/DC konvertora koristeći identičnu topologiju, jedan koji koristi diskretne komponente i drugi koji koristi IMEE. Kao što je prikazano na slici 8, sistem se sastoji od dva stepena: PFC i DC/DC stepena.

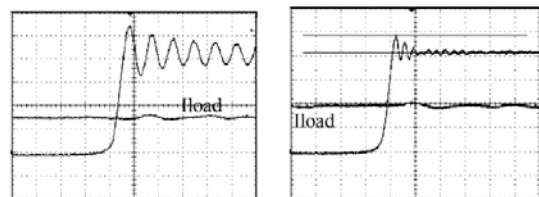


Sl. 8 – Upoređenje komponentata diskretnog i integrisanog DPS sistema: (a) diskretne DPS komponente, (b) IMEE-zasnovani DPS

Primenom integracije gustina i faktor oblika aktivnih i pasivnih naprava su značajno poboljšani. Shodno tome, gustina snage na sistemskom nivou je dramatično povećana. Za diskretni pristup gustina snage je bila $7,8W/in^3$, dok je za IMEE – zasnovan konvertor gustina snage $11,7 W/in^3$ sa još preostalog prostora za poboljšanje. Zamenom diskretnih aktivnih i pasivnih naprava IMEE pod – sklopovima ceo sistem se sastoji od nekoliko modula što je veoma podesno za automatsko sklapanje. Ne samo da je struktura sistema poboljšana, već su takođe i električne performanse sistema unapređene. Kao što je prikazano na slici 9, efikasnost sistema je poboljšana za više od 2 % na delu visokog napona i za više od 3 % pri 90 V, prosto korišćenjem aktivnih i pasivnih IMEE. Pošto su provodni gubici za aktivne IMEE približno isti za iste radne uslove, glavno poboljšanje u prekidačkim gubicima je ostvareno u minimizaciji strukturnih induktivnosti.



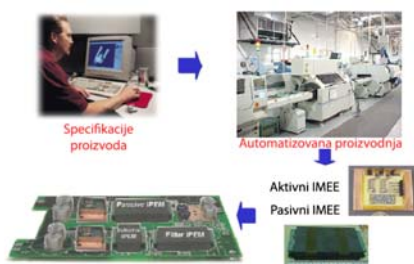
Sl. 9 – Poređenje efikasnosti između IMEE i diskretnog pristupa za isturene konvertore DPS-a



Sl. 10 – Poređenje naponskog premašenja u PFC i IMEE-zasnovanog PFC: (a) diskretno i (b) IMEE, 100V/podeoku, 5A/podeoku, 20ns/podeoku

Istovremeno, usled manje strukturne induktivnosti u kritičnim vezama konvertora, manje je naponsko naprezanje komponenata. Za diskretni PFC prekidač koji isključuje struju od 7 A, naponsko premašenje je 123 V. S aktivnim IMEE prekidanje veće struje od 10 A izaziva naponsko naprezanje od samo 72 V, kao što je prikazano na slici 10.

Na slici 11 je prikazan proces realizacije uređaja energetske elektronike koristeći napred izneseni pristup. Poredeći ga sa onim sa slike 1, razlika je očigledna i ogromna i zato je razumljiv ovaj novi pristup.



Sl. 11 – Tok procesa proizvodnje uređaja energetske elektronike u najnovijoj praksi

5. ZAKLJUČAK

Napredak u tehnologijama poluprovodnika bio je do sada glavna udarna snaga koja je delovala da se veličina, težina i cena elektronskih konvertora smanjuju – uglavnom po osnovi povećanja prekidačke frekvencije. To povećanje frekvencije i smanjenje veličine vodili su ka povećanju elektromagnetne i toplotne sprege unutar fizičkih sistema. Shodno tome, povećanje prekidačke frekvencije za jedan red veličine zahtevaće bitno smanjenje strukturne induktivnosti koja potiče od pakovanja na sistemskom nivou, kao i poboljšanje toplotnih karakteristika. Prema tome, za dalje poboljšanje performansi, pouzdanosti i smanjenje cena bitno je razviti nove tehnologije integracije i pakovanja u formi IMEE koje moraju da omoguće integraciju svih konvertorskih funkcija a ne samo da se odnose na prekidački stepen. Ove nove tehnologije integracije i pakovanja, povezane sa podesnim komponentama, sensorima i integracionim alatima upotrebljenim za iskorišćenje fizičkih osobina raspoloživih materijala, su

predmet istraživanja na koji su skoncentrisani novi centri za sisteme energetske elektronike. Ovde su diskutovane neke od ovih tehnologija za integraciju i pakovanje i ilustrovane njihive prednosti. Uloga prethodno pomenutih tehnologija u koncepciji IMEE je ključna za ostvarenje integracije visokog nivoa i omogućenje značajnog porasta industrije energetske elektronike. Evidentno je da su neophodne dalje inovacije za ostvarenje povećanja u gustini snage. Uticaj sistemске integracije kroz IMEE će omogućiti brzi porast primena energetske elektronike uz smanjenje troškova i skraćenje ciklusa projektovanja što se može uporediti sa uticajem VLSI tehnologije na povećanje računarskih primena.

6. LITERATURA

- [1] Jacobus Daniel van Wyk, Fred C. Lee, Zhenxian Liang, Rengang Chen, Shuo Wang, and Bing Lu; Integrating Active, Passive and EMI-Filter Functions in Power Electronics Systems: A Case Study of Some Technologies, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 3, MAY 2005
- [2] J. D. vanWyk, F. C. Lee, D. Boroyevich, Z. Liang, and K. Yao, "A future approach to integration in power electronics systems," in *Proc. IEEE IECON'03 Conf.*, vol. 1, Nov. 2–6, 2003, pp. 1008–1019.
- [3] J. T. Strydom, J. D. van Wyk, and M. A. de Rooij, "Integration of a 1 MHz converter with active and passive stages," in *Proc. IEEE APEC*, vol. 2, Anaheim, CA, Mar. 4–8, 2001, pp. 1045–1050.

IMPLEMENTATION OF NEW INTEGRATED TECHNOLOGY MIND ACTIVE, PASSIVE AND EMI-FILTER FUNCTION IN POWER SYSTEMS ELECTRONICS

Abstract: *The paper presents an overview of the application of new technologies in the form of integrated active, passive and EMI - filter functions in power electronics systems that attempt to overcome the existing dominant technology barriers.*

Keywords: *Integrated active, passive and EMI filter features*