



# METODOLOGIJA INTEGRISANOG EMI/TERMALNOG DIZAJNA PREKIDAČKIH IZVORA NAPAJANJA

Vladimir Šinik

Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Republika Srbija

**Kratak sadržaj:** Na primeru boost PFC-a, je data metodologija za integrisani EMI/termalni dizajn prekidačkih izvora napajanja.

**Ključne reči:** EMI, termalni dizajn, planarni induktor.

## 1. UVOD

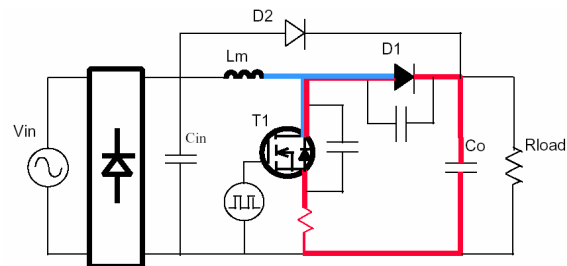
Mnoga pitanja u projektovanju izvora napajanja, kao što su topologija snažnih kola, modelovanje upravljanja, strategije mekog prekidanja i optimizacija magnetnih komponentata su intenzivno razmatrana u poslednje vreme. Međutim, dva glavna pitanja, kontrola elektromagnetnih smetnji (EMI) i upravljanje toplotom su daleko od toga da su adekvatno rešena. Za sada se u praksi primenjuje metoda uradi pa probaj (cut – and – try). I elektromagnetne smetnje i toplotne performanse izvora napajanja se obično testiraju po izvršenoj fizičkoj realizaciji. S obzirom da su obadva pitanja tesno povezana sa razmeštajem na štampanim kolima i pakovanjem, neophodno je dugo vreme za dopunsko projektovanja ukoliko se utvrdi da je potrebna korekcija.

Osnovni cilj ovog segmenta jesu rezultati jednog malog iskoraka u tretiranju ovih pitanja. I provodne elektromagnetne smetnje (zračeće nisu razmatrane) i toplotna pitanja se razmatraju u fazi razmeštaja komponentata po štampanim pločicama. U radu [1], pristup je zasnovan na primeni simulacionih alata uključujući i programsku podršku (softver) za ekstrakciju parametara i alata za simulaciju kola i programske podrške (softver) za toplotnu analizu [2]. Za ovu analizu primenjeno je kolo podržavajućeg (boost) konvertora za korekciju faktora snage. U radu [1] su dati primeri za kompromisne performanse između različitih razmeštaja komponentata. Pored toga, prikazano je i istraživanje kompromisa u projektovanju planarne induktivnosti, kako sa gledišta elektromagnetnih smetnji tako i sa gledišta upravljanja toplotom.

## 2. KOMPROMISI IZMEĐU EMI I TERMALNIH PERFORMANSI

Razmeštaj i položaji komponentata utiču kako na elektromagnetne smetnje tako i na toplotne performanse. Uopšte, komponente se postavljaju dovoljno daleko da bi se minimiziralo dejstvo vrućih tačaka. Međutim, ovaj

zahtev je često u suprotnosti sa zahtevom za smanjenje elektromagnetnih smetnji. Na elektromagnetne smetnje utiču dva kritična razmatranja razmeštaja. Jedno je visoko – frekventna strujna petlja (petlja sa velikim  $di/dt$ ) i drugo je površina provodne trase visoko – frekventnog naponskog čvora (trase sa velikim  $dv/dt$ ). Slika 1. prikazuje PFC kolo, kritičnu  $di/dt$  petlju i kritične  $dv/dt$  čvorove u kolu i elemente koji se najviše greju.



Sl.1.- Kritične trase za elerktromagnetne smetnje i elemente koji se najviše greju

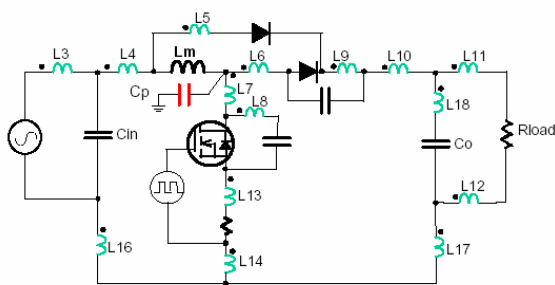
### 2.1. Kompromisi između tri razmeštaja

Tri razmeštaja su prikazana na slici 3(a – c), sa razmeštajem na levoj i temperaturnim profilom na desnoj strani. Petlja sa velikim  $di/dt$  je prikazana na slici sa crtkastom linijom, dok su kritične  $dv/dt$  trase prikazane zatamnjeno.

U [1], svaki od tri razmeštaja je detaljno ispitivan radi poređenja elektromagnetnih smetnji i toplotnih performansi. Programska podrška za ekstrakciju  $InCa$  je primenjena za ekstrakciju parazitnih induktivnosti i kapacitivnosti vezanih za svaki od razmeštaja.

Slika 2. prikazuje jedan primer kompletnog kola, uključujući i parazitne komponente usled razmeštaja koje je potrebno simulirati.

U radu [1], je koristeći podatke o gubicima snage u komponentama dobijene simulacijom, izgrađen toplotni model [3],[4] radi dobijanja temperaturnog profila. Tabela 1. sumira gubitke snage u glavnim komponentama, uzeti iz [1]. Za svaku od snažnih komponentata pretpostavljena je uniformna temperatura tela, a podaci o gubicima snage su primenjeni kao izvori toplote za potrebe *Flotherm* simulacije.



Sl. 2. – Kompletno kolo za simulacije elektromagnetnih smetnji za boost PFC-a[1]

Tabela 1. – Gubici snage u komponentama [1].

Komponenta	Deo/vrednost	Pakovanje	Gubitak
MOSFET	IRF740	D2	0,58(W)
Dioda	1N4937	SOD-84	0,19(W)
Ispravljač	DF06	DIP4	0,86(W)
Induktor	700(μH)	planarni	0,74(W)
Co	22,0(μF)	Keramiči	0,1(W)

## 2.2. Poređenje tri razmeštaja

Iz tabele 1. se može videti da glavni gubici u kolu potiču od četiri komponente: induktora, MOSFET-a, diode D1 i ispravljačkog mosta. Kao što se može videti sa slike 3. slučaj (A), sve ove disipativne komponente su postavljene blizu jedna drugoj što rezultuje visoku površinsku temperaturu, kao što je prikazano na slici 4.b.

Međutim, razmeštaj je takav da trase sa velikim  $dv/dt$  i petlja sa velikim  $di/dt$  zahvataju veliku površinu što je nepovoljno sa stanovišta elektromagnetnih smetnji. Uopšte govoreći, velike površine sa velikim  $dv/dt$  doprinose povećanju CM (common – mode) elektromagnetnih smetnji, a velike petlje sa visokim  $di/dt$  doprinose visokim DM (differential – mode) šumovima. Slika 4.a prikazuje elektromagnetne smetnje. U slučaju razmeštaja (B), četiri komponente sa značajnim gubicima su postavljene na širem prostoru i termo – provodni materijal je ubačen između induktora i kućišta radi trošenja toplote. Temperatura svake od komponenata je značajno opala, kao što je prikazano na slici 4.b.

Međutim, provodna trasa je postavljena tako da elektromagnetne smetnje nisu mnogo povoljnije u odnosu na slučaj (A).

U slučaju (C), razmeštaj je takav da su veći izvori toplote postavljeni uzajamno daleko (takođe sa termo – provodnim materijalom), a provodna trasa je optimizovana tako da se ostvari relativno dobar rezultat i za elektromagnetne smetnje i za porast temperature. Ovaj primer pokazuje kako se može primeniti simulacija za optimizaciju razmeštaja u fazi rešavanja pitanja razmeštaja.

## 2.3 Efekat načina motanja induktora

Šema (način) motanja induktora utiče na gubitke u bakru i, shodno tome, na temperaturni profil namotaja. Način motanja takođe utiče na kapacitivnost namotaja  $C_w$ , dakle, utiče na elektromagnetne smetnje.

U radu [1] ispitivane su tri šeme motanja i u ovom delu se prikazuju dobijeni rezultati.

Slika 5. prikazuje tri šeme motanja. Brojevi naznačeni na namotajima na slici označuju sekvencu u motanju, na pr. broj «1» znači prvi zavojak, «2» drugi zavojak, i tako redom. Svaka od ovih šema je analizirana sa gledišta toplota/elektromagnetne smetnje. U radu [1], gubici u bakru namotaja su dobijeni primenom programske podrške za konačne elemente (*Ansoft Maxwell Field Solver* [2]). Rezultati su prikazani na slikama 6 1(b) i 2(b) za šeme broj 1 i 2, respektivno. Na slici su potrebna dva broja da identifikuju matricu provodnika. Na primer, za provodnik w3 i sloj broj 9 u šemi broj 1 (videti sliku 5 1(a)), gubitak snage je 0,03w/m prema slici 6 1(b). Kao što se može videti sa slike, u provodnicima blizu procepa u jezgru su izraženi veći gubici usled ivičnog fluksa. U šemi broj 2 namotaj je namerno držan dalje od dva procepa radi smanjenja gubitaka.

U radu [1], je tokom toplotnih simulacija, fizički 3-D model je primenjen za *Flotherm* simulacije. U modelu su primenjeni podaci o gubicima u bakru namotaja, prikazani na slikama 6 1(b) i 2(b), i podaci o gubicima u jezgru dobijeni od strane proizvođača. Radi uprošćenja proračuna uvedena je pretpostavka da svaki provodnik i jedan izolacioni sloj čine uniformno toplotno telo.

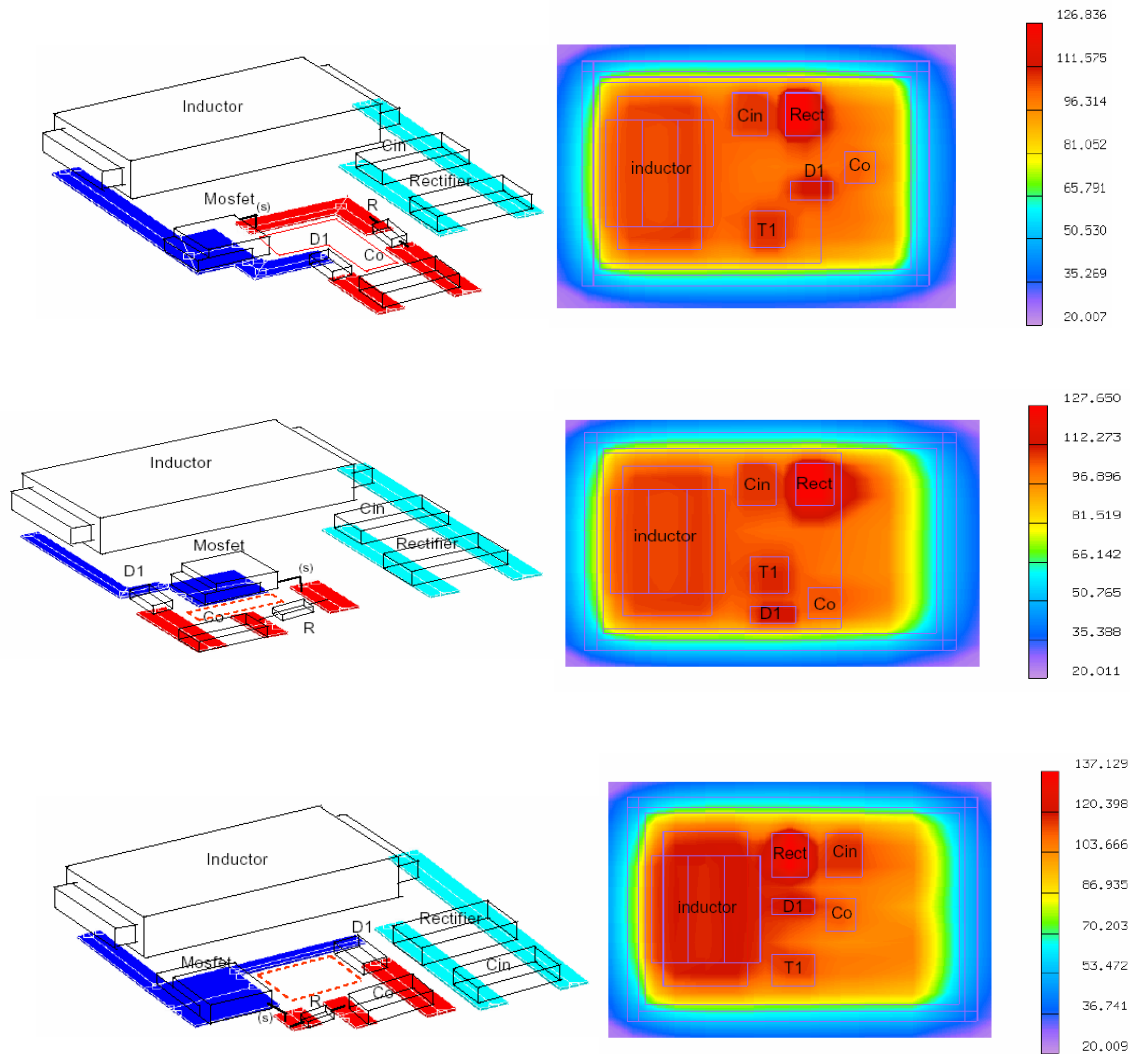
Temperaturni profil za obadve šeme je dat na slikama 6 1(c) i 2(c). Može se videti da je temperatura vruće tačke za šemu 2 manja za 10°C.

## 2.4 Elektromagnetski efekti

Kada se menja konfiguracija namotaja, menja se i raspodela napona između susednih provodnika što podrazumeva da se i ukupna kapacitivna energija uskladištena u namotaju menja. Analiza šema 1 i 3 dovodi do značajne razlike u efektivnim parazitnim kapacitivnostima namotaja (16 pF naspram 1,4 pF)[1]. Ovo potiče od različitih raspodela napona u namotajima za ova dva slučaja. Slika 7 prikazuje raspodelu napona u namotaju za ova dva slučaja. Na slici  $V_t$  je pad napona po navojku. Kao što se može videti, u šemi 3 napon između svaka dva susedna namotaja (vertikalno) je  $V_t$ , dok za šemu 1 ovaj napon varira između  $V_t$  i  $5V_t$ . Rezultat je da je kapacitivna energija uskladištena između bakra broj 1 i broj 6 manja kod šeme 3 što rezultuje u manju ukupnu efektivnu parazitnu kapacitivnost za šemu 3.



Sl.7. – Raspodela napona za šeme 1 i 3 [1]



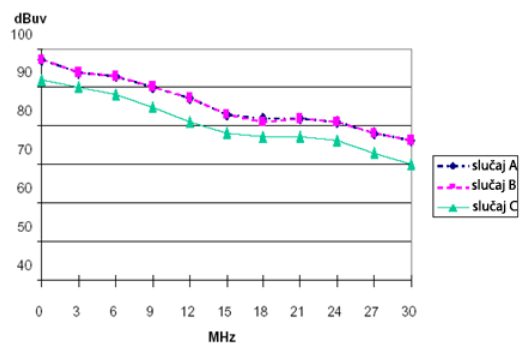
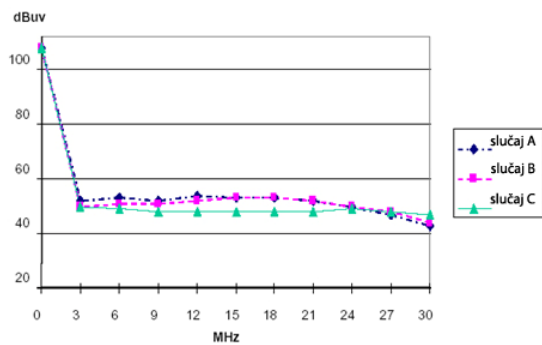
Sl. 3. – Tri različita razmeštaja za traženje kompromisa

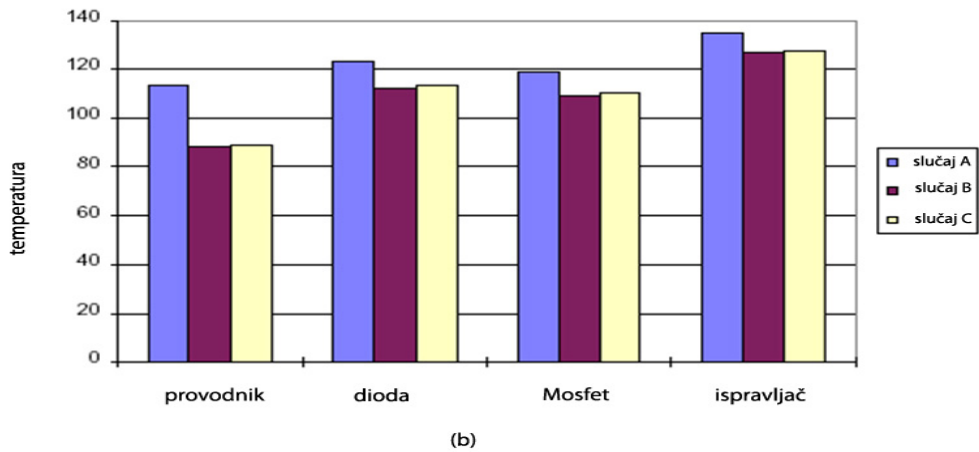
U sva tri slučaja postoji aluminijumska šasija (nije prikazana)

Slučaj (A): Sve komponente su blizu jedna drugoj, velika  $dv/dt$  trasa i velika  $di/dt$  petlja, nema termo – provodnog materijala između induktora i kućišta

Slučaj (B): Komponente sa gubicima snage raširene su po većem prostoru, termo – provodni materijal je ubačen između induktora i kućišta, velika  $dv/dt$  trasa i velika  $di/dt$  petlja

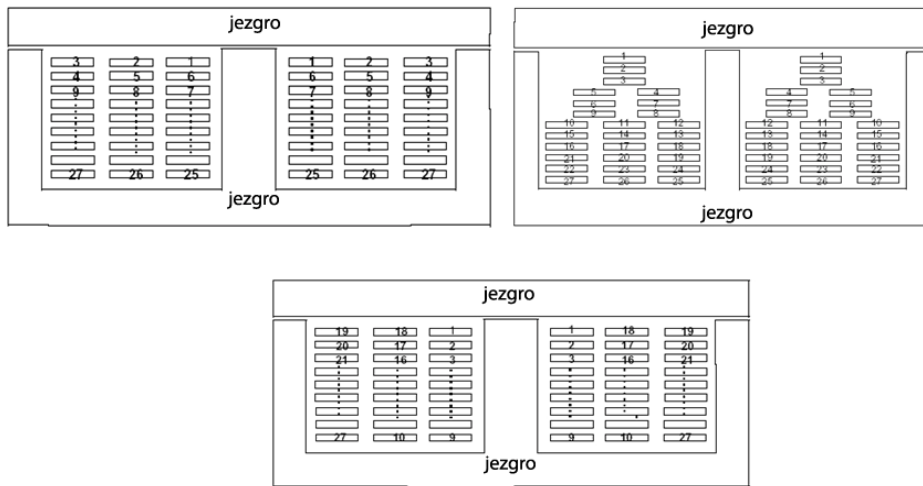
Slučaj (C): Veći izvori toplote postavljeni su uzajamno daleko, provodne trase su optimizovane da se minimizira trasa  $dv/dt$  i površina  $di/dt$  petlje, termo – provodni materijal je ubačen između induktora i kućišta



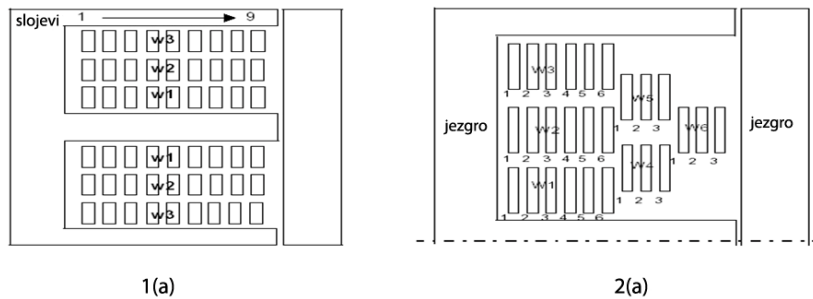


(b)

Sl. 4. – (a) Prognozirani spektar DM i CM smetnji, (b) Prognozirani porasti temperatura komponenti

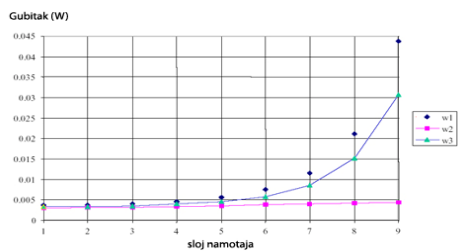


Sl.5.- Tri različite šeme motanja ispitivane sa gledišta toplota-elektromagnetske smetnje

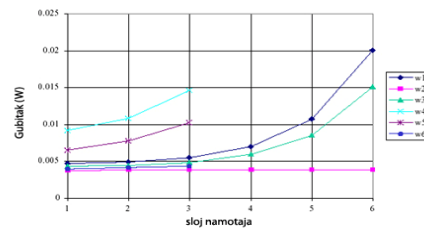


1(a)

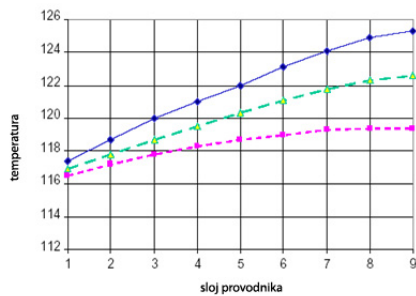
2(a)



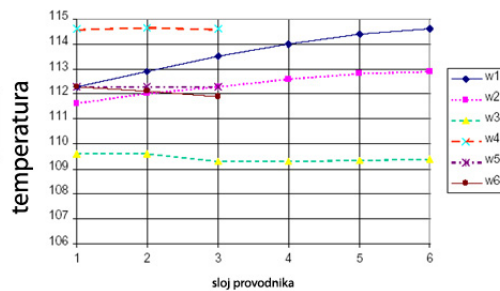
1(b)



2(b)



1(c)

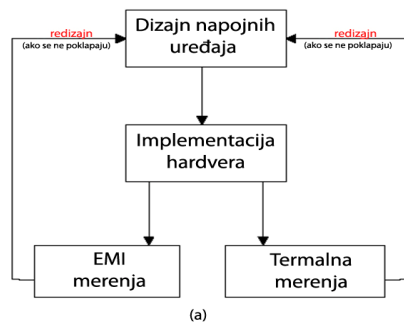


2(c)

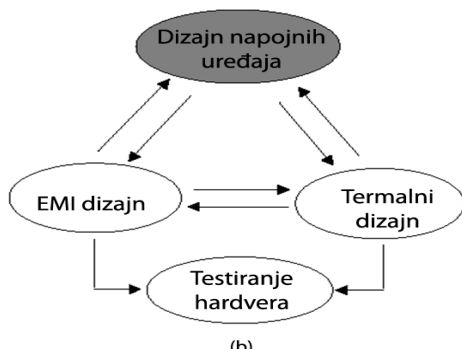
Sl.6. – Gubici u namotaju induktora i temperaturni profili za tri šeme motanja, (a) grupisanje provodnika radi toplotne simulacije (b) provodni gubici (c) temperaturni profili namotaja [1]

Primena različitih parazitnih kapacitivnosti kod elektromagnetnih simulacija dovodi do različitih elektromagnetnih rezultata.

Upoređenje konvencionalnog projektovanja izvora napajanja i integrisanog (elektromagnetne smetnje)/termika projektovanja prekidačkog izvora napajanja je sumarno prikazano na donjim dijagramima toka (slika 8).



(a)



(b)

Sl.8. -Konvencionalno a) Integrisano EMI/termalno b) projektovanje prekidačkih izvora napajanja

### 3. ZAKLJUČAK

Za tretiranje problema koji se odnose na elektromagnetne smetnje, termalne zahteve i poboljšanje pouzdanosti kola, potrebno je razviti metodologiju za integraciju elektromagnetnih smetnji i termalne analize pri projektovanju konvertora korišćenjem alata iz oblasti projektovanja uz pomoć računara. Uz korišćenje odgovarajućih alata, može se istraživati interakcija između elektromagnetnih smetnji i termalnih zahteva. Korišćenjem odgovarajućih alata, nekoliko verzija rasporeda (podaci iz literature) u kolu je izračunavano

kako sa gledišta elektromagnetnih smetnji tako i sa termalnih gledišta. Izračunato je nekoliko verzija planarnog induktora sa tačke gledišta električnih zahteva, termalnih zahteva i zahteva za elektromagnente smetnje. Kroz ova izračunavanja se može dobiti puno informacija o unutrašnjim detaljima. Kompromisi između razmeštaja na štampanoj ploči i magnetnog proračuna se moraju razmatrati sa stanovišta elektromagnetnih smetnji i sa stanovišta toplote. Koristeći ovu metodologiju mogu se kvantitativno prognozirati spektar elektromagnetnih smetnji i vruće tačke u kolu za različite šeme motanja magnetnih komponenata. Na ovaj način se mogu dobiti dodatne informacije u fazi projektovanja što značajno smanjuje vreme projektovanja i znatno olakšava optimizaciju projekta.

### 4. LITERATURA

- [1] Wei Zhang, Fred C. Lee and Dan Y. Chen, *Integrated EMI/Thermal Design for Switching Power Supplies*, Virginia Polytechnic Institute & State University Blacksburg, VA, USA, 2001
- [2] W. Zhang, M. Zhang and F. Lee, "Conducted EMI analysis of a boost PFC converter." IEEEAPAC Proc., 1997, pp. 223-229
- [3] M. Janicki, A. Napieralski; *Temperature Monitoring of Electronic Circuits Based on Analytical Thermal Model*; Proč. of 22nd International Conference on Microelectronics MIEL 2000, Vol. 2, pp. 581-585, Niš, Serbia, 14-17 May, 2000
- [4] J. Nicolics, G. Hanreich, G. Stangl; *Investigation of the Thermal Performance of Micro-Wrinker Structured Silicon Heatspreaders for Power Devices*; Proč. of 22nd International Conference on Microelectronics MIEL 2000, Niš, Serbia, Vol 2., pp. 671-674, 14-17 May, 2000.

### METHODOLOGY INTEGRATED EMI / THERMAL DESIGN OF SWITCHING POWER SUPPLY

**Abstract:** For example, boost PFC, the methodology is provided for integrated EMI / thermal design of switching power supplies.

**Keywords:** EMI, thermal design, planar inductor.