

EVALUAREA CONFORMITĂȚII ECHIPAMENTELOR RADIO LA STANDARDELE DE COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ: METODE ȘI IMPLICAȚII PRACTICE

Constantin PLAMADEALA

*Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa MMRT-221M,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, or. Chișinău, Rep. Moldova*

*Autorul corespondent: Constantin Plamadeala, constantin.plamadeala1@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Lilia Sava**, dr., conf. univ., FET, UTM

Rezumat. În era digitală în continuă evoluție, echipamentele radio joacă un rol fundamental în comunicare, tehnologie și interconectivitate. Cu toate acestea, pentru ca aceste dispozitive să funcționeze eficient și fără a perturba alte echipamente sau rețele, ele trebuie să respecte rigorile cerințelor de compatibilitate electromagnetică (EMC).

Obiectivul principal al acestei cercetări a fost de a minimiza interferențele electromagnetice între diferite echipamente, protejarea siguranței utilizatorilor, asigurarea funcționării corecte a echipamentelor, promovarea utilizării eficiente a spectrului electromagnetic și stimularea inovării și dezvoltării tehnologice.

Pentru colectarea datelor, au fost utilizate Camera Semianecoică și alte încăperi amenajate cu echipamente specializate, inclusiv analizoare de spectru, generatoare radio, antene, măsurători de putere, generatoare de testare a imunității și accesorii, în conformitate cu cerințele standardelor de referință. Datele obținute au fost prelucrate și analizate, iar rezultatele au fost interpretate în conformitate cu valorile specificate în standardele de produs pentru tipul dat de echipament.

Acest studiu aduce o contribuție valoroasă în determinarea conformității echipamentelor radio. Rezultatele obținute pot fi utile în industria comunicațiilor pentru îmbunătățirea performanțelor și asigurarea utilizării eficiente și sigure a echipamentelor radio.

Cuvinte cheie: compatibilitate electromagnetică, emisii, imunitate, conformitate.

Introducere

Compatibilitatea electromagnetică este o disciplină crucială în domeniul electronic și al telecomunicațiilor, care se concentrează pe asigurarea coexistenței echilibrate a diferitelor echipamente electronice și a sistemelor de comunicații. Odată cu creșterea continuă a numărului de dispozitive radio, fie că vorbim despre smartphone-uri, routere wireless, stații radio sau echipamente medicale, este important să ne asigurăm că acestea funcționează în concordanță deplină în spectrul electromagnetic plin de zgomot în care operează.

Această cercetare se concentrează pe evaluarea conformității echipamentelor radio la cerințele stricte de compatibilitate electromagnetică. Se vor explora procesele și standardele internaționale relevante pentru EMC, precum și standardele IEC (International Electrotechnical Commission). De asemenea, se va analiza metodele de testare și măsurare utilizate pentru a determina dacă un echipament radio respectă aceste cerințe.

Obiectivele evaluării compatibilității electromagnetice sunt esențiale pentru siguranța și eficiența echipamentelor electronice într-un mediu complex din punct de vedere electromagnetic, precum și pentru a promova utilizarea eficientă a spectrului.

1. Compatibilitate electromagnetică

Cerințe de compatibilitate electromagnetică

Testele EMC pentru echipamentele radio și echipamentele auxiliare asociate conform SM EN 301489-1 V2.2.3:2020 [1] sunt enumerate în Tab. 1 și Tab. 2.

Aplicabilitatea testelor EMC depinde de tipul de echipament radio și de echipamentul auxiliar asociat care face obiectul testului.

Tabelul 1

Cerințe privind emisiile

Tipul emisiei	Standard de referință	Port	Aplicabilitate		
			Utilizare fixă	Utilizarea în vehicule	Utilizare portabilă
Emisii radiate	SM EN 55032 [2]	Port de carcasă a echipamentului	aplicabilă	aplicabilă	aplicabilă
Emisii conductive	SM EN 55032 [2]	Port de intrare/ieșire a energiei DC	aplicabilă	aplicabilă	nu se aplică
		Port de intrare/ieșire a rețelei de curent alternativ	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
		Port de rețea cu fir	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
Emisii de curenți armonici	SM EN IEC 61000-3-2 [3]	Portul de conectare la rețeaua de curent alternativ	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
Flickere și fluctuații de tensiune	SM EN 61000-3-3 [4]	Portul de conectare la rețeaua de curent alternativ	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică

Sursa: elaborat de autor în baza standardului de produs SM EN 301489-1 V2.2.3:2020[1].

Cerințele privind emisiile în domeniul compatibilității electromagnetice (EMC) se referă la standardele stabilite pentru a limita emisiile electromagnetice generate de echipamente electronice și pentru a asigura că aceste emisii nu interferează cu alte dispozitive electronice sau sisteme. Aceste cerințe sunt esențiale pentru a asigura funcționarea corectă și fiabilă a echipamentelor electronice într-un mediu în care sunt prezente multiple dispozitive.

Tabelul 2

Cerințe privind imunitatea

Fenomenul aplicat	Standard de referință	Port	Aplicabilitate		
			Utilizare fixă	Utilizarea în vehicule	Utilizare portabilă
Descărcare electrostatică	SM SR EN 61000-4-2 [5]	Carcasa echipamentului	aplicabilă	nu se aplică	aplicabilă
Câmp electromagnetic de radiofrecvență radiat	SM EN 61000-4-3 [6]	Port de carcasă a echipamentului	aplicabilă	aplicabilă	aplicabilă
Trenuri de impulsuri rapide de tensiune	SM SR EN 61000-4-4 [7]	Port de rețea cu fir, port de control, port a rețelei de alimentare AC/DC	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
Supratensiuni, linie - linie și linie - PE	SM EN 61000-4-5 [8]	Porturile de intrare a rețelei de alimentare AC	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
Perturbații radio conduse de mod comun	SM EN 61000-4-6 [9]	Port de rețea cu fir, port de control, port a rețelei de alimentare AC/DC	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică
Scăderi și întreruperi de tensiune	SM EN 61000-4-11 [10]	Porturile de intrare a rețelei de alimentare AC	aplicabilă	nu se aplică	nu se aplică

Sursa: elaborat de autor în baza standardului de produs SM EN 301489-1 V2.2.3:2020[1].

Cerințele privind testele de imunitate în domeniul compatibilității electromagnetice (EMC) se referă la standardele stabilite pentru a asigura că echipamentele electronice sunt capabile să funcționeze corect în prezența unor condiții electromagnetice perturbatoare sau

interferențe externe. Aceste cerințe stabilesc condițiile și procedurile pentru testarea și evaluarea rezistenței echipamentelor electronice la diverse tipuri de interferențe electromagnetice.

Scopul acestor teste este de a asigura că echipamentele electronice pot funcționa în mod adecvat în medii în care sunt prezente interferențe electromagnetice și de a minimiza riscul de deteriorare sau de funcționare necorespunzătoare.

Producătorii de echipamente electronice sunt obligați să efectueze testele de compatibilitate electromagnetică și să demonstreze conformitatea cu cerințele EMC relevante înainte de a comercializa produsele pe piață.

Cerințe privind măsurarea emisiilor:

- *Emisii electromagnetice radiate (EMI)* - reprezintă emisiile de energie sub formă de unde electromagnetice care se propagă în spațiu. Aceste emisii pot proveni din componente electronice active, cum ar fi tranzistoarele sau circuitele integrate, sau din interacțiunile dintre diversele componente ale sistemului.
- *Emisii conduse la portul de alimentare* - vizează evaluarea emisiilor electromagnetice (EMI) care sunt transferate prin intermediul porturilor de intrare/ieșire a energiei de curent alternativ, curent continuu sau o baterie locală cu cabluri de conectare mai lungi de 3 m. Aceste emisii parazite conduse pot afecta alte dispozitive electronice conectate la aceeași rețea de alimentare.
- *Emisii conductive la portul rețelei de date cu fir* - reprezintă emisiile electromagnetice care sunt propagate prin intermediul cablurilor de rețea (cum ar fi cablurile Ethernet) și care pot afecta integritatea funcționării altor echipamente conectate la aceeași rețea. Aceste emisii pot proveni de la dispozitivele electronice conectate la rețea și pot interfera cu alte echipamente sau pot influența performanța întregii rețele.
- *Emisii de curenți armonici* - reprezintă componente nedorite ale curentului electric care au frecvențe multiple ale frecvenței fundamentale a sistemului. Acestea pot apărea în rețelele electrice ca rezultat al utilizării echipamentelor nelineare, cum ar fi sursele de alimentare cu comutație și redresoarele. Acest tip de emisii poate afecta calitatea energiei electrice și poate avea consecințe negative asupra echipamentelor și rețelelor electrice.
- *Fluctuații de tensiune și flickere* - reprezintă variații în timp ale nivelului de tensiune într-un sistem electric, care se pot datora, de exemplu, schimbărilor bruște în consumul de energie sau la pornirea și oprirea altor echipamente. Fluctuațiile pot afecta echipamentele sensibile la astfel de variații. Aceste fenomene pot afecta funcționarea echipamentelor electronice. Flickerul reprezintă variații periodice ale nivelului de lumină, de obicei observate în iluminat. Aceste variații pot fi percepute sub forma unor fluctuații periodice ale intensității luminii, cauzate de variații ale tensiunii de alimentare.

Cerințe privind testele de imunitate:

- *Imunitate la câmp electromagnetic de radiofrecvență* - simulează acțiunea câmpurilor electromagnetice (80 MHz – 6000 MHz) de la surse de uz general, cum ar fi emițătoare/receptoare radio portabile, emițătoare fixe de radio și televiziune, emițătoare radio utilizate la bordul vehiculelor și diverse surse, asupra echipamentelor.
- *Imunitate la perturbații radio conduse* - induse de radiofrecvență (0,15MHz – 80MHz), se efectuează la portul de alimentare de la rețeaua de curent alternativ (dacă există) al echipamentului radio și al echipamentelor auxiliare asociate. Suplimentar se efectuează pe porturile de semnal, porturile de rețea cu fir, porturile de control și porturile de alimentare în curent continuu ale echipamentelor radio și ale echipamentelor auxiliare asociate, în cazul în care cablurile pot fi mai lungi de 3 m.

- *Imunitate la descărcări electrostatice* - are scopul de a asigura că echipamentele electronice sunt suficient de robuste împotriva descărcărilor electrostatice care pot apărea în mediile de utilizare obișnuite. Descărcările electrostatice pot avea loc atunci când o persoană atinge un dispozitiv electronic sau îl manipulează, generând o încărcare electrostatică pe suprafața corpului. Această încărcare poate apoi să se descarce pe dispozitivul electronic, provocând potențial daune sau defecte temporare sau permanente.
- *Imunitate la trenuri de impulsuri rapide de tensiune* - este o încercare cu salve compuse dintr-un anumit număr de impulsuri rapide cuplate la porturile testate. Importante pentru încercare sunt: amplitudinea mare, timpul de creștere mic, frecvența de repetiție mare și energia redusă a impulsurilor. Încercarea este destinată să demonstreze imunitatea echipamentelor electrice și electronice, atunci când sunt supuse la perturbații tranzitorii de tipul celor provenite de la fenomene tranzitorii de comutație.
- *Imunitate la supratensiuni* - este o încercare cu scopul de a testa reacția echipamentului în condiții de funcționare la supratensiuni cauzate de comutatoare și fulgere. Caracteristicile generatorului de testare sunt definite pentru a simula fenomenele create de comutatoare și fulgere, cât mai aproape posibil.

Imunitate la scăderi de tensiune și întreruperile de scurtă durată - este o încercare cu scopul de a testa capacitatea echipamentului în condiții de avarii în rețea, în special scurtcircuitate în instalații sau de variații bruște și importante de sarcini conectate în rețea.

Evaluarea conformității echipamentelor radio la standardele de compatibilitate electromagnetică

La evaluarea conformității echipamentelor radio la standardele de compatibilitate electromagnetică a fost identificat următorul echipament:

Obiectul încercărilor:	Router
Marca comercială:	MicroTik
Model:	RB912UAG-2HPnD
Starea echipamentului:	Pentru testări
Sursa de alimentare:	AC Adaptor 100-240V ~ 50/60Hz 0,5A
Caracteristici tehnice:	LAN, WLAN 2.4 GHz

Utilizând echipamentul indicat au fost efectuate un șir de teste, în baza cărora au fost obținute rezultate:

Elementele de testare care au fost efectuate pe echipamentul testat în conformitate cu interfețele sale, funcțiile evaluate, prezentate în Tab. 3.

Tabelul 3

Elemente de testare			
Standard	Element de testare	Rezultat	Observație
1	2	3	4
SM EN 55032 [2]	Emisiile conductive de la porturile de alimentare	Corespunde	Marja minimă de trecere a clasei B este -14,33 dB la 23,128 MHz
SM EN 55032 [2]	Emisiile conductive de la porturile de rețea cablate	Corespunde	Marja minimă de trecere a clasei B este -9,29 dB la 23,128 MHz
SM EN 55032 [2]	Emisii radiate până la 1 GHz	Corespunde	Marja minimă de trecere a clasei B este -6,44 dB la 271,2 MHz
SM EN 55032 [2]	Emisii radiate peste 1 GHz	Corespunde	Nu s-au depista emisii în marja de -6 dB până la limita clasei B
SM EN IEC 61000-3-2 [3]	Măsurarea curentului armonic	Corespunde	Consumul de energie al EUT este mai mic de 75 W și nu se aplică nicio limită.

continuare tabelul 3

1	2	3	4
SM EN 61000-3-3 [4]	Măsurarea fluctuațiilor de tensiune și a flickerelor	Corespunde	$P_{st} = 0,064$, $d_{max} = 0,000$ % $P_{lt} = 0,064$, $d_c = 0,000$ %, $T_{max} = 0,000$ ms
SM SR EN 61000-4-2 [5]	Descărcări electrostatice	Corespunde	4 kV (prin contact), 8 kV (prin aer) Criterii de performanță B
SM EN 61000-4-3 [6]	Câmpuri electromagnetice de frecvență radio radiate	Corespunde	80 MHz – 6000MHz, 3 V/m, 80% AM, pas 1% Criterii de performanță A
SM SR EN 61000-4-4 [7]	Trenuri de impulsuri rapide de tensiune	Corespunde	± 1 kV, 5/50 ns (Tr/Th) Criterii de performanță B
SM EN 61000-4-5 [8]	Supratensiuni	Corespunde	Linie – Linie: ± 1 kV, 1,2/50 μ s Linie - PE: ± 2 kV, 1,2/50 μ s Criterii de performanță B
SM EN 61000-4-6 [9]	Perturbații conduse, induse de câmpuri de radiofrecvență	Corespunde	0,15 MHz – 80 MHz, 3V, 80% AM, pas 1%. Criterii de performanță A
SM EN 61000-4-11 [10]	Scăderi și întreruperi de tensiune	Corespunde	Pentru scăderi de tensiune: 0% rezidual, 0,5 cicluri 0% rezidual, 1 ciclu 70% rezidual, 25 cicluri Criterii de performanță A Pentru întreruperi de tensiune: 0% rezidual, 250 de cicluri Criterii de performanță B

Sursa: elaborat de autor în baza propriilor cercetări științifice.

Concluzii

Principalele rezultate ale acestui studiu au evidențiat faptul că măsurările și testele efectuate demonstrează conformitatea echipamentului radio cu cerințele de compatibilitate electromagnetică. S-a constatat că emisiile emise de echipament corespund limitelor admisibile, ceea ce demonstrează faptul că nu va influența alte echipamente din apropiere, iar testele de imunitate demonstrează că echipamentul va funcționa corect în mediile unde este destinat să fie instalat și nu va fi influențat de factorii externi.

În concluzie, testele de compatibilitate electromagnetică au un impact semnificativ în activitatea practică, contribuind la asigurarea conformității, fiabilității și performanței produselor electronice, precum și la promovarea inovației și a comerțului internațional în domeniul electronicilor.

Mulțumiri

În cadrul lucrării date, dorim să exprimăm recunoștință părților implicate în realizarea ei.

În primul rând, dorim să mulțumim Laboratorului de Încercări din cadrul Instituției Publice Serviciul Național de Management al Frecvențelor Radio pentru suportul tehnic și administrativ acordat. Am apreciat în mod deosebit accesul la echipamente necesare și materiale pentru desfășurarea măsurărilor și testelor de imunitate, care au fost esențiale în obținerea rezultatelor noastre, precum și incinta laboratorului pusă la dispoziție, care a oferit un mediu corespunzător pentru realizarea măsurărilor de laborator. Nu în ultimul rând, dorim să mulțumim Universității Tehnice a Moldovei pentru încheierea acordului de colaborare cu Serviciul Național de Management al Frecvențelor Radio, care a facilitat realizarea acestor măsurători de laborator într-un mediu profesionist și potrivit cerințelor pentru astfel de teste.

Referințe

- [1] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 301 489-1 V2.2.3:2020 Standard de compatibilitate electromagnetică (EMC) pentru echipamente radio și servicii. Partea 1: Cerințe tehnice comune. Standard armonizat pentru compatibilitate electromagnetică. Aprobat:10.07.2020
- [2] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE.SM EN 55032:2016 Compatibilitate electromagnetică pentru echipamente multimedia. Cerințe de emisie. Aprobat:03.03.2021.
- [3] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN IEC 61000-3-2:2019/A1:2021 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 3-2: Limite. Limite pentru emisiile de curenți armonici (curent de intrare al echipamentelor ≤ 16 A pe fază). Aprobat: 01.07.2021.
- [4] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 61000-3-3:2014/A2:2022/AC:2022 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 3-3: Limite. Limitarea variațiilor de tensiune, a fluctuațiilor de tensiune și a flickerului în rețelele publice de alimentare de joasă tensiune, pentru echipamente având un curent nominal ≤ 16 A pe fază și care nu sunt supuse unor restricții de conectare. Aprobat: 04.04.2022.
- [5] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM SR EN 61000-4-2:2013 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-2: Tehnici de încercare și măsurare. Încercare de imunitate la descărcări electrostatice. Aprobat: 05.09.2013.
- [6] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN IEC 61000-4-3:2021 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-3: Tehnici de încercare și măsurare. Încercări de imunitate la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență, radiate. Aprobat: 04.03.2021.
- [7] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM SR EN 61000-4-4:2014 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-4: Tehnici de încercare și măsurare. Încercări de imunitate la trenuri de impulsuri rapide de tensiune. Aprobat: 06.05.2014.
- [8] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 61000-4-5:2014/A1:2018 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-5: Tehnici de încercare și măsurare. Încercări de imunitate la supratensiuni. Aprobat: 27.10.2014.
- [9] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 61000-4-6:2015/AC:2019 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-6: Tehnici de încercare și măsurare. Imunitate la perturbații conduse, induse de câmpuri de radiofrecvență. Aprobat: 10.04.2015
- [10] INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 61000-4-11:2020/AC:2023 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-11: Tehnici de încercare și de măsurare. Încercări de imunitate la scăderi de tensiune, întreruperi de scurtă durată și variații de tensiune pentru echipamente cu un curent electric de intrare mai mic sau egal cu 16 A pe fază. Aprobat: 26.11.2020.