

ИСПИТИВАЊЕ ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКЕ КОМПАТИБИЛНОСТИ

Потпуковник др *Александар Ковачевић*, дипл.инж

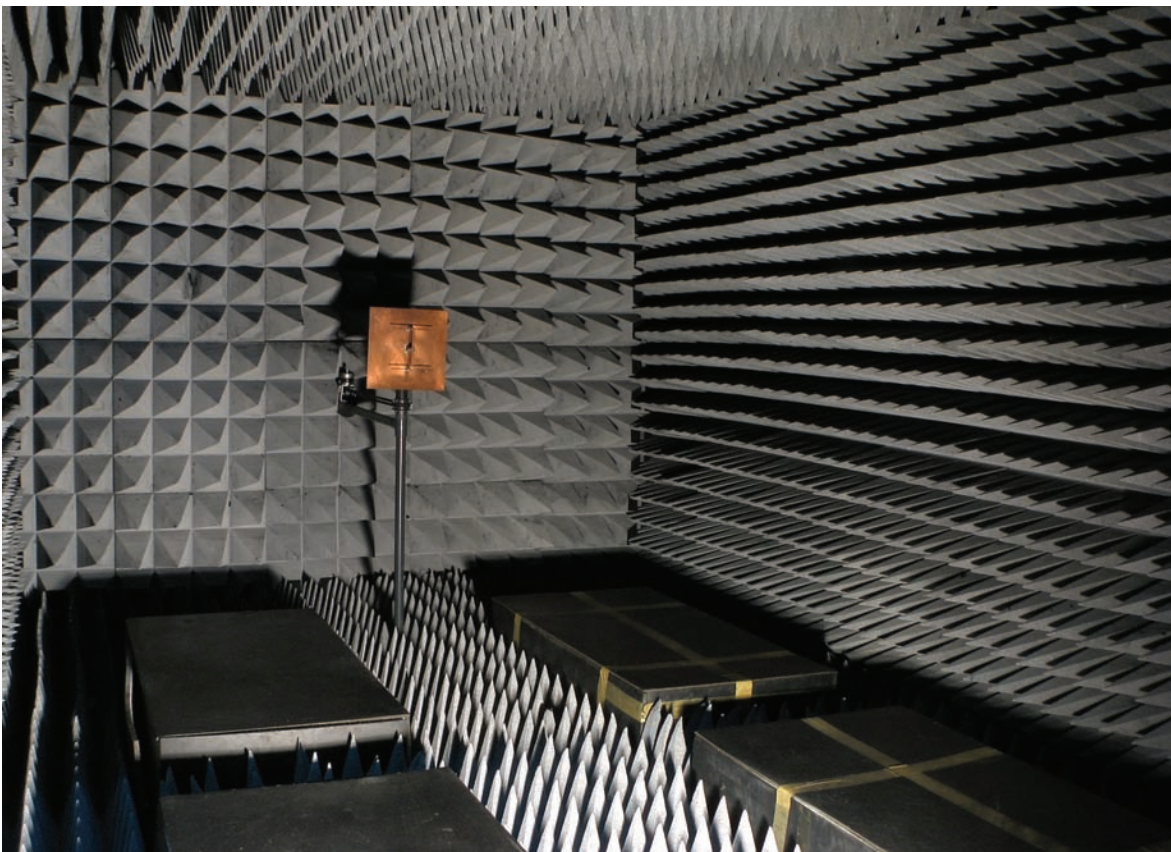


У раду је приказан општи приступ решавању проблема електромагнетске компатибилности (EMC – Electromagnetic Compatibility), као и извори електромагнетских сметњи (EMI) и механизми њиховог деловања. У другом делу рада наведени су неки стандарди и методологија мерења електромагнетских сметњи.

*Аутор ради у Техничком опитном центру

Многобројне импулсне и континуалне електромагнетске сметње (EM сметње) карактеристичне су за електромагнетску околину савремених уређаја и система. При томе, електромагнетска околина представља свеукупност елек-

тромагнетских појава које постоје на једном месту. Познато је да дигитални уређаји користе импулсе које сачињавају бинарни бројеви 0 или 1. Време прелаза импулса из стања 0 у стање 1 и обратно је, можда, најважнији фактор за одређивање спектрал-



ног садржаја импулса. Брза (кратка) прелазна времена генеришу шири опсег фреквенција од споријих (дужих) прелазних времена. Спектрални садржај дигиталних уређаја, уопште, заузима широк опсег фреквенција, који, такође, може изазвати сметње код електричних и електронских уређаја. Светлосно пражњење (муња) богато је фреквенцијским компонентама, где неке од њих могу проћи кроз улазни филтар радија, изазивајући шум који се онда суперпонира са жељеним сигналом. Понекад, услед овог пражњења, радио не може да се подеси на поједине предајне фреквенције у пријему, тако да прима нежељени сигнал. Овде се ради о сметњама које су створене у тзв. намерним пријемницима (уређаји чија је намена пријем сигнала). Међутим, постоје и тзв. ненамерни пријемници, као, на пример, рачунари. Наиме, један снажан предајник од FM радио или TV станице може код рачунара изазвати пре-

кид у преносу података или неке контролне функције. Исто тако, рачунари могу створити такву емисију која ће у пару са TV пријемником створити сметње. У таквим условима један од проблема са којима се ови уређаји и системи суочавају је електромагнетска компатибилност (ЕМС).

Електромагнетска компатибилност (ЕМС)

С обзиром на то да су први рецептори сметњи били радио-пријемници, у стручним часописима се, око 1920. године, први пут појављује термин радио-фреквенцијско сметање (RFI – Radio Frequency Interference). Радио-фреквенцијско сметање представља погоршање пријема корисног сигнала проузроковано радио-фреквенцијским сметњама. Радио-фреквенцијска сметња је електромагнетска сметња која



има компоненте у радио- фреквенцијском опсегу. Како се израз *radio frequency interference* обично примењује на радио-фреквенцијску сметњу или нежељени сигнал, то ћемо у даљем тексту користити израз радио-фреквенцијска сметња или само радио-сметња. Радио-сметње од електричних уређаја, као што су електрични мотори, или електричне локомотиве, стварали су велике проблеме још 30-их година прошлог века. Један од првих случајева забележила је Федерална ваздухопловна агенција САД-а 1927. године. Учено је да висиномер авиона даје погрешне податке, а узрок су биле сметње које су потицале од система за паљење мотора.

Развојем електронике и појавом све већег броја корисника радио-фреквенцијског спектра (фреквенције од 100 kHz до 300 GHz), настао је проблем њиховог међусобног ненамерног ометања. У исто време, јавила се и потреба да се уместо термина радио- фреквенцијско сметање користи нови термин електромагнетско сметање (EMI – *Electromagnetic Interference*). Установљено је да електромагнетско сметање прекрива и делове спектра који се не користе у радио-комуникацијама, нпр. подручје веома ниских фреквенција (VLF – *Very Low Frequency*), од 3 kHz до 30 kHz, или екстремно ниских фреквенција (ELF – *Extremely Low Frequency*), од 30 Hz до 3000 Hz. Иначе, електромагнетско сметање представља погоршање рада (перформанси) опреме, преносног канала или система проузроковано електромагнетским сметњама (*electromagnetic disturbance*). Како се у енглеском језику термини *interference* и *disturbance* често користе без разликовања, то ћемо ми под појмом електромагнетско сметање подразумевати електромагнетске сметње. При томе, електромагнетска сметња је свака електромагнетска појава која може погоршати перформансе уређаја, апарата или система, или неповољно утицати на живу или неживу материју. Електромагнетска сметња може бити електромагнетски шум, нежељени сигнал или промена у самој средини простирања.

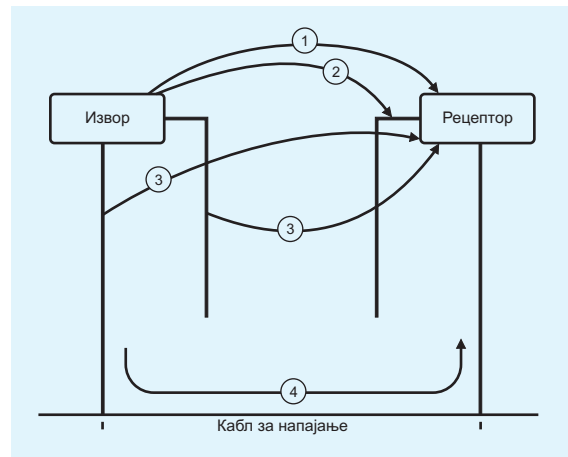
На слици 1 приказани су различити механизми деловања електромагнетских сметњи од њеног извора до рецептора. Ти механизми могу бити следећи:

- непосредно зрачење од извора до рецептора (путања 1),
- непосредно зрачење од извора до рецептора, примљено провођењем преко каблова за напајање, каблова

за контролу или каблова за пренос сигнала (путања 2),

- електромагнетска сметња извора израчена преко каблова за напајање, контролу или пренос сигнала (путања 3),
- електромагнетска сметња настала непосредним провођењем од њеног извора до рецептора, преко заједничких заштитних водова дистрибутивне мреже или заједничких каблова за пренос сигнала/контролу (путања 4),
- електромагнетска сметња пренешена кабловима за напајање, контролу или пренос сигнала прикључених на извор, који могу бити упарени са истим тим кабловима рецептора, посебно када је кабл спрегнут и уснопљен (тако да сметња допире до рецептора провођењем, исто као кад не би постојали заједнички заштитни каблови за напајање, односно заједнички каблови за пренос сигнала/контролу).

При томе, рецептор може бити уређај, опрема или систем.



Слика 1– Механизми деловања електромагнетских сметњи

Дакле, примарни механизми деловања електромагнетске сметње од извора према рецептору су: зрачење (*radiation*) и провођење (*conduction*).

Електромагнетска сметња која потиче од једног њеног извора или више извора може утицати на рецептор да он не ради задовољавајуће. Рецептор постаје жртва када је јачина електромагнетске сметње изнад дозвољених граница. Електромагнетска компатибилност (ЕМС) представља способност рецептора (уређаја, апарата или система) да задовољавајуће функционише у својој електромагнетској околини и да при томе сам не ствара недопустиве

электромагнетске сметње било чему што се налази у тој околини.

Извори електромагнетских сметњи

Извори електромагнетских сметњи деле се на природне и оне које узрокује човек. Природни извори су, на пример, Сунце и звезде. Неке од појава које они изазивају познате су као атмосферска и електростатичка пражњења. Тако, на пример, удар грома може произвести много више енергије него што се раније мислило да је вероватно. „Типични“ удар грома може носити близу 3×10^9 kW на приближно 125×10^6 V, са просечном струјом већом од 20 kA. При томе, гром проузрокује изузетно снажне транзијенте (прелазни режими) на системима за пренос електричне енергије, било да је директни удар или удар негде у близини. У већини случајева, ударом грома индуковани импулси на локалним водовима за напајање електричном енергијом проузрокују штету на осетљивој опреми.

Електростатичко пражњење је природна појава при којој долази до пражњења акумулираног статичког електричног оптерећења (наелектрисања). Ово пражњење изазива електромагнетске сметње (EMI). Иначе, статички електрицитет настаје када се два материјала различитих диелектричних константи, на пример вуна и стакло, трљају један о други. Исто тако, људски одевни материјали набијени електрицитетом, услед загревања које потиче од људског тела, или у додиру са другим телом, такође могу довести до електростатичког пражњења. Капацитивност људског тела зависи од његове величине и активности, тј. Од тога да ли човек седи, стоји или се креће. У најгорем случају, изолациони материјал високе отпорности, ниска релативна влажност ваздуха и енергично кретање, могу изазвати потенцијал и до 25 kV. Потенцијал оптерећења већи од овога има тенденцију ограничења преко корона ефекта. У већем броју типичних случајева напон варира између 2 kV и 8 kV. Ове појаве узрокују краткотрајне напонске импулсе високе амплитуде, реда наносекунде или микросекунде, довољне да поремете рад електронских кола, а у неким случајевима имају довољно енергије да оштете или униште поједине компоненте кола.

Људско тело је природни извор електричног и магнетског поља. Тело користи електрохемијске сигнале за контролу по-

крета мишића и пренос информација од једног дела тела до другог. Тако, на пример, електрокардиограм (ЕКГ) приказује функционисање човечијег срца. Типични ЕКГ сигнали имају вредности пика од око 1 mV са брзином понављања од 45 до 150 откуцаја у минути. Електрични сигнали који потичу од ћелије мозга могу се констатовати помоћу електроенцефалограма (EEG). Типични EEG сигнали су око 30-50 mV са алфа ритмом од око 10 Hz.

С друге стране, електромагнетске сметње настају, такође, коришћењем различитих електричних, електронских и електромеханичких уређаја. Сви ови уређаји су *производи које је направио човек*. У последњих шездесетак година користи се велики број разноврсних апарата и уређаја које је створио човек и за које је установљено да стварају електромагнетске сметње. Коришћење *полупроводнич-*



ких уређаја и технологије са високо интегрисаним колима омогућило је моделовање кола и система са нижим нивоима напајања, као и веома малим нивоима сигнала. Ови уређаји и електрична кола имају знатно ниже нивое толеранције на ЕМИ, што утиче на њихову имуност на сметње. Тако, неки дојучерашњи искључиви извори сметњи постали су потенцијалне жртве сметњи. При томе, неки од њих су извори сметњи, други су потенцијални рецептори, а трећи и једно и друго.

Високонапонски водови за пренос енергије (далеководи) јесу извори електричног и магнетског поља у њиховој непосредној околини. Сваки далековод има напон изнад 100 kV и струју већу од 100 А. Познато је да интензитет јачине електричног поља не делује само директно испод водова далековода већ и на неком растојању од њихове централне линије. Тако, на

пример, за један далеководни систем од 420 kV, интензитет електричног поља на неком растојању од његове централне линије износи од 5 kV/m до 6 kV/m. Висока јачина електричног и магнетског поља постоји, такође, и у непосредној околини *комуникационих станица веома ниских фреквенција (ELF)*. Тако висока јачина поља може довести до ненамерног активирања или експлозије електроексплозивних уређаја, што може имати за последицу зрачење опасно по људско здравље.

Отворени вод дистрибутивне мреже лако прима електромагнетске шумове од муње и грмљавине. Такође, дистрибутивна мрежа у индустријском или кућном окружењу преноси транзијенте (прелазни режими) који су резултат рада прекидача, прекидачких кола, главних преклопника, итд. Ове сметње (транзијенти) јесу довољно јаке да утичу на рад рачунара или дру-



ге опреме информационе технологије (ITE – Information Technology Equipment). Да би се то спречило, било је неопходно предузети опсежне мере предострожности у пројектовању и инсталирању напојних јединица за рачунарске уређаје.

Електрично пражњење прекидача или релеја (услед прекидачког рада) могу изазвати електромагнетске сметње, тзв. *рафалне сметње*, у телефонским колима или уређајима за контролу. Електромагнетске сметње су врло озбиљан проблем у телефонским колима, радио-телескопима и другим високоосетљивим уређајима за контролу и даљинско управљање, јер се ради о веома ниским нивоима сигнала. Због тога, јачина електричног поља близу телефонских уређаја (јачина поља амбијента), смештених у јавним телефонским централама, мора бити ограничена до 1 V/m (120 dBmV/m). Међутим, многе студије у свету показале су да велики проценат јавних телефонских централа имају ниво јачине поља амбијента који знатно прелази овај праг. *Радио и ТВ предајници, радар и навигациона средства, предајници за мобилну телефонију, фабрике електроиндустрије и др.*, представљају, такође, изворе у једној електромагнетској околини. При томе, граничне вредности ЕМI се користе за пројектовање, инсталацију и рад наведених уређаја. На пример, у војним ваздухопловним системима, укључујући и ракетне лансере, систем електромагнетске компатибилности има исти степен важности као и поузданост.

За различите уређаје различити су и параметри који утичу на ЕМС. Тако, на пример, код предајника су то: излазна снага, фреквенција, ширина опсега, зрачења изван опсега рада, споредна (лажна) зрачења, а код пријемника: осетљивост, селективност, споредна пригушења, пригушења суседног канала, итд. Познато је да различити предајници врше електромагнетско зрачење и изван свог опсега рада. Свако зрачење је, иначе, резултат модулационог рада. Такође, највећи број предајника емитује електромагнетску енергију у виду споредног зрачења на фреквенцијама изван свог опсега рада. Ова споредна зрачења обухватају: зрачења хармоника, паразитна зрачења, продукте интермодулације и конверзије фреквенције. Практично, зрачења изван опсега рада предајника, као и његова споредна зрачења, резултат су рада предајника у проширеном опсегу. За разлику од зрачења изван опсега рада предајника, ниво споредних зрачења може бити смањен приликом пројектовања уређаја

ја, при чему треба водити рачуна да се не наруши пренос информација.

Стандарди у области испитивања електромагнетске компатибилности

Брз развој и примена средстава и система за комуникацију, информационе технологије, као и система за производњу, пренос и дистрибуцију електричне енергије, довео је до високог пораста нивоа електромагнетских сметњи (вештачки извори), које покривају фреквенцијско подручје од неколико десетина херца до неколико стотина гигахерца. Како је фреквенцијски спектар природни, ограничени ресурс који припада читавом човечанству, то је овај проблем захтевао детаљније разматрање кроз техничке, административне, економске и социјалне захтеве. Да би се коришћење фреквенцијског ресурса ускладило са интересима појединих земаља, како са становишта корисника тако и са становишта произвођача, основане су бројне међународне и националне организације које се баве проучавањем електромагнетских сметњи.

Од међународних организација најзначајније су: Међународна електротехничка комисија IEC, Међународни саветодавни комитет за радио-везе CCIR и Специјални међународни комитет за радио-сметње CISPR. Поред наведених организација, треба навести и Међународну организацију за стандардизацију ISO која представља светску федерацију националних институција за стандардизацију. Иначе, ISO уско сарађује са IEC у вези са свим питањима стандардизације у области електротехнике.

Из дугогодишњег рада поменутих и других бројних међународних и националних организација, произашао је велики број стандарда опште намене кроз које се решавају наведени проблеми са техничко-административног аспекта. Према Закону о стандардизацији, сваки произвођач дужан је да пре стављања производа у промет провери да ли он одговара одређеном техничком пропису, под условима и на начин утврђеним овим законом. Ова обавеза се односи и на увозника, односно заступника стране фирме при продаји робе са консигнационог складишта. У САД још од 80-их година постоји обавеза да, поред војног сектора, и цивилни сектор води рачуна о заштити опреме од електромагнетских утицаја околине (пре свега



опреме у електроенергетским системима, поштама, железници и др.).

У свету постоје многобројни цивилни и војни стандарди за EMC карактеристике уређаја, опреме и система. Најпознатији национални стандарди по којима се врше испитивања производа на EMC су стандарди FCC (Federal Communications Commission), VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) и BS (British Standard). Поред тога, постоје и стандарди које доносе међународне организације CISPR, IEC и др., од којих треба навести CISPR, EN и IEC стандарде.

Најпознатији војни стандарди из области испитивања EMC су MIL стандарди који се користе за испитивање EMC карактеристика електричних, електромеханичких и електронских уређаја и подсистема које развија или набавља америчка војска. При томе, MIL стандарди се односе на захтеве (MIL-STD-461), методе мерења (MIL-STD-462) и термине и дефиниције (MIL-STD-463).

Ови стандарди су по први пут на целовит начин приказали проблематику EMC. Вођено је рачуна не само о нивоима сметњи (паразитна електромагнетска енергија) које уређаји одају путем водова (conducted emissions) и зрачења (radiated emissions) већ и о њиховој осетљивости на спољне смет-

ње које долазе путем водова (conducted susceptibility) или путем електромагнетског поља (radiated susceptibility). При томе, електромагнетска суспектибилност је неспособност уређаја, опреме или система да без погоршања раде у присуству електромагнетске сметње. У ствари, суспектибилност је недостатак имуности. С друге стране, имуност је способност уређаја, опреме или система да без погоршања раде у присуству електромагнетске сметње. Релативно честе допуне и измене ових стандарда, посебно стандарда који се односе на захтеве, одраз су брзе промене технологија примењених у изради нових средстава и њихове све веће сложености. Наиме, строгост захтева зависи не само од врсте уређаја већ и од микролокације где ће бити уграђени (тенк, хеликоптер, авион, брод и сл.). У новije време, овим стандардима су обухваћени и захтеви за комерцијалне уређаје, чиме је регулисана све чешћа пракса коришћења појединих уређаја опште намене у системима посебне намене и обратно.

Крајем 80-их година прошлог века, у тадашњој ЈНА изашли су стандарди народне одбране (СНО): СНО 1029/89, СНО 1762/89 и СНО 4077/89. Стандард СНО 1029/89 израђен је на основу MIL-STD-461В и представља захтеве којима се утврђују: граничне вредности за дозвољени ниво

електромагнетских сметњи (ЕМ сметњи) и граничне вредности за потребан ниво имуности на ЕМ сметње за електронска, електрична и електромеханичка средства наоружања и војне опреме (НВО). Стандард СНО 1762/89 израђен је на основу MIL-STD-462 и њиме се утврђују мерна средства и опрема, услови испитивања и методе мерења нивоа ЕМ сметњи и имуности (отпорности) на ЕМ сметње електронских, електричних и електромеханичких средстава НВО, према захтевима СНО 1029/89. Стандард СНО 4077/89 утврђује захтеве и методе испитивања карактеристика електромагнетске компатибилности (ЕМС) сложених средстава НВО (борбена и неборбена возила, летилице, пловни објекти, итд.) у која су уграђена електронска, електрична и електромеханичка средства НВО и њихов прибор.

Захтеви стандарда представљају минимум који се сматра неопходним да се обезбеди довољно велика вероватноћа да ће одређени подсистем или уређај, који испуњава ове захтеве, функционисати у оквирима пројектованих толеранција, када буде радио у својој предвиђеној електромагнетској околини.

Методологија мерења ЕМ сметњи

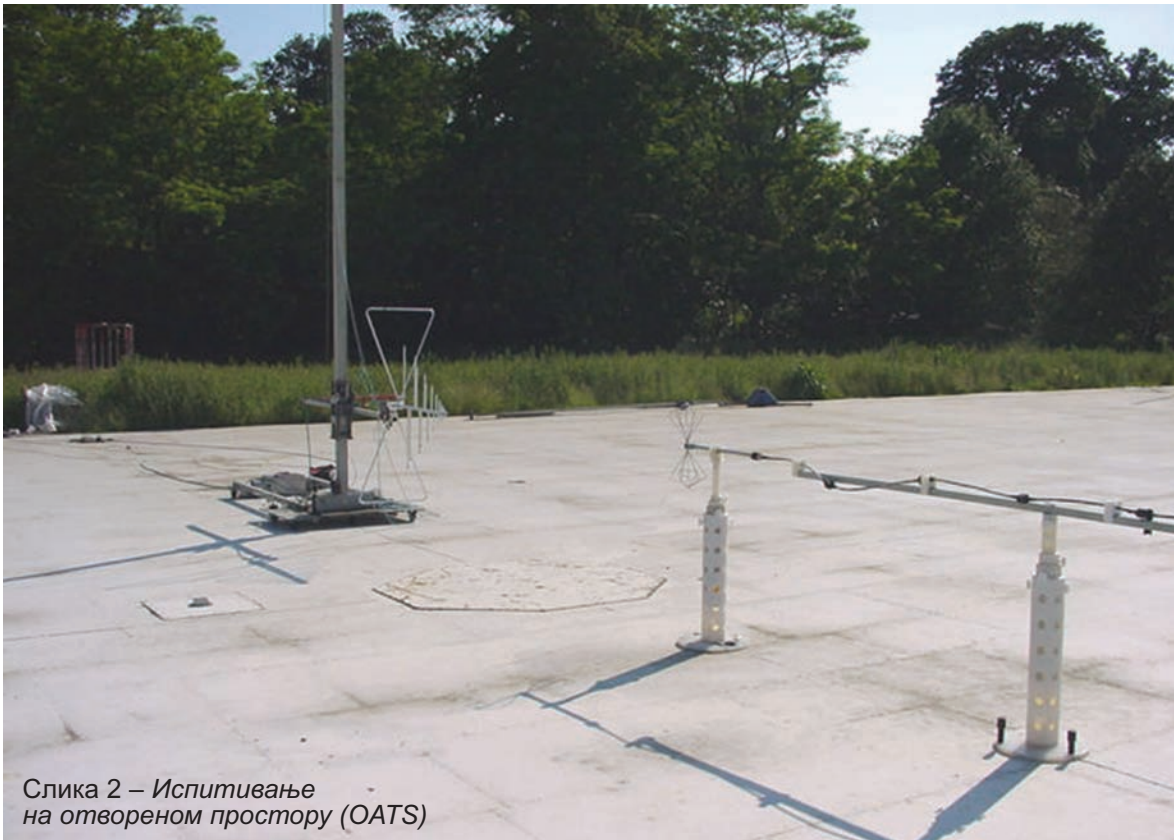
Методологија мерења обухвата припрему мерења и поступак мерења. При припреми мерења неопходно је изабрати испитно место, мерну опрему и прибор.

Испитно место

Испитно (мерно) место се користи за постављање испитиваног узорка, мерне опреме и прибора, ради испитивања ЕМ сметњи. У спровођењу ових испитивања неопходно је да ниво сметњи амбијента (околине) буде довољно низак, како би били сигурни да сметње долазе од испитиваног узорка, а не од неког другог извора. Томе треба додати и захтев да вршна вредност измереног нивоа електромагнетске околине треба да буде за 6 dB нижа од захтева које испитивани узорак треба да испуни. Због тога се више од 99% мерења спроводи у затвореним испитним местима – екранизованим просторијама (Фарадејев кавез, анехоиична и полуанехоиична соба).

Поред затворених испитних места, постоје и специјално адаптирана *отворена*





Слика 2 – Испитивање на отвореном простору (OATS)

испитна места. Када димензије испитивног сложеног средства посебне намене онемогућавају његов смештај у екранизованим просторијама, или смештај мерних антена на удаљеност најмање 1 m од зидова екранизованих просторија, или карактеристике испитиваног сложеног средства онемогућавају употребу екранизованих просторија, испитивање EMC може се обавити и на чистом равном терену. На слици 2 приказан је један отворен простор (OATS – Open Area Test Site), који представља покушај симулације полупростора ограниченог савршено проводном равни.

У овом случају испитивања треба обављати на местима и у време када електромагнетска средина не може утицати на резултате мерења. Практична конструкциона ограничења OATS-а су: коначна величина равне подлоге, неправилности површине подлоге, несавршена проводност подлоге и рефлектујући објекти у близини. Ограничење величине равне подлоге је неизбежно. При томе, типичан захтев је да подлога буде равна и без препрека у простору елипсе, са главном осом најмање два пута већом од хоризонталног мерног растојања и мањом осом најмање пута већом од мерног растојања. Генерално, електромагнетска средина (околина) временски је

зависна и њен опис може захтевати статистички приступ.

Међутим, за испитивање поља сметњи потребно је обезбедити врло велико слабљење испитног места. Овај захтев је могуће остварити само помоћу екранизоване просторије.

Екранизована просторија, или екранизована соба као што се понекад зове, користи се за мерење електричних карактеристика где је захтеван низак ниво електромагнетске околине или где мора бити задржано потенцијално зрачење. Главна предност екранизоване просторије састоји се у томе што се мерења EM сметњи обављају у простору који је RF изолован од спољашњег света. Њена употреба је значајна тамо где би мерење зрачења, због високог нивоа сметњи амбијента, обично било немогуће.

За потребе испитивања EMC средстава посебне намене (за потребе Војске Србије) користи се екранизована просторија – *Фарадејев кавез*. Поред тога, у новије време користи се и анехоична соба за мерења на 3 m. Фарадејев кавез је просторија са зидовима од металне мреже или лима, намењена за електромагнетско раздвајање унутрашње и спољашње околине. Његова употреба је проширена на



Слика 3 – Испитни простор у Фарадејевом кавезу

велики број апликација, као што је заштита радних људи близу веома снажних радарских положаја, поуздана заштита од извора RF зрачења и заштита осетљивих уређаја као што су био-медицински инструменти и компјутери.

Мерења у Фарадејевом кавезу врше се на 1 m растојања од средства, тако да се при мерењима за фреквенције испод 300 MHz ради о тзв. блиском пољу. Један од проблема испитивања у екранизованој просторији јесте да резултати испитивања зависе од међусобног положаја средства које се испитује и мерних антена.

На слици 3 приказан је испитни простор једног дводелног Фарадејевог кавеза.

Испитивање ефикасности електромагнетског оклапања врши се према стандарду MIL-STD-285. Ово испитивање своди се на мерење слабљења електромагнетског поља при преносу из унутрашњости собе у спољни простор, или обрнуто. При томе, дефинисан је избор фреквенције, врста мерења и мерних поступака. Према стандарду, ефикасност електромагнетског оклапања Фарадејевог кавеза који се користи за испитивање ЕМ сметњи треба да буде 80 dB у фреквенцијском опсегу испитивања. Исто тако, слабљење мрежног филтра на фреквенцијама изнад 15 kHz треба да буде 80 dB.

Мерна средства и опрема

За мерење EMC користе се мерни пријемници, комплет антена, струјне сонде (еквивалентна мрежа), сигнал-генератори, RF појачавачи, ослабљивачи (атенуатори) и др. На слици 4 приказан је мерни простор једног дводелног Фарадејевог кавеза. Мерни пријемници могу бити: *мерачи поља и/или анализатори спектра*. У комерцијалним стандардима или стандардима опште намене, у зависности од типа ЕМ сметњи, користе се три врсте детектора: детектор вршне вредности, детектор квазивршне вредности и детектор средње вредности. У војним стандардима користи се искључиво детектор вршне вредности.

Анализатори спектра су због своје могућности непосредног приказивања целокупног фреквенцијског мерног опсега нашли широку примену у многим развојним и испитним лабораторијама. Међутим, и поред наведене погодности, анализатори спектра имају извесна ограничења у односу на мераче поља, о чему треба водити рачуна уколико се желе тачна мерења.

Потенцијални проблеми примене анализатора спектра за мерење нивоа ЕМ сметњи су:

- недовољна осетљивост,
- рад улазних кола у области засићења,



Слика 4 – Мери простор у Фарадејевом кавезу

– генерисање продукта нелинеарних изобличења.

Сигнал-генератори и RF појачавачи користе се за потребе испитивања имуности на сметње када је потребно постићи одређени ниво поља или струје којим ће бити излаган испитивани уређај.

За мерење нивоа радијационих ЕМ сметњи користе се сензори за магнетско, електрично и електромагнетско поље. За мерење нивоа магнетског поља сметњи користе се рам или петља (loop) антена. За мерење нивоа електричног поља сметњи користе се следеће антене: *пасивна штап-антена* (поред пасивне антене, користи се и *активна штап-антена*), *биконусна антена* (понекад се користе и *резонантне дипол антене*), *конусна логаритамско-спирална (лог-спирална) антена* и *левак антена са двоструким гребеном*.

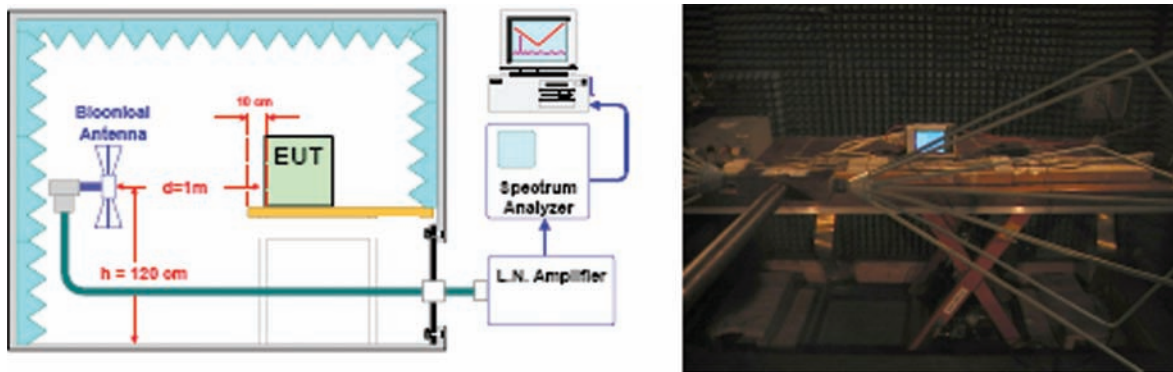
За мерење нивоа кондукционих ЕМ сметњи користе се калибрисане струјне сонде, у облику стезалке, одговарајуће осетљивости. Мерења се могу вршити на једном проводнику или уснопљеном воду (каблу) са више проводника, уземљеним

или повезаним тракама и на спољним проводницима оклопљених водова и коаксијалних каблова. Поред струјне сонде, за мерење нивоа кондукционих ЕМ сметњи користи се и еквивалентна мрежа (LISN – Line Impedance Stabilization Network). Еквивалентна мрежа представља електрично коло уметнуто у вод мрежног напајања испитиваног средства. При томе, задатак еквивалентне мреже јесте да обезбеди, у датом фреквенцијском опсегу, специфицирану импедансу оптерећења за мерење напона сметњи, као и расподелање испитиваног средства од мреже за напајање.

Поступак мерења

Поступци мерења описани су одговарајућим методама, које су саставни део стандарда. Сваки стандард специфицира одређене методе испитивања из EMC.

Због ограниченог простора, у раду ће бити приказана метода испитивања RE 102 (RE – Radiated Emission) према стандарду MIL-STD-461E.



Слика 5 – Испитивање сметњи RE 102 у анехоичној соби

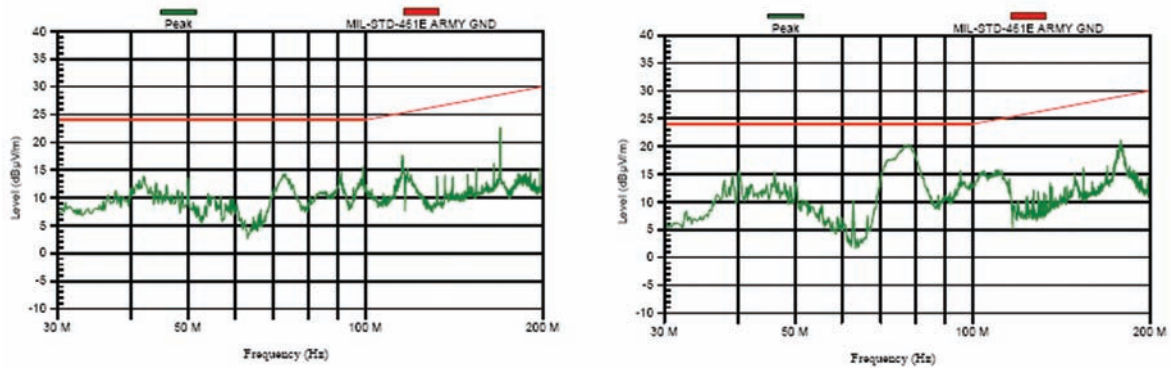
На слици 5 приказана су мерења нивоа ЕМ сметњи биконусном антенном, у фреквенцијском опсегу од 30 MHz до 200 MHz.

Приликом испитивања, мерна антена се поставља наспрам оне стране испитиваног средства која има највећу површину отвора и највећу кумулативну дужину спојних каблова. Ако испитивано средство обухвата више јединица у заједничком раму, према антени се окреће предња или задња страна средства. У случају када се на једној страни налази више отвора (нпр. предња плоча), а са друге већа кумулативна дужина спојних каблова (нпр. задња

страна), треба испитати обе стране. При томе, ниједна тачка антене не сме бити на растојању мањем од 1 m од зидова и 0,5 m од плафона екранизоване просторије. Антену треба постављати сукцесивно у положају за вертикалну и хоризонталну поларизацију.

Мерења се могу вршити ручно или аутоматизовано. Ручно мерење нивоа ЕМ сметњи врши се тако што се мерним пријемником (мерачем поља), детектором вршне вредности, претражи дати фреквенцијски опсег од 30 MHz до 200 MHz, и мерење обави на најмање три фреквенције по октави на којима је ниво ЕМ сметњи најве-





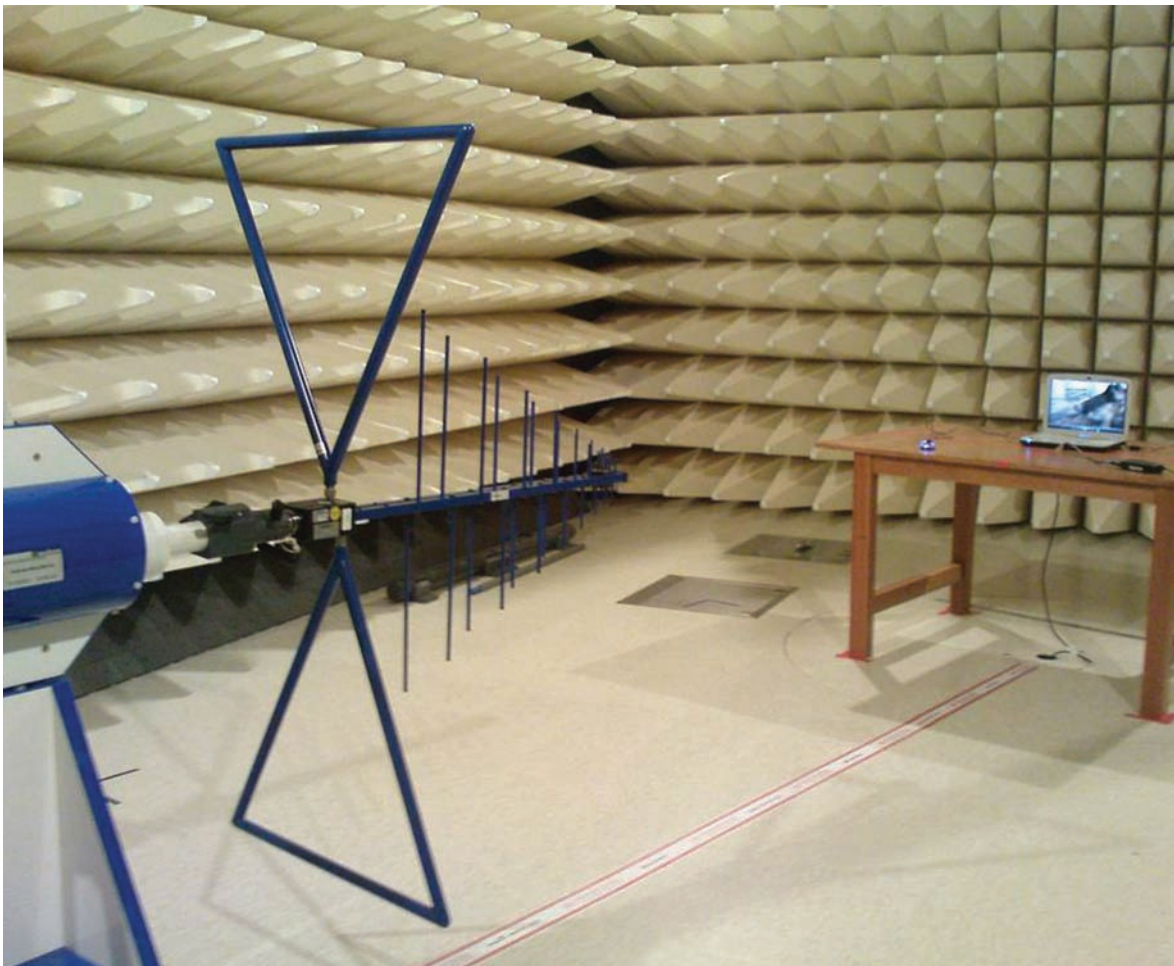
Слика 6 – Резултати испитивања сметњи RE 102

ћи. При томе, бележи се највећа вредност електричног напона. Поред тога, мерења треба обавити и на критичним фреквенцијама за испитивано средство (нпр. фреквенција локалног осцилатора, међуфреквенција, итд.). У нашем примеру, испитивања су обављена аутоматизовано помоћу анализатора спектра, детектором вршне вредности, када се врши претраживање или

пребрисавање, у фреквенцијском опсегу од 30 MHz до 200 MHz, и, при томе, од најмање три пребрисавања, забележи највећа вредност електричног напона.

Резултати мерења

На слици 6 приказани су резултати мерења јачине поља ЕМ сметњи за један



телекомуникациони уређај, у фреквенцијском опсегу од 30 MHz до 200 MHz, за вертикалну и хоризонталну поларизацију.

На основу шеме 6 може се закључити да дати телекомуникациони уређај не генерише поље сметњи (зелена линија) изнад дозвољене граничне вредности према стандарду MIL-STD-461E (црвена линија).

У Техничком опитном центру, специјализованој војној научноистраживачкој установи, већ дужи низ година обављају се испитивања електромагнетске компатибилности (емисија) средстава и система НВО према стандардима посебне намене (стандарди народне одбране). Поред тога, Технички опитни центар – Центар за испитивање производа је акредитована лабораторија за испитивање техничких производа који проузрокују радио-фреквенцијске сметње.

Закључак

Развој електротехнике довео је до велике концентрације разних електричних, електромеханичких, електронских и телекомуникационих уређаја и система на малом простору, нарочито у војним средствима (авион, брод, тенк). Намена већине електронске опреме није зрачење енергије, али због објективно постојећих техничких несавршености, сва та опрема у току рада ствара паразитно поље у својој околини (радијационе сметње), и, исто тако, уноси кондукционе сметње у спојне и енергетске каблове. У таквим условима се укупни ниво електромагнетских сметњи обично толико повећа да техничка решења не могу да обезбеде потребан квалитет без ограничавања, тј. нормирања нивоа електромагнетских сметњи одговарајућим стандардима. При томе, захтеви стандарда представљају минимум који се сматра неопходним да се обезбеди довољно велика вероватноћа да ће одређени подсистем или уређај, који испуњава ове захтеве, функционисати у оквирима пројектованих толеранција, када буде радио у својој предвиђеној електромагнетској околини.

Да би се наведени проблем успешно решио, потребно је пажљиво пројектовати уређаје, размештати каблове и водове, специјално оклапати уређаје, посебно обратити пажњу на пројектовање јединице за напајање, дистрибуцију електричне енергије и др. При томе, није ни технички, ни економски оправдано потпуно блокирати све изворе сметњи, па осетљиви уређаји мо-

рају радити у присуству бројних и снажних ЕМ сметњи.

Производи који су имуни на електромагнетске сметње, а у исто време нису ни извор електромагнетских сметњи, увелико су тражени на међународном тржишту. Иако је цена таквих производа знатно већа, пошло се од практичног искуства да већина производа треба и може да има наведене карактеристике.

Литература:

[1]JUS IEC 50 (161): Међународни електротехнички речник, ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКА КОМПАТИБИЛНОСТ, Завод за стандардизацију, септембар 1997.

[2]Kodali, V. P.: Engineering Electromagnetic Compatibility: principles, measurements, technologies, and computer models, New York:IEEE Press, Second edition 2001.

[3]WHO : Non-ionizing Radiation Protection, WHO Report, vol.8, 1982.,1989.

[4]Baginski, T. A.: Hazard of low-frequency electromagnetic coupling of overhead power transmission lines to electro-explosive devices, IEEE Trans EMC, vol.31, 1989.

[5]Uman, M. A., Krider, E. P.: A review of natural lightning – experimental data and modeling, IEEE Trans EMC, Vol.24, 1982.

[6]Mardiguian, M.: Interference Control in Computers and Microprocessor Based Equipment, Gainesville, VA: Interference Control Technologies, 1984.

[7]Waterman, P.: Conducting radio astronomy in the EMC environment, IEEE Trans EMC, Vol.26, 1984.

[8]Yiming,: Review of EMC practice for launch vehicle systems, IEEE International Symp. EMC, 1988.

[9]Ковачевић, А.: Испитивање електромагнетске компатибилности телекомуникационих уређаја посебне намене у екранизованој просторији и одређивање мерне несигурности, магистарски рад, Београд, 2007.

[10]Службени лист СРЈ, бр.30/96.

[11]MIL-STD-462: MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE CHARACTERISTICS, U.S. Department of Defense, 1993.

[12]CHO 4077/89: Електромагнетска компатибилност, Биро за стандардизацију и метрологију у ЈНА , 1989.

[13]Marvin, A. C.: The use of screened (shielded) rooms for the identification of radiated mechanisms and the measurement of free-space emissions from electrically small sources, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol.26, 1984.

[14]MIL-STD-285: ATTENUATION MEASUREMENTS FOR ENCLOSURES, ELECTROMAGNETIC SHIELDING, FOR ELECTRONIC TEST PURPOSES, METHOD OF, U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 1956.

[15]CHO 1762/89: Електромагнетске сметње, МЕРЕЊА, Биро за стандардизацију и метрологију у ЈНА, 1989.