

DIGITALIZAREA PROCESULUI DE PROIECTARE AL ANTENELOR MULTIFRECVENȚĂ RFID ȘI EVALUAREA EXPUNERII UMANE LA RADIAȚIILE EMISE DE ACESTEA

Raport intermediar 3

Director: S.I. dr. ing. Constantinescu Claudia Alana

Membrii: S.I. dr. ing. Andreica Sergiu Iulian

Asist.dr. ing. Rapolti Laszlo

Obiectivul general al acestui proiect este *digitalizarea procesului de optimizare al antenelor pasive și active utilizate în sisteme RFID prin modelare numerică și testare experimentală*. În vederea atingerii acestui obiectiv general, în cadrul raportului 3 se vor parcurge următoarele etape: **Obiectiv 3:** Modelarea numerică, analiza și optimizarea antenelor RFID care funcționează la frecvențe înalte (structuri radiante); **Obiectiv 4:** Realizarea practică și testarea experimentală a antenelor RFID care funcționează la frecvențe înalte (structuri radiante); **Obiectiv 5:** Testarea influenței factorilor ambientali asupra performanțelor antenelor RFID.

1. Modelarea numerică, analiza și optimizarea antenelor RFID care funcționează la frecvențe înalte (structuri radiante)

În cadrul obiectivului 3 s-a studiat literatura de specialitate și s-a realizat modelarea numerică preliminară, analiza și optimizarea unor antene funcționând la 860-920 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz. Următorul pas a fost modelare numerică și crearea practică a antenelor, precum și validarea și testarea acestora în cadrul laboratorului de compatibilitate electromagnetică de care dispunem (Obiectiv 4). Astfel, obiectivul 3 și obiectivul 4 vor fi tratate în același timp.

1.1. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 860-960 MHz

În cazul domeniului de frecvență 860-960 MHz se cunoaște faptul că acesta este standardizat diferit în funcție de țara unde este folosit astfel: Europa 865-868 MHz, reglementat de ETSI EN 302 208, SUA 902-928 MHz reglementat de FCC Part 15, China 920 – 925 MHz, Japonia și ea un interval peste 900 MHz, India 865 – 867 MHz.

Astfel, s-a pornit de la o antenă proiectată pentru a funcționa la 900 MHz pentru a putea observa modul în care diferiți parametri influențează funcționarea acesteia. Prima structură cu dimensiunile aferente se poate observa în Figura 1. Aceasta este construită pe un substrat dielectric de FR4 Epoxy de 1.51 mm grosime cuprat doar pe una dintre fețe. Putem observa ca în modelul analizat, antena microstrip are o structura meandrată, care reprezintă o configurație a antenei în care traseele conductoare sunt dispuse într-o formă de tip „șerpuit” sau „zig-zag”. Acest design permite obținerea unei lungimi electrice mai mari fără a crește dimensiunea fizică a antenei. Aceasta este o soluție folosită frecvent în etichetele RFID, mai ales acolo unde spațiul disponibil este limitat. Structura analizată ajută la: reducerea dimensiunilor, adaptarea la diferite frecvențe, performanță bună în medii diverse, costuri reduse de producție. Astfel, structura s-a modelat în cadrul programului Ansys Q3D Extractor, unde s-a obținut o valoare a inductivității de 32.587 nH.

Considerând faptul că antena va trebui să rezoneze la 860 MHz și cunoscându-se inductivitatea antenei, se poate determina ca valoarea capacității necesare este 1.05 pF. În cazul structurii practice, o valoare a capacității atât de mică la un condensator obișnuit este greu de procurat, astfel s-a încercat obținerea unei valori apropiate de cea dorită prin conectarea în serie a 3 condensatoare de 2.2 pF, fapt care va duce la o valoare a capacității de 1.1 pF care se va conecta în paralel cu o rezistență de 50 Ω . Antena RFID rezultantă se poate observa în Figura 2 alături de antena modelată cu ajutorul Ansys Q3D Extractor iar apoi simulată în Ansys HFSS. În cazul programului Ansys HFSS antena va rezona la aceeași frecvență, dar considerând un condensator de 1.7 pF conectat în paralel alături de o rezistență de 50 Ω , acest comportament poate fi explicat prin influența firelor de conexiune necesare pentru conectarea elementelor de circuit. Parametrii S rezultați în urma analizei se pot observa în Figura 3.

S-a urmărit optimizarea acestei structuri din prisma dimensiunii. Astfel, s-a încercat modificarea distanței dintre conductorul în zig zag și zona centrală, analizându-se structurile unde această dimensiune a variat între 15.9 mm și 11.9 mm.

Cu toate că atât testele experimentale cât și modelarea au arătat că structura noastră rezonează la aproximativ 900 MHz, epar diferențe destul de mari când vine vorba de comportarea structurii. În acest context se va analiza mai detaliat influența unor parametri precum valoarea capacității și a lungimii conductoarelor de la capetele structurilor asupra parametrului S. Astfel s-au considerat patru dimensiuni diferite ale firelor și s-a putut observa că acestea influențează banda de frecvență pe care funcționează aceste antene. Prin modificarea lungimii acestor linii, se schimbă efectiv lungimea electrică totală a antenei, afectând frecvența de rezonanță. Linii mai lungi pot „prelungi” circuitul electric și pot duce frecvența de rezonanță la frecvențe mai mici, iar scurtarea lor sau schimbarea configurației pot duce această frecvență la valori mai mari.

Având în vedere valorile standard ale condensatoarelor, s-a considerat de asemenea modul în care această valoare influențează domeniul de frecvență și rezonanța antenei. Pentru aceasta s-au considerat 4 valori diferite ale capacității (1 pF, 1.2 pF, 1.5 pF și 1.7 pF) și s-au analizat parametrii S rezultați. Astfel se poate constata că valoarea capacității influențează frecvența de rezonanță a antenei mult mai mult ca în cazul antenelor analizate în rapoartele anterioare unde se proiectau antene de joasă frecvență.

În urma analizelor asupra acestor configurații se poate spune că atâta timp cât considerăm și influența celorlalți parametri, antena analizată poate fi îmbunătățită din prisma dimensiunii care poate fi redusă ca și lățime față de forma inițială.

În urma analizelor realizate asupra antenelor care au fost create pentru a funcționa la 13.56 MHz, mărind domeniul de interes s-a putut realiza că acestea au multiple frecvențe de rezonanță, fapt care a dus la ideea de a le folosi și pentru domeniul vizat în acest subcapitol. Astfel, s-au considerat antenele create pentru 13.56 MHz și s-au determinat valorile pentru capacitatea necesară atingerii frecvenței de rezonanță dorite. Astfel, s-au obținut pentru elementele create valorile din Tabelul 1 pentru capacitățile necesare atingerii frecvenței de rezonanță din domeniul 860-960 MHz.

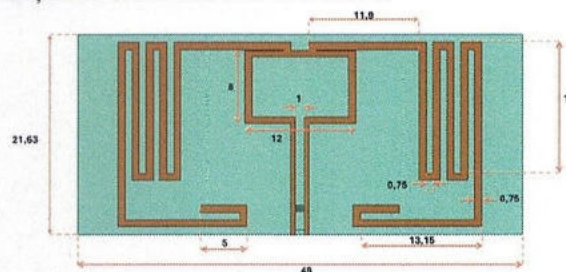


Figura 1. Dimensiunile antenei RFID

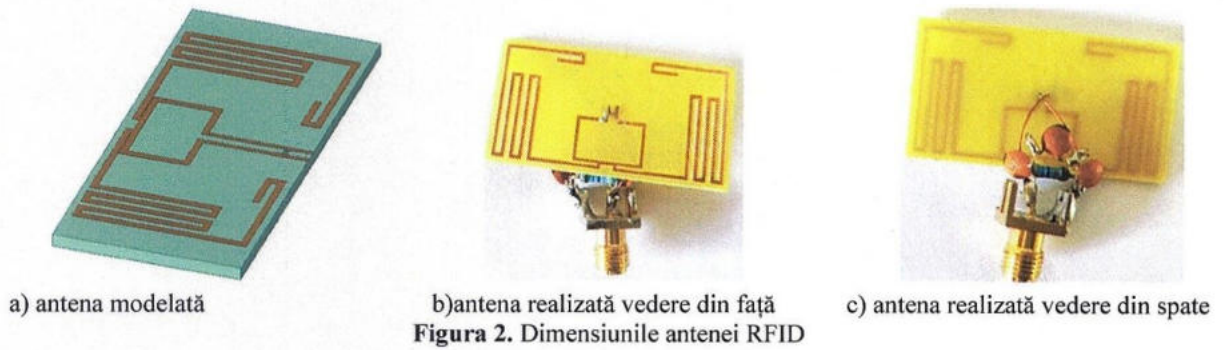
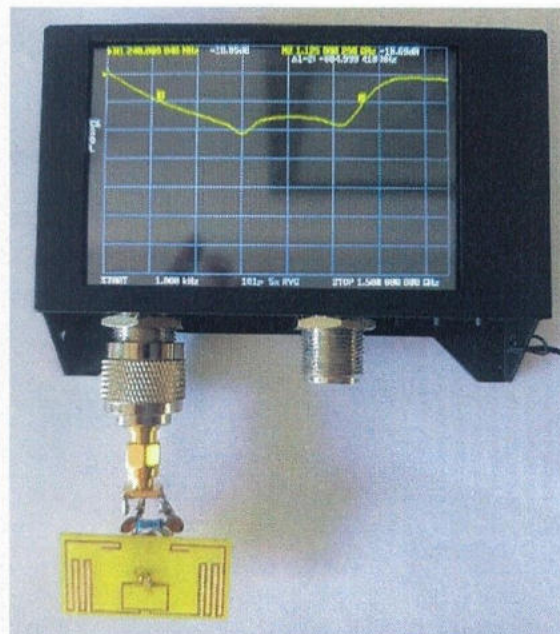
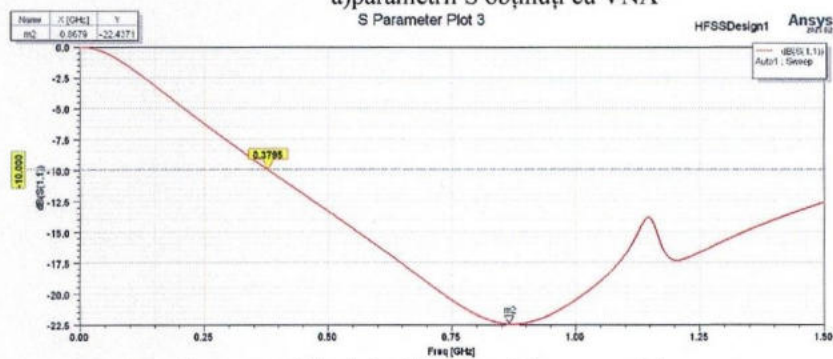


Figura 2. Dimensiunile antenei RFID



a) parametri S obținuți cu VNA



b) parametri S obținuți prin modelare numerică

Figura 3. Parametrii S obținuți pentru antenele RFID funcționând în domeniul 860-960 MHz

Datorită valorilor foarte mici ale condensatoarelor s-a considerat utilizarea structurilor fără a insera în paralel condensatoare, doar rezistența de 50Ω considerându-se a fi conectată în paralel cu SMA-ul. Astfel se poate observa în Figura 4 că antenele considerate funcționează pe domeniul 860-960 MHz indiferent de forma lor geometrică.

Tabel 1. Valorile condensatoarelor necesare pentru ca antenele să rezoneze la frecvența din domeniul 860 - 960MHz.

Diametru exterior [mm]	Numar infasurari	w [mm]	s [mm]	C circular [pF]	C patrat [pF]	C hexagonal [pF]	C octogonal [pF]
17	7	0.2	0.3	0.03307	0.0286	0.032865	0.03307
18	7	0.2	0.3	0.029908	0.0259	0.02971	0.029908
18	8	0.2	0.3	0.025588	0.0221	0.025448	0.025588
19	6	0.2	0.3	0.033265	0.0288	0.033001	0.033265
19	7	0.2	0.3	0.027248	0.0236	0.027058	0.027248
19	7	0.2	0.4	0.031589	0.0273	0.031415	0.031589
19	7	0.3	0.3	0.030935	0.0267	0.030758	0.030935
19	8	0.2	0.3	0.023193	0.0200	0.023055	0.023193
19	9	0.2	0.3	0.020343	0.0175	0.020246	0.020343
20	6	0.2	0.3	0.03063	0.0265	0.030379	0.03063
20	7	0.2	0.3	0.024983	0.0216	0.033756	0.024983
20	7	0.2	0.4	0.028778	0.0249	0.0248	0.028778
20	7	0.2	0.5	0.033064	0.0285	0.028607	0.033064
20	7	0.3	0.3	0.028209	0.0244	0.032919	0.028209
20	7	0.3	0.4	0.032416	0.0280	0.028035	0.032416
20	7	0.4	0.3	0.031781	0.0274	0.032267	0.031781
20	8	0.2	0.3	0.021169	0.0183	0.031627	0.021169
20	8	0.2	0.4	0.024819	0.0214	0.021035	0.024819
20	8	0.3	0.3	0.024333	0.0210	0.024704	0.024333
20	9	0.2	0.3	0.018479	0.0159	0.024215	0.018479
20	10	0.2	0.3	0.016525	0.0142	0.018381	0.016525

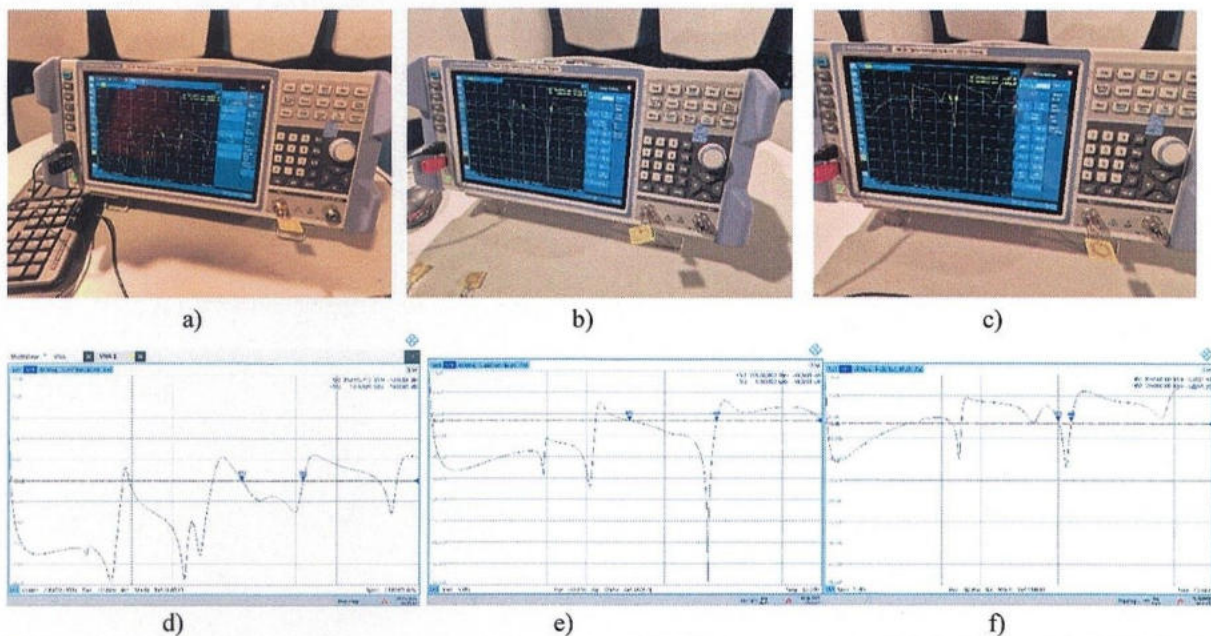


Figura 4. Utilizarea antenelor create pentru frecvența de 13.56 MHz pentru domeniul de frecvență 860-960 MHz: a) pătrată, b) circulară, c) hexagonală, d) VNA pătrată, e) VNA circulară, f) VNA hexagonală.

1.2. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 2.4 GHz

În cazul în care se dorește verificarea bobinelor la 2.4 GHz, se poate observa că inductivitățile bobinelor nu suferă modificări semnificative, iar valorile condensatoarelor care ar trebui introduse în paralel pentru a ajunge la frecvența de rezonanță sunt de data aceasta, după cum era de așteptat, și mai mici. Cu toate acestea se poate observa că frecvența de rezonanță nu este la valorile dorite, ci rezonază la o valoare mai mică dar totuși apropiată. Astfel se dorește în cele ce urmează să se determine elemente de circuit care să ducă la funcționarea structurilor la 2.4 GHz.

S-au analizat și alte posibile structuri care să funcționeze la 2.4 GHz prin modelare numerică, urmând a fi realizate practice. Astfel, o primă structură este cea din Figura 5, o structură simplă dar care rezonază la 2.4 GHz. Cu ajutorul acestei structuri s-a creat un array de antene care funcționează de asemenea la această frecvență, dar cu un câștig mai ridicat după cum se poate observa în Figura 6. Se dorește pe viitor crearea de array-uri de mai multe antene și modificarea parametrilor geometrici și de material pentru optimizarea acesteia.

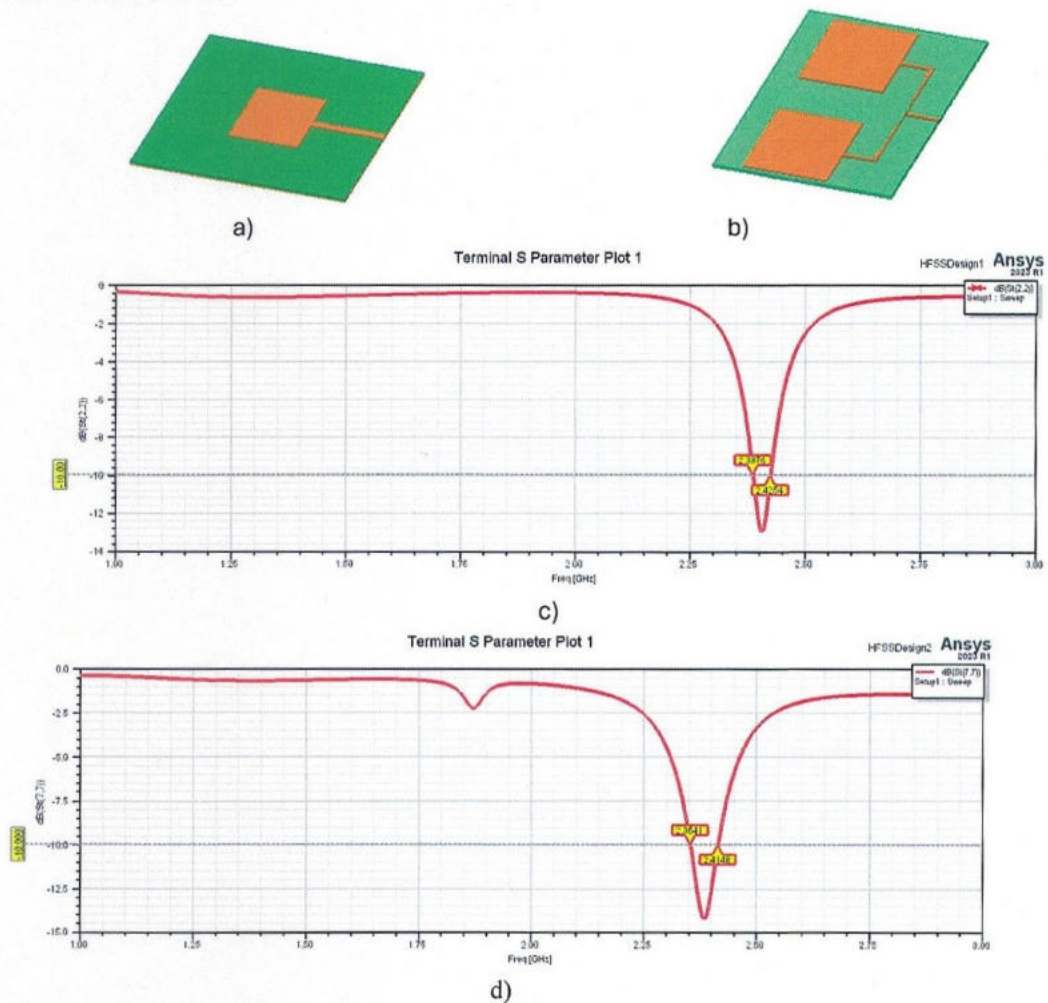


Figura 5. Antena 5GHz: a) antena singulară, b) antena array, c) parametrii S pentru antena singulară, d) parametrii S pentru antena array.

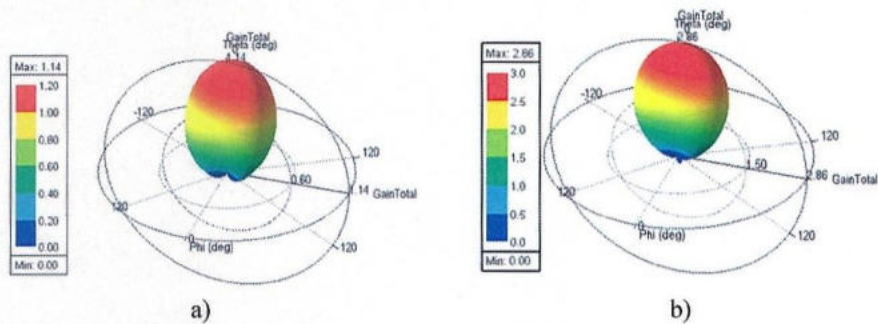


Figura 6. Câștigul antenelor analizate: a) antena singulară, b) antena array.

Cea de a doua antenă modelată ce va urma a fi optimizată este cea prezentată în Figura 7. Aceasta funcționează pe două domenii de frecvență după cum se poate observa în Figura 7b)

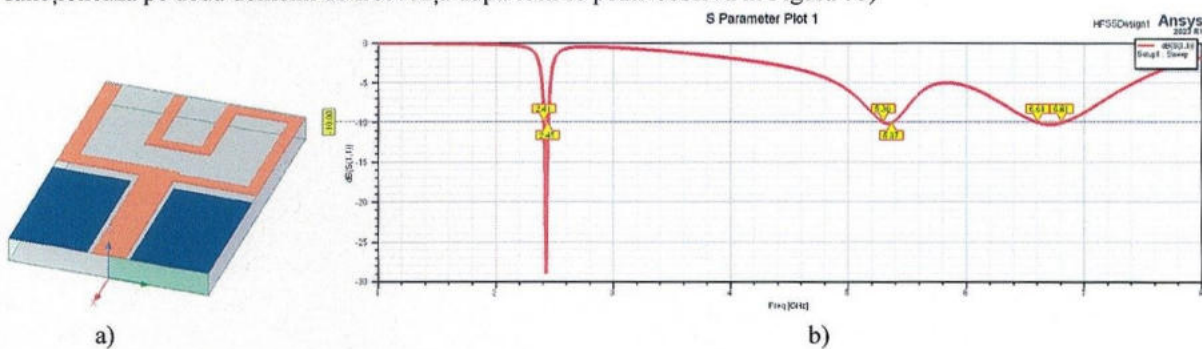


Figura 7. Cea de a doua antenă realizată pentru 2.4 GHz: a)structura geometrică, b)parametrii S.

1.3. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 5 GHz

Frecvența de 5 GHz nu este folosită în mod uzual în aplicațiile RFID, dar s-a proiectat, modelat și realizat și o astfel de antenă în cadrul studiului de față. Astfel, pornind de la un model precum cel prezentat în Figura 8, s-au analizat mai multe configurații și geometrii și s-a obținut o antenă de forma celei din Figura 9. Structura a fost realizată și practic (Figura 9b)), obținându-se parametrii S pentru aceasta (Figura 10b)) care sunt conformi cu cei obținuți prin modelare numerică(Figura 10a)).

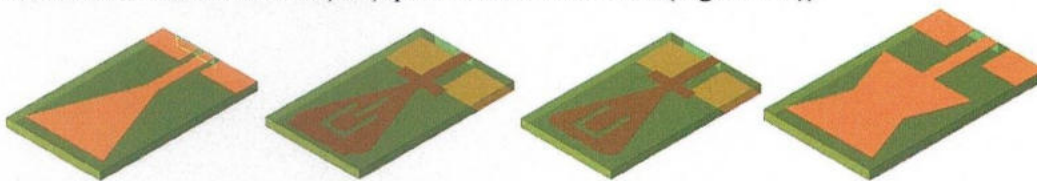
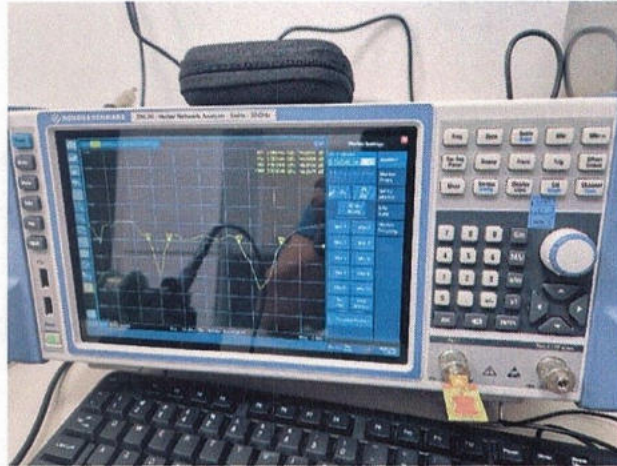


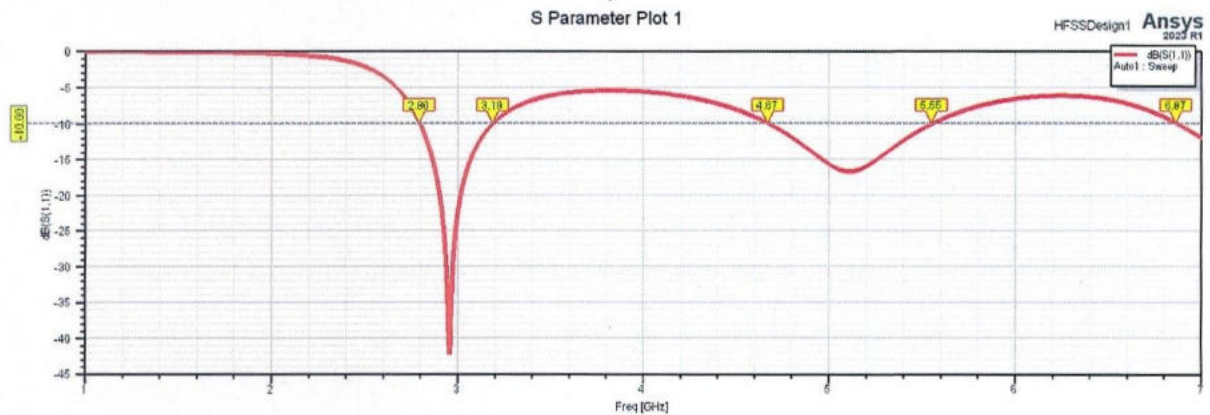
Figura 8. Diferite configurații și geometri realizate pentru a ajunge la antena care funcționează la 5 GHz.



Figura 9. Structura finală care funcționează la 5 GHz: a)structura modelată numeric, b) structura realizată practic.



a)



b)

Figura 10. Parametrii S pentru structura analizată obținuți prin: a) măsurare, b) modelare numerică.

2. Testarea influenței factorilor ambientali asupra performanțelor antenelor RFID

Pentru îndeplinirea acestui obiectiv, s-a pornit de la un prototip deja existent al unui sistem de răcire/încălzire care era creat după cum se poate observa în Figura 11. Acesta avea în componență doi senzori de măsurare a temperaturii, unul în interiorul și celălalt în exteriorul incintei, o placă de încălzire PCB dispusă în interior pe partea de jos a incintei, două ventilatoare pentru circulația aerului și un cooler peltier pentru răcirea incintei la nevoie. Dimensiunile incintei pot fi observate în Figura 11b). Interfața cu utilizatorul este alcătuită dintr-un ecran ce afișează un meniu de selectare al modului de operare, acesta are două moduri de operare: Modul Manual – utilizatorul alege o valoare pentru fiecare modul de schimbare al temperaturii și Modul Automat – utilizatorul poate să aleagă o valoare a temperaturii ce va fi menținută constant în interiorul încăperii. Cu ajutorul acestui prototip, deși temperatura nu a putut fi variată foarte mult s-a putut observa că o antenă de probă funcționând la 2.4 GHz operează diferit la variații de temperatură, ceea ce a dus la concluzia că o studiere a efectelor mediului ambiant asupra funcționării antenelor este un subiect de mare interes (Figura 12). Cu toate acestea, sistemul de răcire/încălzire creat variază temperatura într-un mod limitat, astfel se intenționează crearea unui nou prototip mai performant a cărui schemă electrică se poate vedea în Figura 13.

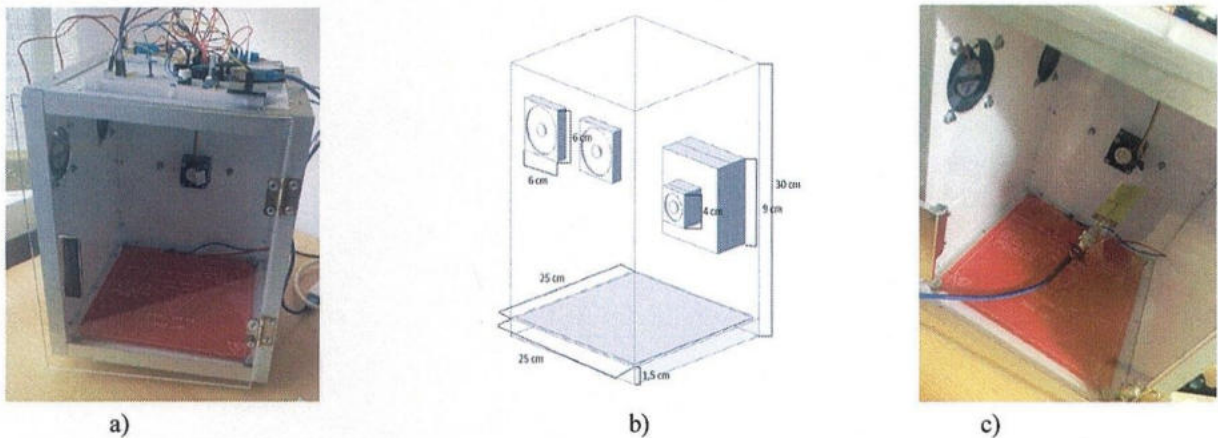


Figura 11. Componentele standului de testare pentru antenele RFID: a)incinta, b)dimensiuni incintă, c)măsurare parametrulii antenă.

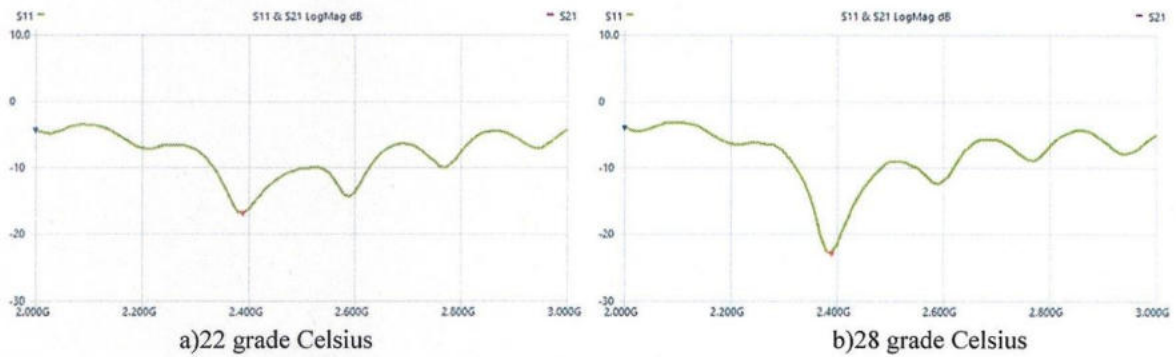


Figura 12. Determinarea parametrilor S pentru o antenă de test la temperaturi diferite.

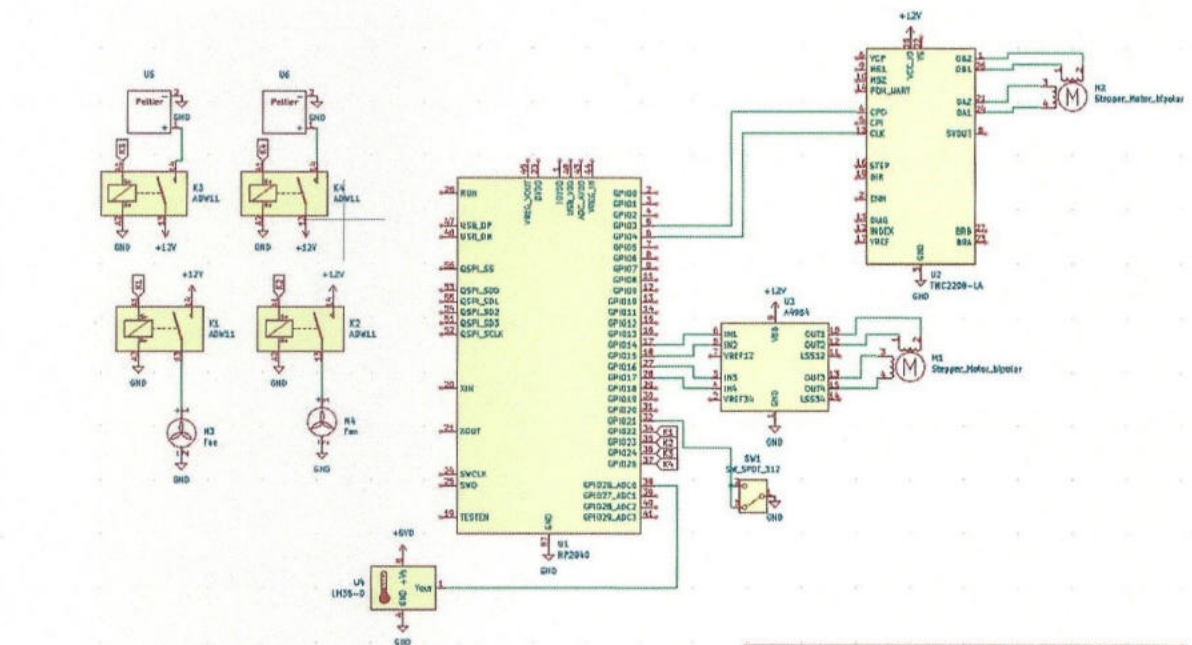


Figura 13. Schema electronică a standului de testare

Livrabile

În cadrul acestui proiect au fost elaborate 4 articole științifice prezentate în cadrul Conferinței Științifice EAEEIE'2025 (The 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering) care a avut loc în intervalul 18-20 iunie la Cluj-Napoca. Lucrările acestei conferințe vor fi publicate în baza de date IEEE Express

1. Claudia Constantinescu, Claudia Pacurar, Calin Munteanu, Adina Giurgiuman, Sergiu Andreica, Marian Gliga, Laura Grindei, Rodica Holonec, "Shaping a Better Future by Integrating Sustainability Projects into Educational Activities", The 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering, 18-20 June 2025

2. Rodica Holonec, Laura Grindei, Laszlo Rapolti, Constantinescu Claudia, "Learning About Sensors: Building Skills in Instrumentation and Data Acquisition for Electrical Engineering Students", The 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering, 18-20 June 2025

3. Marian Gliga, Calin Munteanu, Sergiu Andreica, Adina Giurgiuman, Claudia Pacurar, Claudia Constantinescu, Lavinia Opris, Marius Daniel Botezatu, Razvan Gheorghe Cartas, "Design and Implementation of a Smart Parking System: An Educational Approach for Developing Technical Competencies in IoT and Urban Traffic Management", 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering, 18-20 June 2025

4. Rapolti Laszlo, Rodica Holonec, Laura Grindei, Belean Adrian, Nyakas Andras, "Integrating IoT and AI Technologies in Engineering Education: A Smart Home Control Case Study", 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering, 18-20 June 2025

Ca idei de viitor se intenționează publicarea unui nou articol din materialului prezentat în cadrul raportului intermediar într-o revistă de specialitate cotate Q1 sau Q2.

Bibliografie

[1] Palani, H.; Karatas, A. Innovative Environmental Chamber Construction for Accurate Thermal Performance Evaluation of Building Envelopes in Varied Climates. *Buildings* 2023, 13, 1259.

[2] Ezike, S.C.; Alabi, A.B.; Ossai, A.N.; Aina, A.O. A Low-Cost Temperature-Controlled Chamber Fabricated for Materials Testing. *Designs* 2018, 2, 25. <https://doi.org/10.3390/designs2030025>

[3] E. Bekiroglu and H. Karaca, "Improving Energy Efficiency in Climatic Test Chambers with Deep Learning and Absolute Humidity Methods," 2023 11th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), Paris, France, 2023, pp. 01-06, doi: 10.1109/icSmartGrid58556.2023.10171071.

[4] J. Kousal, J. Kučera, T. Čenský and O. Plajdička, "Design and operation of simple thermal vacuum chamber for testing of small spacecraft components," 2019 New Trends in Aviation Development (NTAD), Chlumec nad Cidlinou, Czech Republic, 2019, pp. 102-105, doi: 10.1109/NTAD.2019.8875545.