Mr Lazar Petrović,
pukovnik, dipl. inž.
VP 9922, Beograd

UTICAJ ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA NA BEZBEDNOST PRENOSA I OBRADE INFORMACIJA

UDC: 621.391.822/.823

Rezime:

Svako elektronsko sredstvo je tokom eksploatacije izloženo raznovrsnim elektromagnetnim efektima, ali i samo tokom rada generiše elektromagnetnu energiju i utiče na druga sredstva u svom okruženju. Da bi se ograničio ovaj međusobni uticaj, propisuju se standardi kojima se regulišu dozvoljeni nivoi zračenja, odnosno definiše se osetljivost pojedinih sredstava na elektromagnetna zračenja. Pored ovih opasnosti koje postoje pri radu elektronskih sredstava (prvenstveno telekomunikacionih i računarskih sredstava) postoji i opasnost oticanja sadržaja podataka (informacija) koji se obrađuju u konkretnom sredstvu ili se prenose preko telekomunikacionih sistema. To je posebno aktuelno i opasno u funkcionalnim telekomunikacionim i računarskim sistemima gde postoji potreba da se prenose i obrađuju podaci i informacije poverljive prirode.

Ključne reči: elektromagnetno zračenje, elektromagnetni efekti, elektromagnetna kompatibilnost, nivo zračenja, funkcionalni telekomunikacioni i računarski sistemi, nivo zračenja, osetljivost, mere zaštite.

ELECTROMAGNETIC RADIATION EFFECTS ON THE SECURITY OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROCESSING

Summary:

All electronic devices are exposed to different electronic effects during their use but they alone generate EM energy as well and produce effects on surrounding devices. In order to determine the limits of this mutual influence, the standards which regulate permissible tolerance radiation levels are prescribed, i.e. the sensitivity of particular devices to electromagnetic radiation is defined. Beside this harmfulness during the functioning of electronic devices (especially computers and telecommunication devices) there is a danger of leakage of data (information) processed by a computer or transmitted by a telecommunication system. This danger especially concerns telecommunication and computer systems which transmit and process classified data and information.

Key words: electromagnetic radiation, electromagnetic effects, electromagnetic compatibility, radiation level, functional telecommunication and computer systems, sensitivity, protection measures.

Uvod

Kada električna struja teče kroz provodnik ona generiše elektromagnetni (EM) talas koji se prostire brzinom svetlosti kroz okolinu i obrnuto. Elektromagnetni talas, takođe, generiše e-

lektričnu struju u bilo kojoj provodnoj strukturi koja se nađe na njegovom putu, a koja zavisi od njegove amplitude. Tako, električni i elektronski sistemi, svi računari i telekomunikaciona oprema, kao i svi metalni kablovi kojima se spajaju, zrače na opisani način

i u merljivim iznosima. Elektromagnetna energija se od izvora do prijemnog uređaja može prenositi vođenjem, kada su izvor i prijemnik direktno spojeni vodovima ili vodljivim pločama, ali, isto tako, električnom ili magnetnom spregom na manjim udaljenostima ili zračenjem na većim udaljenostima.

Dobro poznavanje pojave u EM sistemima i veze između korisnih i parazitnih signala važno je ne samo za ispravan rad pojedinih vrsta uređaja nego je često od prvorazrednog značaja za tajnost poruka u komunikacijskim ili računarskim sistemima. Za radio-komunikacijske sisteme je jasno da se poruke koje se predaju pomoću EM talasa mogu primati i na velikim udaljenostima, pa se unapred, pre predaje, provode mere u svrhu zaštite tajnosti poruke. Kod računarskih sistema, a posebno terminala, nisu preduzete nikakve mere zaštite, osim u izuzetnim slučajevima, pa se lako mogu primati poruke i to najčešće preko parazitnih signala. Proučavanje EM sistema na korisnim i parazitnim frekvencijama, kao i postupci koji osiguravaju elektromagnetsku kompatibilnost (EMK) mogu vrlo dobro poslužiti i za provođenje mera zaštite tajnosti poruka, bilo u fazi dok se uređaji i sistemi projektuju i proizvode ili na već gotovim uređajima i sistemima. Prema tome, svi uređaji koji koriste EM energiju neminovno, uz energiju na željenim frekvencijama, generišu i signale na neželjenim frekvencijama. Signali na neželjenim frekvencijama javljaju se kao EM smetnje i svojim prisustvom i nivoima mogu ugroziti rad drugih uređaja u svojoj okolini. Pored toga, u generisanim neželjenim signalima može biti sadržan podatak o informaciji koja se prenosi, što često predstavlja poslovnu, vojnu ili drugu vrstu tajni.

Problemi elektromagnetnog uticaja

Elektronsko sredstvo (telekomunikaciona oprema, elektronski računar) izloženo je raznovrsnim EM efektima u okruženju, ali i ono generiše uticaje takve vrste. Ovi efekti se opisuju kao EM uticaj. Za svako elektronsko sredstvo važno je znati koji nivo EM uticaja ono može izdržati, a i koji nivo EM uticaja proizvodi tokom normalnog rada. Podaci o nivoima ovih uticaja važni su pri projektovanju opreme i definisanju stepena zaštite od raznovrsnih uticaja. Za ispravno i normalno funkcionisanje elektronske opreme važno je poznavanje dejstva oba navedena uticaja. Zbog toga je podatak o EM uticaju veoma važan i govori o pažnji koja se mora pokloniti sistemima i njihovom okruženju. Mnogi faktori u telekomunikacijama i računarskim komunikacijama su u postupku veoma brzog razvoja, kao što je: brzina rada elektronskih sklopova, povećanje broja priključenih upravljačkih i računarskih naprava, brzina prenosa i obrade podataka, izbor elektronskih proizvoda, gustina kablovskih mreža sa metalnim provodnicima, što doprinosi povećanju problema koji se odnose na EM uticaj.

Tehnički problemi koji se javljaju u vezi sa EM uticajem mogu se posmatrati kao:

— pojava elektromagnetnih smetnji (EMS) koje ugrožavaju kompatibilnost posmatranog elektronskog sredstva u neposrednom okruženju,

— pojava elektromagnetnih zračenja (EMZ) koja su štetna po zdravlje ljudi (posebno zračenja u mikrotalasnom EM spektru),

— pojava informacionih (parazitnih) elektromagnetnih zračenja (IEMZ) preko kojih neželjeno mogu oticati informacije koje se prenose i obrađuju u uređajima ili sistemima.

Pojava EM smetnji obuhvata dve vrste smetnji: izračene EMS (polje EMS) i konduktivne EMS. Nivoi ovih EMS definišu se međunarodnim i nacionalnim standardima (IEC, JUS, MIL, SNO i dr.).

Pojava informacionih elektromagnetnih zračenja intenzivno se izučava u svetu, ali se rezultati tih istraživanja čuvaju u najvećoj tajnosti i javno se ne publikuju. Zahtevi za IEMZ obično se postavljaju za opremu koja se koristi u funkcionalnim sistemima, ali se sve više postavljaju ovi zahtevi i za opremu druge primene. Energija takvog zračenja u direktnoj je vezi sa podacima koji se obrađuju i prenose sistemima. Rezultujući EM talasi takvog zračenja mogu biti nosioci poverljivih podataka koji se mogu dekodovati i analizirati, kako u lokalnu, tako i sa određenog rastojanja. Ovi talasi mogu u originalnim podacima prouzrokovati greške, bilo superponiranjem sa drugim podacima ili brisanjem kompletnih podataka. To se koristi u oblasti tzv. »industrijske i druge špijunaže« kada se EM talasi, koji sadrže podatke nad kojima se obavlja neka obrada, mogu detektovati i zabeležiti pomoću vrlo osetljivih prijemnika. Zbog toga treba izvršiti određenu zaštitu od ovih zračenja. Čak i kada se ovakvo zračenje ne može u potpunosti sprečiti, ono se, ipak, primenom određenih mera zaštite, u znatnoj meri može smanjiti.

Iako su zahtevi za dozvoljene nivoe zračenja (EMS, EMZ i IEMZ) međusobno različiti, blokiranjem jednog tipa smetnji, odnosno zračenja, blokiraju se u određenoj meri i ostala zračenja. Podela neželjenog elektromagnetnog zračenja na EMS, EMZ i IEMZ izvršena je prema efektima koje konkretno zračenje može izazvati. S obzirom na područje koje ta zračenja zauzimaju u EM spektru, korektnije je reći da se radi o radio-frekvencijskim smetnjama (RFS). Ovako definisane RFS predstavljaju EM energiju koja izaziva neželjene posledice (ugrožava-

nje kompatibilnosti, štetnost po zdravlje, oticanje informacija).

Problemi elektromagnetnog uticaja mogu se razvrstati u:

— probleme u vezi sa bezbednošću podataka (TEMPEST) koji se odnose na prijem, analizu i dekodovanje signala uticaja,

— probleme zaštite od uticaja, koja obuhvata zaštitu od oštećenja usled električnog uticaja i zaštitu od korišćenja električnog uticaja u špijunske svrhe.

Merenje EM uticaja obavlja se raznim metodama merenja i analize osetljivosti opreme koja se ispituje u odnosu na njenu izdržljivost na EM uticaj. Postoje dve kategorije merenja:

— merenje reakcije opreme na elektromagnetno okruženje,

— merenje elektromagnetnog zagađenja prouzrokovanog opremom koja je u radu.

Merenje prve kategorije sastoji se u detekciji nivoa određenih parametara (frekvencija, amplituda, emitovana snaga), koji dovode do nepravilnosti u radu ispitivanog sredstva ili, čak, prouzrokuju oštećenja na ispitivanoj opremi. Ova merenja zasnovana su na utvrđivanju stanja ispitivanog sredstva posle njegovog izlaganja tim uticajima (merenje imunosti).

Druga grupa merenja sastoji se u određivanju određenih parametara (frekvencija, amplituda, emitovana snaga) koje proizvodi ispitivano sredstvo (EM smetnje).

U obe grupe vrše se merenja nivoa konduktivnih sprega i nivoa zračenog EM polja.

Problemi u vezi s bezbednošću podataka nastaju usled pojave industrijskog EM uticaja, pa postoji potreba za zaštitom od takvog uticaja. Bezbednost sistema (telekomunikacionih i računar-

skih) u kojima se vrši prenos i obrada informacija predstavlja pitanje stepena poverenja u podatke koji se prenose ili obrađuju u takvim sistemima. Bezbednost se može sagledati sa više različitih aspekata, i to kao: fizička bezbednost opreme, bezbednost primenjenog softvera i bezbednost primenjenih kodova. Poseban aspekt u pogledu bezbednosti jeste zaštita od oticanja podataka («curenje» podataka) koja, ako nije pravilno projektovana, ima za posledicu emitovanje parazitnog zračenja, pre provođenja zaštitnog kodovanja. Ovo zračenje se može detektovati direktno ili indirektno, ili se može primiti konduktivnim putem. Podaci do kojih se dolazi na ovaj način mogu biti nenamenski upotrebljeni, što predstavlja nedozvoljeni pristup poverljivim informacijama. Za prijem, merenje i analizu podataka koje generiše, prenosi i obrađuje telekomunikaciona i računarska oprema koriste se specijalni, vrlo osetljivi merni prijemnici, tzv. prijemnici TEMPEST. Ovaj problem postoji i u analognim i u digitalnim sistemima.

Nivoi EM uticaja, koji potiču od računara i telekomunikacionih sistema, čak iako veoma mali, još uvek su dovoljno visoki da bi se mogli detektovati prijemnicima TEMPEST. Ako se prijemnik poveže sa dodatnom opremom može se analizirati sadržaj signala, uz odgovarajuća upoređivanja sa referentnim signalom. Ukoliko se na ovakav način zaključi da dolazi do oticanja sadržaja poverljivih podataka, potrebno je izvršiti odgovarajuću zaštitu. Oprema kojom se obavljaju ovakva ispitivanja i analize uglavnom je programabilna, što pojednostavljuje proces ispitivanja, a ako se takva analiza obavlja u špijunske svrhe to znači da se celokupan proces može pratiti u realnom vremenu.

Zaštitne mere kojima se nastoji sprečiti ili umanjiti EM uticaj, radi povećanja bezbednosti podataka koji se

obrađuju i prenose određenim sistemom, provode se na hardveru ili pomoću dodatnih hardverskih zahvata. Normalni postupak jeste definisanje različitih nivoa potrebne zaštite ili prihvatljivih nivoa osetljivosti za konkretnu opremu, što se obavlja još u fazi projektovanja opreme. Na nesreću, ponekad iz tehničkih, a ponekad iz komercijalnih razloga, ovaj postupak se, u mnogim slučajevima, primenjuje nedovoljno i neadekvatno.

Ako se dovoljno pažnje pokloni »oklapanju« u fazi projektovanja, moraju se primeniti kompenzacione mere protiv EM uticaja na koji je oprema osetljiva i to dodavanjem zaštitnih naprava u vidu filtera, zaklona (zaštitne rešetke), oklapanjem kablova ili primenom optičkih kablova, koji su kao prenosni medijum imuni na ovakav uticaj. U mnogim se slučajevima zadovoljavajuća zaštita postiže kombinovanjem raznih vrsta mera: oklapanjem radi sprečavanja oticanja signala koji mogu biti emitovani u vidu EM polja i filtriranjem radi sprečavanja oticanja podataka konduktivnim putem. Tako, na primer, za prenosne sisteme sa standardizovanim karakteristikama postoje i standardizovani filtri TEMPEST. Ovi filtri za frekvencije 50 Hz i 400 Hz, koji se koriste u sistemima za napajanje, stvaraju veoma male padove napona i obezbeđuju gušenje od preko 100 dB za signale EM uticaja u frekventnom opsegu od 10 kHz do 10 GHz. Ovakvi filtri postoje za struje napajanja od 16, 32, 64 i 100 A, a mogu se upotrebiti na bilo kojoj opremi koja zahteva zaštitu, ali se prethodno mora znati kolika je njena potrošnja da bi se odabrao adekvatan filter. Filtri TEMPEST koji se koriste u telefonskim sistemima od 0 do 4000 Hz, obezbeđuju gušenje od preko 100 dB za signale EM uticaja iz frekventnog opsega 10 kHz do 10 GHz.

Osetljivost na elektromagnetne smetnje

Da bi se mogla provesti analiza smetnji koje deluju na neki sistem koji prenosi poruku u vidu električnog signala potrebne su odgovarajuće definicije kvaliteta i osetljivosti na smetnje. Kaže se da su smetnje prešle dozvoljenu vrednost ako je kvalitet sistema pao ispod neke dozvoljene vrednosti.

Pri prenosu analognih signala važna je verna reprodukcija talasnog oblika. Kao mera kvaliteta uzima se srednja vrednost kvadrata odstupanja primljenog od predatog signala. Tu statističku veličinu moguće je izraziti odnosom spektralne gustoće snage signala i smetnje, pa je time definisan kvalitet prenesene poruke (odnos signal-šum S/N).

Pri prenosu digitalnih signala važno je da li signal postoji ili ne postoji, dok talasni oblik primljenog impulsa nije bitan, jer se u prijemu redovno koriguje. U tom slučaju svrsishodna je mera kvaliteta verovatnoće greške, tj. broj pogrešno primljenih impulsa u odnosu na broj poslanih (BER).

Ako se želi prikazati osetljivost analognih i digitalnih sistema na smetnje, kvalitet (odnos snage signala prema smetnji za analogne, odnosno verovatnoća greške za digitalne sisteme) treba izraziti kao funkciju nivoa smetnji. Na slici 1 prikazan je tipičan slučaj analognog i digitalnog sistema.

Sl. 1

Sa slike se vidi da digitalni sistemi rade sa zadovoljavajućim kvalitetom kod viših nivoa smetnji nego analogni. Međutim, razlika nivoa između minimalnog kvaliteta (tačka B) i prekida rada (tačka C) manja je kod digitalnih u odnosu na analogne sisteme.

Kada izvorna poruka nije električni signal (već akustički ili svetlosni), kao kod komunikacionih sistema, posebno je teško definisati kvalitet i osetljivost na smetnje, jer poruke izvršavaju u svesti čoveka. Mera kvaliteta mora da sadrži kvantitativan iskaz o kvalitetu kojim komunikacioni sistem reprodukuje poslatu poruku. Ona treba da odgovara subjektivnom pojmu o kvalitetu reprodukcije primljene poruke. Model komunikacionog sistema mora, dakle, da sadrži i psihofizički proces percepcije poruke koji može da zavisi i od sadržaja poruke. Na primer, za hitne intervencije policije, vatrogasaca ili hitne pomoći bitna je razumljivost govora, dok je za slušanje muzike važan estetski doživljaj. Zbog svoje redundancije govor je daleko manje osetljiv na smetnje od muzike. Iako televizijska slika ima veliku redundanciju, jer se signali dva uzastopna reda ili poluslika međusobno vrlo malo razlikuju, ipak je prijem televizijske slike vrlo osetljiv na smetnje, budući da je i ovde bitan estetski momenat.

Bez obzira na vrstu prenosa poruka, preterano bi bilo zahtevati da nivo smetnji u jednom dužem vremenskom periodu nikada ne pređe iznos koji odgovara minimalnom kvalitetu. Zbog ekonomičnosti je potrebno da se za jedan, makar i mali postotak vremena, dozvoli da sistem bude ispod minimalnog kvaliteta. Za pojedine vrste poruka (govor, merne veličine u analognom i digitalnom obliku, podaci, slike, upravljački signali, itd.), taj postotak vremena i dozvoljeni nivo smetnji biće različiti, bez obzira na to da li se prenose u osnovnom pojasu ili kao modulirani signali. Zbog toga je potrebno poznavati statistiku smetnji. Najsvrsishodnija veličina koja povezuje vreme

i trenutnu amplitudu smetnje jeste verovatnoća prekoračenja, koja pokazuje koliki se deo vremena (obično u %), unutar jednog dužeg perioda, amplituda signala smetnje nalazi iznad određene vrednosti. Za neku opštu vremensku funkciju $e(t)$ to je prikazano na slici 2.

Sl. 2

Verovatnoća da je smetnja veća od E dobija se iz jednačine:

$$v_p(E) = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^N \Delta t_n$$

U statistici se verovatnoća prekoračenja može dobiti ili iz funkcije distribucije Φ ili pomoću verovatnoće $v(e)$ iz sledećeg izraza:

$$v_p(E) = 1 - \Phi(E) = \int_E^{\infty} v(e) de$$

Bez obzira na način na koji se dolazi do verovatnoće prekoračenja — da li teorijski ili eksperimentalno, ona predstavlja ključnu veličinu pri utvrđivanju dozvoljenog nivoa smetnji, odnosno njenog uticaja na kvalitet prenesene poruke.

Kod komunikacionih sistema kojima se prenosi govor kao mera kvalite-

ta uzima se razumljivost. Merenje se izvodi tako da jedna izvežbana osoba polako i razgovetno izgovara slogove ili reči bez povezanog sadržaja. Slogovi ili reči mogu biti snimljeni i na magnetofonskoj traci. Ovako poslat govor se prima, ali se na određenom mestu u sistemu dodaje smetnja. Za sva-

ki nivo smetnje određuje se postotak ispravno primljenih slogova ili reči, pa se dobije razumljivost kao funkcija nivoa smetnji. Kao granica ispravnog rada redovno se uzima razumljivost od 90%. Međutim, za manje kvalitetne sisteme može se odabrati i niža granica. To ne znači da prenos neće biti moguć, nego samo da se neke reči moraju ponavljati, odnosno da slušalac mora pažljivo pratiti poruku koju je moguće shvatiti i iz neke pogrešno primljene reči, zbog redundancije govora.

Pri prenosu slike, bilo da se radi o televizijskoj emisiji, faksimilu ili videotelefonu, mogu nastupiti vrlo različite smetnje koje ne deluju jednako na subjektivnu ocenu kvaliteta reprodukcije. Ovde je mnogo teže nego kod govora dobiti meru kvaliteta. Ispitivanja se obavljaju sa većim brojem osoba koje subjektivno ocenjuju sliku ocenama (npr. odlična, vrlo dobra, dobra, granična i neupotrebljiva). Na određ-

nom mestu u sistemu ubacuje se smetnja promenljivog nivoa. Za svaki nivo smetnje izvodi se subjektivno ocenjivanje ocenama, pa se utvrđuje koliko posto osoba je pri određenom nivou smetnji prihvatilo tu ocenu. Kao minimalni kvalitet uzima se npr. ona slika za koju je 50% osoba izjavilo da je granična, a time je određen i dozvoljeni nivo smetnje. Za različite tipove smetnji dobijaju se i različiti dozvoljeni nivoi smetnji, jer subjektivni utisak zavisi od tipa smetnje.

Zaključak

Svi elektronski uređaji koji u bilo kom obliku reaguju na EM energiju mogu biti ometani u svojoj osnovnoj funkciji.

Dobro poznavanje pojava u elektromagnetnim sistemima i veze između korisnih i parazitnih signala važno je ne samo za ispravan rad pojedinih vrsta uređaja nego je često od prvorazrednog značaja za tajnost prenosa i obrade informacija u komunikacionim i računarskim sistemima.

Proučavanje EM pojava u sistemima na korisnim i parazitnim frekvencijama, kao i postupci koji osiguravaju elektromagnetnu kompatibilnost, mogu vrlo dobro poslužiti i za izvođenje mera zaštite tajnosti poruka u fazi projektovanja i proizvodnje ili na već gotovim uređajima i sistemima.

Svaki elektronski uređaj koji služi za prenos i obradu informacija može biti izvor EM smetnji, koje mogu uticati na rad drugih uređaja u okolini, ili mogu predstavljati način za oticanje informacija koje se u sistemu prenose i obrađuju. Zato se pri projektovanju i realizaciji ovakvih sistema mora voditi računa o nivou EM zračenja. To je vrlo opasno u računarskim sistemima, jer se rekonstrukcija slike sa video displej jedinice može vršiti i sa udaljenosti od nekoliko stotina metara [2]. Ova rekonstrukcija može se obavljati i pomoću neprofesionalne opreme, tj. pomoću običnog TV prijemnika, uz dodatnu sinhronizaciju radi stabilizovanja slike. Primenom profesionalne opreme za detekciju i dešifrovanje, ovaj efekat može biti i poražavajući. Ukoliko se primeni oklapanje, efekti prisluškivanja mogu se umanjiti, ali to povećava cenu uređaja za 2 do 4 puta.

Nivoi zračenja elektronskih uređaja mogu se smanjiti ukoliko se koriste digitalna kola one brzine koja je potrebna za normalan rad, i ako se pri konstrukciji uređaja izbegava pravljenje velikih petlji. Postoji čitav niz i drugih jednostavnih postupaka za povećanje stepena elektromagnetske kompatibilnosti telekomunikacionih i računarskih uređaja i sistema u kojima se obrađuju i prenose informacije, kao što su oklapanje, uzemljenje i filtriranje.

Stepen elektromagnetne kompatibilnosti uređaja i sistema jednako je važan kao i ostale funkcionalne karakteristike.

Literatura:

- [1] Win van Eck: Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eavesdropping Risk?, Computers & Security 4, 269—286, B. V. (North Holland), 1985.
- [2] Donald, R. J. White: Electromagnetic interference and compatibility, vol. 5, Don White Consultants, Inc. 1973.

- [3] Jevtović, M.: Neka iskustva u blokiranju elektromagnetskih smetnji na video terminalima, Telekomunikacije br. 1, 1993.