

# PRINCIPI ZAŠTITE OD ELEKTROMAGNETNE INTERFERENCIJE OKLAPANJEM

Milorad Danilović, Leposava Marš, Vladimir Pantović

**KLJUČNE REČI:** elektromagnetska kompatibilnost (EMK), elektromagnetska interferencija (EMI), oklapanje, efektivnost oklapanja, elektroprovodni premazi, metalizacija plastičnih masi.

**SADRŽAJ:** U radu razmatran je problem otklanjanja elektromagnetske interferencije oklapanjem. Akcenat je dat na najčešće korišćene postupke metalizacije plastičnih materijala. Nešto više je istaknut metod korišćenja elektroprovodnih premaza, koji je, vrlo često, najpovoljnije rešenje za primenu. Najvažniji kriterijumi za odlučivanje o izboru metode izloženi su na kraju rada.

## PRINCIPLES OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDING

**KEY WORDS:** electromagnetic compatibility (EMC), electromagnetic interference (EMI), shielding, shielding effectiveness, electroconductive coatings, plastic materials metal plating.

**ABSTRACT:** This paper deals with problem of eliminating EMI by shilding. The most used processes of plastic materials metal plating have been emphasized. Priority was given to the method for use of electroconductive coatings as it is the most convinient solution for application. The most important principles on method choise are listed finaly.

### 1. UVOD

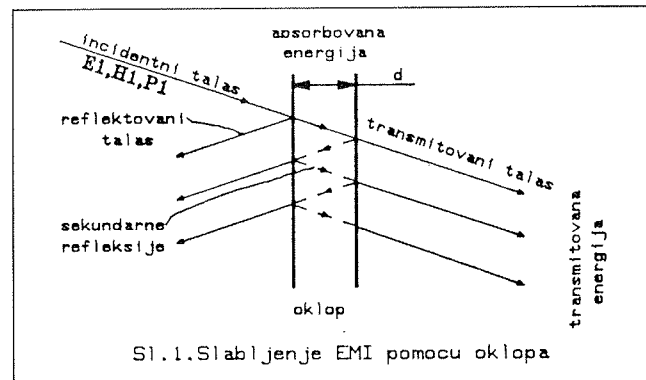
Nagliim razvojem elektronike u poslednje vreme problem zaštite od neželjenog uticaja elektromagnetskog zračenja postaje sve izraženiji. Zbog toga je jedan od bitnih ciljeva pri dizajniranju uređaja postizanje elektromagnetske kompatibilnosti, koja se definiše kao sposobnost elektronskog uređaja ili sistema da normalno funkcioniše ne trpeći i ne izazivajući neprihvatljivu degradaciju bilo kojeg drugog sistema zbog neželjenih elektromagnetskih signala. Elektromagnetska interferencija definiše se kao pogoršanje prijema željenog signala prouzrokovano neželjenim elektromagnetskim signalom.

Postoje dva pristupa zaštiti od EMI. Prvi je zasnovan na tome da se već prilikom projektovanja uređaja predvide i otklone mogući izvori smetnji. Ovde je izložen postupak oklapanja, odnosno ekraniranja, provodnim materijalima čija je namena da se elektromagnetsko zračenje zadrži u određenom prostoru i spreči njegov prolaz u neželjenom smeru.

### 2. PRINCIPI OKLAPANJA

Postoje dva osnovna objašnjenja delovanja oklopa uređaja na slabljenje EMI. Jedno od njih je da EMI polja indukuju kružnu struju u oklopu tako da se polja koja ove struje stvaraju suprotstavljaju EMI. Na taj način dobija se oslabljeno rezultujuće polje na mestu oklopa. Drugo objašnjenje je da oklop slabi EMI polje kombinacijom refleksije i apsorpcije. Bez obzira koje se objašnjenje od ova dva usvoji, principi zaštite ostaju isti. Ovde je usvojeno drugo objašnjenje (sl. 1). Neka su za incidentni talas sa  $E_1, H_1, P_1$  označeni, respektivno, električno

polje, magnetno polje i snaga, a za izlazni talas, analogno,  $E_2, H_2, P_2$ .



Slika 1: Slabljenje EMI pomoću oklopa

Tada se efektivnost oklapanja definiše kao:

$$SE = 20 \log E_1/E_2 \text{ (dB)}$$

$$SH = 20 \log H_1/H_2 \text{ (dB)}$$

$$S = 10 \log P_1/P_2 \text{ (dB)}$$

Na osnovu ovih relacija, može se pokazati da je totalna efikasnost jednoslojnog oklopa data kao:

$$S = A + R + B \text{ (dB)}$$

gde je A slabljenje usled apsorpcije unutar ekrana debljine d, R je slabljenje upadnog snopa usled primarne refleksije a B je korekcionni član, koji uračunava slabljenje usled višestrukih refleksija unutar oklopa (ovaj član se može zanemariti u slučaju da je  $A < 10\text{dB}$ , što je gotovo uvek slučaj).

Za dobre provodnike A je dato kao:

$$A = 8,686 d \sqrt{\pi \mu \sigma}$$

gde je  $d$  - debljina oklopa,  $f$  - frekvencija elektromagnetnog talasa,  $\mu$  - permeabilnost a  $\sigma$  - provodnost oklopa.

Slabljenje usled refleksije dato je kao:

$$R = -20 \log 4 Z_w Z_s / (Z_w + Z_s)^2 \text{ (dB)}$$

gde je  $Z_w$  impedansa incidentnog talasa ( $Z_w = E1/H1$ ) na prvoj površini oklopa, a  $Z_s$  karakteristična impedansa oklopa.

$Z_s$  je dato kao:

$$Z_s = k \sqrt{\mu/\sigma}$$

gde je  $k$  konstanta,  $\mu$  je permeabilnost a  $\sigma$  provodnost oklopa.

Iz ovih izraza vidi se da slabljenje usled refleksije ne zavisi samo od oklopa, već i od impedanse incidentnog talasa  $Z_w$ , koja je funkcija od tipa izvora (električni ili magnetni), i udaljenosti izvora od oklopa. Za ravni talas ova impedansa je konstantna i jednaka je karakterističkoj impedansi vakuuma  $Z_0$ , tj.  $Z_w = Z_0 = 377 \Omega$ . Polje kod koga je impedansa talasa veća od karakteristične impedanse dielektrika u kojem postoji naziva se visokoimpedansno ili električno polje, a polje kod koga je impedansa talasa manja od karakteristične impedanse sredine zove se niskoimpedansno ili magnetsko polje.

Oklopi za električna polja imaju veoma malu karakterističnu impedansu u odnosu na impedansu električnog polja, pa je slabljenje usled refleksije veoma veliko i zato obično nisu potrebne veće debljine oklopa.

Oklopi za magnetska polja imaju impedansu koja je blizu vrednostima impedanse magnetnog polja, pa je zato glavni efekat slabljenja izražen kroz apsorpciju. To zahteva oklope što veće debljine i magnetske permeabilnosti, pogotovo na nižim frekvencijama. Zato se u tu svrhu oklopi prave od feromagnetskih materijala kod kojih je  $\mu_r \gg 1$ . U tabeli 1 date su vrednosti za apsorpciju nekoliko najtipičnijih materijala koji se koriste za oklope (1). Pri tome je za provodnost materijala korišćena relativna provodnost u odnosu na bakar ( $\sigma_{Cu} = 5.8 \times 10^7 \text{ s/m}$ ).

Metal	relativna provodnos ( $\sigma$ )	relativna permeabilnost pri 150 kHz ( $\mu_r$ )	slabljenje usled apsorpcije, A, dB/mm pri 150 kHz
srebro	1.05	1	52
bakar	1	1	51
aluminijum	0.61	1	40
gvoždje	0.17	1000	650
hipernik	0.06	80000	3500
permaloj	0.03	80000	25000

\* pretpostavlja se da materijal nije zasićen

Tabela 1: Karakteristike nekih metala koji se koriste za oklapanje

Plastična kućišta za uređaje u elektronici i elektrotehnici se u zadnje vreme sve više koriste kao zamena za

metalna kućišta. Osnovni razlozi za to su njihova znatno niža cena u odnosu na metal, mala težina i dobre mehaničke karakteristike. Veoma značajno je i to što, za razliku od metala, ne podležu koroziji.

Pa ipak, plastična kućišta imaju i neke nedostatke koji se ne mogu zanemariti. S obzirom da su ovi materijali po prirodi izolatori, transparentni su za elektromagnetno zračenje, koje može dovesti do nepravilnog rada usled elektromagnetske interferencije. Pored toga, na njima se može akumulirati znatna količina elektrostatičkog elektriciteta čija je energija za vreme pražnjenja dovoljna da izazove nepravilan rad uređaja, ili, čak, oštetiti neke osetljive komponente ili kola. Kao sekundarni efekat, to pražnjenje može izazvati neželjeno elektromagnetsko zračenje, odnosno EMI.

Ovi problemi se mogu otkloniti nanošenjem metalnih prevlaka na plastično kućište raznim metodama, od kojih će ovde neke biti razmotrene. Pored vrste materijala koji se koristi, bitni faktori su još tehnologija nanošenja materijala na podlogu, kao i njihova cena. Konačni izbor je rezultat kompromisa ova tri faktora.

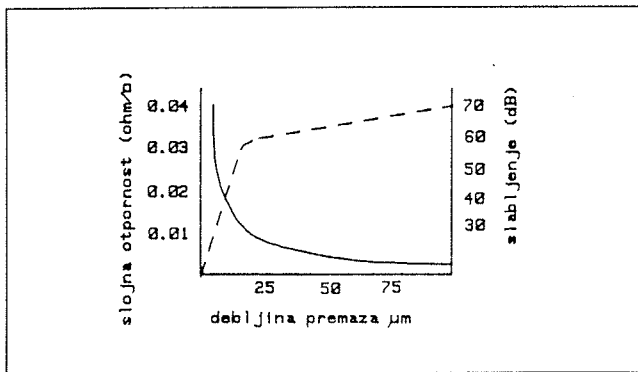
### 3. ELEKTROPROVODNI PREMAZI

Jedan od načina koji zadovoljava sve ove kriterijume je nanošenje elektroprovodnih premaza na plastično kućište raspršivanjem. Postupak je veoma brz i jednostavan. Iz "pištolja" sa prečnikom dizne od 1 - 2 mm, pod pritiskom od 2 - 2.5 bara, raspršava se pripremljeni materijal na podlogu dok se ne dobije debljina premaza oko 50 - 75  $\mu\text{m}$ . Premaz se obično nanosi na unutrašnju stranu kućišta, pošto postoji manja mogućnost fizičkog oštećenja i manje je izložen drugim spoljnim uticajima. Posle nanošenja premaza se mora sušiti, zašto je dovoljna i sobna temperatura.

Premazi najčešće sadrže grafit, bakar, srebro i nikel kao provodne pigmente u različitim organskim vezivima i rastvaračima, zavisno od podloge na koju se premaz nanosi. Kod pravilnog izbora, adhezija je odlična, bez obzira koja je plastična podloga u pitanju. Premazi od srebra, koji su u početku bili jako rašireni, imaju odlične provodne osobine i dobru adheziju. Zavisnost slabljenja od debljine sloja, odnosno od slojne otpornosti premaza, prikazana je na sl. 2. (4).

Međutim, cena srebra je veoma visoka u odnosu na druge materijale, pa je ovaj premaz preskup za određene primene. Realizovani su zato jeftiniji sistemi npr. sa bakrom, koji imaju nešto slabija svojstva atenuacije. Pri tome je važno sprečiti oksidaciju bakra, koja dovodi do smanjenja provodnosti sloja i na taj način smanjuje efikasnost oklapanja. Taj problem se rešava primenom odgovarajućih antioksidanata.

Grafitni premazi se takodje mogu koristiti u ove svrhe, ali su manje efikasni od prethodna dva zbog manje provodnosti. Međutim, sasvim su dobri u slučajevima



Slika 2: Zavisnost slojne otpornosti od debljine premaza (puna linija) i zavisnost slabljenja od debljine premaza (isprekidana linija)

gde je potreban jeftin premaz za zaštitu od elektrostatičkog pražnjenja.

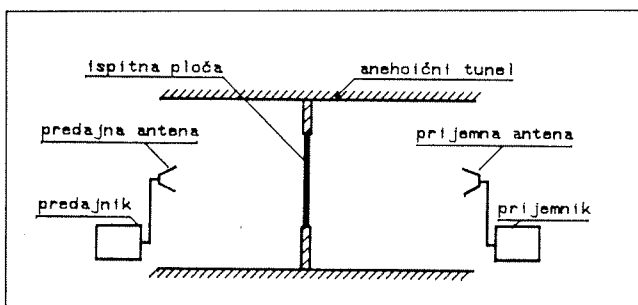
Kao najpovoljnije rešenje sa aspekta funkcije primene i cena je premaz na bazi nikla. Za sloj debljine 50 - 75 μm slabljenje iznosi 30 - 65 dB, zavisno od frekvencije, što se u praksi smatra sasvim dobrom zaštitom.

U Ei Institutu u Beogradu razvijeni su napred spomenuti premazi, čije su karakteristike na nivou poznatih svet-skih proizvođača (Tabela 2.).

Premaz	Slojna otpornost $\Omega/\square$	Debljina sloja ( $\mu\text{m}$ )	Slabljenje (dB)	
			f=1 GHz	f=10 GHz
bakar	0.30	50	40	42
nikl	1	70	55	60
grafit	10	70	25	35

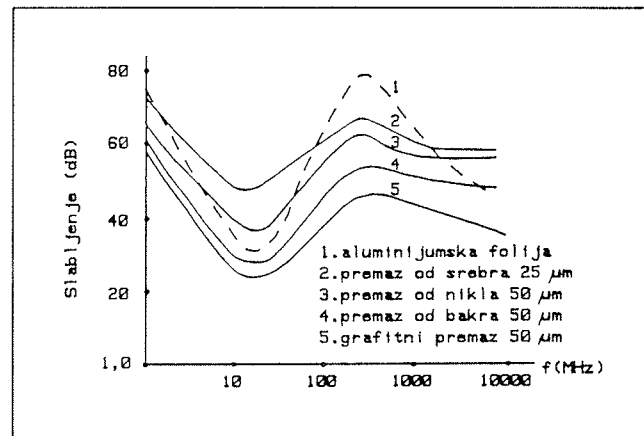
Tabela 2: Određivane karakteristike slabljenja različitih vrsta premaza

Merenja su obavljena na uzorcima dimenzija 1 m x 1 m. Odgovarajući premaz nanesen je na pertinaks ploču debljine 1 mm. Merenja su izvršena u anehoičnom tunelu na čijim krajevima su postavljene predajna i prijemna antena (sl. 3). Rastojanje između antena bilo je oko 3 m. Sistem je iskalibrisan tako da je na analizatoru spektra direktno očitavano slabljenje koje unosi pregrada od zaštitnog materijala. Merenja na nižim učestanostima nisu vršena zbog velikih dimenzija antena koje bi bile potrebne za te učestanosti.



Slika 3: Ispitivanje efektivnosti zaštite

Diagrami slabljenja u zavisnosti od frekvencije, za različite materijale, dati su na sl. 4.



Slika 4: Tipične vrednosti slabljenja različitih premaza upoređeni sa folijom od aluminijuma

#### 4. VAKUUMSKA METALIZACIJA

Ovaj postupak metalizacije se sastoji u isparavanju i deponovanju metalnih slojeva na podlogu u visokom vakuumu. Za metalizaciju ovim postupkom najčešće se koristi aluminijum. Prije metalizacije raspršivanjem se nanosi, a zatim osuši, bazni premaz koji omogućuje dobru adheziju između aluminijuma i podloge. Metalni sloj je ravnomerne debljine oko 4 - 5 μm. Prije nego što počne nanošenje metala, često je potrebno zaštititi gornje ili dekorativne strane plastičkog kućišta. Kao zaštita u tu svrhu mogu poslužiti metalne, ili vrlo jeftine, vakuumom formirane plastične maske.

Prednosti ovog postupka su:

- \* mogu se nanijeti na bilo koju vrstu plastike,
- \* odlična atenuacija,
- \* moguće je kontrolisati debljinu sloja metala,
- \* nije ograničen samo na jednostavne oblike podloge.

Nedostaci postupka su:

- \* veličina vakuumske komore ograničava veličinu podloge,
- \* potreban je bazni premaz,
- \* aluminijumski sloj je osetljiv na koroziju u vlažnoj atmosferi, što dovodi do smanjenja provodnosti,
- \* cena opreme je vrlo visoka.

#### 5. METALIZACIJA PODLOGA ELEKTROLUČNIM / PLAMENIM POSTUPKOM

Pri ovim postupcima topljivi metal, najčešće cink, nanosi se direktno na plastičnu podlogu. U prvom slučaju koristi se "pištolj" za elektrolučno raspršivanje, u kome se, koristeći električni luk istope žice od cinka i istopljena masa istovremeno rasprši na podlogu. U drugom slučaju metalni prah cina topi se u dodiru sa internim gasom

visoke temperature u specijalnom "pištolju" koji i raspršava istopljenu masu. Metalni sloj je debljine oko 25 - 50 μm, dovoljno je čvrst i poseduje visoke vrednosti provodnosti. Ovo omogućuje veoma veliko slabljenje elektromagnetskih talasa u širem rasponu frekvencija.

Međutim, ovi postupci imaju i niz nedostataka, koji ih čine dosta problematičnim za ovu primenu. Mogućnost oštećenja i izobličenja plastičnih kućišta je veoma velika. Često dolazi do razdvajanja metalnog sloja od podloge usled njihovih različitih temperaturskih koeficijenata širenja. Potrebna je i specijalna oprema koja je veoma skupa, pa i pored toga rizici po zdravlje i sigurnost osoblja koji ih primenjuju su veliki. Zbog svega ovoga ovi postupci nisu našli masovnu primenu u elektronskoj industriji.

### 6. UTICAJ TROŠKOVA NA IZBOR VRSTE ZAŠTITE OD EMI OKLAPANJEM

Troškovi zaštite od EMI oklapanje, dominantan su čini-lac pri opredeljivanju za izbor postupka zaštite. Troškovi su uslovljeni izborom odgovarajućeg postupka zaštite, odnosno korišćene opreme i izborom odgovarajućeg materijala, tab. 3. Međutim, pri ovom opredeljivanju, moraju se imati u vidu funkcionalni zahtevi opreme koja se štiti, kvalitet zaštite, raspoloživa oprema i dr.

postupak	provodnik	ukupni prosečni troškovi apliciranja po metru	troškovi opreme
vakuumska metalizacija	aluminijum	\$ 12 - 15	vrlo visoki
elektrolučno / plameno ras.	zink	\$ 8 - 12	visoki
el. provodni premazi	srebro nikl grafit	\$ 40 \$ 9 \$ 6	niski

Tabela 3: Orijentacione vrednosti troškova zaštite za pojedine postupke i korišćene materijale.

### ZAKLJUČAK

Metalizovana plastična kućišta mogu se uspešno koristiti umesto metalnih. Dobri provodnici struje, kao što su bakar i aluminijum, mogu se efikasno koristiti za zaštitu od električnih polja.

Feromagnetski materijali na bazi gvožđa i nikla, velike magnetske permeabilnosti i dovoljne debljine sloja, pogodni su za zaštitu od magnetskog polja, jer poseduju veliku moć apsorpcije. S obzirom na cenu i efikasnost primene, najmasovnije se koriste elektroprovodni premazi.

### LITERATURA

- Bernhard Veiser "Principles of electromagnetic compatibility" Norwood, Artech House, Inc., 1987.
- Zlatko Mrkić "Mikrovalna elektronika", Zagreb, Školska knjiga 1986.
- Metex - Handbook, 1981, USA.
- Acheson - Electromagnetic compatibility, product data sheet.
- Mihajlo Vujasinović "Kutija elektronskog uređaja kao zaštita od EMI", ETAN u pomorstvu 1988.
- L. Marš, L. Slibnoski, V. Pantović "Elektroprovodni premazi na bazi grafita za zaštitu od EMI", SD 1987.
- L. Marš, V. Jovanović, M. Danilović "Elektroprovodni premazi na bazi bakra za zaštitu od EMI", SD 1988.
- L. Marš, V. Jovanović, D. Marjan "Elektroprovodni premazi na bazi nikla za zaštitu od EMI", SD 1989.

Milorad Danilović, dipl. ing.  
Leposava Marš, dipl. ing.  
Mr. Vladimir Pantović, dipl. ing.  
EI RO IRI OOUR "BETA"  
11080 Zemun, Batajnički drum 23

Prispelo: 15.12.1989 Sprejeto: 28.02.1990