

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Electronică și Telecomunicații
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

Admis la susținere

Șefă departament:

Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.

_____”_____ 2024

**Evaluarea conformității echipamentelor radio la
standardele de compatibilitate electromagnetică:
metode și implicații practice**

Teză de master

Student: _____ Plamadeala Constantin, grupa MMRT-221M

Conducător: _____ Sava Lilia, conf. univ., dr.

Chișinău, 2024

Rezumat

Se reprezintă rezultatele unui studiu de laborator privind evaluarea conformității unui echipament radio la standardele de compatibilitate electromagnetică atât la cerințele pentru emisii cât și cerințele de imunitate la diferite fenomene care pot influența în mediul real.

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 inovației și dezvoltării tehnologice.

Pentru colectarea datelor, au fost utilizate Camera Semi Anecoică și alte încăperi amenajate cu echipamente specializate, inclusiv analizatoare de spectru, generatoare radio, antene, măsurătoare 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.

Principalele rezultate ale acestui studiu au evidențiat faptul că măsurările și testele efectuate demonstrează conformitate echipamentului radio cu cerințele de compatibilitate electromagnetică. S-a constatat că emisiile radiate 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.

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.

Autor: Plamadeala Constantin

Titlul: Evaluarea conformității echipamentelor radio la standardele de compatibilitate electromagnetică: metode și implicații practice

Structura lucrării:

Capitolul 1 Compatibilitate electromagnetică: prezintă scopul și obiectivele principale ale proiectului, cerințe de compatibilitate precum și criteriile de performanță admisibile.

Capitolul 2 Metode de evaluare a conformității la cerințele de compatibilitatea electromagnetică: prezintă metodele de evaluare a conformității la cerințe pentru emisii și teste de imunitate.

Capitolul 3 Evaluarea conformității echipamentelor radio la standardele de compatibilitate electromagnetică: prezintă procesul de evaluare a conformității la standardele de compatibilitate electromagnetică a unui echipament radio, cu aplicarea în practică a metodelor de măsurare a emisiilor și testare a imunității.

Cuvinte-cheie:

- Compatibilitate electromagnetică;
- Emisii;
- Imunitate;
- Conformitate.

Abstract

The results of a laboratory study assessing the compliance of a radio equipment with electromagnetic compatibility standards are presented, covering both emission requirements and immunity requirements to various real-world influencing phenomena.

The primary objective of this research was to minimize electromagnetic interference between different devices, protecting users' safety, ensure the proper functioning of equipment, promote the efficient use of the electromagnetic spectrum, and stimulate innovation and technological development.

Data collection involved the use of a Semi-Anechoic Chamber and other specially equipped rooms with specialized equipment, including spectrum analyzers, radio generators, antennas, power meters, immunity testing generators, and accessories, in accordance with the requirements of reference standards. The obtained data were processed and analyzed, and the results were interpreted in accordance with the specified values in the product standards for the given type of radio equipment.

The main results of this study highlighted that the measurements and tests demonstrate the radio equipment's compliance with electromagnetic compatibility requirements. It was observed that the radiated emissions from the equipment comply with permissible limits, demonstrating that it will not interfere with nearby equipment. Immunity tests show that the equipment will function correctly in the environments where it is intended to be installed and will not be affected by external factors.

This study makes a valuable contribution to determining equipment compliance. The obtained results can be useful in the communications industry for enhancing performance and ensuring the efficient and safe use of radio equipment.

Author: Plamadeala Constantin

Title: Evaluation of radio equipment conformity to electromagnetic compatibility standards: methods and practical implications

Structure of the Thesis:

Chapter 1 Electromagnetic compatibility: presents the main purpose and objectives of the project, compatibility requirements as well as the admissible performance criteria.

Chapter 2 Methods for assessing compliance with electromagnetic compatibility requirements: presents methods for assessing compliance with requirements for emissions and immunity tests.

Chapter 3 Evaluation of compliance of radio equipment with electromagnetic compatibility standards: presents the process of evaluating compliance with electromagnetic compatibility

standards of a radio equipment, with the practical application of emission measurement and immunity testing methods.

Keywords:

- Electromagnetic compatibility;
- Emissions;
- Immunity;
- Compliance.

Cuprins

INTRODUCERE	8
1 COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ	9
1.1 Scopul și obiectivele cerințelor de compatibilitate electromagnetică.....	9
1.2 Criterii de performanță	10
1.3 Cerințe de compatibilitate electromagnetică.....	11
2 METODE DE EVALUARE A CONFORMITĂȚII LA CERINȚELE DE COMPATIBILITATEA ELECTROMAGNETICĂ	13
2.1 Metode de măsurare a emisiilor.....	13
2.2 Metode de testare și nivele pentru testele de imunitate	25
3 EVALUAREA CONFORMITĂȚII ECHIPAMENTELOR RADIO LA STANDARDELE DE COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ	42
3.1 Identificarea echipamentului	42
3.2 Documente normative utilizate.....	42
3.3 Rezumat al rezultatelor testării	42
3.4 Criterii de performanță	43
3.5 Incertitudinea măsurărilor.....	45
3.6 Informații generale.....	45
3.7 Echipamente de testare și măsurare	48
3.8 Măsurarea emisiilor conductive de la portul de alimentare.....	50
3.9 Măsurarea emisiilor conductive de la portul de date cu fir.....	53
3.10 Măsurarea emisiilor radiate până la 1 GHz	56
3.11 Măsurarea emisiilor radiate peste 1 GHz.....	58
3.12 Măsurarea curenților armonici.....	60
3.13 Măsurarea fluctuațiilor de tensiune și a flickerelor	63
3.14 Imunitate la câmpuri electromagnetice de frecvență radio radiate	65
3.15 Imunitate la câmpuri de radiofrecvență induse conductiv	67
3.16 Imunitate la descărcări electrostatice	69
3.17 Imunitate la trenuri rapide de tensiune înaltă.....	73
3.18 Imunitate la supratensiuni	75
3.19 Imunitate la scăderi de tensiune și întreruperi de scurtă durată.....	76
CONCLUZII	81
BIBLIOGRAFIE	82
ANEXE	84
Anexa 1 Fotografii ale configurației de testate.....	84

Introducere

În era digitală în continuă evoluție în care trăim, 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 riguroasele cerințe de compatibilitate electromagnetică (EMC).

Compatibilitatea electromagnetică este o disciplină crucială în domeniul electronicii și telecomunicațiilor, care se concentrează pe asigurarea coexistenței echilibrate a diferitelor echipamente electronice și a sistemelor de comunicații. 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.

Acest proiect se concentrează pe evaluarea conformității echipamentelor radio la cerințele stricte de compatibilitate electromagnetică. Se vor explora procesele și standardele internaționale relevante pentru EMC, cum ar fi normele CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) și normele europene CELENEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique), 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.

Prin aplicarea acestor cerințe de compatibilitate electromagnetică, putem asigura că echipamentele electronice funcționează corespunzător în prezența altor echipamente și surse de interferență electromagnetică.

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.

Bibliografie

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. Aprobata:10.07.2020. Localizare: SNMFR.
2. INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE.SM EN 55032:2016 Compatibilitate electromagnetică pentru echipamente multimedia. Cerințe de emisie. Aprobata:03.03.2021. Localizare: SNMFR.
3. INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN IEC 55016-1-4:2019 Specificații referitoare la metode și aparate de măsurat perturbațiile radio și imunitatea la perturbații. Partea 1-4: Aparate de măsurat perturbațiile radio și imunitatea la perturbații. Antene și amplasamente de încercare pentru măsurări de perturbații radiate. Aprobata: 26.10.2023. Localizare: SNMFR.
4. INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM CISPR 16-1-1:2016 Specificații referitoare la metodele și aparatele de măsurat perturbațiile radio și imunitatea la perturbații. Partea 1-1: Aparate de măsurat perturbațiile radio și imunitatea la perturbații. Aparat de măsurat. Aprobata: 18.10.2016. Localizare: SNMFR.
5. ANSI C63.5 American National Standard For Electromagnetic Compatibility--Radiated Emission Measurements In Electromagnetic Interference (EMI) Control--Calibration And Qualification Of Antennas (9 KHz To 40 GHz)
6. 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). Aprobata: 01.07.2021. Localizare: SNMFR.
7. 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. Aprobata: 04.04.2022. Localizare: SNMFR.
8. INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE. SM EN 61000-4-15:2014 Compatibilitate electromagnetică (CEM). Partea 4-15: Tehnici de încercare și măsurare. Flickermetru. Specificații funcționale și de proiectare. Aprobata: 27.10.2014. Localizare: SNMFR.
9. 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. Aprobata: 04.03.2021. Localizare: SNMFR.
10. 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. Aprobata: 05.09.2013. Localizare: SNMFR.
11. 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. Aprobata: 06.05.2014. Localizare: SNMFR.

12. 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
13. 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
14. 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