

# Ispitivanje osetljivosti na kondukcione smetnje uređaja posebne namene u ekranizovanoj prostoriji

Aleksandar M. Kovačević  
Katedra za opštu elektrotehniku i elektroniku  
Fakultet tehničkih nauka  
Čačak, Srbija

[aleksandar.kovacevic@ftn.kg.ac.rs](mailto:aleksandar.kovacevic@ftn.kg.ac.rs), <https://orcid.org/0000-0002-9984-8989>

**Apstrakt**—U ovom radu je prikazano ispitivanje osetljivosti na kondukcione smetnje uređaja posebne namene u ekranizovanoj prostoriji. Ispitivanje je izvršeno prema MIL standardu.

**Ključne reči**—ispitivanje, osetljivost na kondukcione smetnje, uređaj posebne namene

## I. UVOD

Tehnički opitni centar (TOC) [1], specijalizovana vojna naučnoistraživačka ustanova, preko pet decenija vrši ispitivanje sredstava naoružanja i vojne opreme (sredstva posebne namene) za kopnenu vojsku, vazduhoplovstvo i rečne jedinice. Pri tome, sastavni deo gotovo svih ispitivanja, kako kompletnih sistema tako i pojedinih komponenata, je ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti (EMC). U zavisnosti od toga da li su sredstva domaće proizvodnje ili iz uvoza (sa međunarodnog tržišta), za potrebe ispitivanja karakteristika EMC se koriste domaći ili inostrani standardi odbrane (standardi posebne namene), respektivno.

Najpoznatiji inostrani standardi posebne namene za područje elektromagnetske kompatibilnosti su američki vojni standardi (MIL STD). Prvi MIL standardi su se odnosili na zahteve (MIL-STD-461), metode merenja (MIL-STD-462) i termine i definicije (MIL-STD-463). Kasnije je ovo objedinjeno u jedan MIL standard.

Domaći standardi odbrane nose oznaku SORS (Standard odbrane Republike Srbije). Tako, standard SORS 1029/89 [2] izrađen je na osnovu MIL-STD-461B i predstavlja zahteve kojim se utvrđuju: granične vrednosti za dozvoljeni nivo elektromagnetskih smetnji (EM smetnji) i granične vrednosti za potreban nivo imunosti na EM smetnje za elektronska, električna i elektromehanička sredstva naoružanja i vojne opreme (NVO). Standard SORS 1762/89 [3] izrađen je na osnovu MIL-STD-462 i njime se utvrđuju merna sredstva i oprema, uslovi ispitivanja i metode merenja nivoa EM smetnji i imunosti (otpornosti) na EM smetnje elektronskih, električnih i elektromehaničkih sredstava NVO, prema zahtevima SORS 1029/89. Standard SORS 4077/89 [4] utvrđuje zahteve i metode ispitivanja karakteristika elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) složenih sredstava NVO (borbena i neborbena vozila, letilice, plovni objekti itd.) u koja su ugrađena elektronska, električna i elektromehanička sredstva NVO i njihov pribor.

U ranijim radovima su predstavljani neki zahtevi i metode iz SORS standarda [5], [6].

U ovom radu će biti razmatrano ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G [7]. Cilj ovog rada je da se pokaže da je Tehnički opitni centar

osposobljen za ispitivanje navedene karakteristike EMC prema savremenom inostranom standardu odbrane

## II. MIL STANDARD

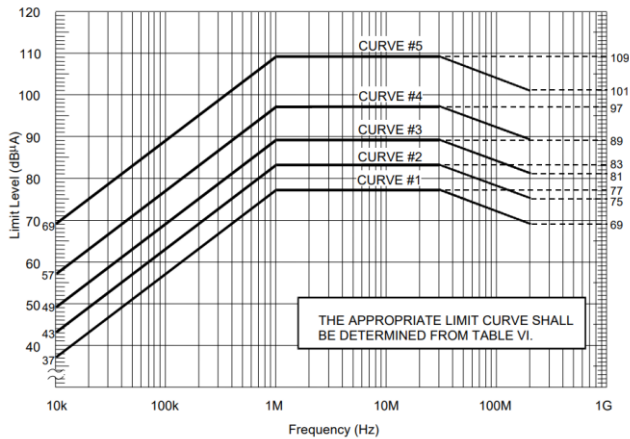
Najpoznatiji vojni standardi (standardi posebne namene) iz oblasti ispitivanja EMC su MIL standardi koji se koriste za ispitivanje EMC karakteristika električnih, elektromehaničkih i elektronskih uređaja i podsistema koje razvija ili nabavlja američka vojska. Prva verzija standarda sa zahtevima MIL-STD-461A je izdata 1968. godine, a poslednja sa oznakom MIL-STD-461G 2015. godine.

MIL standardi su po prvi put na celovit način prikazali problematiku EMC. Naime, vođeno je računa ne samo o nivoima smetnji (parazitna elektromagnetska energija) koje uređaji odaju putem vodova (eng. *conducted emissions* – CE) i putem zračenja (eng. *radiated emissions* – RE) već i o njihovoj osetljivosti na spoljne smetnje koje dolaze putem vodova (eng. *conducted susceptibility* – CS) ili putem elektromagnetskog polja (eng. *radiated susceptibility* – RS). Pri tome, *elektromagnetska susceptibilnost* je nesposobnost uređaja, opreme ili sistema da bez pogoršanja rade u prisustvu elektromagnetske smetnje [8]. Treba napomenuti da je *imunost* sposobnost uređaja, opreme ili sistema da bez pogoršanja rade u prisustvu elektromagnetske smetnje [8]. U stvari, *susceptibilnost je nedostatak imunosti*. Relativno česte dopune i izmene ovih standarda, posebno standarda koji se odnose na zahteve, odraz su brze promene tehnologija primenjenih u izradi novih sredstava i njihove sve veće složenosti.

Zahtevi MIL standarda predstavljaju minimum koji se smatra neophodnim da se obezbedi dovoljno velika verovatnoća da će određeni podsistem ili uređaj, koji ispunjava ove zahteve, funkcionisati u okvirima projektovanih tolerancija, kada bude radio u svojoj predviđenoj elektromagnetskoj okolini. Granice su određene na bazi demonstriranih performansi potrebnih za tipično korišćenje na postojećim vojnim platformama da bi se postigla EMC, ali kupac može "menjati" zahteve za svaku primenu i za predviđenu operativnu elektromagnetsku okolinu. Na primer, moguće je znatno povećanje dozvoljenog nivoa parazitne emisije ako se uređaj sa pripadajućim kablovima nalazi u potpuno ekranizovanom prostoru sa poznatim karakteristikama efektivnosti ekranizacije. Pri tome, poželjno je prilagođavanje frekvencijskog prekrivanja granica tako da se obuhvate samo oni opsezi u kojima rade prijemnici. Ipak, tu je potrebna opreznost s obzirom da uvek postoji mogućnost dodavanja novih uređaja u budućnosti ili primene uređaja u drugim instalacijama.

### III. POSTUPAK ISPITIVANJA

U ovom radu će biti razmatrano ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G, pa se i postupak ispitivanja odnosi na isto. U opštem slučaju, postupak ispitivanja obuhvata: kalibraciju i ispitivanje EUT-a (eng. *Equipment Under Test* – oprema koja se ispituje).



Sl. 1 Nivoi injektovane struje u kablju, kondukciona susceptibilnost, CS 114.

Ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G se vrši, u frekvijskom opsegu od 10 kHz do 200 MHz, korišćenjem injektivne strujne sonde preko koje se u napojne i/ili komunikacione kablove opreme koji se ispituje ubacuje elektromagnetska smetnja u vidu struje koja je prethodno ograničena. Ograničenje nivoa struje se vrši tokom kalibracije prema graničnim krivama (Sl. 1) iz standarda [7].

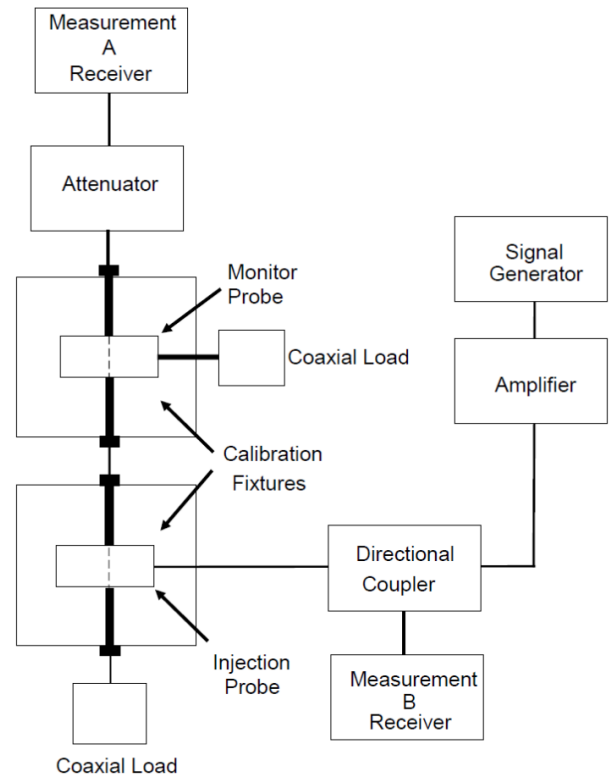
Sa Sl. 1 se može videti da postoji pet graničnih krivih za kondukciju susceptibilnost, CS 114, koje određuju nivoe injektovane struje u kablju, a koji, u stvari, predstavljaju nivoe osetljivosti na kondukcione smetnje uređaja posebne namene (sredstva naoružanja i vojne opreme). Pri tome, koja će kriva biti primenjena prilikom kalibracije ispitne opreme, a kasnije i ispitivanja EUT-a, zavisi od namene i mesta ugradnje opreme koji se ispituje.

Postupak ispitivanja je prikazan za slučaj ispitivanja jednog fleksibilnog terminala u Faradejevom kavezju (ekranizovana prostorija) koji je uvezen za potrebe Vojske Srbije.

Prvo je izvršena kalibracija ispitno-mernog sistema prema zadatom nivou (kriva 4 na Sl. 1). Blok šema postavke ispitno-mernog sistema za kalibraciju, prema standardu MIL-STD-461G, data je na Sl. 2.

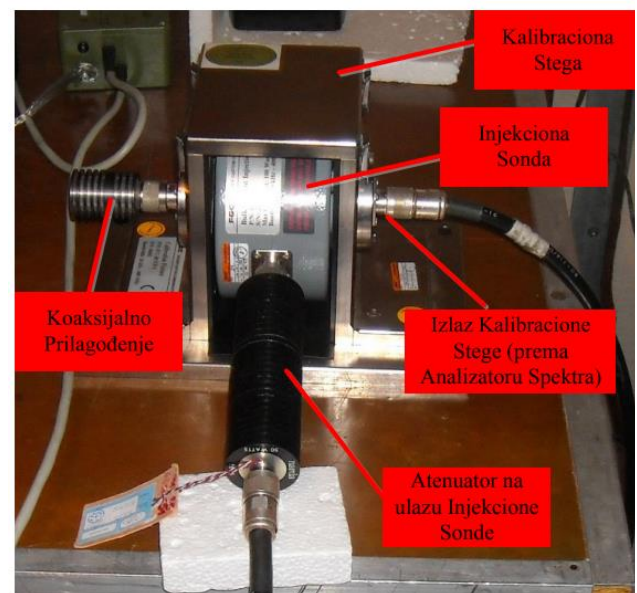
U konkretnom slučaju, deo postavke je prikazan na Sl. 3. Sa Sl. 3 se vidi da je tokom kalibracije injektivna strujna sonda bila spregnuta u kalibracionu stegu. Jedan kraj stega je zatvoren sa koaksijalnim prilagođenjem od 50 Ω, a drugi kraj se vodi na merni prijemnik (u ovom slučaju analizator spektra). Preko atenuatora se na ulazni kraj injektivne strujne sonde dovodi nedomulisan signal iz signal generatora. S obzirom da TOC nije imao direkcioni kapler odgovarajuće snage i frekvencije, umesto praćenja nivoa predajne snage vršeno je praćenje nivoa izlazne snage signal generatora. Te vrednosti su zapamćene i kasnije

korišćene kao referentne vrednosti prilikom ispitivanja EUT-a (u ovom slučaju fleksibilnog terminala).



Sl. 2 Blok šema postavke ispitno-mernog sistema za kalibraciju, CS 114.

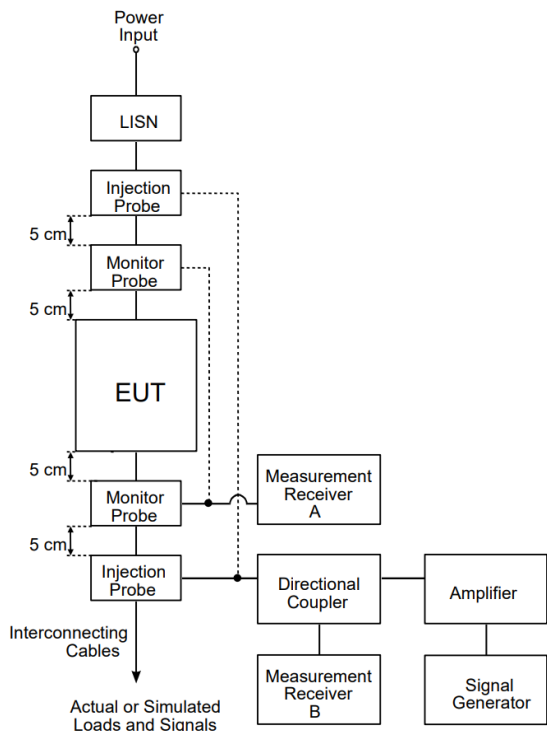
U odnosu na definisani zahtev, kalibracija je izvršena u frekvijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz.



Sl. 3 Deo postavke ispitno-mernog sistema za kalibraciju, CS 114.

Usled velikog broja definisanih frekvencija (korak je bio 1% od prethodno podešene frekvencije) i složenosti merenja (istovremeno praćenje rada različite merne opreme), izvršena je automatizacija kalibracije [9]. Automatizacija je izvršena u programskom paketu MATLAB [10]. Na taj način, značajno je skraćeno vreme trajanja kalibracije, a smanjen je i uticaj ljudskog faktora koji bi mogao da dovede do neke greške.

Blok šema postavke ispitno-mernog sistema za ispitivanje je data na Sl. 4



Sl. 4 Blok šema postavke ispitno-mernog sistema za ispitivanje, CS 114.

Ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G, obavljeno je automatizovano na fleksibilnom terminalu (EUT) u Faradejevom kavezu (ekranizovana prostorija), u frekventijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz. Pri tome, fleksibilni terminal je bio postavljen u Faradejev kavez na neprovodnu podlogu (debljina 10 cm) ispitnog stola, visine 80 cm, i bio je napajan iz distributivne mreže (Sl. 5). Postavljanjem kalibracionih vrednosti izlazne snage na signal generatoru dobijeni su početni uslovi za ispitivanje fleksibilnog terminala, s tim da je u ovom slučaju signal iz signal generatora bio modulisan (korišćena je impulsna modulacija). Pri tome, težilo se da modulisani signal zadrži kalibracione vrednosti izlazne snage.

Fleksibilni terminal je preko injezione strujne sonde bio izlagan nivoima injektovane struje smetnji (indukovana struja smetnji) na svakoj frekvenciji u trajanju od 3 s. Tokom ispitivanja je praćen rad fleksibilnog terminala. Kriterijum za ocenu osetljivosti fleksibilnog terminala na smetnje: Prilikom stvaranja indukovane struje smetnji u kابلu za napajanje fleksibilnog terminala, potrebno je da bude uspostavljen pravilan

protok saobraćaja, bez grešaka u prenosu (eng. *bit error rate* = 0).



Sl. 5 Deo postavke ispitno-mernog sistema za ispitivanje, CS 114.

U slučaju nepravilnosti rada na nekoj frekvenciji fleksibilnog terminala, u odnosu na zadati kriterijum, ista se ručno zapisuje. Naime, po završetku prebrisanja definisanog frekventijskog opsega (koristeći softverski program [9,] [10]), ispitivanje se na zapisanoj frekvenciji ponavlja ručno vođenim postupkom (poluautomatski), koristeći komande iz softverskog programa. Pri tome, smanjuje se nivo idukovane struje smetnji do vrednosti kada terminal ponovo uspostavi definisanu funkciju rada. Ta vrednost se zapisuje i predstavlja nivo osetljivosti terminala na kondukcione smetnje.

#### IV. ISPITNO-MERNA OPREMA

Za ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, korišćena merna sredstva i oprema navedeni su u Tabeli I.

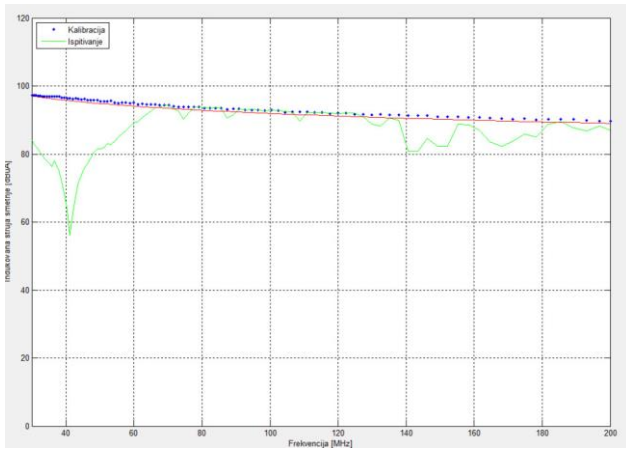
TABELA I. ISPITNO-MERNA OPREMA ZA ISPITIVANJE KONDUKCIONE SUSCEPTIBILNOSTI, CS 114

R. br.	Naziv instrumenta	Proizvođač	Tip	Frekvencijski opseg
1.	Signal generator	HP	8656B	100 kHz-990 MHz
2.	RF pojačavač	OPHIR	5126	20 MHz-1 GHz
3.	EMC analizator spektra	Agilent	E7402A	100 Hz-3 GHz
4.	Razdvojni transformator	Iskra	MA4801	/
5.	Strujna sonda	Singer	94111-1	1 MHz-1 GHz
6.	Strujna sonda	A.H. Systems	BCP-510	20 Hz-1 MHz
7.	Strujna sonda	A.H. Systems	BCP-511	20 kHz-100 MHz
8.	Injekciona strujna sonda	Fischer	F-120-6	10 kHz-500 MHz
9.	Stega za kalibraciju injekcione strujne sonde	Fischer	FCC-BCICF-1	10 kHz-400 MHz
10.	Laptop računar	ACER	/	/
11.	RF kabl	/	RG-214/U	do 6 GHz
12.	Optički kabl	/	/	/

Pre početka ispitivanja je konstatovano da je navedena merna oprema metrološki ispravna jer ima prihvatljivu metrološku sledivost, koju prate dokumenta o pregledu, odnosno isprave o usaglašenosti merne opreme sa propisanim zahtevima, a u skladu sa Pravilnikom o metrološkoj delatnosti u oblasti odbrane [11].

## V. REZULTATI ISPITIVANJA

Grafički prikaz nivoa injektovane struje smetnji u zavisnosti od frekvencije, prilikom kalibracije i ispitivanja, dat je na Sl. 6.



Sl. 6 Grafički prikaz nivoa injektovane struje smetnji u zavisnosti od frekvencije, prilikom kalibracije i ispitivanja.

Pri tome, postignute vrednosti nivoa injektovane struje smetnji (indukovana struja smetnji) pri kalibraciji (plave tačke) i pri ispitivanju fleksibilnog terminala (zelena izlomljena linija) u odnosu na zadatu vrednost (crvena puna linija), odnose se na frekvencijski opseg od 30 MHz do 200 MHz.

U toku izlaganja fleksibilnog terminala različitim nivoima injektovane struje smetnji (indukovana struja smetnji), u frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz, nije bilo nepravilnosti u radu prema zadatom kriterijumu, tj. bio je uspostavljen pravilan protok saobraćaja, bez grešaka u prenosu.

Na taj način, konstatovano je da fleksibilni terminal zadovoljava zahtev kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G, u frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 200 MHz.

Uslovi okoline:

- temperatura okoline:  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,
- relativna vlažnost vazduha:  $42\% \pm 15\%$ .

## VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatrano ispitivanje kondukcione susceptibilnosti, CS 114, prema standardu MIL-STD-461G. Kroz ispitivanje uređaja posebne namene (fleksibilni terminal), u Faradejevom kavezu, pokazano je da je Tehnički opitni centar osposobljen za ispitivanje navedene karakteristike elektromagnetske kompatibilnosti prema savremenom inostranom standardu odbrane [7].

## REFERENCE/LITERATURA

- [1] <http://www.toc.vs.rs>.
- [2] *Elektromagnetske smetnje, ZAHEVI*, SORS 1029/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.
- [3] *Elektromagnetske smetnje, MERENJA*, SORS 1762/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.
- [4] *Elektromagnetska kompatibilnost*, SORS 4077/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.
- [5] A. Kovačević, D. Stanković, "Ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti telekomunikacionih uređaja posebne namene u ekranizovanoj prostoriji", Zbornik radova 51. konferencije ETRAN, Herceg Novi, Crna Gora, 4 str., 4-7.06.2007.
- [6] A. Kovačević, N. Munić, "Ponovljivost rezultata merenja nivoa električnog polja EM smetnji", Zbornik radova 66. konferencije ETRAN, Novi Pazar, Srbija, str. 337-339, 6-9.06.2022.
- [7] *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, MIL-STD-461G, Department of Defense, USA, 2015.
- [8] *Međunarodni elektrotehnički rečnik, Elektromagnetska kompatibilnost*, SRPS IEC 60050-161, ISS, Beograd, 2014.
- [9] N. Munić, A. Kovačević, V. Jokić, V. Nikolić, Lj. Tomić, "Automatizacija merenja nivoa imunosti na kondukcione smetnje", Zbornik radova 63. konferencije ETRAN-a, Srebrno jezero, Srbija, str. 527-531, 3-6.06.2019.
- [10] MATLAB® version 7.10.0.499 (R2010a), [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).
- [11] *Pravilnik o metrološkoj delatnosti u oblasti odbrane*, Službeni vojni list br. 19, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, 2018.

## ABSTRACT

This paper presents the testing of the conducted susceptibility to electromagnetic interference for military equipment in a screened room. This testing is performed according to the MIL standard.

### Testing of the conducted susceptibility to electromagnetic interference for military equipment in a screened room

Aleksandar M. Kovačević