

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: INGINERIE ELECTRICĂ ŞI ŞTIINŢA CALCULATOARELOR

Ing. Aurelian MORARU

**DEZVOLTAREA DE ETICHETE INTELIGENTE PENTRU
SPĂLĂTORII INDUSTRIALE**

DEVELOPING SMART LABELS FOR INDUSTRIAL LAUNDRIES

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Elena HELEREA

BRAŞOV, 2020

D-lui (D-nei)

COMPONENTA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universităţii Transilvania din Braşov

Nr. din

Prof.dr.ing. Mihail IVANOVICI	Preşedinte, Universitatea Transilvania din Braşov
Prof.dr.ing. Elena HELEREA	Conducător ştiinţific, Universitatea Transilvania din Braşov
Prof.dr.ing. Călin MUNTEANU	Referent oficial, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Prof.dr.ing. Gheorghe MANOLEA	Referent oficial, Universitatea din Craiova
Conf.dr.ing. Lia Elena ACIU	Referent oficial, Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora şi locul susţinerii publice a tezei de doctorat: 15.09.2020, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observaţii asupra conţinutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa moraru.aurelian@unitbv.ro.

Totodată, vă invităm să luaţi parte la şedinţa publică de susţinere a tezei de doctorat.

Vă mulţumim.

CUPRINS

	Pg. Teză	Pg. rezumat
LISTA DE NOTAȚII SI ABREVIERI	7	9
LISTA DE FIGURI SI TABELE	8	-
1. INTRODUCERE	14	10
1.1 Aspecte generale	14	10
1.2 Necesitatea și justificarea tezei	14	10
1.3 Scopul și obiectivele cercetării	15	11
1.4 Metodologia și etapele cercetării	15	12
1.5 Structura și conținutul tezei	16	13
2. SPĂLĂTORIILE INDUSTRIALE - DE LA CLASIC LA SMART PRIN TEHNOLOGIA RFID	20	16
2.1 De la spălatul manual la liniile de spălare profesionale	20	-
2.1.1 Evoluția tehnologiilor de spălare a textilelor	20	-
2.1.2 Spălarea ca proces de igienizare a articolelor textile	23	-
2.1.3 Mașinile de spălare - Performanțe privind consumurile specifice	24	-
2.2 Serviciile de spălătorie pentru textile profesionale	29	-
2.2.1 Clasificarea articolelor textile profesionale	29	-
2.2.2 Modele de organizare a serviciilor de spălătorie industrială	30	-
2.2.3 Studiu de caz - Evaluarea utilizării eficiente a capacităților de spălare în spălătoriile clasice	33	-
2.2.4 Impactul tehnologiilor de igienizare asupra mediului	41	-
2.3 Spălătorie inteligentă asistată de tehnologia RFID	44	-

2.3.1 Identificarea textilelor în spălătoriile industriale cu etichete RFID	44	-
2.3.2 Implementarea tehnologiei RFID în serviciile de spălătorie inteligentă	46	
2.3.3 Managementul performant prin tehnologii RFID în spălătorii	48	-
2.3.4. Impactul introducerii tehnologiei RFID	54	-
2.4 Concluzii	57	16
3. TEHNOLOGIA RFID ŞI SPECIFICUL ETICHETELOR UHF PASIVE	61	20
3.1. Tehnologia RFID de identificare a obiectelor	61	20
3.1.1. Evoluţia tehnologiilor de identificare a obiectelor	61	-
3.1.2. Structura sistemului RFID şi parametrii de performanţă	64	20
3.1.3. Transferul de energie şi informaţie în sistemul RFID	67	23
3.2. Etichete UHF RFID pasive – Comunicare şi modelare în teoria circuitelor	70	26
3.2.1. Comunicarea etichetă - interogator	70	26
3.2.2. Etichete cu structură de adaptare în impedanţă	72	27
3.2.3. Etichete cu transponder în cuplaj inductiv	73	29
3.3. Soluţii inovative de etichete cu transponder în cuplaj inductiv	75	-
3.4. Concluzii	83	31
4. PROIECTAREA SI REALIZAREA DE ETICHETE UHF RFID PASIVE PENTRU TEXTILE PROFESIONALE	85	33
4.1. Adecvarea etichetelor pasive la mediu	85	33
4.1.1. Probleme de adecvare la mediu	85	33
4.1.2. Identificarea aspectelor critice	87	-
4.2. Proiectarea etichetelor pasive UHF RFID cu cuplaj inductiv	88	35
4.2.1. Cerinţe şi constrângeri de proiectare	88	35
4.2.2. Proiectarea transponderului RFID	89	36
4.2.3. Proiectarea antenei UHF	95	43
4.3. Realizarea de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv	106	54

4.3.1. Soluții constructive existente	106	-
4.3.2. Structura etichetei propuse de autor	109	54
4.3.3. Modele constructive propuse	113	-
4.3.4. Încercări pentru alegerea variantei optime	116	-
4.4. Concluzii	119	57
5. MĂSURAREA ȘI VALIDAREA PERFORMANȚELOR ELECTROMAGNETICE LA ETICHETELE UHF RFID PASIVE REALIZATE	122	60
5.1. Metode de măsurare a performanțelor etichetelor UHF RFID pasive	122	60
5.1.1. Măsurarea semnalului RFID cu osciloscopul	122	60
5.1.2. Măsurarea frecvenței de rezonanță a antenei cu analizorul de spectru	125	64
5.1.3. Stabilirea echivalenței de măsurare câmp apropiat – câmp îndepărtat	128	66
5.2. Validarea performanțelor etichetelor UHF RFID pasive realizate	136	73
5.2.1. Validarea de către un laborator independent	136	73
5.2.2. Validarea în mediul spălătorii industriale	142	80
5.3. Concluzii	145	82
6. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI DIRECȚII NOI DE CERCETARE	147	84
6.1. Concluzii finale	147	84
6.2. Contribuții originale	152	89
6.3. Valorificarea rezultatelor cercetării	154	91
6.4. Direcții noi de cercetare	155	92
BIBLIOGRAFIE	156	93
SCURT REZUMAT (ROMÂNĂ/ENGLEZĂ)	164	102

CONTENT

	Thesis Pg.	Abstract Pg.
LIST OF NOTATIONS AND ABBREVIATIONS	7	9
LIST OF FIGURES AND TABLES	8	-
1. INTRODUCTION	14	10
1.1. General aspects	14	10
1.2. The necessity and justification of the thesis	14	10
1.3. Purpose and objectives of the research	15	11
1.4. Research methodology and its working stages	15	12
1.5. Structure and content of the thesis	16	13
2. INDUSTRIAL LAUNDRIES - FROM CLASSIC TO SMART BY RFID TECHNOLOGY	20	16
2.1. From manual washing to professional washing lines	20	-
2.1.1. Evolution of textile washing technologies	20	-
2.1.2. Washing as a process of sanitizing textile articles	23	-
2.1.3. Washing machines - Specific consumption performances	24	-
2.2. Laundry services for professional textiles	29	-
2.2.1. Classification of professional textile articles	29	-
2.2.2. Models of organization of industrial laundry services	30	-
2.2.3. Case study - Evaluation of the efficient use of washing capacities in classic laundries	33	-
2.2.4. The impact of sanitation technologies on the environment	41	-
2.3. Intelligent laundry assisted by RFID technology	44	-
2.3.1. Identification of textiles in industrial laundries with RFID tags	44	-

2.3.2. Implementation of RFID technology in smart laundry services	46	
2.3.3. Performance management through RFID technologies in laundries	48	-
2.3.4. Impact of the implementation of RFID technology	54	-
2.4. Conclusions	57	16
3. RFID TECHNOLOGY AND THE SPECIFICITY OF PASSIVE UHF TAGS	61	20
3.1. RFID technology for object identification	61	20
3.1.1. The evolution of object identification technologies	61	-
3.1.2. RFID system structure and performance parameters	64	20
3.1.3. Transfer of energy and information in the RFID system	67	23
3.2. Passive UHF RFID tags - communication and modeling in circuit theory	70	26
3.2.1. Communication protocol TAG - Interrogator	70	26
3.2.2. Labels with impedance matching structure	72	27
3.2.3. RFID tags with transponder in inductive coupling	73	29
3.3. Innovative solutions for tags with inductive coupling transponder	75	-
3.4. Conclusions	83	31
4. DESIGN AND MANUFACTURE OF PASSIVE UHF RFID TAGS FOR PROFESSIONAL TEXTILES	85	33
4.1. Adapting of passive RFID tags to the environment	85	33
4.1.1. Problems of adaptation to the environment	85	33
4.1.2. Identifying critical issues	87	-
4.2. Design of passive UHF RFID tags with inductive coupling	88	35
4.2.1. Design requirements and constraints	88	35
4.2.2. RFID transponder design	89	36
4.2.3. UHF antenna design	95	43
4.3. Making passive RFID UHF tags with inductive coupling	106	54
4.3.1. Existing constructive solutions	106	-
4.3.2. The structure of the RFID tag proposed by the author	109	54

4.3.3. Proposed constructive models	113	-
4.3.4. Tests for choosing the optimal solution	116	-
4.4. Conclusions	119	57
5. MEASUREMENT AND VALIDATION OF ELECTROMAGNETIC PERFORMANCES OF THE DEVELOPED PASSIVE UHF RFID TAGS	122	60
5.1. Methods for measuring the performance of passive UHF RFID tags	122	60
5.1.1. Measuring the RFID signal with the oscilloscope	122	60
5.1.2. Measuring the resonant frequency of the antenna with the spectrum analyzer	125	64
5.1.3. Establishment of the near field-far field measurement equivalence	128	66
5.2. Validation of the performances of the realized passive UHF RFID tags	136	73
5.2.1. Validation in an independent laboratory	136	73
5.2.2. Validation in the environment of industrial laundries	142	80
5.3. Conclusions	145	82
6. FINAL CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS, VALUATION OF RESULTS AND IDENTIFICATION OF NEW RESEARCH DIRECTIONS	147	84
6.1. Final conclusions	147	84
6.2. Original contributions	152	89
6.3. Valorisation of the research results	154	91
6.4. New directions of research	155	92
BIBLIOGRAPHY	156	93
SHORT ABSTRACT	164	102

LISTĂ DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI

Backscatter wave	Undă reflectată
Balun	BALanced UNbalanced
BD	Bază de Date
CI	Circuit Integrat
EAN	European Article Number
EIP	Echipment Individual de Protecție
EPC	Electronic Product Code
EPC GLOBAL	Electronic Product Code Global
FIFO	First Input – First Output
GS1	Global Standards One
HF	High Frequency
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LF	Low Frequency
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency IDentification
RL	Return Loss
RSSI	Received Signal Strength Indication
RTLS	Real Time Location System
SAI	Structură de Adaptare în Impedanță
SHF	Super High Frequency
UCC	Uniform Concil Code
UHF	Ultra High Frequency
UPC	Universal Product Code

1. INTRODUCERE

1.1 Aspecte generale

Cercetarea, dezvoltarea și implementarea de tehnologii noi, inovative sunt activități menite să ușureze munca oamenilor și să ofere o garanție a îndeplinirii corecte și măsurabile a scopurilor propuse. Identificarea obiectelor este prima condiție necesară pentru a putea număra, controla și raporta în mod obiectiv rezultatele activităților profesionale și de asemenea condiția obligatorie pentru a putea eficientiza și automatiza procesele industriale.

Odată cu identificarea unică a obiectelor, comunicarea dintre acestea fără intervenția directă umană a devenit un domeniu important al cercetării. Conceptul de *Internet of Things* se referă la această comunicare și schimb de date ce are loc între obiecte cu condiția dobândirii identității și construirea de aplicații specifice care să colecteze, să prelucreze și să transmită mai departe informația [Chen, 2016].

Spălătoriile industriale pentru textile profesionale, în întreaga lume, sunt centre care prin procesele de igienizare a textilelor generează agenți poluanți dăunători mediului înconjurător. Introducerea tehnologiei RFID în acest domeniu duce la reducerea cantităților de agenți poluanți, la eficientizarea proceselor de igienizare, respectiv la reducerea consumurilor specifice de apă, detergenți, energie în toate formele ei (electrică, termică etc.) precum și la o mai bună gospodărire a textilelor în sensul utilizării lor până la consumarea duratei de viață, reducând astfel deșeurile de textile profesionale.

1.2 Necesitatea și justificarea tezei

Tema de cercetare, legată de dezvoltarea de etichete UHF RFID pasive pentru funcționarea în mediul ostil al spălătoriilor industriale se aliază preocupărilor actuale privind realizarea de textile inteligente.

Un articol textil căruia i se atașează o etichetă inteligentă RFID devine un articol textil inteligent. Eticheta RFID UHF pasivă, element esențial al unui sistem de monitorizare RFID, reprezintă la ora actuală un produs care în cazul utilizării în medii agresive nu este suficient de robust, precum utilizarea în mediul spălătoriilor industriale, pe toată durata de viață a unui articol textil. Acestea se distrug fizic sau electric în timpul proceselor repetate de igienizare, articolul textil pierzându-și identitatea, iar aplicația de monitorizare fiind compromisă. Noi

cercetări sunt necesare pentru găsirea de soluții pentru realizarea de etichete RFID capabile să reziste în mediul ostil din spălătoriile industriale.

Tema de cercetare se încadrează în Programul – cadru pentru cercetare și inovare al Uniunii Europene – HORIZON 2020, elaborat de către Comisia Europeană, pe direcția de cercetare – *Poziția de lider în materie de tehnologii generice și industriale*. Această direcție sprijină tehnologiile revoluționare necesare pentru stimularea inovării în toate sectoarele printre care se regăsește și domeniul textilelor inteligente [Horizon, 2020].

1.3 Scopul și obiectivele cercetării

Scopul prezentei cercetări a fost identificat pe baza analizei soluțiilor de implementare a tehnologiei RFID în domeniul serviciilor de spălătorie industrială precum și a urmării proceselor de igienizare care au reliefat neajunsurile în funcționarea proceselor monitorizate și acutizarea necesității de identificare a articolelor textile care se întrețin în spălătoriile industriale.

Obiectivul principal al tezei este implementarea tehnologiei RFID în domeniul serviciilor de igienizare a textilelor profesionale prin dezvoltarea de etichete UHF RFID pasive care atașate articolelor textile să fie capabile să funcționeze cu fiabilitate crescută în mediul ostil al spălătoriilor industriale.

Obiective specifice

În vederea atingerii obiectivului principal sunt necesare a fi parcurse mai multe etape de cercetare, direcționate de obiectivele specifice ale prezentei cercetări, respectiv:

01. Cunoașterea și analiza procesului de igienizare a textilelor și identificarea condițiilor de tranziție către spălătorie inteligentă utilizând tehnologia RFID.

02. Înțelegerea și descrierea bazei teoretice a transferului de energie și informație în sistemul RFID, modelarea arhitecturii etichetelor UHF RFID pasive și analiza soluțiilor inovative existente.

03. Proiectarea și realizarea de etichete RFID pasive pentru identificarea textilelor profesionale, cu acuratețe de citire bună la o distanță specificată, de dimensiuni cât mai reduse și rezistență mărită la mediul ostil din spălătoriile industriale.

04. Dezvoltarea de metode de măsurare și validarea performanțelor etichetelor UHF RFID pasive în condiții laborator și în mediul spălătoriilor industriale.

1.4 Metodologia și etapele cercetării

Metodologia cercetării cuprinde elemente de cercetare teoretică, cercetare experimentală și dezvoltare de produs.

Etapele cercetării au inclus cercetările efectuate din perioada pre-doctorală și cele din cadrul programului de studii a Școlii multidisciplinare din cadrul Universității *Transilvania* din Braşov:

2012 – 2014 Cercetare preliminară

Cercetarea s-a desfășurat începând cu anul 2012, prin testarea pe fluxul de spălare din spălătoria companiei Promar Textil Industries a etichetelor UHF RFID pasive existente pe piață. Deoarece testarea inițială s-a desfășurat în mediul industrial, timpii de testare erau foarte lungi. Un ciclu complet de spălare durează în medie 60 de minute. Pentru a realiza 400 de cicluri de spălare complete sunt necesare câteva luni de zile de testare. S-au testat peste 20 de modele existente propuse pe piață din țări precum Turcia, Elveția, Franța, Japonia, China. Astfel, testarea versiunilor de etichete existente a durat 2 ani. În această perioadă au fost evidențiate neajunsurile tipurilor de etichete RFID existente și cauzele care au dus la neîncrederea mediului de afaceri în implementarea tehnologiei RFID în domeniul spălătoriilor industriale. Sinteza deficiențelor constatate a condus la formularea problemei de rezolvat.

2014 Dezvoltarea laboratorului de testare a tehnologiei RFID

Laboratorul de testare a fost dotat cu dispozitivele necesare efectuării de măsurători care a permis scurtarea timpului de testare.

2015 – 2020 Cercetare teoretică și experimentală a etichetei UHF RFID pasive

În cadrul programului Școlii Doctorale Multidisciplinare de la Universitatea *Transilvania* din Braşov, Departamentul de Inginerie Electrică și Fizică Aplicată a Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor au fost efectuate cercetări fundamentale teoretice care au stat la baza interpretării corecte a fenomenelor electromagnetice de transfer de informație și energie în vederea proiectării și realizării de modele noi de etichete UHF RFID pasive. În paralel cu studiul teoretic s-au desfășurat cercetări experimentale de laborator care au avut ca rezultat modelele de etichete RFID care să fie ușor industrializate într-o potențială producție de etichete inteligente românești. Rezultatul cercetării este versiunea etichetei UHF RFID pasive cu buclă dublă de cuplaj inductiv, DAC 100. Această nouă etichetă inteligentă românească a fost dedicată aniversării a 100 de ani de la înfaptuirea României Mari la 1 Decembrie 1918.

1.5 Structura și conținutul tezei

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole, conține un număr de 95 figuri, 36 tabele, 98 de referințe bibliografice.

Capitolul 1, *Introducere*, tratează aspectele generale privind domeniul de cercetare în care se încadrează această lucrare. Sunt prezentate problemele cu care se confruntă domeniul spălătorii industriale, sunt identificate necesitățile care justifică realizarea prezentei lucrări de cercetare. Se identifică necesitatea temei de cercetare cu direcțiile de cercetare din cadrul Programului cadru pentru cercetare și inovare al Uniunii Europene pentru perioada 2014 – 2020. Sunt stabilite obiectivul principal și obiectivele specifice ale tezei de doctorat. De asemenea sunt prezentate etapele efectuării cercetării precum și metodologia utilizată. La final este prezentată structura lucrării împreună cu conținutul tezei.

În Capitolul 2, *Spălătoriile industriale - de la clasic la smart prin tehnologia RFID*, este realizată o cercetare documentară legată de evoluția tehnologiilor de spălare, începând de la spălarea textilelor manual, individual, prima mașină de spălat casnică și până la centrele de spălare industriale bazate pe linii automatizate. Evoluția tehnologică a permis și evoluția serviciilor de spălătorie oferite de mediul de afaceri. Este realizată o sinteză a tipurilor de servicii de igienizare a articolelor textile profesionale și se clasifică articolele profesionale după modul lor de utilizare și întreținere. Este prezentat studiul de caz realizat privind determinarea gradului de încărcare al mașinilor de spălare într-o spălătorie convențională. Pentru creșterea eficienței procesului de igienizare este aplicată metoda multicriterială de tip *brainstorming* pentru selecția tehnologiei de identificare a articolelor textile. Este dovedită necesitatea implementării tehnologiei RFID, sunt identificate condițiile de tranziție către spălătoria inteligentă utilizând tehnologia RFID. Se definesc indicatorii de performanță specifici activităților din spălătoriile industriale precum și din serviciile conexe.

În Capitolul 3, *Tehnologia RFID și specificul etichetelor UHF pasive*, se prezintă bazele teoretice ale transferului de energie și informație în sistemul RFID. Sunt descrise avantajele tehnologiei RFID în comparație cu alte tehnologii de identificare. Se analizează arhitectura etichetei RFID cu structură de adaptare în impedanță și este evidențiată inadecvarea acesteia la aplicațiile din spălătoriile industriale. Comparativ, se analizează arhitectura etichetei UHF RFID cu transponder în cuplaj inductiv care poate fi adaptată mediului ostil din spălătorii. Modelarea arhitecturii etichetelor UHF RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv este realizată cu teoria circuitelor electrice și stă la baza etapei de proiectare. Este efectuată o analiză comparativă asupra soluțiilor existente pe piață.

În Capitolul 4, *Proiectarea și realizarea de etichete UHF RFID pasive pentru textile profesionale*, este descrisă cercetarea experimentală efectuată pentru punerea în evidență a aspectelor critice privind utilizarea etichetelor UHF RFID în mediul agresiv al spălătorii industriale. Sunt sistematizate cerințele impuse proiectării etichetei UHF RFID pasive și anume: cerințe legate de natura obiectului de identificat și mediul de lucru, cerințe legate de parametrii circuitului integrat, cerințe legate de parametrii antenei UHF și cerințe funcționale. Sunt prezentate etapele de proiectare ale etichetei UHF RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv. Proiectarea transponderului include alegerea circuitului integrat RFID și proiectarea buclei de cuplaj inductiv a transponderului. Pentru dimensionarea antenei UHF s-au făcut evaluări preliminare și s-au propus geometrii diferite ale antenei, concepute cu scopul de a reduce dimensiunea etichetei. Pentru asigurarea unui transfer eficient de energie între transponder și antena UHF, s-a proiectat o geometrie de antenă cu buclă dublă în zona de cuplaj inductiv cu transponderul, care respectă simultan cele două condiții: realizarea rezonanței și egalizarea valorilor rezistenței de radiație a antenei și a rezistenței de sarcină a circuitului integrat. Pe baza elementelor de proiectare descrise este prezentată soluția constructivă realizată de autor, cu sublinierea noutății, originalității și a performanțelor electromagnetice obținute. Sunt realizate patru modele constructive de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv destinate identificării articolelor textile care au antena UHF realizată cu materiale și tehnologii diferite: vopsea electroconductivă, fir metalic din cupru argintat izolat cu teflon, fir textil acoperit cu un strat de argint, conductor metalic multifilament din oțel inox. Testările efectuate la încercări ciclice de spălare și la încercări de îndoire au pus în evidență durabilitatea și performanțele electromagnetice ale modelului cu antena cu buclă dublă, realizată cu conductor metalic multifilament din oțel inox, model care a fost denumit DAC100.

În Capitolul 5, *Măsurarea și validarea performanțelor electromagnetice ale etichetelor UHF RFID pasive realizate*, sunt descrise două metode de măsurare a performanțelor antenelor UHF concepute de autor: măsurarea semnalului RFID de comunicație etichetă-cititor cu osciloscopul care permite vizualizarea formei și amplitudinii semnalului RFID modulat și codificat, emis de interogator și recepționat de antena UHF a etichetei și măsurarea semnalului RFID de comunicație etichetă-cititor cu analizorul de spectru care permite determinarea frecvenței de rezonanță a antenei UHF. Este descrisă metodologia de echivalare a rezultatelor măsurărilor din câmp îndepărtat cu cele din câmp apropiat dezvoltate de autor. Validarea performanțelor electromagnetice ale etichetelor DAC100 s-a

efectuat în Laboratorul Voyantic, comparativ cu performanţele altor etichete cu antenă cu buclă simplă de cuplaj inductiv. Validarea anduranţei în exploatare a etichetei DAC100 s-a realizat prin introducerea în fluxul de igienizare dintr-o spălătorie externă, etichetele fiind supuse la mai multe cicluri industriale de spălare şi finisare.

În Capitolul 6, *Concluzii finale, contribuţii originale, valorificarea rezultatelor şi direcţii noi de cercetare*, sunt prezentate concluziile finale ale cercetării. Se menţionează contribuţiile proprii ale autorului şi se prezintă activităţile de diseminare şi valorificare a rezultatelor obţinute. Etichetele UHF RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv, proiectate a funcţiona în mediile severe industriale, pot fi utilizate într-o multitudine de aplicaţii, deschizând calea pentru noi direcţii de cercetare şi implementare a tehnologiei RFID.

2. SPĂLĂTORIILE INDUSTRIALE - DE LA CLASIC LA SMART PRIN RFID

1. Tehnologiile de spălare a textilelor au evoluat având în vedere că din cele mai vechi timpuri omenirea a fost preocupată de întreţinerea articolelor textile atât de îmbrăcăminte cât şi de uz general. La sfârşitul secolului al XX-lea au apărut centrele de spălare industrială:

- Spălătorii comerciale, spălătorii adresate oamenilor pentru întreţinerea textilelor individuale şi familiale;
- Spălătorii instituţionale, destinate igienizării textilelor utilizate de diverse instituţii;
- Spălătorii industriale pentru textile profesionale, destinate întreţinerii textilelor utilizate în desfăşurarea activităţilor profesionale.

2. Analiza procesului de igienizare a textilelor a pus în evidenţă factorii determinanţi privind calitatea spălării, pregătind terenul de cercetare şi studiu în vederea optimizării consumurilor realizate în timpul procesului de igienizare şi respectiv, creşterea eficienţei activităţii în spălătorii industriale.

3. Scăderea consumurilor de apă, energie în toate formele ei, detergenţi, textile utilizate a devenit un obiectiv major pentru toate companiile precum şi pentru autorităţile de reglementare europene şi naţionale. S-au proiectat şi realizat soluţii inovative pentru obţinerea acestui deziderat. Tehnologiile de spălare au evoluat continuu, de la simpla maşină de spălat rotativă, la linii de spălare profesionale care au redus considerabil consumurile specifice. S-au realizat instalaţii şi dispozitive performante pentru realizarea de economii precum şi pentru recuperarea apei, energiei şi detergenţilor pe fluxul procesului de igienizare a textilelor.

Având în vedere politicile de protecţie a mediului şi de creştere a eficienţei energetice, s-au elaborat ghiduri de bune practici şi recomandări de către Comisia Europeană precum şi autorităţile naţionale privind indicatorii de performanţă optimi pe care trebuie să le atingă spălătorii industriale pentru textile profesionale. Prin aceste recomandări se urmăreşte optimizarea proceselor de igienizare la nivelul Uniunii Europene şi respectiv reducerea substanţială a impactului activităţii spălătorilor industriale asupra mediului înconjurător.

4. Este utilă o grupare articolelor textile în două clase şi anume articole textile comerciale şi profesionale după modul diferit de întreţinere a acestora. Articolele textile profesionale sunt

igienizate în spălătoriile industriale iar cele comerciale în spălătoriile comerciale. Organizarea articolelor textile profesionale în două grupe, articole textile individuale și generale este de asemenea utilă, necesară datorită specificului diferit al utilizării acestora.

5. Textilele ce se întrețin în spălătoriile industriale pot avea ca proprietar pe utilizatorul final sau pot fi închiriate. Deținerea proprietății este criteriul pe bază care diferențiază modelele de servicii de spălare oferite pe piață. Serviciile de bază sunt serviciile prin care se realizează spălarea textilelor aflate în proprietatea utilizatorului final iar cele de închiriere și spălare se adresează întreținerii textilelor pe care spălătoriile le închiriază utilizatorilor finali.

6. Spălătoriile care efectuează servicii de bază se confruntă cu probleme de organizare a fluxului, din cauza numărului mare de articole cu compoziții și culori diferite ale materialelor. Din această cauză eficiența activității în spălătoriile care oferă astfel de servicii este mică. Autorul efectuează un studiu de caz pentru stabilirea gradului de ocupare al capacităților de spălare dintr-o spălătorie industrială clasică. În urma metodologiei propuse de autor, se arată că eficiența într-un astfel de model de organizare este de 50,6 %.

7. Pentru creșterea gradului de ocupare a eficienței activității într-o spălătorie de tip industrial, autorul a realizat o analiză multicriterială prin metoda „brainstorming” cu obiectivul specific de identificare a unor metode adecvate de asigurare a trasabilității textilelor pe parcursul fluxului procesului de igienizare. Acest studiu a arătat că identificarea unică a textilelor oferă soluția cea mai favorabilă pentru rezolvarea problemei, iar dintre toate metodele de identificare analizate, metoda de identificare în mod unic a textilelor cu etichete pasive RFID este cea mai adecvată.

8. Având în vedere că spălătoriile industriale sunt surse de poluare pentru mediul înconjurător, creșterea eficienței în activitățile din spălătorii duce la reduceri importante a surselor de poluare, precum: apa uzată, reziduurile de detergenți, energia consumată în toate formele ei, precum și cantitățile de textile devine deșeuri textile care urmează a fi reciclate. Politicile naționale și europene, prin editarea „Manualului de bune practici din spălătoriile industriale” propune diverse soluții tehnologice prin care se pot obține reduceri de până la 60% a nivelului energiei consumate în timpul proceselor de igienizare.

9. Prin această cercetare, se demonstrează că eficiența poate fi în continuare crescută prin implementarea tehnologiilor RFID pentru identificarea articolelor textile. Această lucrare poate fundamenta metodele de îmbunătățire a performanțelor propuse prin Manualul de bune practici și poate servi la editarea unei noi ediții a acestuia.

10. Identificarea unică a textilelor profesionale cu etichete inteligente RFID deschide o nouă etapă în evoluția și dezvoltarea serviciilor de spălare a textilelor profesionale. Un articol textil căruia i se atașează o etichetă inteligentă RFID devine un articol textil inteligent. Identificarea obiectelor cu coduri unice electronice stă la baza inițierii și dezvoltării conceptului IoT (Internet of Things). Eticheta RFID UHF pasivă, element esențial al unui sistem de monitorizare RFID, este la ora actuală un produs. Dar în cazul utilizării în medii agresive (spălătoriile industriale), pe toată durata de viață a unui articol textil, nu este suficient de robustă. Acestea se distrug fizic sau electric în timpul procesului de igienizare articolul textil pierzându-și identitatea iar aplicația de monitorizare fiind compromisă. Cercetările trebuie să continue pentru găsirea de soluții pentru realizarea de etichete RFID capabile să reziste în mediul ostil din spălătoriile industriale. Aplicațiile utilizate pot urmări articolele textile în fluxul intern al din spălătorii cât și în circuitul extern realizat între spălătorii și clienți.

11. Implementarea unei soluții tehnologice RFID în spălătoriile industriale trebuie să țină seama de fluxul tehnologic și particularitățile circuitelor articolelor textile din spălătorie și din circuitul extern.

12. Identificarea articolelor textile prin implementarea tehnologiei RFID permite aplicarea unui management eficient realizat prin urmărirea unor indicatori specifici de performanță: durata de utilizare a textilelor, gradul de uzură, valoarea rămasă de amortizat și oportunitatea de cost în investiții pentru textile profesionale.

13. Textilele aflate în circuitul dintre clienți și spălătorie și care sunt supuse ciclurilor repetate de spălare se uzează. Monitorizarea gradului de uzură a articolelor textile este posibilă datorită faptului că acestea au identitate unică. În urma activității din spălătoriile industriale pentru textile profesionale rezultă deșeurile de textile. Creșterea cantităților de deșeurile cu articole textile a căror grad de uzură este mic, ne indică un nivel scăzut și ineficient de organizare a activității din spălătorie. Raportarea deșeurilor de textile este de asemenea importantă și face parte din activitățile obligatorii ale companiilor privind raportarea anuală a deșeurilor rezultate în urma activității industriale desfășurate. Întocmirea automată de rapoarte privind cantitățile de deșeurile generate și corelarea acestora cu gradul de uzură ne arată cât de eficienți suntem. În urma analizei cauzelor care au dus la generarea de deșeurile textile cu grad mic de uzura se poate construi un plan de activități care să crească nivelul de utilizare a textilelor până la epuizarea duratei de viață a acestora. În acest fel vom reuși să scădem cantitățile de deșeurile generate și să devenim eficienți. Spălătoriile care oferă servicii

de închiriere și igienizare pentru textile profesionale au nevoie de a-și împrospăta anual stocul de articole textile cu articole noi. În mod firesc trebuie înlocuite articolele textile cu grad mare de uzură. Identificarea unică și întocmirea de rapoarte din care putem extrage articolele și cantitățile aferente cu grad mare de uzură, ne ajută în luarea unei decizii corecte cu privire la achiziția de textile pentru reîmprospătarea stocului anual.

14. Analiza realizată de autor pune în evidență impactul implementării tehnologiei RFID pe fluxul intern din spălătorii cât și în circuitul extern al textilelor, realizat între spălătorii și clienții acestora. Este realizată o sinteză a beneficiilor implementării tehnologiei RFID punând în evidență în special, optimizarea traseelor logistice, eliminarea erorilor umane, reducerea timpului de lucru și a costurilor legate de resursa umană.

3. TEHNOLOGIA RFID ŞI SPECIFICUL ETICHETELOR UHF PASIVE

3.1. Tehnologia RFID de identificare a obiectelor

3.1.2. Structura sistemului RFID şi parametrii de performanţă

Sistemul RFID este format dintr-o populaţie de etichete RFID ataşate obiectelor, interogator legat la un calculator şi aplicaţii software specifice (Fig. 3.4.).

Identitatea unică a obiectelor, codificată EPC, este asigurată prin comunicarea între etichete şi interogator, iar aplicaţiile software permit localizarea, inventarierea şi securizarea obiectelor.

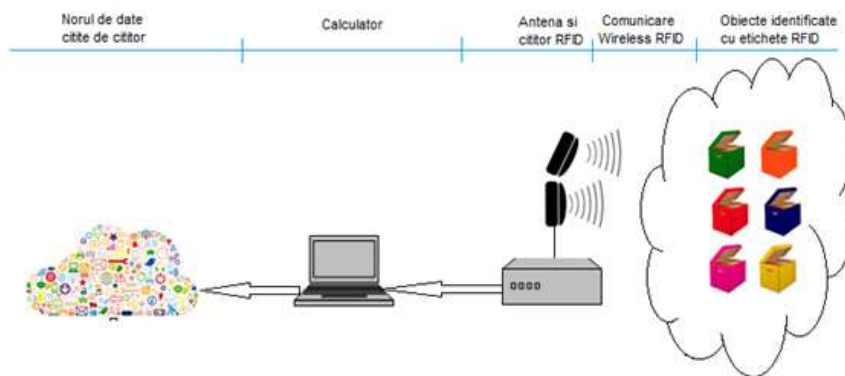


Fig. 3.4. Structura generală a unui sistem RFID

În funcţie de soluţia software aleasă, care controlează sistemul RFID, accesul la datele sistemului poate fi limitat la nivelul serverului local sau poate fi permis din orice locaţie cu acces la Internet, conform protocolului IP (*Internet Protocol*).

Comunicarea într-un sistem RFID se realizează între interogator şi etichetele RFID. Etichetele reflectă unda radio modulată cu semnalul codificat aferent numărului de serie EPC, iar, la nivelul interogatorului, unda radio reflectată este demodulată şi pachetul de date transmis este preluat în baza de date a sistemului de calcul.

Performanţele etichetelor condiţionează strict tipul aplicaţiilor RFID. În funcţie de sursa de alimentare cu energie, există trei clase de etichete RFID:

- Etichete RFID pasive - acestea nu au sursă proprie de energie. Energia necesară funcţionării este extrasă din undele electromagnetice emise de interogator atunci când

se află în zona de radiație a acestuia. Etichetele RFID pasive, care funcționează în domeniul de frecvență ultra-înaltă (UHF) în zona de câmp îndepărtat, reflectă undele electromagnetice emise de către interogator, modulându-le într-o undă reflectată, purtătoare de informație, denumită *“backscattered wave”*. Etichetele RFID pasive care funcționează în domeniul de joasă frecvență (LF) și înaltă frecvență (HF) comunică cu interogatorul în zona de câmp apropiat, prin inducție electromagnetică.

- Etichete RFID active – acestea au sursă de energie proprie, care alimentează cu energie circuitul integrat, în câmp îndepărtat, comportându-se ca două stații emisie-recepție independente. Etichetele RFID active au capacitatea de a comunica și între ele, fără a mai fi necesară acțiunea interogatorului.
- Etichete RFID semipasive - acestea au sursă de energie proprie, însă sunt activate numai sub acțiunea undelor electromagnetice emise de către interogator. Energia proprie este utilizată numai pentru transferul informației între etichetă și interogator, și face ca distanța de comunicare să fie mult mai mare. Sursa de energie proprie participă și la alimentarea eventualilor senzori atașați.

Etichetele RFID pot funcționa în benzi de frecvențe reglementate [EPC_GS1, 2005], având aplicații specifice (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2. Benzi de frecvențe reglementate și aplicații specifice pentru etichetele RFID

Tipul etichetei RFID	Banda de frecvență	Aplicații specifice
Etichetă RFID LF	(124 – 134) kHz	Identificare animale autovehicule, control acces.
Etichetă RFID HF	13,56 MHz	Control acces, plăți electronice, bagaje, cărți, medicamente, articole textile.
Etichetă RFID UHF	(860 – 960) MHz	Lanț de aprovizionare (paleți, cutii, etc.), textile în spălătorii.
Etichetă RFID SHF	(2,4 – 2,4835) GHz și 5,8 GHz	Securitate, automatizări industriale, RTLS.

Indicatorii de performanță pentru sistemele RFID sunt specifici pentru etichete și pentru interogatoare.

Indicatorii de performanță pentru eticheta pasivă UHF cu aplicații la articolele textile sunt:

- **Sensibilitatea etichetei**, care este dată de nivelul minim al puterii de transmisie a interogatorului de care are nevoie eticheta pentru activarea circuitului integrat intern.

- **Capacitatea de a efectua backscatter:** eticheta RFID pasivă reflectă o parte din energia undei primite de la interogator. Forma și deschiderea antenei vor reflecta mai multă sau mai puțină energie. Capacitatea de a reflecta cât mai multă energie din energia primită caracterizează această performanță a etichetei.

Indicatorii de performanță pentru interogator/sistem RFID/ sunt:

- **Puterea de emisie** este o caracteristică importantă a interogatorului. În funcție de aceasta, poate crește distanța la care se poate plasa o etichetă RFID pasivă și care să primească suficientă energie pentru activarea circuitului integrat intern.
- **Distanța de citire** a sistemului RFID, arată distanța maximă la care eticheta primește minimul de energie necesară activării sale.
- **Sensibilitatea de citire** a interogatorului, este dată de valoarea puterii undei reflectate de etichetă și primită de interogator, de care interogatorul are nevoie pentru identificarea etichetei RFID pasive, respectiv recepționarea fără eroare a pachetului de date transmis de etichetă.
- **Banda de frecvență.** În domeniul UHF, frecvențele și benzile de frecvență reglementate sunt diferite pe glob. Pentru Uniunea Europeană, banda de frecvență este (865 – 868) MHz, iar pentru SUA este (902 – 928) MHz.

Parametrii electrici ai antenei și, în consecință, lungimea antenei depind de lățimea de bandă în care trebuie să funcționeze.

În [Dobkin, 2008] este specificată o relație care definește lățimea de bandă BW , măsurată în GHz, funcție de parametrii antenei:

$$BW = \frac{R_{rad}}{2\pi L_{ant}} \quad (3.1.),$$

unde R_{rad} este rezistența de radiație a antenei, măsurată în Ω , iar L_{ant} este inductanța antenei, măsurată în nH.

Un exemplu de calcul al lățimii benzii de frecvență pentru o antenă dipol cu o lungime $\lambda/2$ și una $\lambda/8$ este prezentat în Tabelul 3.3, în care sunt date valorile lățimilor de bandă BW , calculate pentru parametrii R_{rad} , L_{ant} , C_{ant} , ai unor antene de lungimi diferite.

Tabelul 3.3. Condiția de rezonanță și lățimile de bandă pentru o antenă dipol

Lungimea antenei dipol	R_{rad} [Ω]	L_{ant} [nH]	C_{ant} [pF]	BW [GHz]	Rezonanța
$\lambda/2$	65	60	0,5	0,172	DA
$\lambda/8$	5	15	0,13	0,05	NU
$\lambda/8$	5	15 + 227	0,13	0,003	DA

Pentru o antenă dipol cu lungime $\lambda/2$, conform relației (3.1), rezultă $BW = 65/(2\pi \cdot 60) = 0,172$ GHz. Banda de frecvență alocată domeniului UHF RFID este de (960–860) MHz = 0,100 GHz. Așadar, o antenă dipol cu lungime $\lambda/2$ acoperă o lățime de bandă mai mare decât cea a întregului spectru UHF RFID reglementat.

Trebuie avut în vedere că în aplicațiile practice se dorește ca eticheta RFID să fie de dimensiuni cât mai mici. Pe de altă parte, parametrii electrici C_{ant} și L_{ant} sunt direct proporționali cu lungimea, iar rezistența de radiație R_{rad} cu pătratul acesteia.

Antena dipol de lungime $\lambda/8$ satisface cerința dimensională, însă parametrii electrici ai antenei nu satisfac condiția de rezonanță. Antena capătă caracter capacitiv, care trebuie compensat inductiv cu o inductanță de 227 nH. Lățimea de bandă va fi $BW = 5/(2\pi \cdot 242 \cdot 10) = 0,003$ GHz = 3 MHz.

Aceste calcule pun în evidență faptul că o etichetă UHF RFID de dimensiuni reduse, $\lambda/8$, este funcțională în Uniunea Europeană, unde lățimea de bandă reglementată este de (868 – 865) MHz = 3 MHz, dar total inadecvată pentru SUA, unde lățimea de bandă reglementată este de (928 – 902) MHz = 26 MHz.

În proiectarea antenei UHF, trebuie avut în vedere faptul că orice modificare a parametrilor antenei care schimbă frecvența de rezonanță conduce la scăderea performanțelor sistemului RFID.

3.1.3. Transferul de energie și informație în sistemul RFID

Tehnologia RFID este una dintre tehnologiile wireless care utilizează într-un mod complet remarcabila proprietate a câmpului electromagnetic de a se propaga și a transporta, deopotrivă, atât informație, cât și energie.

Pentru aplicațiile RFID în domeniul UHF, bazele teoretice ale comunicării prin intermediul puterii reflectate (backscattering) sunt formulate în lucrarea lui Stockman [Stockman, 1946].

În Fig.3.5 se prezintă un model de transfer de energie în comunicarea RFID.

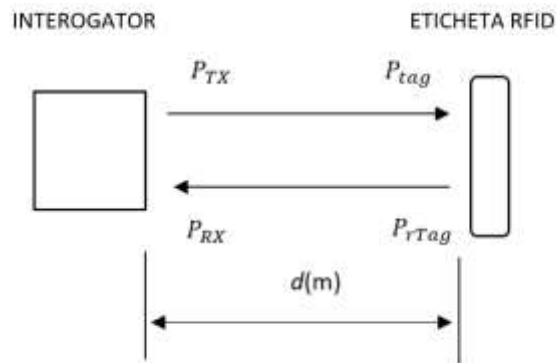


Fig. 3.5. Transfer de energie în comunicarea RFID

La propagarea undelor electromagnetice emise de interogator, puterea scade cu distanța:

- Interogatorul emite unde electromagnetice cu putere P_{TX} .
- Unda electromagnetică este recepționată de eticheta RFID aflată la distanța d față de interogator, cu puterea P_{tag} .
- O parte din energia primită este utilizată la modularea semnalului de către etichetă. Aceasta va reflecta unda primită cu o putere P_{rTag} .
- Interogatorul va recepționa unda reflectată de etichetă, cu puterea P_{RX} .

Un exemplu de atenuare a nivelurilor de putere în comunicarea interogator – etichetă pasivă, într-un sistem RFID UHF, este prezentat în Fig. 3.6:

- Dacă interogatorul emite cu o putere de 1 W (30 dBm), eticheta primește o energie atenuată, funcție de distanță față de interogator.
- La distanța de 3 m față de interogator, câmpul electromagnetic are puterea de valoare -10 dBm (100 μ W). Aceasta este valoarea minimă necesară pentru activarea etichetei RFID. Atenuarea de putere de la interogator la eticheta RFID este de 40 dBm.

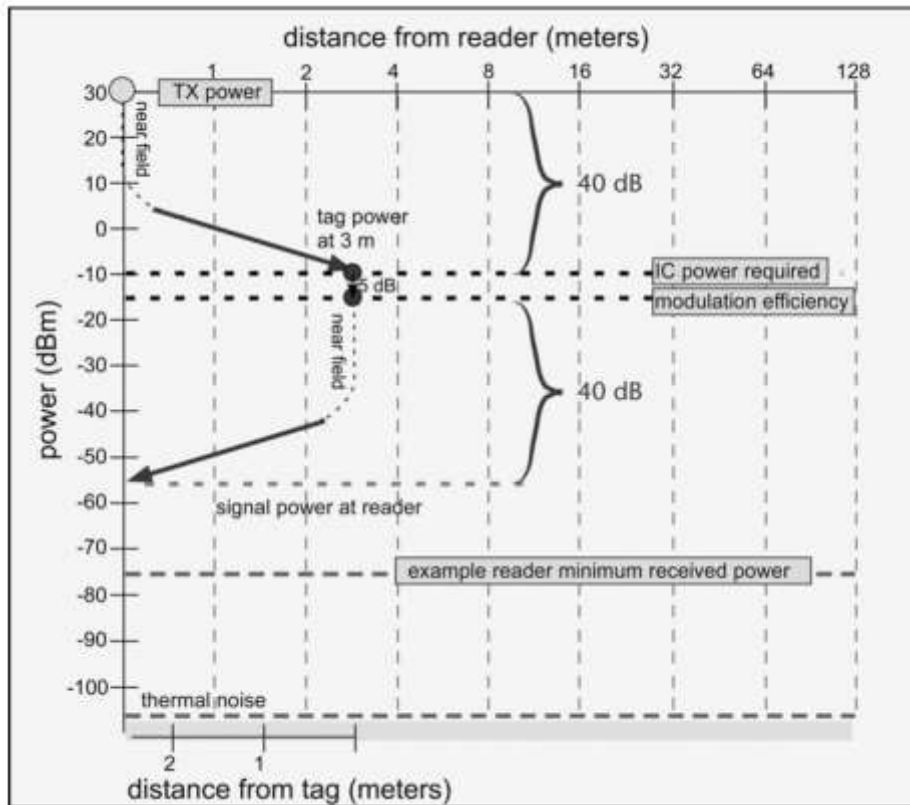


Fig. 3.6. Dependența puterii de distanța dintre interogator și eticheta UHF RFID pasivă

Pentru identificarea etichetei RFID, la proiectarea sistemului RFID se are în vedere că nivelul minim al sensibilității de citire a interogatoarelor este de -75 dBm ($0,03$ nW) [Dobkin, 2008]. Pentru aceasta, trebuie analizată atenuarea de putere a undei reflectate:

- Unda reflectată de etichetă va avea o putere mai mică cu 5 dBm decât cea recepționată, scădere datorată consumului intern de energie al etichetei pentru modularea semnalului;
- Unda reflectată de etichetă va fi recepționată de interogator cu o atenuare de 40 dBm. Astfel, valoarea puterii undei recepționate de interogator este de -55 dBm.

Așadar, în exemplul prezentat, atenuarea totală în comunicarea RFID dintre interogator și etichetă este de -85 dBm. Aceste aspecte se iau în considerare la proiectarea sistemului RFID.

Pentru a crește distanța de comunicare între interogator și eticheta RFID, trebuie mărită puterea de transmisie P_{TX} a interogatorului, conform relației:

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \frac{k}{d^4} \quad (3.3)$$

unde P_{RX} este puterea recepţionată de interogator, iar d este distanţa dintre interogator şi eticheta RFID.

Sensibilitatea de recepţie este o caracteristică importantă de performanţă a interogatorului şi este de ordinul a -80 dBm (de exemplu, interogatorul *Impinj Speedway 420* are sensibilitatea de -84 dBm).

Atât puterea de transmisie, cât şi sensibilitatea de recepţie sunt caracteristici care diferenţiază calitatea interogatoarelor.

De menţionat că, la proiectarea sistemului RFID, dimensionarea elementelor componente se face pornind de la frecvenţa reglementată, cu respectarea cerinţei de realizare a rezonanţei, când transferul de energie de la interogator către antena sa este maxim.

3.2. Etichete UHF RFID pasive – comunicare şi modelare în teoria circuitelor

3.2.1. Comunicarea etichetă - interogator

În Fig. 3.7 este prezentat un sistem RFID compus dintr-un interogator cu antenă UHF exterioară şi o etichetă RFID pasivă formată din antenă UHF dipol şi circuit integrat. Este schiţat şi principiul de funcţionare al unei etichete UHF RFID pasive [Finkenzeller, 2010].

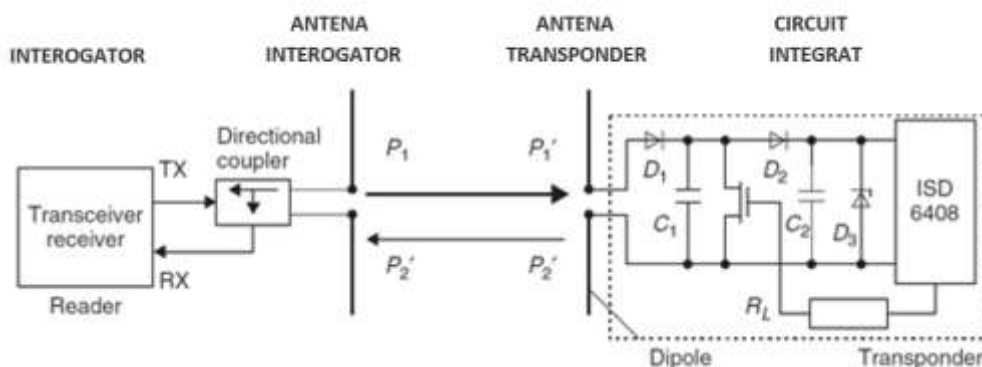


Fig. 3.7. Comunicarea între eticheta pasivă şi interogator într-un sistem RFID

În figură este indicată puterea de radiaţie la emisie P_1 a interogatorului, care la nivelul antenei etichetei RFID este atenuată şi are valoarea P_2' . Antena etichetei UHF, ca parte a circuitului electric rezonant antenă-circuit integrat, se va comporta ca un generator de tensiune electrică pulsatorie. Diodele D_1 si D_2 vor încărca condensatoarele C_1 , C_2 ale etajului multiplicator de tensiune, obţinându-se astfel tensiunea de alimentare necesară pentru

funcţionarea circuitului integrat şi activării transponderului RFID. Diodele D_1 şi D_2 (Schottky) au un prag de deschidere foarte mic, proprietate care face posibilă captarea energiei foarte mici a câmpului electromagnetic din zona etichetei [Bomson Lee, 2007].

Unda de energie P'_1 este reflectată de antena UHF a etichetei cu o putere P_2 , care la nivelul interogatorului va fi P'_2 . În paralel cu circuitul de alimentare a circuitului integrat este conectat un tranzistor comandat de către etajul de control al circuitului integrat RFID, printr-o rezistenţă R_L . Etajul de control al circuitului integrat RFID va comanda deschiderea sau închiderea tranzistorului, funcţie de informaţia digitală de identificare unică (codul EPC) din memorie. În acest mod, unda reflectată va fi modulată cu informaţia din memoria circuitului integrat, în speţă codul EPC care identifică în mod unic obiectul la care este ataşată eticheta. În acest fel este transmisă informaţia către interogator. Comunicarea RFID în câmp îndepărtat este caracterizată prin reflectarea de către eticheta pasivă UHF RFID a unei unde primite de la interogator (Backscatter wave). Unda reflectată de eticheta UHF RFID şi modulată în amplitudine cu codul EPC, va fi recepţionată de interogator, demodulată, codul EPC în formă digitală fiind apoi preluat de aplicaţia software. Comunicarea între eticheta pasivă şi interogator într-un sistem RFID este posibilă doar prin îndeplinirea condiţiei de rezonanţă la nivelul etichetei şi atingerea unui prag minim de putere la nivelul etichetei. În acest sens, există două arhitecturi specifice pentru etichetele pasive RFID: cu structura de adaptare în impedanţă şi cu cuplaj inductiv. Modelarea acestor arhitecturi în teoria circuitelor electrice este prezentată în continuare.

3.2.2. Etichete cu structura de adaptare în impedanţă

În Fig. 3.8 sunt prezentate elementele constructive ale unei etichete pasive UHF cu structura de adaptare în impedanţă (SAI).

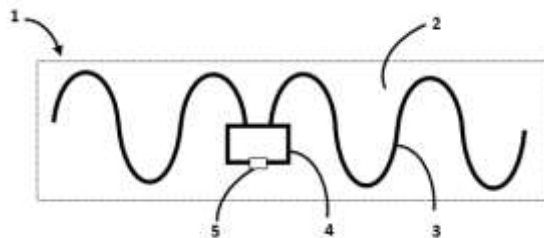


Fig. 3.8. Elementele constructive ale etichetei pasive UHF cu structură de adaptare în impedanţă

Eticheta RFID (1) cuprinde un substrat electroizolant (2), antena dipol UHF (3), structura de adaptare de impedanţă (4) şi circuitul integrat (5).

Substratul izolant este realizat din material plastic, hârtie, sau suport textil. Antena dipol UHF și SAI sunt realizate din materialele conductoare electrice (trase de circuit imprimat sau din vopsea electroconductivă, fire metalice, fir textil electroconductor). Circuitul integrat (5) este lipit cu un adeziv conductor la SAI. Eticheta poate fi protejată de straturi din material textil sau din material plastic adițional.

Parametrii circuitului electric echivalent sunt diferiți în funcție de geometria antenei UHF (factorul de formă, forma și numărul meandrelor, forma părților terminale), de parametrii electrice ai circuitului integrat și ai SAI.

În Fig. 3.9 sunt prezentate două modele comerciale de etichete UHF RFID pasive cu SAI.



Fig. 3.9. Modele comerciale de etichete pasive UHF cu structură de adaptare în impedanță

Schema electrică din Fig. 3.10 modelează componentele etichetei UHF RFID pasive cu SAI.

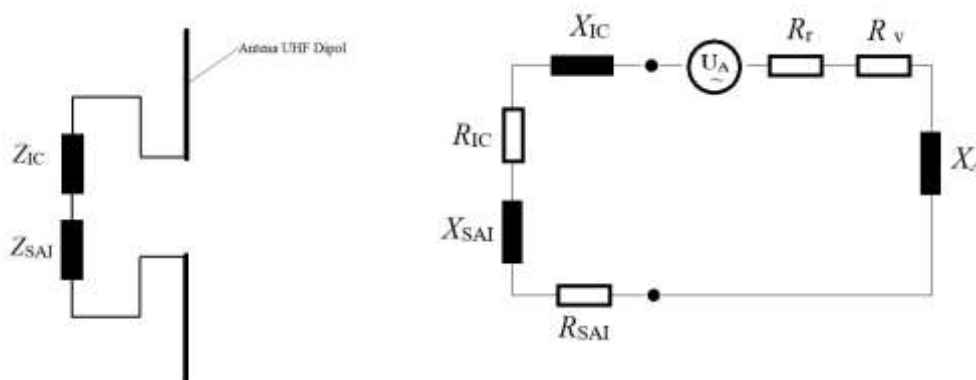


Fig. 3.10. Circuitul echivalent al etichetei pasive RFID cu structură de adaptare în impedanță

Circuitul echivalent cuprinde rezistența R_{IC} și reactanța X_{IC} a circuitului integrat, rezistența R_{SAI} și reactanța X_{SAI} ale SAI, rezistența de radiație R_r , rezistența de conducție R_v și reactanța X_A a antenei. Rezistența de radiație R_r este o măsură a puterii emise de antenă în spațiu, sub formă de unde electromagnetice.

Circuitul echivalent este alimentat de tensiunea u_0 captată de antena UHF din câmpul electromagnetic emis de interogator.

Impedanța antenei este:

$$Z_A = R_r + R_v + jX_a \quad (3.4.)$$

Rezistența R_v descrie pierderile ohmice ale tuturor secțiunilor de circuit care transportă curentul electric al antenei. Ea are valoare mică dacă se aleg materiale cu rezistivitate mică pentru construcția sa. În domeniul UHF, rezistența de conducție R_v este neglijabilă.

La rezonanță, circuitul echivalent devine pur rezistiv, iar transferul de putere este maxim atunci când rezistența de radiație a antenei R_r este egală cu rezistența circuitului integrat R_{ic} .

Impedanța de intrare a unei antene ideale la rezonanță este egală cu rezistența de radiație R_r . Pentru o antenă dipol $\lambda/2$ rezistența de radiație $R_r = 73 \Omega$.

3.2.3. Etichete cu transponder în cuplaj inductiv

În Fig. 3.11 sunt prezentate elementele constructive ale unei etichete pasive UHF cu transponder în cuplaj inductiv.

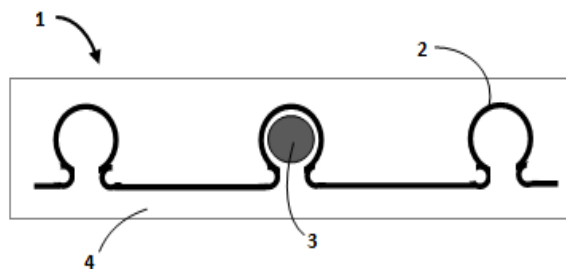


Fig. 3.11. Elementele constructive ale etichetei pasive UHF cu transponder în cuplaj inductiv

Eticheta RFID (1) are în componență antena dipol UHF (2) care în zona centrală are o buclă care urmărește conturul transponderului (3), ambele fixate pe un substrat electroizolant (4). Transponderul este format din circuitul integrat și o buclă de cuplaj inductiv. Cuplajul inductiv antenă-transponder se realizează între bucla antenei și bucla transponderului.

Nu există contact galvanic între bucla transponderului și cea a antenei UHF.

Schema electrică din Fig. 3.12.a modelează componentele etichetei UHF RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv. Inductanța mutuală M modelează cuplajul inductiv dintre circuitul echivalent al antenei UHF și cel al transponderului.

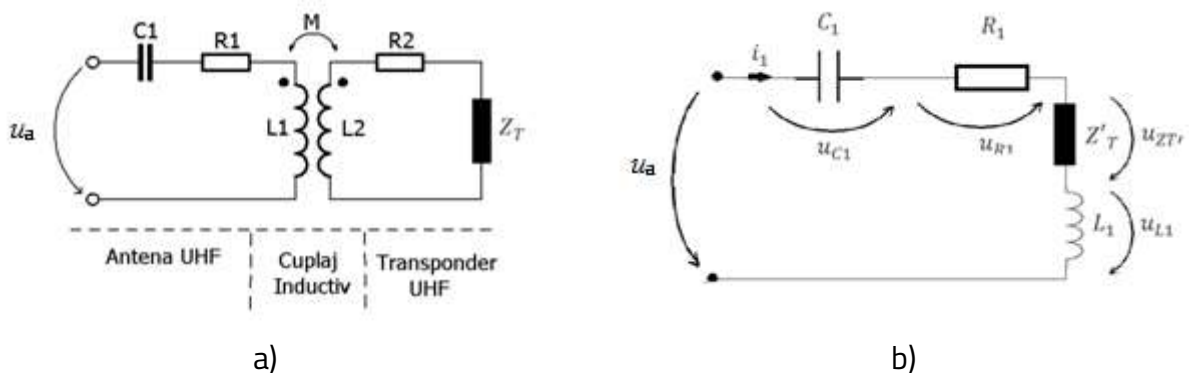


Fig. 3.12 Schema electrică a etichetei RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv: a) circuitul antenei UHF cuplat inductiv cu circuitul transponderului; b) circuitul serie echivalent al antenei UHF cuplată inductiv cu transponderul RFID

În Fig. 3.12.a s-au notat: C_1 , R_1 , L_1 - capacitatea, rezistența de radiație și inductanța antenei UHF, Z_C - impedanța echivalentă a circuitului integrat RFID, reprezentat ca un circuit RC paralel, R_2 , L_2 - rezistența și inductanța buclei inductive a transponderului, M - inductanța mutuală care descrie cuplajul inductiv antenă-transponder. Pentru domeniul UHF, R_2 are valori neglijabile și nu se ia în considerare la proiectare. Tensiunea electromotoare indusă prin cuplaj inductiv în circuitul transponderului asigură transferul de energie și informație.

În Fig. 3.12.b este reprezentat circuitul serie echivalent al antenei UHF cuplată inductiv cu transponderul RFID, în care Z'_T este impedanța echivalentă a transponderului raportată la circuitul antenei.

Relațiile de calcul pentru circuitul antenei, respectiv ale transponderului sunt:

$$\begin{aligned}
 U_a &= R_1 I_1 - j\omega M I_2 \\
 0 &= (R_2 + j\omega L_2 + Z_C) I_2 - j\omega M I_1
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Tensiunea la bornele antenei va avea forma:

$$u_a = R_1 i_1 - j\omega M \cdot \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_C} \cdot i_1
 \tag{3.6}$$

unde inductanța mutuală M este definită de relația:

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 L_2}
 \tag{3.7}$$

Considerând relațiile (3.6) și (3.7), cu schema echivalentă din Fig. 3.12.b, rezultă expresia impedanței echivalente a transponderului raportată la circuitul antenei:

$$Z'_T = \frac{\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{IC}} \quad (3.8)$$

Impedanța echivalentă a transponderului, raportată la circuitul antenei, depinde de pătratul frecvenței, de factorul de cuplaj k , de inductanța antenei și de parametrii circuitului transponderului.

Relația (3.8) este importantă în calculul de dimensionare a etichetei RFID pasive cu transponder în cuplaj inductiv.

3.4. Concluzii

1. Identificarea obiectelor este o necesitate din rațiuni economice și de protecție a mediului înconjurător. Tehnologiile de identificare au evoluat de la cele cu cod de bare, recunoașterea caracterelor optice, recunoaștere vocală, recunoaștere biometrică, cartele inteligente, la tehnologia RFID.

Evaluarea comparativă făcută arată că dintre toate sistemele de identificare, sistemul bazat pe tehnologie RFID are caracteristici și performanțe remarcabile, care asigură condițiile de aplicabilitate în multe domenii de activitate.

2. Sistemul RFID este format dintr-o populație de etichete RFID atașate obiectelor, interogator conectat la un calculator și utilizează aplicații software specifice. Etichetele utilizate în identificarea textilelor sunt etichete RFID pasive care funcționează în domeniile de frecvență HF și UHF, având ca indicatori de performanță: sensibilitatea etichetei, capacitatea de a efectua backscatter. Comunicarea etichetă-interogator este caracterizată de frecvența de operare și distanța de citire, influențată de puterea de transmisie și sensibilitatea interogatorului.

3. Trebuie avut în vedere că în aplicațiile practice există cerința ca eticheta RFID să fie de dimensiuni cât mai mici, dar reducerea dimensiunii etichetei și implicit a antenei UHF are efect asupra comunicării, parametrii electrici ai antenei (capacitatea C_{ant} și inductanța L_{ant}) fiind direct proporționali cu lungimea antenei, iar rezistența de radiație R_{rad} cu pătratul acesteia. Astfel, obiectivul de minimizare dimensională a etichetei necesită o proiectare optimă care să asigure realizarea condiției de rezonanță în domeniul de frecvență (960-860) MHz reglementat.

4. Analiza transferului de energie și informație în comunicarea dintre etichetă și interogator a pus în evidență dependența dintre distanța de citire și indicatorii de performanță ai interogatorului, respectiv puterea de transmisie și sensibilitatea de citire a acestuia.

Dimensionarea elementelor componente, etichetă și interogator, trebuie să aibă în vedere obținerea unui transfer maxim de energie de la interogator către antenă, cu respectarea integrității semnalului în comunicarea RFID.

5. Pentru cele două arhitecturi specifice pentru etichetele pasive RFID, cu structura de adaptare în impedanță și cu cuplaj inductiv, s-au realizat modelări în teoria circuitelor electrice cu parametri concentrați. În cazul etichetei cu structură de adaptare în impedanță s-a evidențiat necesitatea introducerii unui etaj de adaptare a impedanței antenei la cea a circuitului integrat în vederea realizării condiției de rezonanță. În cazul etichetei cu cuplaj inductiv a fost pusă în evidență inductanța mutuală dintre antenă și transponder, ceea ce a permis realizarea circuitului serie echivalent al antenei UHF cuplată inductiv cu transponderul RFID. A fost dedusă expresia impedanței echivalente a transponderului raportată la circuitul antenei, pe baza căreia pot fi dimensionate antena UHF și transponderul RFID.

6. Modelul etichetei pasive cu transponder în cuplaj inductiv s-a impus ca soluție viabilă pentru satisfacerea cerințelor privind identificarea textilelor în spălătoriile industriale. Dezvoltarea de modele noi care să elimine deficiențele celor actuale constituie baza cercetărilor viitoare. Soluții inovative de etichete cu transponder în cuplaj inductiv care au dus la dezvoltarea și comercializarea lor începând cu anul 2009, au creat premisele utilizării acestora pentru identificarea articolelor textile care, în vederea igienizării, necesită spălări repetitive. Utilizarea acestora în mediile grele din spălătoriile industriale au scos în evidență mai multe neajunsuri și deficiențe în funcționare. Este necesară dezvoltarea de etichete RFID pasive capabile să funcționeze în mediile severe din spălătoriile industriale, acesta fiind obiectivul prezentei cercetări.

4. PROIECTAREA ŞI REALIZAREA DE ETICHETE UHF RFID PASIVE PENTRU TEXTILE PROFESIONALE

4.1. Adecvarea etichetelor pasive la mediu

4.1.1. Probleme de adecvare la mediu

În vederea optimizării proceselor din spălătoriile industriale, autorul a realizat cercetări privind adecvarea etichetelor UHF RFID pasive de la funcţionarea în mediul normal, la funcţionarea în mediul agresiv din spălătorii [Moraru 2018d].

Cele mai răspândite etichete RFID pasive destinate utilizării în mediilor normale (uscate, cu temperaturi normale şi solicitări mecanice reduse, corespunzătoare mediile din biblioteci, depozite, magazine, etc.) sunt cele cu structură de adaptare în impedanţă, care au contactele electrice dintre pinii circuitului integrat şi antena UHF realizate prin lipire directă cu adeziv electro-conductiv (Fig. 4.1).

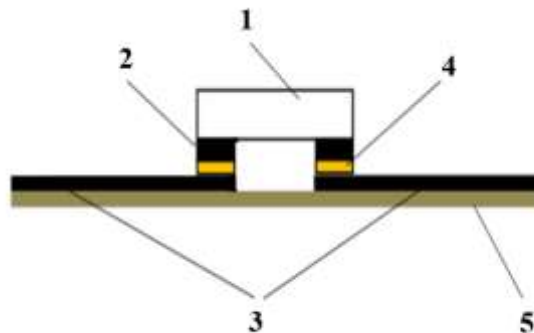


Fig. 4.1. Secțiune printr-o etichetă RFID pasivă cu contact electric realizat prin lipire

Părțile componente ale etichetei RFID pasive sunt: circuitul integrat (1), pinii circuitului integrat (2), antena UHF (3), adeziv electroconductiv (4), suport substrat etichetă (5).

Avantajele acestui tip de etichetă se regăsesc într-un proces de fabricație cu un grad înalt de automatizare și costuri reduse. Dezavantajele sunt legate de faptul că aceste etichete nu sunt robuste la solicitări mecanice și nu au protecție la mediul apos.

Etichetele destinate identificării articolelor textile trebuie să facă față solicitărilor specifice mediului agresiv din spălătoriile industriale, în care factorii de mediu specifici sunt:

- temperaturi de spălare de până la 90°C, cu durate de peste 20 minute,
- cicluri multiple de spălare cu variații de temperatură - rece-cald (15-90)°C,

- presiuni mecanice în faza de flux - stoarcere, de până la 40 bar;
- temperaturi de finisare/călcare (trecere printre calandrii) de 230°C, cu durate de zeci de secunde.

Contactul cu apa și cu alte substanțe de tipul detergenților, variațiile de temperatură, precum și solicitările mecanice din etapele de spălare, stoarcere și călcare deteriorează fizic etichetele RFID și scad eficiența comunicației între cititor și etichetă. Pentru creșterea eficienței tehnologiei RFID utilizate, autorul a efectuat o analiză asupra caracteristicilor factorilor de mediu specifici spălătorii industriale, în vederea identificării cauzelor deteriorării etichetelor RFID și propunerii de soluții de optimizare constructivă a acestora [Moraru 2017, Moraru 2019]. Experimentul s-a efectuat asupra unui lot de etichete UHF RFID pasive, cu structură de adaptare în impedanță, care, pentru creșterea protecției la mediul apos și la expunerea la variații de temperatură, au fost învelite rășină siliconică. S-a evaluat starea etichetelor după 50 de cicluri de spălare. În Fig. 4.2 este prezentată starea contactelor electrice dintre pinii circuitului integrat RFID și structura de adaptare în impedanță. Se observă că, din cauza contactului pinilor cu apa, aceștia au oxidat, contactul electric fiind distrus, iar eticheta devenind nefuncțională.



Contactele electrice ale circuitului integrat afectate de pătrunderea apei prin stratul protector de teflon

Fig. 4.2. Detaliu privind starea contactelor circuitului integrat al etichetei UHF RFID pasive cu structură de adaptare în impedanță

Fig. 4.2 indică faptul că substratul izolator, structura de adaptare de impedanță și antena UHF sunt în stare bună, au rezistat condițiilor de mediu și solicitărilor specifice spălătoriei industriale. Nu au rezistat, însă, contactele galvanice ale pinilor circuitului integrat realizate din adeziv electroconductiv. Se evidențiază astfel cerința unei mai bune protecții a contactelor galvanice între pinii circuitului integrat și structura de adaptare în impedanță.

În vederea stabilirii unor soluții de adecvare a etichetei UHF RFID la mediul agresiv al spălătorii industriale, s-a procedat la o analiză a cauzelor și efectelor solicitărilor la care sunt supuse articolele textile, respectiv, etichetele UHF RFID pasive.

4.2. Proiectarea etichetelor pasive UHF RFID cu cuplaj inductiv

4.2.1. Cerințe și constrângeri de proiectare

La proiectarea unei etichete UHF RFID pasive se au în vedere cerințe legate de mediul de lucru, de parametrii circuitului integrat care asigură identitatea unică a etichetei, de parametrii antenei UHF și de cerințele funcționale specifice [Mitchell, 2013].

a. Cerințe legate de natura obiectului de identificat și mediul de lucru:

- să fie flexibile, deoarece etichetele sunt atașate articolelor textile;
- să aibă dimensiuni mici;
- să reziste la condițiile mediului sever din spălătoriile industriale;
- să comunice corespunzător în mediul electromagnetic, cu pierderi în care propagarea undelor electromagnetice este influențată de umiditate și de apropierea de metale.

b. Cerințe legate de parametrii circuitului integrat RFID:

- parametrii electrici: sensibilitatea de citire/scriere, impedanța;
- parametrii informaționali: structura și capacitatea de stocare a datelor;
- parametrii fizici: dimensiuni, temperaturi de operare.

c. Cerințe legate de parametrii antenei UHF:

- parametrii fizico-chimici: dimensiuni, geometrie, flexibilitate, rezistență la solicitări mecanice, termice și chimice;
- parametrii comunicației UHF: banda de frecvență;
- parametrii electrici: impedanța dipolului UHF, inductanța buclei, modul de cuplaj.

d. Cerințe funcționale:

- să recepționeze semnalele de la interogator;
- să extragă suficientă energie din câmpul electromagnetic generat de interogator pentru activarea circuitului integrat;
- să reflecte către interogator semnalul modulat prin variația impedanței antenei UHF a etichetei.

În ceea ce privește etichetele UHF RFID pasive care identifică unic articolele textile profesionale, structura adecvată acestei aplicații specifice este cea cu transponder în cuplaj inductiv. Transponderul este capsulat într-un material izolator electric, impermeabil și care rezistă solicitărilor mecanice, termice și chimice specifice.

Uneori, cerințele pieței intră în contradicție cu cerințele de performanță ale etichetelor UHF RFID. Piața cere etichete de dimensiuni reduse, ori reducerea dimensiunilor scade performanțele acestora (distanța de citire, pragul de activare). Proiectantul are de realizat obiective dictate de piață și, în același timp, el trebuie să păstreze performanța etichetelor la nivel acceptabil. Soluția constă într-un design optimal, realizabil cu componentele și tehnologiile disponibile, care să satisfacă și cerințele pieței.

Etapele de proiectare a unei etichete UHF RFID pasive sunt: proiectarea transponderului și proiectarea antenei UHF.

4.2.2. Proiectarea transponderului RFID

Un transponder RFID pasiv este format dintr-un circuit integrat RFID și o buclă de cuplaj inductiv.

A. Alegerea circuitului integrat

Alegerea circuitului integrat se face în funcție de cerințele impuse de funcționalitatea etichetei UHF RFID pasive.

Un parametru esențial este sensibilitatea circuitului integrat, definită de puterea minimă necesară asigurării tensiunii de alimentare a circuitului integrat RFID.

În prezent, circuitele integrate RFID UHF din componența etichetelor pasive existente pe piață au sensibilități de ordinul a $10 \mu\text{W}$ (-20 dBm).

Un alt parametru esențial în proiectarea unui transponder UHF este impedanța echivalentă a circuitului integrat RFID.

În Tabelul 4.2 sunt prezentate impedanța echivalentă și sensibilitatea unor circuite integrate RFID de referință [Bansal, 2006], [Son, 2005], [Curty, 2007].

Tabelul 4.2. Impedanța echivalentă și sensibilitatea unor circuite integrate RFID

Producător/model	Impedanța [Ω]	Defazaj [$^\circ$]	Sensibilitate [μW]	Referință
Alien H2	15-j151	-84	32	Datasheet
Alien H3	30-j211	-82	16	Datasheet

Producător/model	Impedanța [Ω]	Defazaj [$^\circ$]	Sensibilitate [μW]	Referință
Alien H4	18-j181	-np	8,09	Datasheet

Notă: np - neprecizat în Fișa de catalog

Se observă că circuitul integrat RFID are un caracter capacitiv.

Alți parametri ai circuitelor integrate RFID pasive sunt precizați în fișele de catalog: frecvența de funcționare, valorile componentelor circuitului RC/impedanța echivalentă etc.

În Tabelul 4.3 sunt prezentați parametrii electrici și dimensionali caracteristici, incluși în datele de catalog pentru circuitele integrate ale unor producători de referință [Alien, 2020].

Tabelul 4.3. Parametrii caracteristici ai unui circuit integrat RFID

Parametrii caracteristici	Producător Alien, SOT 323
Temperatura maximă [$^\circ\text{C}$]/t [s]	235/60
Frecvența [MHz]	860-960
Impedanța echivalentă [Ω]	18-j181
Sensibilitate [μW]/ [dBm]	8,09/-20,5
Distanța dintre pinii RF [mm]	1

B. Proiectarea buclei de cuplaj inductiv a transponderului

Bucula de cuplaj inductiv îndeplinește două funcțiuni:

- de a realiza rezonanța în circuitul electric al transponderului ;
- de a comunica prin cuplaj inductiv cu antena UHF RFID a etichetei pasive.

În fișele de catalog, circuitul integrat UHF RFID este prezentat ca un circuit electric RC paralel, cu schema echivalentă prezentată în Fig. 4.10.a. În Fig. 4.10.b este reprezentată schema echivalentă RC serie a circuitului integrat.

Relațiile de echivalență sunt:

$$R_s = \frac{R_p}{1 + \frac{R_p^2}{X_{cp}^2}} \quad C_s = \frac{X_{cp}}{1 + \frac{X_{cp}^2}{R_p^2}} \quad (4.1)$$

unde R_p și X_{cp} sunt rezistența, respectiv reactanța capacitivă a circuitului paralel RC dat de producător, iar R_s și X_{cs} sunt rezistența, respectiv, reactanța capacitivă a circuitului serie echivalent.

Bucula de cuplaj inductiv asigură îndeplinirea condiției de rezonanță. În Fig. 4.3.c este prezentată schema echivalentă a transponderului în care, L_{bci} este inductanța buclei de cuplaj inductiv, iar u_a este tensiunea generată prin cuplaj inductiv de către antena UHF a etichetei în circuitul transponderului.

Valoarea inductanței buclei de cuplaj inductiv L_{bci} se obține din condiția de rezonanță:

$$L_{bci} = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot C_s} \quad (4.2)$$

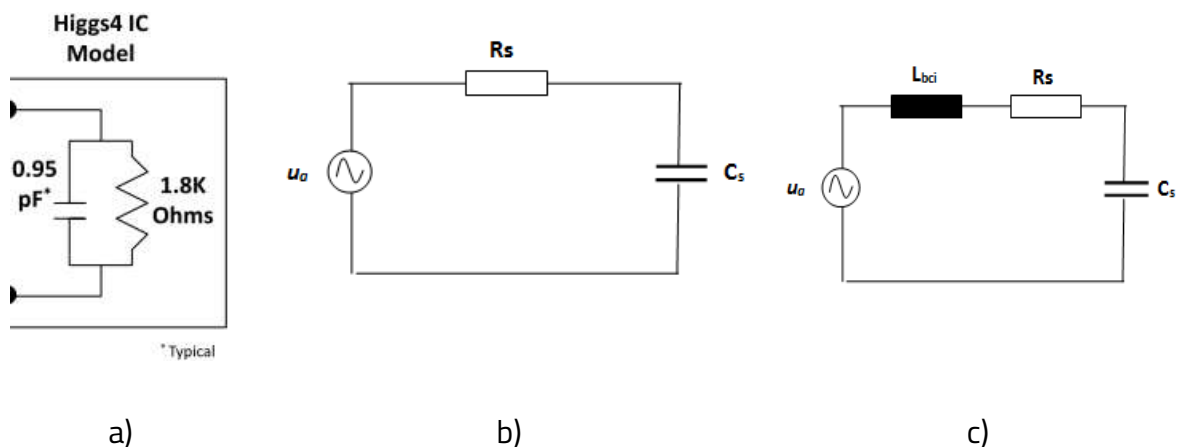


Fig. 4.3. Schema electrică echivalentă: a) RC paralel pentru circuitul integrat; b) circuitul RC serie pentru circuitul integrat; c) circuitul RLC serie pentru transponder

Fișele de catalog prezintă circuitele integrate UHF RFID ca circuite electrice RC paralel. De exemplu, circuitul integrat Alien Higgs 4 are parametrii electrici din Tabelul 4.3.

Aplicație

Circuitul integrat Alien Higgs 4, la frecvența $f = 915$ MHz, se prezintă ca un circuit RC paralel cu capacitatea $C_p = 0,95$ pF și rezistența $R_p = 1,8$ k Ω [Alien, 2020].

Cu relațiile (4.1), rezultă parametrii serie ai circuitului integrat: $R_s = 18$ Ω și $C_s = 0,96$ pF, respectiv impedanța echivalentă $Z = 18 - j \cdot 183$.

Cu relația (4.2), se obține o valoare a inductanței buclei de cuplaj inductiv $L_{bci} = 31,9$ nH.

Realizarea efectivă a buclei de cuplaj inductiv a transponderului presupune alegerea unei geometrii adecvate aplicației RFID. Pentru stabilirea parametrilor geometrici ai buclei de cuplaj inductiv s-au analizat modelele existente în literatura de specialitate.

Conceptul de inductanță se încadrează într-o problemă mult mai largă, aceea a transferului de energie prin câmp magnetic. Modelul uzual de reprezentare al inductanței se reduce la inductanța unei bobine. Proiectarea unei antene UHF pentru o etichetă RFID cu cuplaj inductiv necesită înțelegerea conceptului de inductanță în sens mai larg, și anume în sensul transferului de energie între două bucle de circuit prin câmp magnetic.

Preocupările de stabilire a unor formule de calcul ale inductanței pentru diferite geometrii au început cu J. C. Maxwell [Maxwell, 1873].

În lucrarea de referință [Rosa, 1916], sunt prezentate formulele de calcul propuse de către diferiți autori.

Lucrarea [Mohan, 1999], prezintă diferite relații de calcul a inductanței pentru geometriile spirale Fig.4.4.

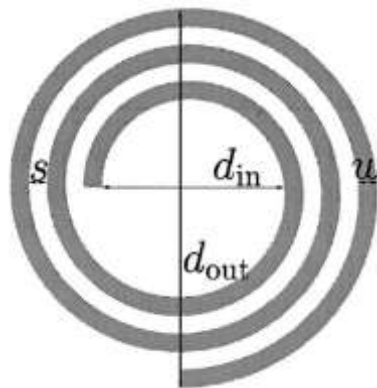


Fig. 4.4. Inductanță cu geometrie spirală plană

Inductanța spiralei se poate calcula analitic, prin rezolvarea ecuațiilor lui Maxwell, sau cu ajutorul unor aplicații software.

Sunt prezentate relații de calcul ale inductanței destinate proiectării cu erori de sub 3%:

a) Relația Wheeler modificată:

$$L_{bc} = K_1 \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot D_m}{1 + K_2 \cdot \rho} \quad (4.3)$$

unde factorul de umplere ρ este definit de relația:

$$\rho = \frac{d_{out} - d_{in}}{d_{out} + d_{in}} \quad (4.4)$$

unde L_{bci} este inductanţa bobinei spiralei plane, N este numărul de spire plane, D_m este diametrul mediu iar coeficienţii K_1 și K_2 sunt dați în Tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. Coeficienți de calcul ai inductanței cu relația Wheeler

Geometrie	K_1	K_2
Pătrată	2,34	2,75
Hexagonală	2,33	3,82
Octogonală	2,25	3,55

b) Relația bazată pe aproximarea prin densități de curent echivalente:

$$L_{bci} = \frac{c_1 \cdot \mu_0}{2} \cdot N^2 \cdot D_m \cdot \left(\ln \frac{c_2}{\rho} + c_3 \rho + c_4 \rho^2 \right) \quad (4.5)$$

unde coeficienții $c_1 - c_4$ sunt dați în Tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Coeficienți de calcul ai inductanței cu relația (4.5)

Geometrie	c_1	c_2	c_3	c_4
Pătrată	1,27	2,07	0,18	0,13
Hexagonală	1,09	2,23	0	0,17
Octogonală	1,07	2,29	0	0,19
Circulară	1	2,46	0	0,2

c) Relația de calcul Maxwell din [Rosa 1916]:

$$L_{bci} = \frac{\mu_0}{2} \cdot N^2 \cdot D_m \cdot \left(\ln \frac{8D_m}{w} - 2 \right) \quad (4.6)$$

unde w este lățimea trasei spirale.

Relațiile (4.3) - (4.6) stau la baza aplicației software de calcul a inductanței [circuitsdk, 2020].

Aplicația [eeweb, 2020] se bazează pe relația de calcul (4.6).

Stabilirea dimensiunilor geometrice ale buclei de cuplaj inductiv a transponderului are la bază respectarea cerințelor constructive:

- transponderul trebuie să aibă dimensiuni cât mai mici;

- diametrul spirei interioare a buclei de cuplaj inductiv a transponderului trebuie să fie mai mare decât dimensiunea maximă a circuitului integrat ($D_2 > 4 \text{ mm}$);
- distanţa dintre pinii circuitului integrat ($d_{AB}=1 \text{ mm}$);
- limitele tehnologiei SMT (Surface Mounting Technology) în ceea ce priveşte lăţimea traselor circuitului imprimat ($w > 0,15 \text{ mm}$).

Numărul de spire al buclei de cuplaj inductiv este dependent de soluţia constructivă aleasă. În Tabelul 4.6 sunt prezentate rezultatele calculate cu aplicaţia software [circuitsdk, 2020].

Tabelul 4.6. Valori pentru inductanţa unei bucle spirale plane funcţie de parametri dimensionali

Parametrii dimensionali				Inductanţa [nH]	
N	s [mm]	w [mm]	D_2 [mm]	Relaţia (4.5)	Relaţia (4.6)
2	0,15	0,15	4,5	32,8	31,5
3	0,15	0,15	3,3	31,9	30,8

Aceste rezultate sunt obţinute cu aplicaţia software [circuitsdk, 2020], cu interfaţa grafică prezentată în Fig. 4.5. Conform Tabelului 4.6., o valoare apropiată de cea de rezonanţă $L_{bci}=31,9 \text{ nH}$, calculată cu relaţia (4.6), poate fi obţinută prin realizarea unor inductanţe spirale plane cu 2 sau 3 spire. Pentru acest proiect a fost aleasă varianta cu $N = 2$ spire, care oferă o libertate mai mare în alegerea circuitelor integrate RFID.

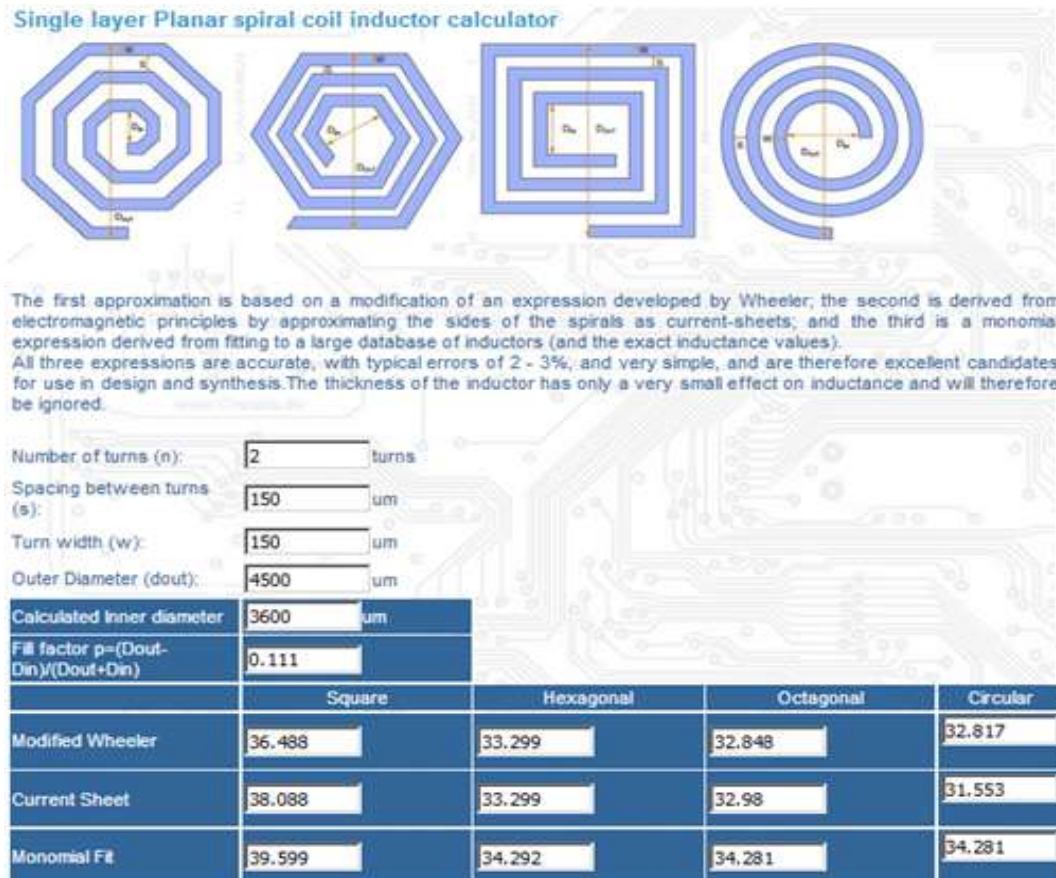
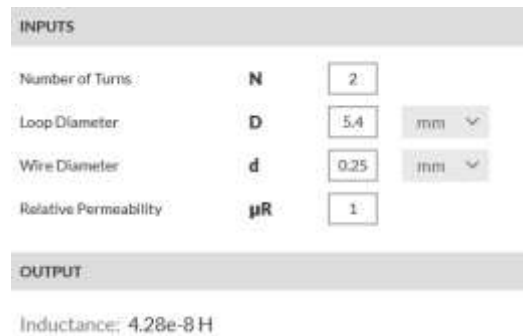


Fig. 4.5. Interfața grafică a aplicației software de calcul a inductanței spiralei plane

O altă modalitate de calcul consideră cuplajul inductiv realizat de spirală plană cu două spire a buclei de cuplaj inductiv, cu cel realizat de o bobină cu două spire de rază egală cu media razelor celor două cercuri concentrice ale spiralei plane. Parametrii introduși sunt numărul de spire $N=2$, diametrul mediu $D_m=5,4$ al celor două spire concentrice (cea mai mare cu diametrul $D_1=6$, respectiv $D_2=4,8$ pentru cea mai mică) și diametrul d al firului conductor din care e realizată bobina.

Aplicația software [eeweb, 2020] bazată pe relația (4.6) va afișa o valoare calculată $L=42,8$ nH. Dând diferite valori diametrului mediu D_m și diametrului d al firului conductor, ne vom apropia de inductanța de rezonanță a buclei de cuplaj inductiv.



INPUTS			
Number of Turns	N	2	
Loop Diameter	D	5.4	mm
Wire Diameter	d	0.25	mm
Relative Permeability	μR	1	
OUTPUT			
Inductance: 4.28e-8 H			

Fig. 4.6. Interfața grafică a aplicației software de calcul a inductanței unei bobine [eeweb, 2020]

În al doilea exemplu se are în vedere construirea unei spirale plane cu două spire, cu parametri geometrici aleși astfel încât să genereze o inductanță care să aproximeze cât mai exact inductanța calculată (în vederea obținerii rezonanței) a buclei de cuplaj inductiv.

În vederea alegerii geometriei celei mai eficiente pentru realizarea rezonanței în circuitul echivalent al transponderului, au fost executate și apoi testate, diverse variante constructive, care au fost obținute pentru diverse combinații ale razelor cercurilor concentrice și a lățimii trasei/diametrului firului conductor al circuitului imprimat.

4.2.3. Proiectarea antenei UHF

Pentru dimensionarea antenei UHF s-au făcut evaluări preliminare și s-au proiectat diverse modele constructive.

A. Stabilirea geometriei antenei UHF

Cerințele avute în vedere:

- o geometrie a antenei UHF care să permită realizarea unei etichete RFID de dimensiuni reduse;
- asigurarea parametrilor electrici de rezonanță ai antenei în condițiile reducerii dimensionale.

Primele evaluări au urmărit identificarea celei mai performante geometrii a antenei dipol UHF.

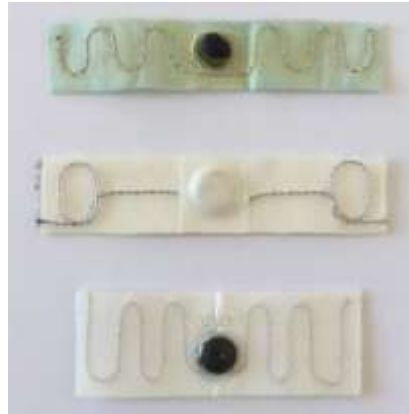


Fig. 4.8. Etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv, cu diferite geometrii de antene UHF obținute prin brodare

În Fig. 4.8 se observă diferite geometrii ale lobilor antenei UHF dipol: geometrie sinusoidală cu factori de formă diferiți și geometrie cu lobi sub forma unor curbe închise.

Antenele UHF reprezentative prezente pe piață au în zona centrală o buclă simplă care înconjoară strâns transponderul pe aproape toată circumferința și prin care este realizat cuplajul inductiv antenă-transponder. Dimensiunile acestor etichete sunt de ordinul (70x15) mm și (60x20) mm. Dar reducerea dimensiunii are consecințe negative asupra performanțelor electromagnetice ale antenelor UHF, prin scăderea substanțială a rezistenței de radiație a antenei. Creșterea lungimii etichetelor, în cazul atașării de articole textile profesionale duce la creșterea distanței și acurateții de citire, dar aceste etichete sunt mai vulnerabile la pliere în procesul de igienizare.

B. Importanța poziționării transponderului relativ la bucla dublă, eficiența cuplajului inductiv

În proiectarea etichetei UHF RFID, pentru asigurarea eficienței cuplajului inductiv, un rol important îl are poziționarea transponderului relativ la bucla dublă.

În Fig. 4.9, cu linie punctată este indicată așezarea transponderului față de antena UHF.

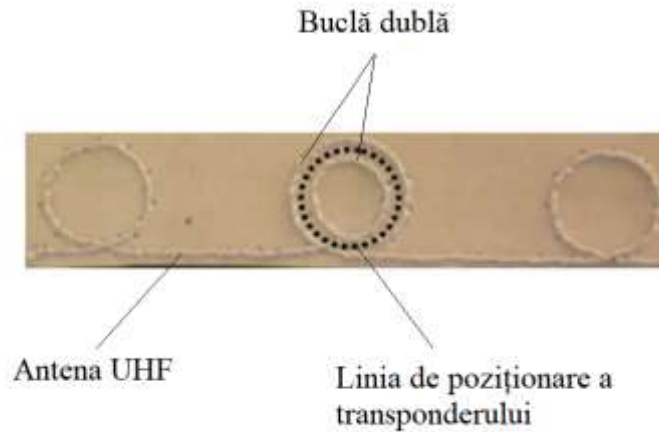


Fig. 4.9. Poziționarea transponderului față de antena UHF

Pentru asigurarea unui transfer eficient de energie între transponder și antena UHF, dimensiunile spirelor buclei duble ale antenei UHF permit ca transponderul să fie plantat pe spira interioară, fără a depăși spira mare a buclei duble.

C. Relația distanța maximă de citire - putere cititor

Pentru a evalua raportul distanță maximă de citire - putere cititor, s-a considerat o antenă de transmisie a interogatorului și antena de UHF a etichetei, separate de distanța d (Fig. 4.10).

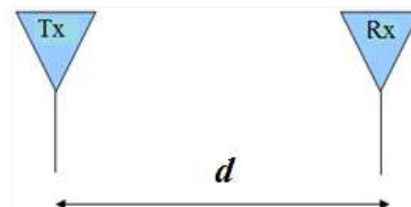


Fig. 4.10. Antena de transmisie a interogatorului (Tx) și antena UHF a etichetei (Rx), aflată la distanța d

O antenă omnidirecțională UHF va genera, la o distanță d din zona de câmp îndepărtat, o densitate de putere:

$$p = \frac{P_t}{4\pi \cdot d^2} \quad (4.8)$$

unde P_t este puterea de transmisie, d distanța la care densitatea de putere este p .

Dacă antena are un câștig G_T relația va deveni:

$$p = \frac{Pt}{4\pi \cdot d^2} \cdot G_T \quad (4.9)$$

Antena de recepție UHF a etichetei cu un câștig G_R are o arie efectivă dată de relația:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_R \quad (4.10)$$

și va recepționa o putere P_R :

$$P_R = \frac{Pt \cdot G_T \cdot G_R \cdot \lambda^2}{(4\pi \cdot d)^2} \quad (4.11)$$

Relația (4.11) a fost stabilită de Friis și îi poartă numele. Ea exprimă puterea teoretică maximă care poate fi recepționată la distanța d .

Din relația lui Friis se poate calcula distanța de citire teoretică maximă, d_{tM} .

$$d_{tM} = \sqrt{\frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot \lambda^2}{P_R \cdot (4\pi)^2}} \quad (4.12)$$

Dacă utilizăm Interogatorul Alien FX800:

- puterea de transmisie maximă este $P_T = 1 \text{ W}$;
- se alege câștigul antenei de emisie $G_T = 1$;

și un integrat RFID Alien Higgs4 care are:

- puterea minimă de activare a circuitului integrat P_R de -20 dBm sau 10^{-5} W ;
- se alege câștigul antenei de recepție $G_R = 1$;
- la frecvența de 900 MHz , $\lambda = 0,33 \text{ m}$.

Se obține:

$$d_{tM} = \sqrt{\frac{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,33^2}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-5}}} = 8,2 \text{ m.}$$

Realizarea comunicației RFID interogator - etichetă UHF pasivă este o problemă de transfer eficient de energie și de integritate a semnalului. Energia unei electromagnetice generată de cititor scade cu distanța, o energie electromagnetică diminuată fiind prezentă în punctul din spațiu unde se află eticheta.

Antena UHF a etichetei, pe care o considerăm realizată corespunzător, captează această energie diminuată care trebuie transmisă cât mai eficient către circuitul integrat RFID. Condiția obligatorie pentru stabilirea comunicației interogator -etichetă este realizarea rezonanței în circuitul echivalent: antenă UHF-circuit integrat RFID.

Dacă este realizată rezonanța, circuitul echivalent devine un circuit pur rezistiv sursă-sarcină, de tipul celui din Fig. 4.11. Sursa de semnal este antena UHF, iar rezistența internă a acestei surse este rezistența de radiație a antenei. Sarcina, în cazul etichetei UHF RFID, este rezistența serie a circuitului integrat.

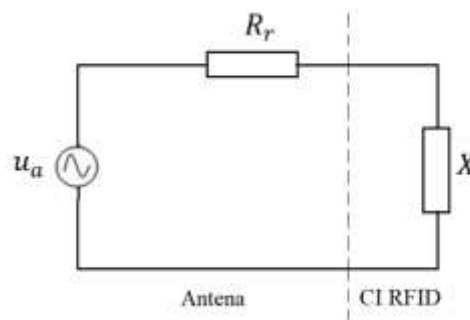


Fig. 4.11. Circuitul echivalent antenă UHF – circuit integrat RFID la rezonanță

Nu orice valoare X a sarcinii face ca transferul de energie de la antenă (pe post de generator), la sarcină să fie maxim. Pentru a ajunge la această valoare, trebuie stabilită relația dintre puterea pe sarcina și valoare x a sarcinii și să se identifice valoarea lui X pentru care această funcție este maximă.

Curentul în circuit este:

$$i = \frac{U}{R+x} \quad (4.13)$$

Puterea pe sarcina x este $P(x)$:

$$P(x) = x \cdot \left(\frac{U}{R+x}\right)^2 = \frac{U^2 \cdot x}{(R+x)^2} \quad (4.14)$$

Puterea pe sarcina x este maximă la valoarea lui x pentru care derivata funcției putere $P(x)$ pe sarcină este 0.

$$P'(x) = x \cdot \left(\frac{U}{R+x}\right)^2 = \frac{U^2[(R+x)^2 - 2(R+x) \cdot x]}{(R+x)^4} = \frac{U^2 \cdot (R+x) \cdot (R-x)}{(R+x)^4} = 0$$

valoarea lui x pentru care derivata funcției putere pe sarcină e 0 este $x=R$.

Graficul $P(x)$ este cel din Fig. 4.12, unde s-a considerat $R= 15 \Omega$.

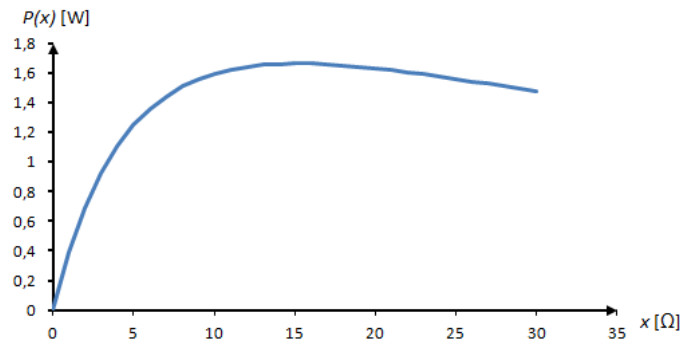


Fig. 4.12. Variația puterii cu sarcina, $U=10\text{ V}$, $R_r=15\ \Omega$

Așadar, pentru un transfer eficient de energie și integritate a semnalului la nivelul unei etichete pasive UHF RFID trebuie îndeplinite simultan două condiții:

- rezonanța,
- rezistența de radiație a antenei și rezistența de sarcină a circuitului integrat să aibă valori apropiate, de dorit egale.

D. Transferul de energie antenă UHF - circuit integrat RFID

Circuitul echivalent al unei etichete UHF RFID pasive este prezentat în Fig. 4.13.a, unde R_r este rezistența de radiație a antenei UHF, X_a este reactanța antenei UHF, R_{IC} este rezistența serie a circuitului RFID, iar X_{IC} este reactanța serie a circuitului RFID. Circuitul este alimentat de tensiunea u_a generată de antena UHF. Pentru o antenă dipol $\lambda/2$, parametrii electrici sunt cei din Fig. 4.13.b.

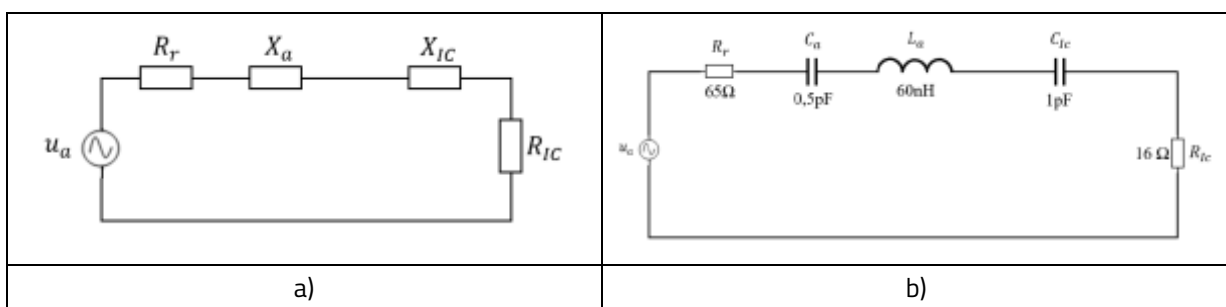


Fig. 4.13. Schema echivalentă a circuitului electric al etichetei RFID: a) de principiu; b) cu date de proiectare pentru o antenă dipol $\lambda/2$

Expresia curentului în acest circuit este:

$$I = \frac{U_a}{\sqrt{(R_r + R_{IC})^2 + (X_a + X_{IC})^2}} \quad (4.15)$$

Curentul are valoarea maximă atunci când $X_a = -X_{IC}$, adică la rezonanță.

Puterea transferată circuitului integrat are expresia:

$$P_{IC} = R_{IC} \cdot I^2 = R_{IC} \cdot \frac{U_a^2}{(R_r + R_{IC})^2 + (X_a + X_{IC})^2} \quad (4.16),$$

și va fi la rezonanță:

$$P_{ICM} = R_{IC} \cdot I^2 = R_{IC} \cdot \frac{U_a^2}{(R_r + R_{IC})^2} \quad (4.17),$$

cum este indicat în Fig. 4.16, transferul de putere, într-un circuit rezistiv, este maxim atunci când rezistența de radiație a antenei este egală cu rezistența serie a circuitului integrat, adică $R_r = R_{IC}$. Valoarea maximă a puterii este dată de relația:

$$P_{ICM} = R_r \cdot \frac{U_a^2}{4 \cdot R_r^2} = \frac{U_a^2}{4 \cdot R_r} \quad (4.18)$$

Măsura transferului eficient de energie de la antena UHF la circuitul integrat, este exprimată matematic prin coeficientul de transfer al puterii τ .

Acest coeficient este definit de raportul dintre puterea transferată circuitului integrat, dată de relația (4.17), și cea dată de relația (4.18), adică puterea pe sarcina circuitului integrat atunci când circuitul echivalent al etichetei nu este optim acordat (X_a diferit de X_{IC} și R_r diferit de R_{IC}) la puterea pe sarcina circuitului integrat, atunci când circuitul echivalent al etichetei este optim acordat ($X_a = X_{IC}$ și $R_r = R_{IC}$).

$$\tau = \frac{4 \cdot R_r \cdot R_{IC}}{(R_r + R_{IC})^2 + (X_a + X_{IC})^2} \quad (4.19)$$

Se va evalua coeficientul de transfer al puterii τ de la o antenă de lungime $\lambda/2$ la sarcina unui circuit integrat ipotetic având valorile din Fig. 4.13.b. La 900 MHz reactanța capacitivă și cea inductivă a antenei au valorile $X_{Ca}=353 \Omega$; $X_{La}=339 \Omega$.

rezultă: $X_a=(353-359) \Omega =14 \Omega$; $X_{IC}=176 \Omega$.

$$\tau = \frac{4 \cdot 65 \cdot 16}{(65+16)^2 + (14+176)^2} = 0,097$$

Așadar, eficiența transferului de energie de la o antenă de lungime $\lambda/2$ la circuitul integrat RFID este de doar 9,7%. Conectarea directă a antenei UHF la CI RFID va avea o eficiență de transfer energetic extrem de redusă. Este necesară introducerea unei structuri de adaptare

în impedanță pentru îmbunătățirea transferului de energie pentru funcționarea CI RFID.

E. Evaluarea cuplajului inductiv dintre antena UHF cu buclă dublă și transponder

Reducerea lungimii antenei UHF afectează rezistența de radiație R_{rm} , conform relației:

$$R_{rm} = \frac{l_m^2}{l_r^2} \cdot R_{rr} \quad (4.20)$$

unde:

R_{rm} rezistența de radiație a antenei în meandre;

l_m lungimea dipolului în meandre;

l_r lungimea dipolului $\lambda/2=173$ mm ($f=900$ MHz);

R_{rr} rezistența de radiație a dipolului $\lambda/2$.

Rezistența de radiație a dipolului $\lambda/2$ este dată în [Dobkin 2008] ca fiind egală cu 65Ω . Prin urmare, conform relației (4.20), antena UHF din Fig. 4.13.b, cu lungimea $l_m = 57$ mm, are rezistența de radiație de $R_{rm} = 7,57 \Omega$.

Există relații de calcul ale inductanței și capacității unui fir conductor rectiliniu de lungime finită. Expresia inductanței unui fir rectiliniu la frecvențe înalte este redată [Rosa, 1916]:

$$L = 200 \cdot l \cdot \left[\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - 1 \right] \quad (4.21)$$

unde l și r sunt lungimea, respectiv raza secțiunii conductorului, iar inductanța este măsurată în nH.

Expresia capacității unui fir rectiliniu este dată de relația:

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\Lambda} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{\Lambda} \cdot (1 - \ln 2) + \frac{1}{\Lambda^2} \cdot \left[1 + (1 - \ln 2)^2 - \frac{\pi^2}{12} \right] \right\} \quad (4.22)$$

unde l și r sunt lungimea, respectiv raza secțiunii conductorului, iar $\Lambda = \ln(l/r)$.

Pentru antena UHF proiectată, care are o geometrie particulară și prezintă o buclă dublă în zona centrală, nu există relații de calcul ale inductanței și capacității.

În acest context, o abordare posibilă este "reverse engineering".

Se pornește de la rezultatele măsurărilor efectuate într-un laborator acreditat internațional independent (Laboratorul Voyantic din Finlanda), pe baza cărora se va construi circuitul echivalent al etichetei UHF pasive și apoi se va evalua rolul buclei duble.

Antena UHF a etichetei RFID pasive DAC100 are graficul distanţei de citire funcţie de frecvenţă prezentat în Fig. 4.14.

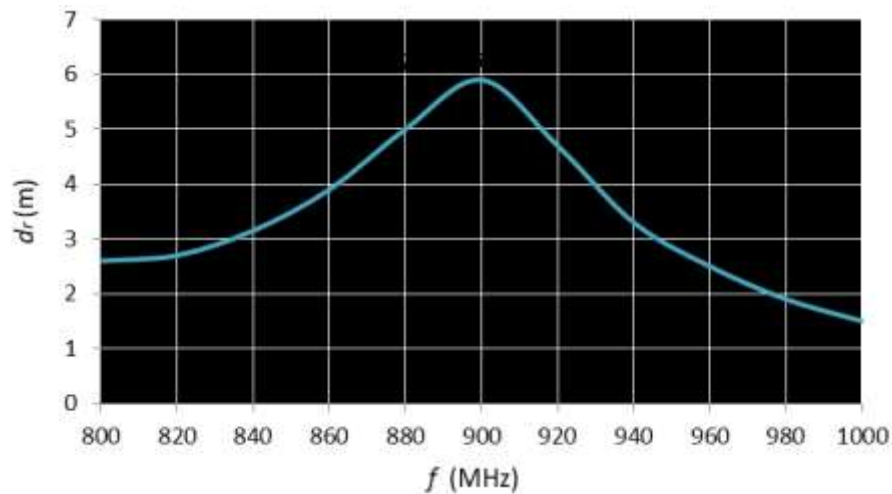


Fig. 4.14. Distanţa de citire funcţie de frecvenţă a etichetei DAC100

Graficul din Fig. 4.15 arată că rezonanţa pentru eticheta DAC100 are loc la 900 MHz.

Circuitul electric echivalent al antenei UHF al etichetei DAC100, este cel din Fig. 4.22, unde L_1 şi C_1 sunt inductanţa, respectiv capacitatea antenei, R_{ra} este rezistenţa de radiaţie a antenei, iar Z'_T - inductanţa introdusă în circuitul electric al antenei de transponder.

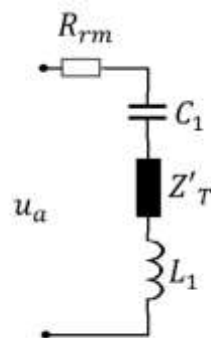


Fig. 4.15. Circuitul electric echivalent al antenei etichetei DAC100

S-a calculat cu relaţia (4.20.) rezistenţa: $R_{rm}=7,57 \Omega$.

În ceea ce priveşte parametri C_1 , L_1 şi Z'_T , aceştia vor fi calculaţi pornind de la geometria antenei (formă şi dimensiuni) şi de la valorile parametrilor electrici ai circuitului integrat RFID.

Calculul inductanţei L_1

Pentru calculul inductanţei L_1 , vom considera această inductanţă ca fiind suma inductanţelor segmentelor care realizează structura conductoare a antenei UHF a etichetei DAC 100 (Fig.

4.16). Se vor neglija inductanţele mutuale dintre segmentele componente ale structurii conductoare.

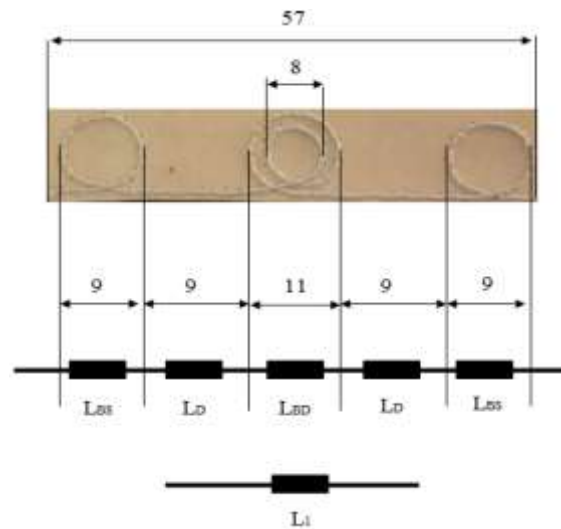


Fig. 4.16. Inductanţa echivalentă a antenei UHF

Structura conductoare a antenei UHF a fost împărţită în segmente conductoare pentru a căror inductanţă există relaţii de calcul şi ale căror formă şi dimensiuni sunt cele din Fig. 4.16. Conductorul din care este realizată antena UHF a etichetei DAC100 are secţiunea cu diametrul $\Phi=0,25$ mm. Structura conductoare a antenei UHF este compusă dintr-o buclă dublă în zona centrală, două bucle simple în capete şi două segmente conductoare rectilinii.

Va fi utilizată aplicaţia software [eeweb, 2020] pentru calcularea valorii inductanţelor diferitelor segmente conductoare.

Bucula dublă în zona centrală, realizată din două bucle concentrice de diametre $D_1 = 8$ mm şi $D_2 = 11$ mm, poate fi aproximată cu un solenoid de înălţime foarte mică, cu două spire de diametru mediu $D_m = 9,5$ mm.

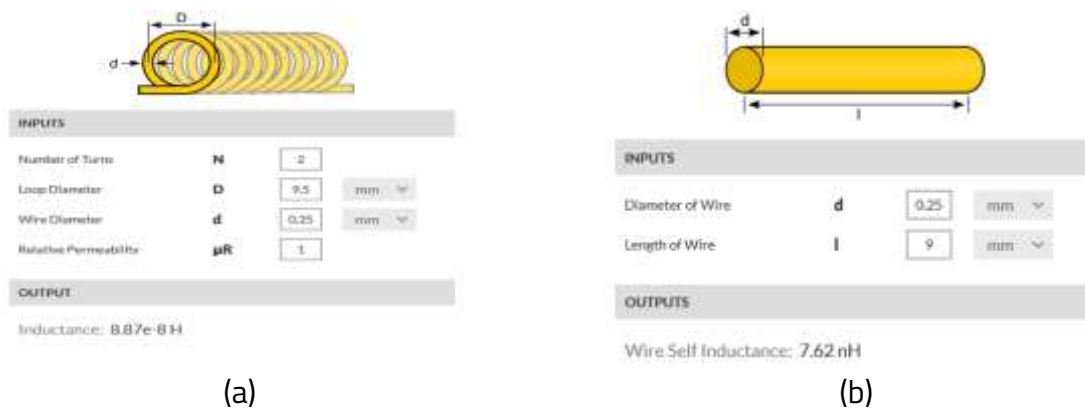


Fig. 4. 17. Inductanţa segmentelor conductoare: a)bucula dublă; b) rectiliniu

Inductanța buclei duble are valoarea de $L_{BD} = 88,7$ nH; pentru bucla simplă din capetele antenei UHF cu diametrul $D=9$ mm, valoarea este de $L_{BS} = 20,7$ nH (Fig. 4. 18.a).

Cele două segmente conductoare rectilinii care unesc bucla dublă cu buclele simple din capetele antenei UHF au valoarea de $7,62$ nH (Fig. 4. 18.b).

Inductanța echivalentă a antenei UHF a etichetei DAC 100 are valoarea:

$$L_1 = L_{BD} + 2 L_{BS} + 2 L_D = 88,7 + 2 \cdot 20,7 + 2 \cdot 7,62 = 145,3 \text{ nH.}$$

Vom considera cuplajul inductiv al antenei UHF - transponder realizat prin suprapunerea buclei duble a antenei UHF peste bucla de cuplaj inductiv a transponderului, exprimat prin inductanța $Z'_1 = a + jb$

La 900 MHz, eticheta UHF RFID DAC 100 este în rezonanță. Astfel, se poate afirma că la această frecvență circuitul echivalent al antenei UHF are o reactanță inductivă egală cu cea capacitivă.

Rezultă:

$$\frac{1}{\omega C_1} = \omega L_1 + \omega b \quad (4.23)$$

Avem o ecuație cu două necunoscute C_1 și b . Din expresia (3.8), am va fi calculată partea imaginară b a impedanței introdusă de transponder în circuitul antenei, după care vom putea afla valoarea C_1 din relația (4.23).

Pentru o etichetă UHF RFID căreia îi putem determina experimental frecvența de rezonanță și la care cunoaștem:

- geometria antenei;
- parametrii electrici ai circuitului integrat: R_s și C_s .

se pot obține parametrii electrici ai antenei UHF și influența cuplajului inductiv cu transponderul.

Metoda de stabilire a parametrilor circuitului echivalent al etichetei DAC 100 este utilă pentru optimizarea performanțelor antenelor UHF ale etichetelor proiectate.

4.3. Realizarea de etichete pasive UHF RFID cu cuplaj inductiv

4.3.2. Structura etichetei propuse de autor

În Fig. 4.18 este prezentată structura etichetei propuse de autor, în care elementele componente sunt: circuitul integrat RFID (1), antena UHF (2), substratul circuitului imprimat (3), circuit imprimat (4), punct de sudare al pinilor circuitului integrat în tehnologie SMT (5), suport textil (6), adeziv de fixare a transponderului capsulat (7), acoperire de protecție a transponderului (8), bandă textilă termo-adezivă de fixare a transponderului pe antena UHF (9).

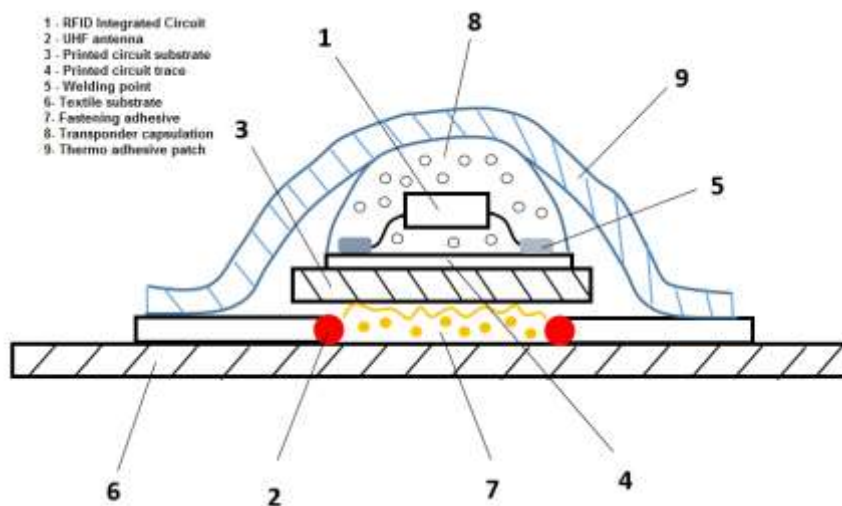


Fig. 4. 18. Părțile componente ale etichetei UHF RFID

Eticheta este cu cuplaj inductiv, arhitectură caracterizată prin existența unui transponder fără puncte de contact galvanic cu antena UHF, care elimină riscul distrugerii etichetei în timpul exploatării.

Transponderul

Soluția propusă de către autor pentru transponder face obiectul brevetului WIPO din 2018. [Moraru, 2018a].

Transponderul actual, care are la bază brevete precum [Pachoud, 2012] se remarcă prin conectarea electrică a circuitului integrat (10) la capetele buclei de cuplaj inductiv (2 sau 3) printr-un număr minim de 3 puncte de conexiune. Pentru conectarea circuitului integrat este necesară realizarea unei conexiuni tip „bridge” Fig. 3.19, care supratraversează bucla de cuplaj inductiv.

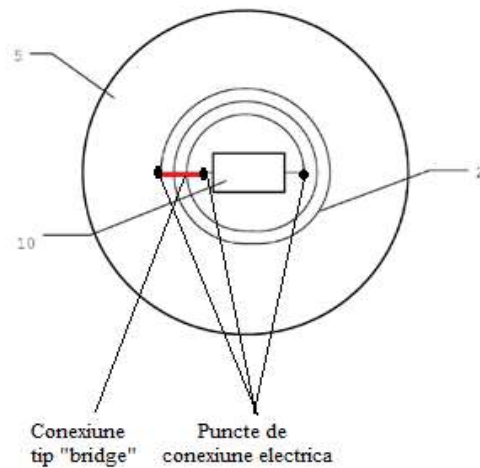


Fig. 3.19. Conexiunea tip „bridge” necesară conectării circuitului integrat RFID la antena de câmp apropiat

Această conexiune tip „bridge”, la cicluri de temperaturi joase–înalte repetate, se va comporta ca un element distinct, cu grad de dilatare diferit de elementele interconectate. Forțele create prin dilatare/contractie conduc la dezlipirea/ruptura conexiunii și la distrugerea transponderului.

Pentru a elimina vulnerabilitatea datorată conectării prin „bridge” și obținerea unui număr mic de contacte electrice, a fost necesară dezvoltarea unei noi geometrii a buclei de cuplaj inductiv. Această geometrie, care face obiectul brevetului, atinge obiectivul de a avea numărul minim de două puncte de conexiune, eliminând astfel bridge-ul utilizat anterior.

Transponderul RFID (1) conține circuitul integrat (3), conectat la o mică buclă de cuplaj inductiv (2), de forma unei spirale plane. Conexiunile electrice (5) dintre circuitul integrat (3) și bucla de cuplaj inductiv (2) sunt realizate prin tehnologia de montare pe suprafață Fig.4.19. Prin utilizarea carcasi SOT 323, pinii circuitului integrat (3) sunt semnificativ mai mari decât cei ai versiunii „bumped” a circuitului integrat, drept urmare contactele electrice vor fi mult mai sigure, ferme, de încredere și de duranță ridicată la solicitări cu variații de temperatură joase–înalte repetate.

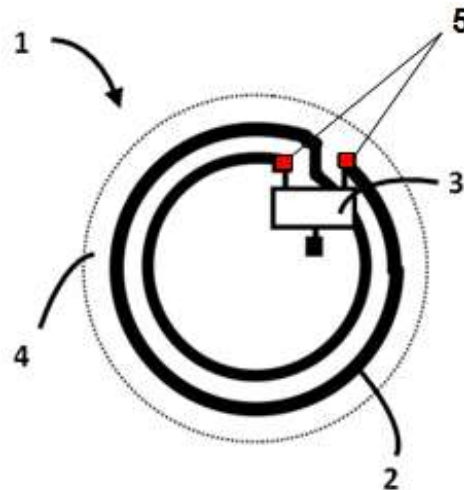


Fig. 4.19. Conectarea circuitului integrat în două puncte de conexiune

Bucla de cuplaj inductiv (2) (Fig. 4.19) este o spirală plană, cu un factor de formă redus, care trece printre picioarele circuitului integrat RFID (3). Este realizată în tehnologia circuitelor imprimate pe o placă subțire de circuit imprimat pe o singură față și are un diametru de circa 5 mm. Ansamblul circuit integrat (3) - buclă de cuplaj inductiv (2) este capsulat într-un material electroizolant rezistent la apă, temperatură, solicitări mecanice și stabil chimic, de forma unor pilule rotunjite, rezultând transponderul RFID (1).

Utilizarea tehnologiei circuitelor imprimate permite conectarea electrică a circuitului integrat (3) la bucla de cuplaj inductiv cu geometrie inovativă (2), în numai două puncte, minimum posibil.

Dispozitivul electronic rezultat este robust și fiabil, cu un design simplu și elegant.

Noutatea și originalitatea constau în:

- geometrie care permite un număr minim de puncte de conexiune;
- conexiuni galvanice solide, de duranță, posibil a fi realizate într-o tehnologie cu costuri reduse.

Antena UHF

Soluția inovativă propusă de către autor pentru o etichetă UHF RFID pasivă face obiectul brevetului WIPO [Moraru, 2020]. Autorul propune o etichetă UHF RFID pasivă cu cuplaj inductiv, cu o geometrie inovativă a antenei UHF. Antena UHF este o antenă dipol (Fig. 4.20.a) la care brațele dipolului au la extremități bucle închise, iar în zona centrală prezintă o buclă de cuplaj inductiv dublă prezentată detaliat în Fig. 4.20.b.

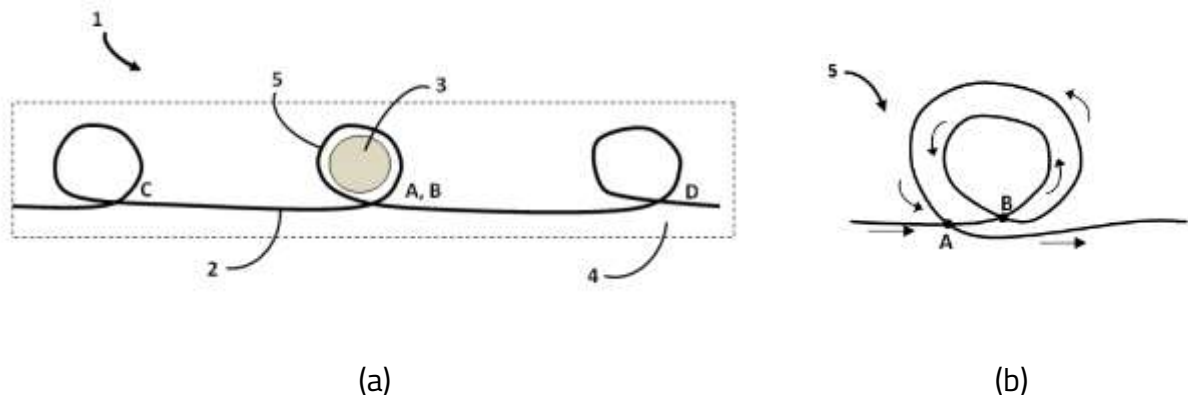


Fig. 4.20. Etichetă inovativă UHF RFID pasivă cu buclă dublă: a) elemente componente, b) bucla dublă de cuplaj inductiv

Pentru construcția antenei UHF cu buclă dublă pot fi utilizate atât conductoare electrice izolate cât și conductoare neizolate electric. Metodele de realizare sunt diferite și sunt prezentate detaliat în brevet.

Eticheta UHF RFID pasivă cu cuplaj inductiv propusă reprezintă o soluție viabilă pentru rezolvarea problemei create de discrepanțele dimensionale dintre minusculele circuite integrate și antenele la care sunt conectate galvanic, conectare care necesită utilizarea unor tehnologii scumpe (wire bonding) sau inadecvate mediului agresiv din spălătoriile industriale (lipire cu adezivi conductori). Pe lângă performanțele electromagnetice deosebite, bucla dublă de cuplaj inductiv facilitează proiectarea unei etichete de dimensiuni substanțial reduse, comparativ cu cele cu buclă simplă.

4.4. Concluzii

1. În vederea proiectării unei etichete UHF RFID pentru articole textile s-a efectuat o analiză asupra posibilităților de utilizare a etichetelor cu structură de adaptare a impedanță în mediul dur al spălătoriilor industriale. Experimentul efectuat asupra unui lot de etichete UHF RFID pasive, de acest tip, a demonstrat că o astfel de arhitectură a etichetei nu satisface cerințele specifice mediului agresiv din spălătoriile industriale, caracterizat de:

- temperaturi de spălare de până la 90°C, cu durate de peste 20 minute,
- cicluri multiple de spălare cu variații de temperatură - rece-cald (15-90)°C,
- presiuni de până la 40 bar,
- temperaturi de finisare/călcare (trecere printre calandrii) de 230°C, cu durate de zeci de secunde.

2. Pentru etichetele UHF RFID cu cuplaj inductiv existente pe piaţă, achiziţionate de la diferiţi furnizori, au fost efectuate testări, etichetele parcurgând toate etapele procesului de igienizare. Au fost identificate aspectele critice asupra cărora trebuie intervenit pentru adaptarea etichetei la solicitările la care sunt supuse articole textile:

- la nivelul transponderului, distrugerea contactelor dintre circuitul integrat și bucla de cuplaj inductiv,
- la nivelul antenei UHF, alterarea geometriei, întreruperea firului conductor,
- la nivelul etichetei UHF RFID, desprinderea transponderului sau a antenei de suportul textil.

3. În vederea proiectării etichetei pasive UHF RFID s-au identificat cerinţele legate de specificul articolelor textile și a mediului lor de lucru, cerinţele legate de parametrii circuitului integrat, cerinţele legate de parametrii antenei UHF și cerinţele de performanţă a comunicării etichetă-cititor RFID. Pe baza acestor cerinţe s-au stabilit elementele de proiectare.

4. Alegerea circuitului integrat RFID, care este elementul principal al transponderului, s-a realizat în funcţie de sensibilitatea și impedanţa echivalentă a circuitului integrat precum și de temperatura maximă de lucru. Circuitul integrat Alien Higgs 4 în carcasă SOT 323 satisface cerinţele funcţionale și de mediu.

5. Bucla de cuplaj inductiv, care realizează rezonanţa în circuitul electric al transponderului și comunicarea cu antena UHF, s-a dimensionat din condiţia de rezonanţă a circuitului electric echivalent al transponderului. Valoarea obţinută pentru inductanţa buclei de cuplaj inductiv este $L_{bci}=31,9$ nH. Bucla de cuplaj inductiv s-a realizat practic cu o geometrie spirală plană, din două înfăşurări concentrice care înconjoară circuitul integrat, care face obiectul unui brevet propus de autor [Moraru, 2018a].

6. Proiectarea antenei UHF s-a realizat ținând seama de puterea de transmisie minimă a cititorului necesară activării circuitului integrat și distanţa maximă de citire. Autorul propune o antenă dipol compusă dintr-o buclă dublă în zona centrală și două bucle simple la capete, care este obiectul unui al doilea brevet [Moraru 2020]. Pentru antena dipol propusă s-a evaluat inductanţa cu metoda superpoziţiei obţinându-se valoarea de $L_f=143$ nH.

7. Având în vedere soluţiile constructive existente, autorul propune o structură de etichetă UHF RFID cu cuplaj inductiv la care aduce următoarele contribuţii:

- Transponderul RFID, la care circuitul integrat este conectat direct la bucla de cuplaj inductiv a transponderului, soluție posibilă prin alegerea adecvată a circuitului integrat și a geometriei buclei de cuplaj inductiv;

- Antena UHF, cu buclă dublă de cuplaj inductiv cu transponderul, care amplifică cuplajul inductiv antenă-transponder și face posibilă comunicarea cu cititorul la puteri reduse de transmisie ale acestuia. Introducerea buclei duble la antena UHF reduce semnificativ lungimea etichetei, cerință importantă în aplicațiile de identificare și urmărire a articolelor textile.

8. Având la bază structura propusă, au fost realizate patru modele constructive de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv destinate identificării articolelor textile la care antena UHF este confecționată din: vopsea electro-conductivă (M1), fir metalic din cupru argintat izolat cu teflon (M2), fir textil acoperit cu un strat de argint (M3), conductor metalic multifilament din oțel inox (M4).

9. Pentru alegerea variantei optime s-au efectuat teste preliminare de încercări la cicluri de spălare. Examinarea vizuală și măsurătorile privind performanțele de citire au indicat ca variantă potrivită de etichetă modelul M4, cu antena realizată din fir multifilament de oțel inox, fixată prin brodare pe suportul textil.

10. Noi încercări preliminare, încercări ciclice de îndoire, s-au efectuat pentru modelul M4, în două variante de fir multifilament din oțel inox, cu 4 respectiv 275 filamente. Varianta de etichetă cu 275 de filamente și-a păstrat performanțele funcționale după 50 de cicluri de îndoiri repetate. Această variantă constructivă a fost aleasă ca prototip sub denumirea de DAC100.

5. MĂSURAREA ŞI VALIDAREA PERFORMANŢELOR ETICHETELOR UHF RFID PASIVE REALIZATE

5.1. Metode de măsurare a performanţelor etichetelor UHF RFID pasive

5.1.1. Măsurarea semnalului RFID cu osciloscopul

Pentru proiectarea antenei unei etichete UHF RFID pasive este importantă stabilirea unei metode de măsurare a semnalului captat de antenă şi emis de interogator.

Încercarea de a vizualiza la osciloscop semnalul RFID captat de o antenă UHF a unei etichete pasive, în timpul comunicaţiei cu interogatorul, aduce în discuţie două probleme fundamentale:

- trecerea de la modul diferenţial la modul comun;
- transferul eficient de putere şi integritatea semnalului, prin realizarea adaptării impedanţei pe lanţul de măsurare.

Din punct de vedere al modului diferenţial versus comun, trebuie conectată o antenă care generează un semnal de mod diferenţial la un osciloscop care vizualizează semnale de mod comun.

În Fig. 5.1 sunt prezentaţi curenţii prin cablul coaxial cu impedanţa caracteristică de 50Ω conectat la osciloscop.

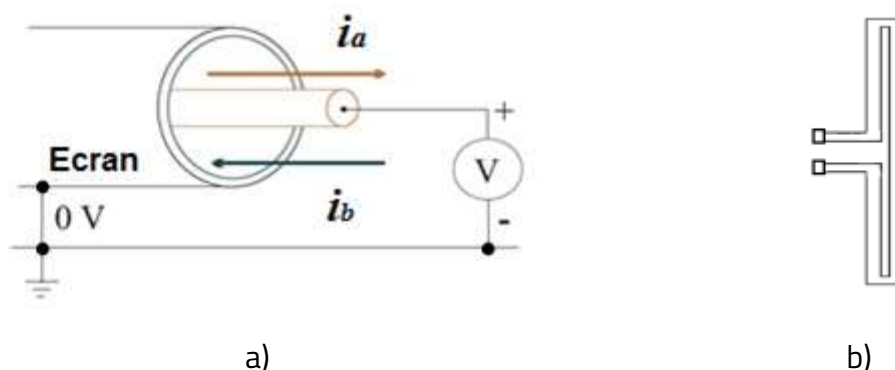


Fig. 5.1. Conectarea antenei la osciloscop prin cablu coaxial: a) curenţii, b) antena dipol UHF

În ambele circuite [Griffin, 2006], curentul direct şi cel de întoarcere, i_a şi i_b , sunt egali ca amplitudine, şi de sens opus. La conectarea celor două componente, cablul şi antena, trebuie păstrată această relaţie dintre curentul direct şi cel de întoarcere, în vederea asigurării

integrității semnalului transmis de la antenă către osciloscop. Conectarea directă ar crea situația din Fig. 5.2. Dacă fiind frecvența ridicată a semnalului RFID, 860-960 MHz, ecranul cablului coaxial este mult mai gros decât adâncimea de pătrundere (*skin depth*). Curentul i_b se va împărți în i_{int} - curentul care va circula pe suprafața interioară a ecranului cablului coaxial, și i_{ext} - curentul care va circula pe suprafața exterioară a ecranului cablului coaxial.

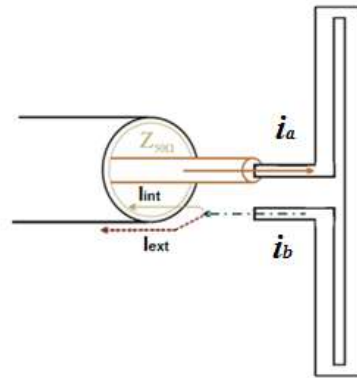


Fig. 5.2. Conectarea directă a antenei la cablul cu impedanța caracteristică de 50 Ω

Soluția acestei probleme este una simplă, ingenioasă și elegantă, și anume conectarea între antena UHF RFID și cablul coaxial de 50 Ω , a unui dispozitiv electronic numit Balun (BALANCED to UNbalanced). Este un cablu coaxial de lungime $\lambda/4$, Fig. 5.3.a.

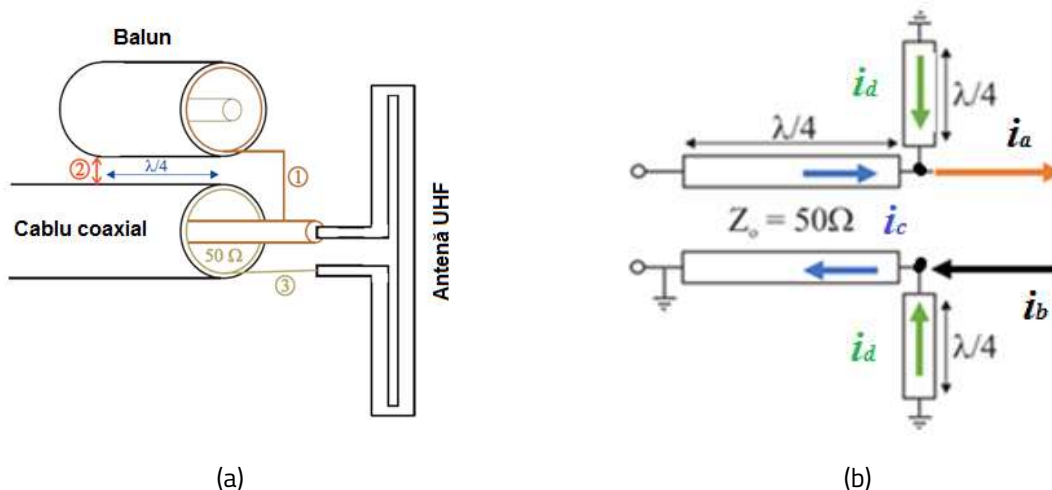


Fig. 5.3. Conectare prin Balun: a) Realizare și conectare, b) Curenții de mod comun și de mod diferențial în cablul coaxial, Balun și antenă

Conductorul din centrul cablului coaxial de 50 Ω , este conectat la ecranul BALUN-ului $\lambda/4$ în punctul 1, iar ecranul cablului de 50 Ω , în punctul 2, situat la o lungime de $\lambda/4$, este conectat la celălalt capăt al ecranului cablului BALUN-ului. Circulația curenților este indicată în Fig. 5.3.b. Distribuția de curenți de mod comun i_c și de mod diferențial i_d , din Fig. 5.3.b, iar curentul de mod comun direct și cel de întoarcere sunt egali ca amplitudine, și de sens opus.

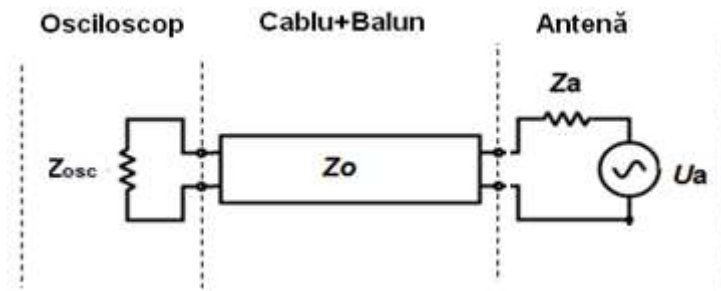


Fig. 5.4. Schema electrică de măsurare

Transferul eficient de putere și asigurarea integrității semnalului sunt realizate când, pe lanțul de măsurare din Fig. 5.4, este satisfăcută relația $Z_a=Z_0=Z_{osc}$, unde, pentru acest caz, Z_a este impedanța antenei, Z_0 este impedanța caracteristică de 50Ω a cablului antenă UHF-osciloscop, iar Z_{osc} este impedanța de 50Ω a osciloscopului. Așadar, $Z_0=Z_{osc}$, și rămâne de realizat $Z_a=Z_0$.

În laborator, a fost realizat montajul experimental descris prin schema electrică din Fig. 5.4.

Echipamente utilizate, conform Fig.5.5:

- Interogator IDRF UHF *Nordic Sampo S1*;
- Osciloscop 200 MHz *TDK*;
- Antenă UHF RFID adaptată la osciloscop printr-un Balun $\lambda/4$.



Fig. 5.5. Antenă UHF RFID și Balun-ul de adaptare la osciloscop

Realizarea practică:

- Antena UHF RFID este un dipol cu bucle închise la capete, cu diametru de 10 mm; lungimea totală a conductorului este de 173 mm, corespunzător lungimii de undă $\lambda/2$ (cf. Frecvență 867 MHz), 86,5 mm fiecare jumătate ($\lambda/4$);

- Balunul este realizat din cablu coaxial de lungime $\lambda/4$;
- Cablu cu impedanța caracteristică de 50 Ω ;
- Conector BNC 50 Ω .

Dispozitivul de măsurare astfel realizat, a fost situat la o distanță de 50 cm față de interogatorul RFID Nordic Sampo S1. Puterea de transmisie a interogatorului a fost setată la 500 mW. Imaginea la osciloscop, semnalului captat este prezentată în Fig. 5.6.

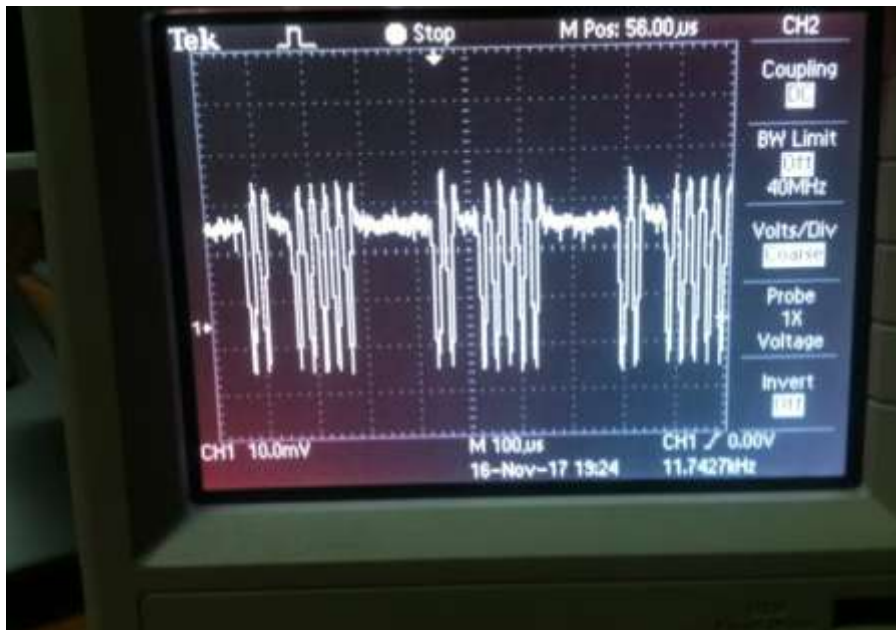


Fig. 5.6. Semnal UHF RFID la măsurarea cu osciloscopul

Imaginea afișată de osciloscop înfățișează un semnal RFID recepționat de antena UHF.

Cu metoda de măsurare cu osciloscopul s-a reușit vizualizarea formei și amplitudinii semnalului RFID modulat și codificat, emis de interogator și recepționat de antena UHF a etichetei.

Această metodă este utilă în activitatea de cercetare-proiectare și poate fi utilizată pentru stabilirea parametrilor funcționali ai sistemului RFID pentru identificarea articolelor textile pe fluxul tehnologic.

Metoda de măsurare a semnalului RFID cu osciloscopul prezentată este o măsurare de câmp îndepărat.

Pentru măsurări de câmp apropiat la puteri mici (de ordinul mW) ale puterii de transmisie P_{Tx} a interogatorului, sensibilitatea osciloscopului nu mai permite vizualizarea semnalelor RFID și va trebui utilizat analizorul de spectru, care are o sensibilitate de măsurare mult mai mare.

5.1.2. Măsurarea frecvenţei de rezonanţă a antenei cu analizorul de spectru

În proiectarea unei antene UHF RFID, parametrul determinant este frecvenţa de rezonanţă a acesteia. Pentru determinarea frecvenţei de rezonanţă a antenei UHF RFID realizate s-a construit un stand de măsurare care conţine următoarele elemente:

- antena UHF, adaptată printr-un Balun la impedanţa de 50Ω a cuplorului direcţional;
- cuplorul direcţional Mini Circuits tip ZFDC-20-5, cu bandă 0,1-2000 MHz;
- analizorul de spectru Hameg 5011, la care este folosită ieşirea TRK pentru generarea semnalului RF, iar intrarea IN pentru vizualizarea în domeniul frecvenţă.

Analizorul de spectru generează semnale în domeniul de frecvenţă (0-1000) MHz şi permite identificarea frecvenţei de rezonanţă a antenei. Antena UHF utilizată în testare este o antenă dipol cu geometrie similară antenei etichetei DAC100.

Schema de principiu a standului de măsurare este prezentată în Fig. 5.7.

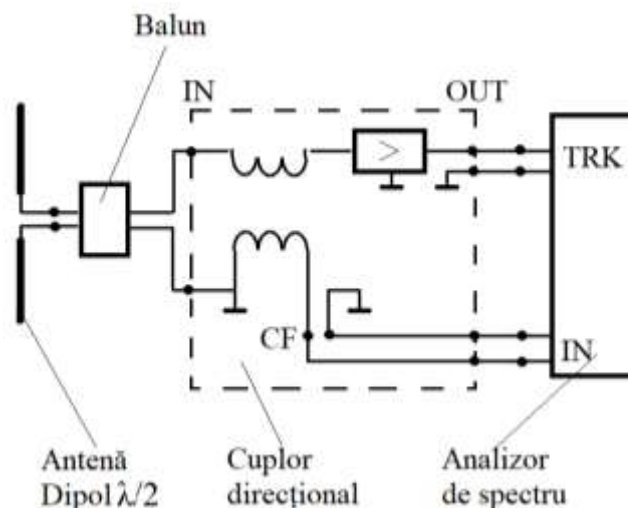


Fig. 5.7. Schema de principiu pentru măsurarea frecvenţei de rezonanţă a antenei UHF

Cuplorul direcţional este constituit dintr-o linie de transmisie principală IN-OUT, caracterizată de o pierdere de putere RF foarte mică, tipică, de mai puţin de 1 dB pe direcţia IN-OUT şi o pierdere mare de putere pe direcţia OUT-IN. La linia de transmisie principală este cuplată inductiv ieşirea CF (*Coupled Forward*) a cuplorului direcţional. O parte din puterea transmisă pe linia principală, atenuată cu 20 dB, va fi prezentă la ieşirea CF. Pentru un semnal cu direcţia OUT-IN, atenuarea este de 20 dB, iar la ieşire CF, atenuarea semnalului în acest caz va fi de 40 dB.

Metoda de măsurare se bazează pe măsurarea pierderii de putere (*Return Loss*) a semnalului generat de către analizorul de spectru. Atunci când semnalul generat de analizorul de spectru la ieşirea TRK atinge frecvenţa de rezonanţă a antenei UHF, o parte a puterii acestuia este disipată la nivelul antenei. La alte frecvenţe, diferite de cea de rezonanţă, antena nu generează pierdere de putere. Pierderea de putere la rezonanţă se observă pe displayul analizorului de spectru, fiind reprezentată de punctul de minim al graficului puterii funcţie de frecvenţă, Fig.5.8.

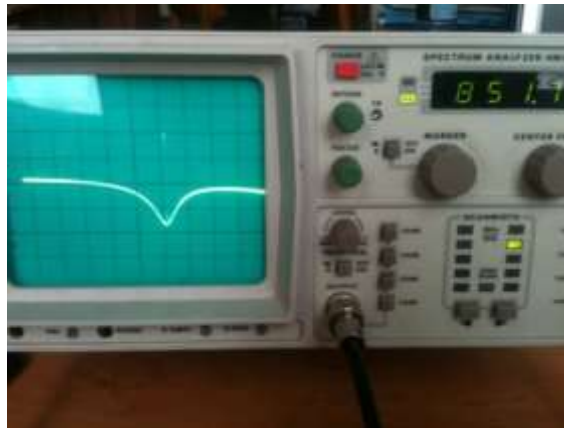


Fig. 5.8. Măsurarea parametrului Return Loss cu analizorul de spectru

Expresia matematică a pierderii de putere R_L este dată de relația:

$$RL = 10 \lg \frac{P_{IN}}{P_{TRK}} \quad (5.1)$$

unde P_{TRK} este puterea generată de către analizorul de spectru, iar P_{IN} puterea culeasă de pe conectorul CF al cuplorului direcțional și prezentă la conectorul IN al analizorului de spectru.

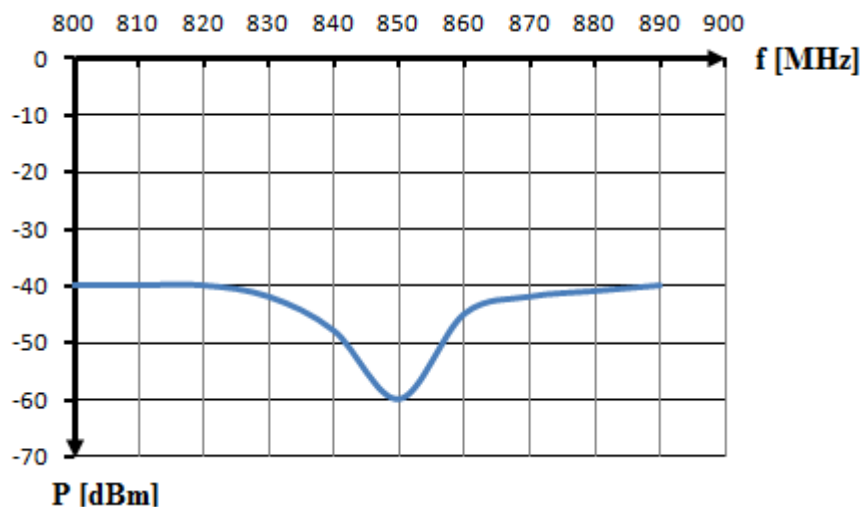


Fig. 5.9. Identificarea frecvenței de rezonanță a antenei UHF

În urma efectuării acestei măsurări (Fig. 5.9) rezultă că pierderea maximă de putere este de 58 dB și are loc la frecvența de rezonanță a antenei de 851,7 MHz. Această metodă de măsurare permite proiectarea și realizarea unei antene UHF rezonante în domeniul de frecvență RFID reglementat.

5.1.3. Stabilirea echivalenței de măsurare câmp apropiat – câmp îndepărtat

În procesul de fabricație a etichetelor UHF RFID este necesară identificarea și eliminarea operativă a etichetelor defecte sau cu performanțe mediocre. Se impune realizarea unui punct de control și selecție, unde după măsurarea performanțelor etichetelor, cele defecte sau cu performanțe mediocre să fie eliminate, iar cele cu performanțe bune să fie numărate și ambalate pentru livrare. Măsurările efectuate într-un mediu industrial sunt afectate de perturbațiile electromagnetice specifice acestuia. Din punct de vedere practic, în procesul tehnologic din spălătoriile industriale, articolele textile identificate cu etichete UHF RFID pasive, sunt interogate în câmp îndepărtat. Ar trebui, atunci, ca și măsurările să fie făcute în câmp îndepărtat, dar existența perturbațiilor electromagnetice face ca acest tip de măsurări să devină inexacte și inconsistente. Măsurarea în câmp apropiat la distanțe și puteri mici elimină problemele legate de perturbațiile electromagnetice specifice mediului industrial. Stabilirea unei echivalențe între măsurarea în câmp apropiat și cea din câmp îndepărtat ar rezolva problema. Scopul acestei cercetări este acela de a dezvolta o metodă de testare simplă dar precisă, cu echipamente și instalații necostisitoare, pentru evaluarea caracteristicilor etichetelor pasive UHF RFID în medii industriale. În studiul [Schmitt, 2000], se plasează câmpul electromagnetic apropiat reactiv în categoria câmpurilor care stochează energie în vecinătatea sursei (*storage field*), iar câmpul electromagnetic îndepărtat în categoria câmpurilor radiate în spațiul liber.

O analiză comparativă a caracteristicilor electromagnetice ale câmpului apropiat și ale celui îndepărtat este prezentată în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Caracteristici pentru câmp electromagnetic apropiat și câmpul electromagnetic îndepărtat

Caracteristica	Câmp apropiat reactiv și radiativ	Câmp îndepărtat
Energia	Stochează energie; Poate transfera energie prin cuplaj inductiv sau capacitiv.	Se propagă (radiază).

Caracteristica	Câmp apropiat reactiv și radiativ	Câmp îndepărtat
Durata	Dispare când sursa de energie este oprită.	Se propagă până este absorbit.
Interacțiunea	Măsurarea ori captarea energiei câmpului determină modificări ale tensiunii/curentului la nivelul sursei de energie.	Măsurarea câmpului ori captarea energiei câmpului nu au nici un efect la nivelul sursei de energie.
Forma câmpului	Complet dependent de circuitul sursă.	Unde sferice; La distanțe mari se manifestă ca și unde plane.
Impedanța de undă	Depinde de sursă și de mediul electromagnetic.	Depinde doar de mediul de propagare (are valoarea de $120\pi \Omega = 377 \Omega$, în spațiul liber).

Măsurări efectuate în facilități profesionale

O facilitate de testare pentru etichetele UHF RFID este descrisă în [RFID, Lab 2014]. În Fig. 5.10 se prezintă eticheta UHF RFID pasivă, plasată pe lobul principal de radiație a interogatorului, într-o cameră anecoică.

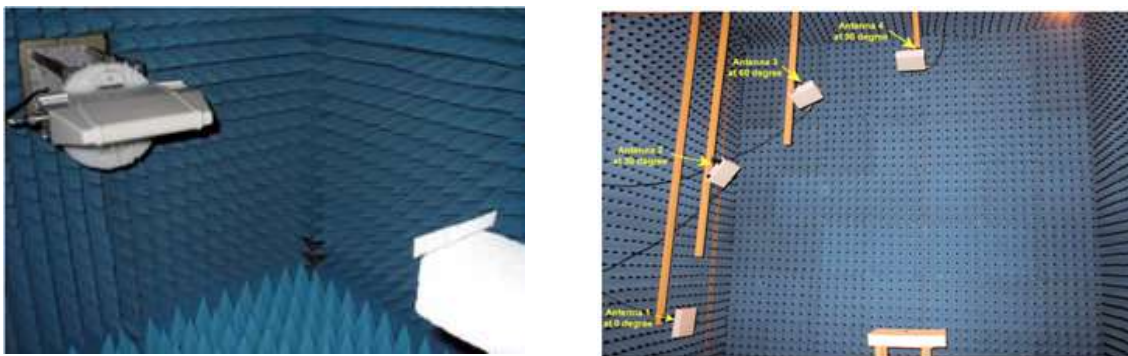


Fig. 5.10. Evaluarea performanțelor etichetelor UHF RFID într-o cameră anecoică

La Universitatea Auburn, etichetele UHF RFID sunt testate pentru acreditare pe piața americană. În camera anecoică (Fig. 5.11), unda reflectată de eticheta UHF RFID este recepționată de patru antene, situate la patru unghiuri diferite față de etichetă: 0, 30, 60 și 90 de grade.

Semnalele primite de antena UHF în interiorul camerei anecoice sunt transferate în exterior, măsurate de un analizor de rețea și procesate într-o unitate de testare etichete (Fig. 5.11).

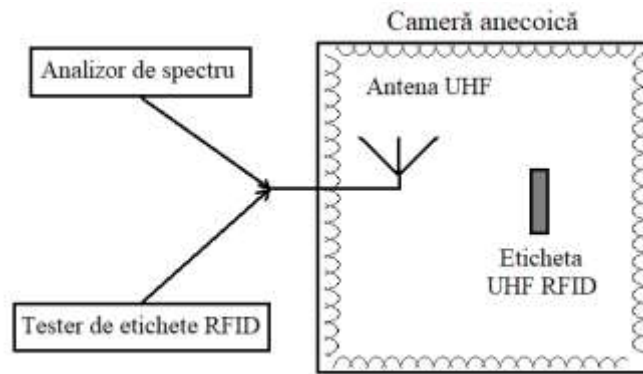


Fig. 5.11. Instalație de măsurare etichete UHF RFID în cameră anecoică

Suprafața interioară a camerei anecoice este alcătuită din elemente conice destinate absorbției undelor electromagnetice. Este utilizat un suport rotativ pentru testarea etichetelor pe diferite direcții.

Prezenta cercetare propune o nouă metodă de testare a etichetelor UHF RFID pasive.

A. Măsurări preliminare cu osciloscopul

În standul de măsurare realizat sunt incluse următoarele echipamente: calculator PC, interogator UHF RFID tip Nordic Sampo S1, antenă dipol, transponder UHF RFID, Balun și osciloscop. Fig.5.12.

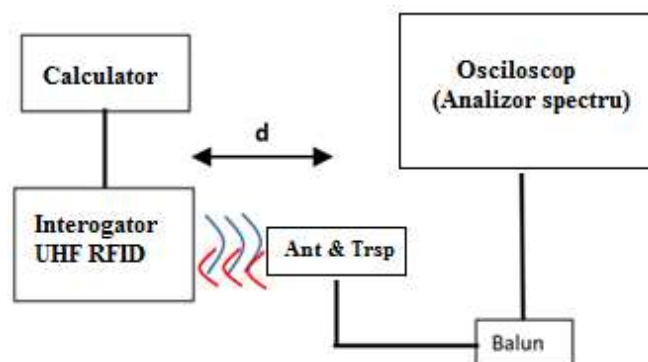


Fig. 5.12. Schema bloc a măsurării semnalului cu osciloscopul

În Fig. 5.12 este prezentată schema bloc de comunicare etichetă - interogator pentru măsurări în câmp electromagnetic apropiat. O antenă dipol pentru banda de frecvență RFID reglementată de UE a fost conectată printr-un balun $\lambda/4$ la un osciloscop.

Balunul are rolul de a adapta impedanța antenei cu a osciloscopului și de a converti semnalul de mod diferențial al antenei într-un semnal de mod de semnal comun către osciloscop.

În Fig. 5.13 este prezentată variația tensiunii vârf la vârf cu distanța de citire la măsurarea cu osciloscopul.

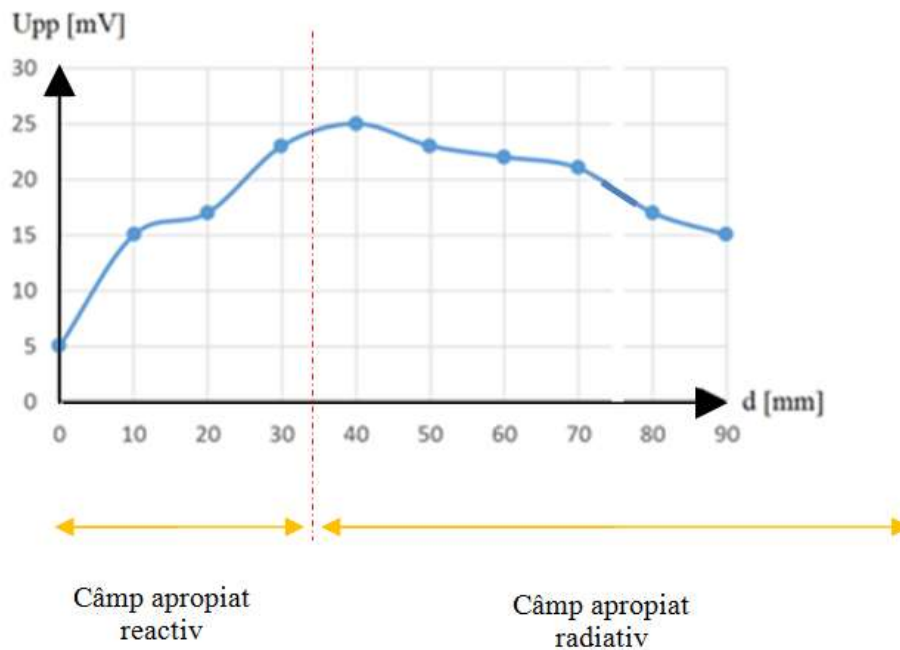


Fig. 5.13. Variația tensiunii vârf la vârf cu distanța de citire

Măsurările sunt făcute în regiunea de câmp apropiat reactiv, care are limita dată de relația [Stutzman, 2013]:

$$d = 0,62 \cdot \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (5.2)$$

Antena UHF utilizată are o lungime D de 100 mm, iar lungimea de undă λ a unui semnal cu frecvența de 867 MHz este de 346 mm. Distanța d care delimitează zona de câmp apropiat reactiv va fi egală cu 33 mm.

În Fig. 5.13 este afișată variația tensiunii vârf la vârf a semnalului funcție de distanța de citire la o putere de transmisie P_{TX} de 32 mW a interogatorului. Această dependență este descrisă de o funcție polinomială, care este în concordanță cu lucrarea [Umanei, 2011]. Tensiunea maximă vârf la vârf este de 25 mV la aproximativ 40 mm de suprafața cititorului, pe axa de directivitate maximă. Prin ajustarea bazei de timp a osciloscopului, pe ecran se poate obține o caracteristică detaliată a semnalului UHF RFID.

La o putere mică de emisie a cititorului, de 8-10 mW, la care etichetele UHF RFID comerciale sunt în mod uzual citite în câmp apropiat, osciloscopul nu mai vizualizează semnalul. De aceea, osciloscopul a fost înlocuit cu analizorul de spectru tip Spectru Hameg 5011.

B. Măsurători ale semnalului etichetelor UHF RFID cu analizorul de spectru

Pentru a stabili metodologia de corelare a măsurării în câmp apropiat cu cea din câmp îndepărtat, este utilizat un analizator de spectru, care, spre deosebire de osciloscop, poate măsura semnalul antenei la puteri de transmisie reduse ale cititorului UHF RFID, de ordinul (8-10) mW.

Interogatorul este folosit pentru a obține un feedback consistent (care oferă informații clare despre calitatea comunicării cititor-etichete).

Transponderul UHF RFID este plasat în zona centrală a antenei UHF, cuplat inductiv la aceasta. Software-ul interogatorului RFID Nordic S1 permite determinarea vitezei de citire ν , reprezentând numărul de etichete identificate corect pe secundă.

Determinările experimentale au fost efectuate în următoarele condiții:

- măsurare în aer, în mediu industrial;
- distanțe și unghiuri pentru măsurările în câmp îndepărtat: cititor la 1,5 m înălțime față de podea, etichetă la 45 de grade față de poziția orizontală (pentru a simula o poziție de citire nefavorabilă, când eticheta nu beneficiază de directivitatea antenei cititorului);
- distanța de măsurare în câmp apropiat: antena UHF este plasată la 4 cm de cititor.

Evaluarea calității comunicației se face în două cazuri:

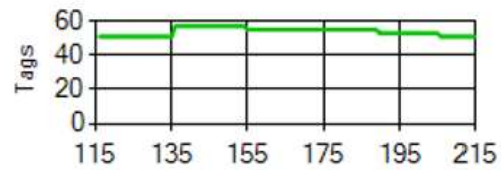
1. În câmp apropiat – cu o etichetă UHF la $d = 40$ mm față de cititor și o putere de transmisie a cititorului variabilă, pentru stabilirea puterii de transmisie minime a cititorului P_{tr-min} la care viteza de citire este de 40 etichete pe secundă.
2. În câmp îndepărtat - cu etichetă UHF la distanțe diferite față de cititor și cu puterea de emisie maximă a cititorului ($P_{tr-max} = 500$ mW), pentru stabilirea distanței maxime d_{max} până la care viteza de citire rămâne de 40 etichete pe secundă.

Imaginea din Fig. 5.14.a prezintă analizorul de spectru care măsoară puterea recepționată de antena UHF în câmp apropiat, iar Fig. 5.14.b indică viteza de citire înregistrată de interogator.

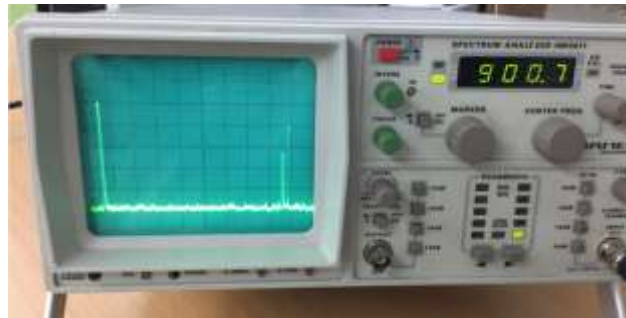
Analizorul de spectru are atenuatorul fixat la -40 dBm, iar pe axa orizontală avem 100 MHz pe diviziune. Bara din stânga reprezintă frecvența centrală. Marker-ul identifică frecvența semnalului recepționat de către analizorul de spectru egală 900,6 MHz (bara din dreapta).



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.14. Citire în câmp apropiat cu analizorul de spectru și interogatorul RFID, a) standul de măsurare, b) viteza de citire, c) frecvența de rezonanță indicată de analizorul de spectru

Fig. 5.15 prezintă interfața grafică utilizator a aplicației software Sampo S1 Nordic Reader pentru evaluarea etichetelor UHF RFID pasive. Semnalele RFID sunt modulate PR-ASK, puterea de transmisie a cititorului este de 8 mW, viteza de citire este peste 51 etichete/s (linia verde).

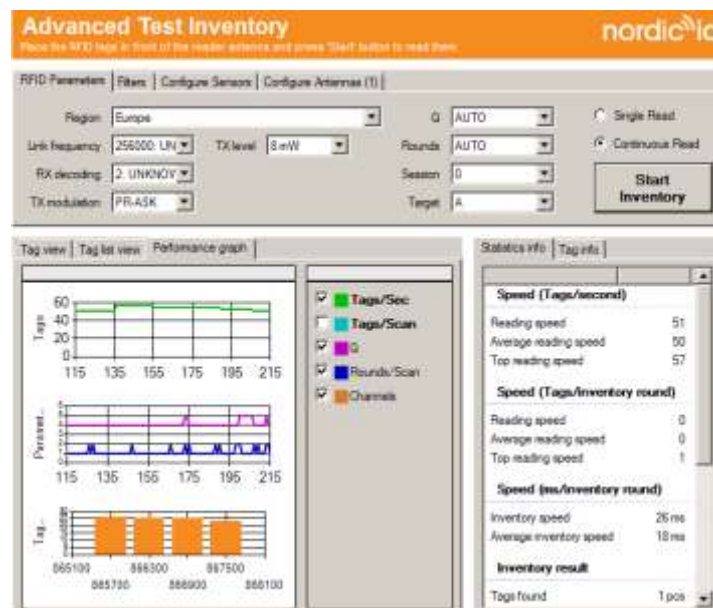


Fig. 5.15. Aplicația software Sampo S1 Nordic Reader pentru evaluarea etichetelor UHF RFID pasive

Măsurările de câmp îndepărtat se fac în acelaşi mod ca şi în cazul câmpului apropiat. La o distanţă de 1,5 m se obţine o calitate bună a citirii (Fig. 5.16).



Fig. 5.16. Citire în câmp îndepărtat cu interogatorul RFID

În Tabelul 5.2 este prezentată corelaţia dintre măsurarea în câmp apropiat şi cea în câmp îndepărtat a performanţei etichetei.

Tabelul 5.2. Corespondenţa între măsurătorile de câmp apropiat şi de câmp îndepărtat

Tipul măsurării	d [mm]	P_{Tx} [mW]	ν [etichete/s]
Câmp apropiat	40	8	40
Câmp îndepărtat	1500	500	38

Parametrii de echivalenţă între măsurarea în câmp apropiat şi cea în câmp îndepărtat sunt distanţa d între cititor şi etichetă şi puterea de transmisie P_{Tx} a interogatorului.

Viteza ν de citire măsurată validează metoda de echivalare propusă.

Pentru o analiză mai detaliată, s-au efectuat măsurări comparative de câmp apropiat- câmp îndepărtat pe un lot de 20 de etichete DAC100, pentru care parametrii de echivalenţă sunt $d=40$ mm; $P_{Tx}=8$ mW şi $d=1,5$ m;; $P_{Tx}=500$ mW. Interogatorul citeşte continuu şi măsoară numărul de interogări reuşite.

Tabelul 5.3. Măsurători comparative în câmp apropiat și în câmp îndepărtat

Număr etichetă	Câmp apropiat		Câmp îndepărtat	
	P [mW]	ν [citiri/s]	P [mW]	ν_m [citiri/s]
E1	8	39	500	39
E2	8	37	500	37
E3	8	39	500	40
E4	8	41	500	41
E5	8	38	500	37
E6	8	39	500	39
E7	8	40	500	39
E8	8	37	500	37
E9	8	37	500	38
E10	8	39	500	39
E11	8	38	500	38
E12	8	39	500	40
E13	8	40	500	41
E14	8	40	500	40
E15	8	39	500	39
E16	8	37	500	38
E17	8	41	500	41
E18	8	39	500	39
E19	8	39	500	40
E20	8	38	500	39

Corelația dintre perechi (distanță, putere) este certificată de valorile foarte apropiate ale vitezei de citire. Ca rezultat, măsurarea în câmp apropiat se poate face evitând dificultățile măsurării în câmp îndepărtat legate de reflecții și interferențe electromagnetice din mediul industrial. Informațiile din Tabelul 5.3 indică distanțele și puterile la care putem stabili o echivalență între măsurători în câmp apropiat și câmp îndepărtat.

Problema specifică testării rapide a calității etichetelor, obligatorie în cazul producției de serie, a fost depășită prin stabilirea unei corelații între măsurările de câmp apropiat și de câmp îndepărtat.





5.2. Validarea performanțelor etichetei pasive UHF RFID realizate

5.2.1. Validarea de către un laborator independent

Validarea performanțelor etichetelor realizate s-a efectuat în Laboratorul Voyantic [Voyantic, 2020], un laborator european de prestigiu din Finlanda, dotat cu facilități și echipamente de

măsurare care permit efectuarea unor măsurări/teste în conformitate cu standardele RFID și de măsurare în domeniul de radio-frecvență. Măsurătorile au fost efectuate în cameră ecranată anecoică, în care comunicația interogator- etichetă este ferită de reflexiile și interferențele specifice mediului industrial. Banda de frecvență în care s-au făcut măsurători a fost (800-1000) MHz, iar distanța interogator-etichetă a fost $d = 1,5$ m. Puterile sunt exprimate în dBm, iar frecvența aleasă pentru construirea tabelelor cu rezultate ale măsurării/testării a fost cea de 900 MHz. Etichetele testate (Tabelul 5.4) au fost etichete UHF RFID pasive cu buclă de cuplaj inductiv dublă, dezvoltate de autor, precum și etichete reprezentative de pe piață cu buclă de cuplaj inductiv simplă.

Tabelul 5.4. Variante constructive de etichete UHF RFID pasive testate

Variantă constructivă etichetă	Parametri dimensionali		Imagini ale etichetelor
	L [mm]	/[mm]	
V5-Etichetă DAC100	57	13	
V6-Etichetă DAC100s	59	10	
V7-Etichetă DAC300	37	10	
V8-Etichetă DAC400	30	30	

Parametrii de performanță evaluați au fost:

A. Pragul minim de putere la care eticheta e activată:

- de transmisie a interogatorului P_{Th}
- la nivelul etichetei P_t

B. Distanța de citire d .

A. Evaluarea etichetelor prin analiza valorilor pragului minim de putere

Parametrul evaluat a fost pragul minim de putere P_t în punctul din spațiu unde se află eticheta conform procedurii de testare Voyantic.

Tabelul 5.5 prezintă valorile P_t pentru diferite variante constructive de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv și antenă UHF cu buclă dublă la frecvența de 900 MHz.

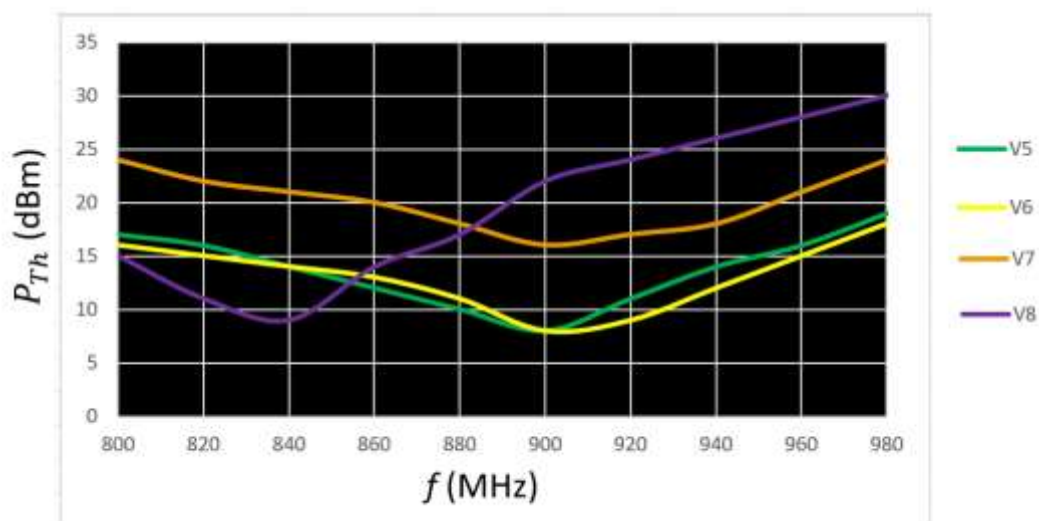
Tabelul 5.5. Valorile P_t la frecvenţa de 900 MHz

Variantă constructivă etichete	P_t [dBm]
V5 - Etichetă DAC100	-13
V6 - Etichetă DAC100s	-13
V7 - Etichetă DAC300	-5
V8 - Etichetă DAC400	1

Etichetele V5, V6 și V7 sunt proiectate în vederea identificării articolelor textile în spălătoriile industriale și au diferite dimensiuni funcție de dimensiunile articolelor textile pe care le identifică în mod unic și funcție aplicațiile specifice. Eticheta V8 este dedicată identificării copacilor și trasabilității pe fluxul de exploatare a masei lemnoase.

Având în vedere graficele din Fig. 5.17, se poate descrie răspunsul în frecvență al diferitelor variante constructive:

- Etichetele V5 și V6 se comportă aproape identic, au valoarea pragului minim de activare de -12 dBm, la frecvența de 900 MHz; în banda de frecvență a testului (800-1000) MHz, pragul de activare variază de la -12 dBm la -2 dBm; pe frecvența medie de 866,5 MHz din banda de frecvență reglementată pentru UE (865-868) MHz este de -7 dBm;
- Eticheta V7 are un minim al pragului de activare de -5 dBm la frecvența de 900 MHz; în banda de frecvență a testului (800-1000) MHz, pragul de activare variază de la -5 la 4 dBm; pe frecvența medie de 866,5 MHz, din banda de frecvență reglementată pentru UE (865-868) MHz este de -2 dBm;



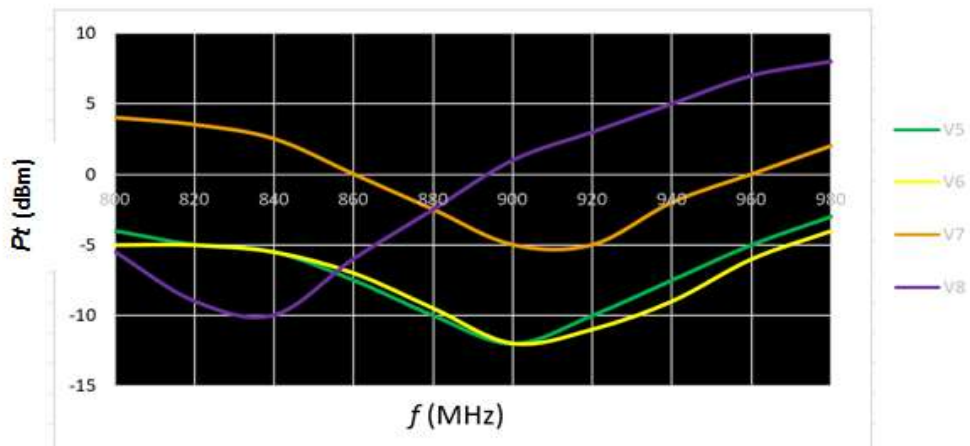


Fig. 5.17. Răspunsul în frecvență al diferitelor variante constructive, a) puterea de prag P_{th} și putere la nivelul etichetei P_t

- Eticheta V8 are un minim al pragului de activare de -10 dBm la frecvența de 830MHz; în banda de frecvență a testului (800-1000) MHz, pragul de activare variază de la -10 la -6 dBm; pe frecvența medie de 866,5 MHz din banda de frecvență reglementată pentru UE, (865-868) MHz, este de - 5 dBm.

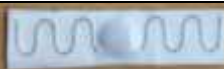


Etichetele V5, V6 sunt destinate aplicațiilor care necesită un prag de activare mic, adică aplicații care permit distanțe de citire mai mari sau puteri de emisie mici ale interogatorului.


Etichetele V7, V8 sunt destinate aplicațiilor care necesită un prag de activare mai mare, adică aplicații care permit distanțe de citire mici.

Eticheta care necesită cel mai mic prag de putere este eticheta DAC100, varianta V5, care va fi evaluată comparativ cu etichete reprezentative de pe piață.

În Tabelul 5.6 sunt prezentate diferite variante constructive de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv și antenă UHF cu buclă dublă și simplă, pentru testări comparative.

Tabelul 5.6. Variante constructive de etichete

Varianta constructivă	Dimensiuni		Imagine	Antena UHF
	L [mm]	W [mm]		
V1-Elveția [Datamars 2020]	70	15		buclă simplă
V2-Turcia [Ustek 2020]	70	15		buclă simplă
V3-Franța [Fenotag 2020]	57	20		buclă simplă
V4- China [Invengo 2020]	62	10		buclă simplă

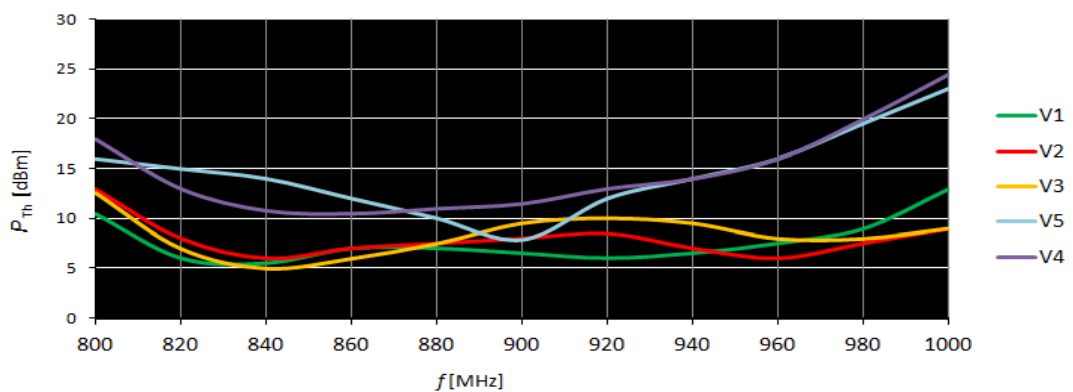
Varianta constructivă	Dimensiuni		Imagine	Antena UHF
	L [mm]	l [mm]		
V5- DAC100	57	13		buclă dublă

Graficele din Fig. 5.18 prezintă, pentru fiecare variantă constructivă de etichetă, variația P_{Th} și P_t funcție de frecvență, eticheta fiind situată la 1,5 m distanță de interogator.

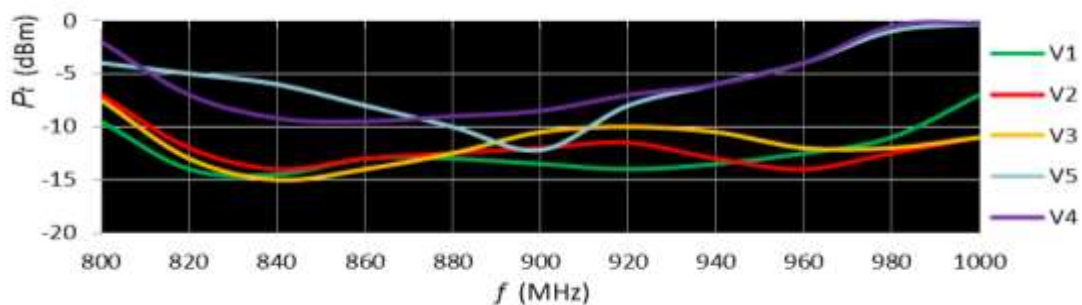
În ceea ce privește variația puterii P_{Th} , s-au constatat următoarele:

- Etichetele cu dimensiuni mai mari, V1, V2, V3, au pragul minim de 5 dBm la frecvența de 840 MHz, în afara domeniului RFID reglementat (860-960) MHz;
- Etichetele cu dimensiuni mai mici, V4, V5, au pragul minim de 12, respectiv 8 dBm în domeniul RFID reglementat (860-960) MHz;
- în intervalul de frecvență de (900-915) MHz, eticheta V5 (DAC 100), are același prag minim cu V2, un prag mai mic decât V3, V4 și un prag mai mare decât V1.

În ceea ce privește variația puterii P_t , aceasta este similară cu cea a puterii P_{Th} , remarcându-se o atenuare de 20 dBm.



(a)



(b)

Fig. 5.18. Variația puterii în domeniul de frecvență 800-1000 MHz: a) Puterea de prag P_{Th} , b) Puterea la nivelul tagului P_t

B. Evaluarea etichetelor prin analiza valorilor distanţei de citire în funcţie de frecvenţă.

Un alt parametru important de evaluare a etichetelor UHF RFID pasive este distanţa de citire. Rezultatele măsurărilor privind distanţa de citire funcţie de frecvenţă pentru etichetele cu buclă dublă dezvoltate în laboratorul de cercetare propriu sunt prezentate în Tabelul 5.7 şi Fig. 5.19.

Tabelul 5.7. Distanţa de citire la frecvenţa de 900 MHz pentru etichetele cu buclă dublă

Variantă constructivă etichete	d [m]
V5 - Etichetă DAC 100	5,7
V6 - Etichetă DAC 100s	5,5
V7 - Etichetă DAC 300	2,5
V8 - Etichetă DAC 400	1,4

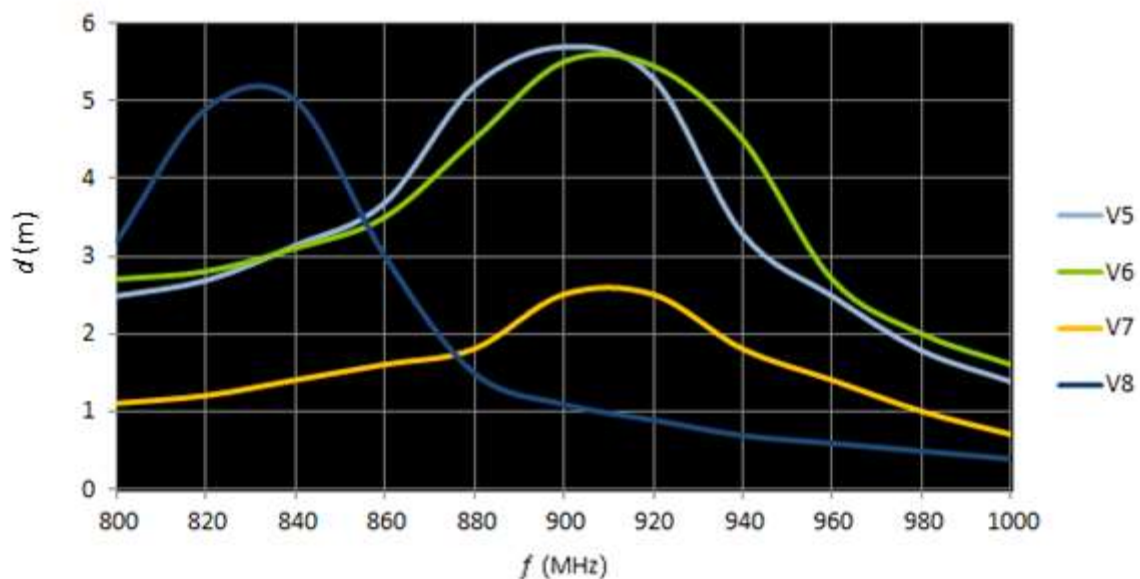


Fig. 5.19. Distanţa de citire funcţie de frecvenţă pentru etichetele cu buclă dublă dezvoltate în laboratorul de cercetare propriu

Fig. 5.19 pune în evidenţă următoarele:

- Etichetele V5 şi V6 se comportă aproape identic, au un maxim al distanţei de citire de 5,7 m la frecvenţa de 900 MHz; în banda de frecvenţă RFID (860 – 960) MHz, distanţa

de citire variază în intervalul (2,5-5,7) m; în banda de frecvență reglementată pentru UE, (865-868) MHz, variază în intervalul (3,5-4) m;

- Eticheta V7 are un maxim al distanței de citire de 2,5 m la frecvența de 900 MHz; în banda de frecvență RFID (860 – 960) MHz, distanța de citire variază de la 1,5 la 2 m; în banda de frecvență reglementată pentru UE, (865-868) MHz, variază de la 1,5 la 1,7 m;
- Eticheta V8 are un maxim al distanței de citire de 5,2 m la frecvența de 835 MHz; în banda de frecvență RFID (860 – 960) MHz, distanța de citire variază de la 3 la 0,6 m; în banda de frecvență reglementată pentru UE, (865-868) MHz, variază de la 2,7 la 2,5 m.

Pentru analiza comparativă a etichetei DAC 100, în ceea ce privește distanța de citire, au fost selecționate cele mai reprezentative etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv și antenă UHF cu buclă simplă de pe piață.

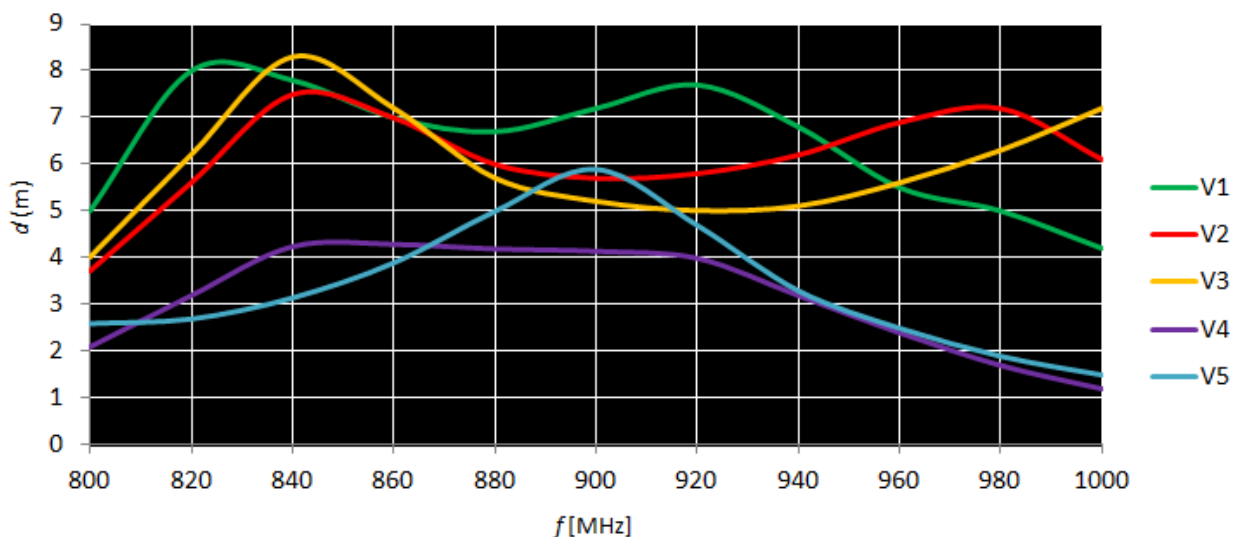


Fig.5.20. Variația distanței de citire funcție de frecvență-evaluare comparativă

În Fig.5.20 este prezentată variația distanței de citire funcție de frecvență, pentru evaluarea comparativă a etichetei cu buclă dublă DAC100 și a etichetelor reprezentative cu buclă simplă de pe piață.

Figura Fig. 5.20 pune în evidență următoarele:

- Etichetele cu dimensiuni mai mari, V1, V2, V3, au distanța de citire maximă de (7,5-8,5) m în intervalul de frecvență de (820-850) MHz, frecvențe aflate în afara domeniului RFID reglementat (860-960)MHz;
- Etichetele cu dimensiuni mai mici, V4, V5, au distanța de citire maximă de 4,3 m și 5,7 m în intervalul de frecvență RFID reglementat (860-960)MHz;

- La frecvența de 900 MHz, eticheta V5 (DAC 100) are distanța de citire mai bună decât V2, V3 și V4, și o distanță de citire mai mică decât V1.

5.2.2. Validarea în mediul spălătoriilor industriale

Pentru validarea performanțelor etichetei DAC100 în mediul din spălătoriile industriale, au fost selecționate un număr de 84 de etichete DAC 100, care au fost testate la o spălătorie industrială din Austria, împreună cu alte 4 mărci reprezentative de etichete pasive RFID. DAC 100 este varianta de etichetă pasivă UHF RFID cu transponder în cuplaj inductiv și antenă UHF cu buclă dublă. Celelalte modelele de etichete, provenite de la alți producători de prestigiu, au fost pasive cu transponder în cuplaj inductiv și antenă UHF cu buclă simplă.

Echipamentele tehnologice de testare: S-a utilizat un tunel de citire RFID (1) dotat cu un interogator Impinj Speedway (4). Acesta a utilizat patru antene de câmp îndepărtat cu polarizare circulară (2). Interogatorul (4) este conectat la un calculator desktop (5). Eșantioanele de testare s-au introdus în căruciorul de spălătorie (3) (Fig 5.21).

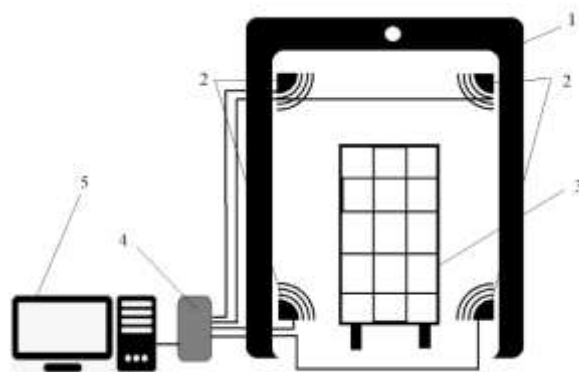


Fig. 5.21. Instalația de testare și validare

Eșantioanele testate

S-au pregătit 100 de eșantioane de testare alcătuite din articole textile cu dimensiunile de 150 x 100 cm. Pe acestea, s-au atașat etichete pasive UHF cu buclă simplă, de origine Elveția (Datamars), Japonia (Fujitsu), Franța (Ubi Solutions), China (Invengo) și cu buclă dublă, România (DAC100), Fig. 5.22.



Fig. 5.22. Eşantion de testare

Descrierea testărilor efectuate:

Toate eşantioanele au fost în spălătorie. Parametrul măsurat a fost puterea undei reflectate RSSI (Return Strength Signal Indicator) la nivelul interogatorului P_{RX} , în următoarele situații:

- stare inițială, uscată;
- după un număr de cicluri de spălare.

Pentru măsurători inițiale, puterea de radiație a interogatorului a fost setată la $P_{TX}=15$ dBm. S-a măsurat valoarea parametrului RSSI (*Return Signal Strength Indicator*). Se consideră valoarea minimă acceptată a parametrului RSSI în mediul din spălătoriile industriale ca fiind de -70 dBm. Rezultatul măsurătorilor este prezentat în Tabelul 5.8.

Tabelul 5.8. Valoarea RSSI măsurată în starea inițială uscată a eşantioanelor

Proveniență etichetă	România (DAC100)	Elveția	Japonia	China	Franța
Nr. Etichete cu RSSI < -70 dBm	8	34	21	24	27

Se remarcă modelul DAC100 prin cel mai mic număr de etichete a căror parametru RSSI a fost sub -70 dBm.

Numărul mic de etichete cu parametru RSSI sub limita admisă se datorează transferului eficient de energie dintre antena UHF cu buclă dublă și transponder. Se demonstrează astfel eficiența buclei duble față de bucla simplă la puteri mici ale interogatorului.

S-au efectuat 38 de cicluri de spălare pentru toate eşantioanele. S-a efectuat măsurarea indicatorului RSSI în stare umedă după fiecare ciclu de spalare. Puterea interogatorului a fost de $P_{TX}=45$ dBm. Cu criteriul de validare stabilit ($RSSI < -70$ dBm) s-a considerat că un număr mai mic de 10 citiri corecte este nesatisfăcător. Numărul de etichete care s-au aflat în această situație este redat în Tabelul 5.9.

Tabelul 5.9. Numărul de etichete necorespunzătoare la măsurare în stare umedă

Proveniență etichetă	Romania DAC100	Elveția	Japonia	China	Franța
Nr. Etichete	1	0	1	0	0

S-a constatat că etichetele în buclă dublă DAC100 s-au comportat bine având o singură etichetă care nu s-a calificat, din cele 84 testate la măsurare în stare umedă.

5.3 Concluzii

1. Pentru evaluarea performanțelor etichetei DAC 100, s-au efectuat două tipuri de testări: măsurarea semnalului RFID de comunicație etichetă-cititor cu osciloscopul și măsurarea semnalului RFID de comunicație etichetă-cititor cu analizorul de spectru.

Transferul eficient de putere și integritatea semnalului măsurat în domeniul de frecvență RFID reglementat (860-960) MHz au fost asigurate prin realizarea adaptării impedanței pe lanțul de măsurare prin utilizarea unui balun.

Cu metoda de măsurare cu osciloscopul s-a reușit vizualizarea formei și amplitudinii semnalului RFID modulată și codificată, emis de interogator și recepționat de antena UHF a etichetei. Această metodă este utilă pentru stabilirea parametrilor funcționali ai sistemului RFID. Metoda de măsurare a semnalului RFID cu osciloscopul prezentată este o măsurare specifică de câmp îndepărat. Pentru măsurări de câmp apropiat la puteri mici (de ordinul mW) ale puterii de transmisie P_{TX} a interogatorului, sensibilitatea osciloscopului nu mai permite vizualizarea semnalelor RFID.

Metoda de măsurare cu analizorul de spectru permite măsurări la puteri mult mai mici ale semnalului de comunicație și determinarea frecvenței de rezonanță a antenei UHF. Cu standul de măsurare realizat s-a verificat încadrarea frecvențelor de rezonanță ale etichetelor Dac100 în banda de frecvențe RFID reglementată.

2. Pentru evaluarea performanţelor electromagnetice ale etichetelor pasive UHF RFID în mediul din spălătorii industriale, s-a dezvoltat o metodologie de echivalare a rezultatelor măsurărilor din câmp îndepărtat cu cele din câmp apropiat. Astfel, o citire în câmp îndepărtat cu parametrii distanţă de citire-putere de 2m-500 mW, este echivalentă cu o citire în câmp apropiat cu parametrii distanţă de citire-putere de 7 mm-8 mW, viteza de citire fiind aceeaşi, de 40 de citiri reuşite pe secundă. Metodologia propusă este o metodă de testare simplă, suficient de precisă, care nu necesită echipamente şi instalaţii costisitoare.

3. Validarea performanţelor electromagnetice ale etichetelor DAC 100 s-a efectuat în Laboratorul Voyantic. Au fost evaluate performanţele unor diferite variante dimensionale ale etichetelor DAC, iar performanţele etichetei DAC 100 au fost evaluate comparativ cu cele ale unor etichete reprezentative de pe piaţă.

Performanţele diferitelor variante dimensionale ale etichetelor DAC a permis diferenţierea lor pe tipuri de aplicaţii UHF RFID. Etichetele cu dimensiuni mari sunt destinate identificării articolelor textile profesionale de uz general, iar cele de dimensiuni mici sunt destinate articolelor textile profesionale pentru utilizare individuală. Eticheta capsulată cu geometrie rectangulară este destinată identificării copacilor şi trasabilităţii pe fluxul de exploatare a masei lemnoase.

DAC 100, eticheta proiectată şi realizată de autor, are un nivel de performanţă comparabil cu cel al celor mai bune etichete pasive UHF RFID de pe piaţă. Eticheta DAC 100 având dimensiunea de 57 × 13 mm, a răspuns cerinţei de a avea o lungime redusă, cu o scădere acceptabilă a performanţei electromagnetice. Rezultatele experimentale au arătat că eticheta DAC 100 funcţionează bine la puteri mari de transmisie ale cititorului şi mai eficient la puteri mici de transmisie decât etichetele cu care a fost comparată.

4. Validarea anduranţei în exploatare a etichetei DAC 100 s-a realizat prin introducerea mai multor loturi de etichete provenind de la diverşi producători, în fluxul de igienizare a textilelor dintr-o spălătorie externă cu experienţă în domeniu, etichetele fiind supuse la cicluri multiple de spălare şi finisare. Eticheta DAC 100 a prezentat un număr mic de defecte în exploatare. Numărul mic constatat de etichete defecte se datorează transferului eficient de energie dintre antena UHF cu buclă dublă şi transponderul RFID. Se demonstrează astfel, eficienţa buclei duble faţă de bucla simplă, la puteri mici ale interogatorului. Se remarcă performanţa etichetei DAC 100 în ceea ce priveşte minimizarea dimensională în comparaţie cu celelalte etichete testate.

6. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI DIRECȚII NOI DE CERCETARE

6.1. Concluzii finale

Cercetarea efectuată a avut în vedere implementarea tehnologiei RFID în domeniul serviciilor de igienizare a textilelor profesionale prin dezvoltarea de etichete UHF RFID pasive care, atașate articolelor textile, să fie capabile să funcționeze cu fiabilitate crescută în mediul ostil al spălătorii industriale.

Capitolul 2:

Investigațiile realizate pentru cunoașterea și analiza procesului de igienizare a textilelor au permis identificarea condițiilor de tranziție către spălătoria inteligentă utilizând tehnologia RFID. Analiza efectuată asupra procesului de igienizare a arătat următoarele:

- În procesul de igienizare a textilelor, etapa de bază este cea de spălare. Evoluția tehnologiilor de spălare și a organizării activității a dus la apariția centrelor de spălare de tip comercial, instituțional și industrial.
- Factorii de bază care influențează calitatea procesului de spălare sunt: temperatura apei, durata spălării, acțiunea mecanică asupra textilelor precum și cantitatea de detergent utilizată. Optimizarea spălării ține seama de interdependența acestor factori.
- Tehnologiile de spălare au evoluat continuu, de la simpla mașină de spălat rotativă, la linii de spălare profesionale a căror consumuri specifice de apă, detergenți și de energie în toate formele ei au fost reduse considerabil. Valorile consumurilor specifice pe care trebuie să le obțină spălătoriile industriale, recomandate prin ghiduri de bune practici elaborate de Comisia Europeană și de autoritățile naționale, fac parte din politica de protecție a mediului și de creștere a eficienței energetice.

Analiza efectuată la articolele textile supuse procesului de igienizare a arătat următoarele:

- Există o diversitate mare de articole textile ca formă, culori, natura materialelor de bază, tip țesătură. Gruparea textilelor în textile comerciale și textile profesionale este utilă pentru optimizarea activităților în centrele de spălare.
- Este necesară identificarea și trasabilitatea articolelor textile atât în procesul de igienizare, cât și în circuitul extern dintre spălătorie și utilizatorul final, pentru

creşterea gradului de încărcare a maşinilor de spălat precum şi pentru asigurarea corectitudinii livrărilor la beneficiarii finali.

Autorul efectuează un studiu de caz pentru stabilirea gradului de încărcare a capacităţilor de spălare dintr-o spălătorie industrială dotată cu maşini de spălat rotative cu capacitate totală de spălare de 660 kg/h, cu 3 categorii de articole textile care nu au identitate. În urma metodologiei propuse de autor, s-a dedus un grad de încărcare de 50,6 %, atestând că lipsa identităţii articolelor textile are un impact negativ asupra eficienţei procesului de igienizare.

Pentru creşterea gradului de ocupare şi a eficienţei activităţii în spălătorie, autorul realizează o analiză multicriterială prin metoda „brain storming” pentru găsirea celei mai potrivite metode de identificare şi de asigurare a trasabilităţii textilelor. Acest studiu a arătat că identificarea unică cu etichete pasive RFID este cea mai adecvată din raţiuni economice şi de protecţie a mediului înconjurător.

Introducerea tehnologiei RFID în procesul de igienizare a textilelor creează condiţiile de tranziţie a spălătoriei clasice către spălătoria inteligentă.

Identificarea articolelor textile prin implementarea tehnologiei RFID permite aplicarea unui management eficient realizat prin urmărirea unor indicatori specifici de performanţă: durata de utilizare a textilelor, gradul de uzură, valoarea rămasă de amortizat şi oportunitatea de cost în investiţii pentru textile profesionale.

Capitolul 3:

Documentarea şi analiza realizărilor actuale în domeniul tehnologiei RFID a permis înţelegerea şi descrierea bazei teoretice a transferului de energie şi informaţie în sistemul RFID. Tehnologiile de identificare au evoluat de la cele cu cod de bare, recunoaşterea caracterelor optice, recunoaştere vocală, recunoaştere biometrică, cartele inteligente la tehnologia RFID.

Evaluarea comparativă făcută de autor arată că dintre toate sistemele de identificare, sistemul bazat pe tehnologie RFID asigură condiţiile de aplicabilitate în identificarea textilelor prin caracteristicile şi performanţele avute: densitate mare de date, securizarea transmisiei transferului de informaţii, viteză de citire ridicată şi identificare simultană multiplă.

Transferul de energie şi informaţie în sistemul RFID este asigurat prin comunicarea dintre eticheta RFID şi interogator, caracterizată de frecvenţa de funcţionare şi distanţa de citire şi influenţată de sensibilitatea interogatorului şi a etichetei. Calitatea comunicării este

condiționată de obținerea transferului maxim de energie de la interogator către antenă și de respectarea integrității semnalului RFID.

Etichetele RFID utilizate în prezent pentru identificarea articolelor textile sunt etichete RFID pasive care funcționează în domeniul UHF (860 - 960) MHz reglementat, realizate în două arhitecturi specifice: cu structura de adaptare în impedanță și cu cuplaj inductiv.

Analiza modelului arhitectural al etichetei cu structură de adaptare în impedanță a evidențiat necesitatea introducerii în circuitul echivalent a unei impedanțe suplimentare care să permită realizarea condiției de rezonanță.

Eticheta RFID pasivă cu cuplaj inductiv este compusă din antena UHF și transponderul RFID care include circuitul integrat și bucla de cuplaj inductiv.

Modelarea arhitecturii etichetei UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv, în teoria circuitelor electrice cu parametri concentrați, a pus în evidență inductanța mutuală dintre antena UHF și transponderul RFID. S-a dedus expresia impedanței echivalente a transponderului raportată la circuitul antenei, element util în dimensionarea antenei UHF și a transponderului RFID. Modelul etichetei pasive cu transponder în cuplaj inductiv s-a impus ca soluție viabilă pentru identificarea textilelor profesionale care necesită igienizarea în spălătoriile industriale.

Analiza efectuată de autor la soluțiile de etichete pasive cu transponder în cuplaj inductiv existente a scos în evidență inadecvarea utilizării acestora în mediul sever din spălătoriile industriale, fiind necesar dezvoltarea de etichete RFID pasive adaptate acestui mediu.

Capitolul 4:

Pe baza documentației și a studiilor întreprinse, autorul a stabilit etapele de proiectare și realizarea de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv pentru identificarea textilelor profesionale care se igienizează în spălătoriile industriale.

Pentru o proiectare adecvată au fost stabilite cerințele specifice mediului agresiv din spălătoriile industriale: temperaturi de spălare de până la 90°C, cu durate de peste 20 minute, cicluri multiple de spălare cu variații de temperatură - rece-cald (15-90)°C, presiuni de până la 40 bari, temperaturi de finisare/călcare (trecere printre calandrii) de 230°C, cu durate de zeci de secunde. De asemenea, au fost identificate aspectele critice asupra cărora trebuie intervenit pentru adaptarea etichetei la solicitările la care sunt supuse articole textile, la nivelul transponderului, la nivelul antenei UHF și la nivelul etichetei UHF RFID. Pe baza

acestor considerente au fost identificate cerințele legate de parametrii circuitului integrat, parametrii antenei UHF și cerințele de performanță a comunicării.

Alegerea circuitului integrat RFID, care este elementul principal al transponderului, s-a realizat în funcție de sensibilitatea și impedanța echivalentă a circuitului integrat precum și de temperatura maximă de lucru.

Dimensionarea buclei de cuplaj inductiv s-a realizat cu respectarea condiției de rezonanță în circuitul electric al transponderului și comunicarea cu antena UHF, cu o geometrie spirală plană, formată din două înfășurări concentrice care înconjoară circuitul integrat și care face obiectul unui brevet propus de autor.

Proiectarea antenei UHF s-a realizat ținând seama de puterea de transmisie minimă a cititorului necesară activării circuitului integrat și distanța maximă de citire. Autorul propune o antenă dipol compusă dintr-o buclă dublă în zona centrală și două bucle simple la capete, care este obiectul unui al doilea brevet. Valoarea inductației antenei dipol s-a evaluat cu metoda superpoziției.

Având în vedere soluțiile constructive existente, autorul propune o structură de etichetă UHF RFID cu cuplaj inductiv în care transponderul RFID are circuitul integrat, conectat direct la bucla de cuplaj inductiv a acestuia și antena UHF are în partea centrală o buclă dublă de cuplaj inductiv cu transponderul. Introducerea buclei duble la antena UHF reduce semnificativ lungimea etichetei, cerință importantă în aplicațiile de identificare și urmărire a articolelor textile.

Au fost realizate patru modele constructive de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv destinate identificării articolelor textile la care antena UHF este confecționată din: vopsea electroconductivă, fir metalic din cupru argintat izolat cu teflon, fir textil acoperit cu un strat de argint, conductor metalic multifilament din oțel inox.

Pentru alegerea variantei optime s-au efectuat teste preliminare de încercări la cicluri de spălare. Examinarea vizuală și măsurătorile privind performanțele de citire au indicat ca variantă potrivită de etichetă modelul cu antena realizată din fir multifilament de oțel inox, fixată prin brodare pe suportul textil. Această variantă constructivă a fost aleasă ca prototip sub denumirea de DAC 100.

Capitolul 5:

Activitatea de cercetare și dezvoltare realizată de autor include și dezvoltarea de metode de măsurare.

S-au aplicat două metode de măsurare: metoda osciloscopului și metoda analizorului de spectru. Metoda de măsurare cu osciloscopul a permis vizualizarea formei și amplitudinii semnalului RFID modulată și codificată, emis de interogator și recepționat de antena UHF a etichetei. Această metodă este utilă pentru stabilirea parametrilor funcționali ai sistemului RFID. Metoda de măsurare a semnalului RFID cu osciloscopul prezentată este o măsurare specifică de câmp îndepărat. Metoda de măsurare cu analizorul de spectru permite măsurări la puteri mult mai mici ale semnalului de comunicație și determinarea frecvenței de rezonanță a antenei UHF.

Pentru verificarea încadrării frecvențelor de rezonanță ale etichetelor DAC 100 în banda de frecvențe RFID reglementată s-a realizat un stand de măsurare RFID.

De asemenea, a fost dezvoltată o metodologie de echivalare a rezultatelor măsurărilor din câmp îndepărtat cu cele din câmp apropiat. S-a stabilit astfel că o citire în câmp îndepărtat cu parametrii distanță de citire-putere de 2m-500 mW este echivalentă cu o citire în câmp apropiat cu parametrii distanță de citire-putere de 7 mm-8 mW, criteriul de echivalare fiind viteza de citire: 40 de citiri reușite pe secundă. Această metodologie de echivalare permite evaluarea performanțelor comunicării în sistemele RFID în spații restrânse, în care influența perturbațiilor electromagnetice este redusă. Testarea este simplă, suficient de precisă și nu necesită echipamente și instalații costisitoare.

Dezvoltarea noilor etichete de tip DAC 100 a necesitat validarea performanțelor în laborator și în mediul industrial.

Validarea în laborator a performanțelor electromagnetice ale etichetelor DAC 100 s-a efectuat în Laboratorul Voyantic din Finlanda, pentru diferite variante dimensionale ale etichetelor DAC și în comparație cu alte etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv reprezentative de pe piață. Parametrii de performanță evaluați au fost: pragul minim de putere la care eticheta este activată și distanța de citire.

Rezultatele evaluării au pus în evidență performanța privind acuratețea de citire bună la o distanță specificată pentru eticheta DAC 100, comparabilă cu a etichetelor cu antenă UHF cu buclă simplă. Prin realizarea buclei duble de cuplaj inductiv, eticheta DAC 100, având

dimensiunea de 57 × 13 mm, răspunde cerinței de a avea o lungime redusă și satisface necesitatea comunicării la puteri mici ale interogatorului.

Validarea performanțelor în mediul industrial pentru eticheta DAC 100 s-a realizat prin testarea unui lot de etichete supuse la cicluri multiple de spălare și finisare într-o spălătorie industrială. S-au efectuat citiri în stare uscată și în stare umedă a etichetelor pentru fiecare ciclu de spălare. Rezultatele obținute după un număr de 38 cicluri de solicitare au atestat că lotul de etichete DAC 100 a prezentat un număr mic de citiri eronate. Numărul redus de citiri eronate se datorează structurii avantajoase a antenei UHF cu buclă dublă.

6.2 Contribuții originale

Se consideră contribuții originale ale tezei de doctorat următoarele elemente:

1. Sintetizarea cunoștințelor legate de procesul de igienizare a articolelor textile ca bază de introducere a tehnologiilor RFID pentru creșterea eficienței și calității serviciului oferit de spălătoriile industriale.
2. Punerea în evidență a interdependenței între factorii determinanți ai calității procesului de spălare – temperatura, cantitatea de detergenți, acțiunea mecanică, durata procesului – în corelare cu costul resurselor materiale și umane utilizate.
3. Clasificarea articolelor textile în textile comerciale și profesionale care stă la baza proiectării spălătoriilor comerciale și respectiv profesionale, cu fluxuri tehnologice diferite și management specific.
4. Dezvoltarea unei metodologii de determinare a gradului de ocupare a capacităților de spălare dintr-o spălătorie industrială clasică, cu analiza eficienței procesului de spălare. În studiul de caz bazat pe această metodologie s-a obținut un grad de încărcare de 50,6%.
5. Utilizarea metodei brainstorming în analiza multicriterială de stabilire a tehnologiei adecvate de identificare a articolelor textile pe fluxul procesului de igienizare. Acest studiu a arătat că metoda de identificare în mod unic a textilelor cu etichete pasive RFID este cea mai adecvată.
6. Sistematizarea cunoștințelor legate de avantajele introducerii tehnologiei RFID pe fluxul intern -colectare, recepție, igienizare, livrare – și circuitul extern al textilelor, care, realizat între spălătorii și clienții acestora, pune în evidență beneficiile implementării tehnologiei RFID prin: optimizarea traseelor logistice, eliminarea erorilor umane, reducerea timpului de lucru și a costurilor legate de resursa umană.

7. Sistematizarea datelor obținute de autor în cercetările teoretice și experimentale realizate, legate de performanțele modelelor de etichete UHF RFID pasive cu structură de adaptare în impedanță și cele cu cuplaj inductiv și stabilirea cerințelor specifice funcționării în mediul ostil din spălătoriile industriale.
8. Aplicarea teoriei circuitelor electrice cu parametri concentrați pentru modelarea etichetei UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv, cu punerea în evidență a inductanței mutuale dintre antenă și transponder și deducerea expresiei impedanței echivalente a transponderului raportată la circuitul antenei, pe baza cărora au fost dimensionate antena UHF și transponderul RFID.
9. Elaborarea de metodologii de proiectare pentru elementele componente ale etichetei UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv, pentru dimensionarea buclei de cuplaj inductiv a transponderului care realizează și acordarea în impedanță a circuitului integrat RFID și antenei dipol compusă dintr-o buclă dublă în zona centrală și două bucle simple la capete.
10. Conceperea unei soluții brevetate de autor de transponder RFID cu un număr redus la două contacte între pinii circuitului integrat și bucla de cuplaj inductiv a transponderului, ceea ce determină creșterea fiabilității și anduranței în funcționare.
11. Conceperea unei soluții, brevetate de autor, pentru antena dipol UHF a etichetei, compusă dintr-o buclă dublă în zona centrală și două bucle simple la capete, care a permis reducerea substanțială a dimensiunilor etichetei UHF RFID, fără să afecteze calitatea comunicării cu interogatorul RFID.
12. Stabilirea și aplicarea de metodologii de testare la cicluri de spălare precum și la solicitări multiple de îndoire a modelelor de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv realizate, care a permis stabilirea variantei constructive optime cu antena realizată din fir multifilament de oțel inox, fixată prin brodare pe suportul textil.
13. Adaptarea metodei osciloscopului și a analizorului de spectru pentru măsurarea performanțelor electromagnetice ale etichetei UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv realizate.
14. Cu criteriul de echivalență - număr citiri reușite pe secundă, s-a stabilit o relație de echivalență între distanța de citire și puterea de transmisie a interogatorului, corespunzătoare măsurătorilor în câmp îndepărtat și măsurătorilor în câmp apropiat.

Această metodă de echivalare permite măsurarea în câmp apropiat pe linia de fabricație a etichetelor, reducând substanțial costurile de verificare finală în câmp îndepărtat în camera anecoică.

6.3 Valorificarea rezultatelor cercetării

Rezultatele cercetării au fost valorificate prin publicarea de articole în reviste și în volumul unor conferințe naționale și internaționale, în comunicări susținute în cadrul școlii doctorale, simpozioane și mese rotunde.

Soluțiile inovative dezvoltate de autor au fost confirmate prin publicarea a două brevete de invenție.

Valorificarea rezultatelor cercetării s-a concretizat în realizarea primei linii de fabricație în România de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv destinate identificării textilelor cu igienizare în spalătorii industriale.

A. Articole publicate în reviste ISI și BDI

1. Moraru, A., Ursachi, C., Helerea, E., *A New Washable UHF RFID Tag: Design, Fabrication and Assessment*. Sensors, 2020, 20, 3451.
2. Moraru, A., Helerea, E., Ursachi, C., *RFID Passive Tags for Harsh Industrial Environments*. Bull. Transilv. Univ. Braşov Ser. I: Eng. Sci. 2018, 11, 39–46.

B. Articole publicate in volumele conferințelor internaționale

3. Moraru, A., Ursachi, C., Helerea, E., *Near and far field measurements in industrial environment of passive UHF RFID tags*. In Proceedings of the ATEE, Bucharest, Romania, 28–30 March 2019; pp. 1–4.
4. Moraru, A., Helerea, E., Ursachi, C., *Passive RFID tags for textile items-Requirements and solutions*. In Proceedings of the ISFEE, Bucharest, Romania, 1–3 November 2018; pp. 1–6.
5. Moraru, A., Helerea, E., Ursachi, C., Călin, M.D., *RFID system with passive RFID tags for textiles*. In Proceedings of the ATEE, Bucharest, Romania, 23–25 March 2017; pp. 410–415.

C. Brevete de invenții

1. Moraru, A., Ursachi, C. *Radio-Frequency Identification Transponder for Aggressive Environments*. Patent WO2018124906A1, 5 July 2018.
2. Moraru, A., Ursachi, C. *RFID Tag for Harsh Environment Inductively Coupled in Double Loop*. U.S. Patent 2020076048A1, 5 March 2020.

6.4 Direcții noi de cercetare

Rezultatele obținute în prezenta teză de doctorat constituie o sursă importantă de cunoaștere pentru viitoare cercetări, privind introducerea și implementarea conceptului IoT.

Se au în vedere următoarele direcții de cercetare:

- Cercetări privind comunicarea RFID în diferite medii: subacvatic, abiotice, etc.
- Extinderea cercetărilor privind influența mediului de propagare a semnalului RFID asupra performanțelor etichetei.
- Dezvoltarea de etichete RFID cu citire în mediu subacvatic;
- Dezvoltarea de etichete RFID cu atașare de senzori pentru controlul proceselor industriale, monitorizarea indicatorilor de sănătate, monitorizarea agenților poluanți din aer și apă.
- Extinderea cercetării privind tehnologia RFID la domeniul eficientizării și controlului echipamentelor și instalațiilor din sistemul energetic.

BIBLIOGRAFIE

I. Articole și monografii științifice

- [Arora, 2007] Arora, K.; Mallinson, H.; Kulkarni, A.; Brusey, J.; McFarlane, D. *The practical feasibility of using RFID in a metal environment*, in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2007, pp. 1679–1683, 2007.
- [Ashwini, 2017] Ashwini, K., Vishwanath, C.R., *RFID-based Laundry Management System*, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, vol. 2, no. 2, 2017, pp. 1093-1095, ISSN: 2456-3307.
- [Bansal, 2006] Bansal, A.; Sharma, S.; Khanna, R. A, *Spiral shaped loop fed high read range compact tag antenna for UHF RFID applications*, in Proc. RFID-TA, 2019, pp. 212-215.
- [Barburski, 2010] Barburski, M., Czekalski, B., Snycerski, M., *RFID technology in the textile industry*, Technical University of Lodz, Institute of Architecture of Textile, Poland, 2010.
- [Bianchi, 2003] Bianchi A., Buti L., *Three-phase A.C. motor drive and controller for clothes washer*, Appliance Magazine, June 2003.
- [Bobak, 2012] Bobák, P., Pavlas, M., Vítězslav, M., Zdeněk, J., Kšenzuliaka, V., *Heat Recovery in Professional Laundry Care Process*, Chemical Engineering Transactions Vol. 29, pp. 391-396.
- [Bobancu, 1997] Bobancu, S., Cosma, R., *Tehnici de inovare: inventica pentru utilizări practice*, Universitatea Transilvania din Braşov, 1997.
- [Bomson, 2007] Bomson, L., *Development of long-range UHF-band RFID tag chip using Schottky diodes in standard CMOS technology*, Conference: Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium IEEE, 2007.
- [Braga, 2014] Braga J.K., Varesch B.A., *Commercial Laundry Water Characterization*, American Journal of Analytical Chemistry, 2014, 5, 8-16, Published Online January 2014 (<http://www.scirp.org/journal/ajac>), <http://dx.doi.org/10.4236/ajac.2014.51002>.

- [Chen, 2016] Chen, M., *RFID Technologies for Internet of Things*, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2016.
- [Curty, 2007] Curty, J.P., Declerecq, M., Dehollain, C., Joehl, N., *Design and Optimization of Passive UHF RFID Systems*, New York: Springer, 2007.
- [D'entremont, 1970] D'entremont, J. R., . Raymond, G. H, *Thermal Protection of Laundry-Appliance Motors*, IEEE Transactions on Industry and General Applications, 1970.
- [Dobkin, 2008] Dobkin, D. *The RF in RFID passive UHF RFID in practice*, Elsevier, Oxford, pp. 256-258, 301-325, 2008.
- [Finkenzeller, 2010] Finkenzeller, K., *RFID handbook-Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd ed.; Wiley: Chichester, UK, 2010; pp. 200–252.
- [Ghazali, 2008] Ghazali, Z.B., *Laundry Management System*, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, 2008.
- [Goncalves, 2014] Goncalves, R., Duarte, A., Maguetab, R., Carvalho, N. B., Pinho, P., *RFID tags on paper substrate for bottle labeling*, Procedia Technology, vol. 17, pp. 65–72, 2014.
- [Griffin, 2006] Griffin, J.D.; Durgin, G.D.; Haldi, A.; Kippelen, B., *RF tag antenna performance on various materials using radio link budgets*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 5, pp. 247-250, 2006.
- [Guibert, 2017] Guibert, M.; Massicart, A.; Chen, X.; He, H.; Torres, J.; Ukkonen, L.; Virkki, J., *Washing reliability of painted, embroidered, and electro-textile wearable RFID tags*, Proc. PIERS, Singapore, 19-22, pp. 828-831, 2017.
- [Harmer, 1994] Harmer K., Mellor P.H., Howe D., *An energy efficient brushless drive system for a domestic washing machine*, Power Electronics & Variable-Speed Drives, Fifth International Conference, pp. 514 – 519, Oct 1994.
- [Hertz, 1893] Hertz, H., *Electric Waves*, MacMillan, London, 1893.
- [Jaapar, 2015] Jaapar, A., Dahlan, R., Bari, N.A.A., *Healthcare Facilities Management: A Case Study on Privatization of Linen and Laundry Management*

Services in Malaysian Public Healthcare System, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 8, no. 7, 2015, pp. 129-132.

- [Janaczek, 2010] Janaczek, K.; Kozioł, G.; Serzysko, T.; Jakubowska, M. *Investigation of RFID tag antennas printed on flexible substrates using two types of conductive pastes*, in Proc. ESTC, pp. 1-5, , 2010.
- [Janaczek, 2017] Janaczek, K., *Reliability analysis of UHF RFID tag under long term mechanical cycles*, Microelectronics Reliability, vol. 75, pp. 96-101, Aug. 2017.
- [Jenkins, 2013] Jenkins, D., *The Cambridge History of Western Textiles*, Cambridge University Press, 2013, pp. 39-47.
- [Karalis, 2008] Karalis A., Joannopoulos J.D., Soljacic M., *Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer*, Annals of Physics, 2008, pp. 34-48.
- [Klaassen, 2013] Klaassen, E.; Kobus, C.;Martijn van Huijkelom, Jasper Frunt Han Slootweg, *Evaluation of washing machine load potential for smart grid integration*, The 48th Int. Power Engineering Conference (UPEC), 2013.
- [Kurs, 2007] Kurs, A., *Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances*, Science, Volume 317, 6 July 2007.
- [Kwon, 2018] Kwon J.W., Kwon B., *High-Efficiency Dual Output Stator-PM Machine for the Two-Mode Operation of Washing Machines*, IEEE Transactions on Energy Conversion, 2018.
- [Lahokallio, 2015] Lahokallio, S., Saarinen-Pulli, K., Frisk, L., *Effect of different test profiles of temperatures cycling tests on the reliability of RFID tags*, Microelectronics Reliability, vol. 55, no. 1, pp. 93-100, Jan. 2015.
- [Lee, 2008] Jung, H., Chun-Hwan Hwang, L.; *Optimal washing time control algorithm for the drum washing machine using an inertia estimator*, IEEE 2-nd International Power and Energy Conference, 2008.
- [Marrocco, 2008] Marrocco, G., *Advanced UHF RFID tag antenna design*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 50, no. 1, pp. 66-79. 2008.
- [Martin, 2009] Martin, L., Staiculescu, D., Li, H., Ooi S.L., Wong C.P., Tentzeris, M.M., *Investigation of the impact of magnetic permeability and loss of magnetic composite materials on RFID and RF passives miniaturization*,

The International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields, vol. 22, no. 2, pp. 175-186, 2009.

- [Masa-2013] Masa V, Bobak P, Kuba P, Stehlik P *Analysis of energy efficient and environmentally friendly technologies in professional laundry service*, Clean Technol Environ Policy, 2013.
- [Masa, 2013a] Máša, V., Bobák, P., Stehlík, P., Kuba, P., *Energy Intensive Process in Professional Laundry Service: Up-to-date Approach*, Chemical Engineering Transactions, vol. 35, pp. 259-264, 2013.
- [Maxwell, 1873] Maxwell J.C., *Electricity and magnetism*. Vol II, 1873.
- [Midžić, 2016] Midžić Kurtagić, S., Silajdžić, I., *Selection and implementation of pollution prevention techniques in small and medium enterprises in countries in transition*, Clean Technologies&Environmental Policy, 2016.
- [Mitchell, 2013] Mitchell, N., *The Art and Science of UHF Passive Tag Design*, Alien Corporation, www.alientechnology.com, 2013.
- [Mohan, 1999] Mohan S.S., Hershenson M.M., Boyd S.P., Lee T.H., *Simple, accurate expresion for planar spiral inductances*, 1999.
- [Moraru, 2015] **Moraru A.**, Helerea E., *Integrating RFID into the laundry management*, Abstract book of the 11th Miklóslványi International PhD & DLA Szimpozium, 20 October 2015, Pecs, Ungaria.
- [Moraru, 2017] **Moraru, A.**, Helerea, E., Ursachi, C., Călin, M.D., *RFID system with passive RFID tags for textiles*, ATEE Bucureşti, 23-25 March, 2017.
- [Moraru, 2018c] **Moraru, A.**, Helerea, E., Ursachi, C., *Passive RFID Tags for Textile Items – Requirements and Solutions*, ISFEE Bucureşti, 2018.
- [Moraru, 2018d] **Moraru, A.**, Helerea, E., Ursachi, C., *RFID passive tags for harsh industrial environments*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, vol. 11 (60) No. 1, pp. 39-46, 2018.
- [Moraru, 2019] **Moraru, A.**, Helerea, E., Ursachi, C., *Near field and far field measurement of passive UHF RFID tags in industrial environments*, ATEE Bucureşti, 28-30 March, 2019.

- [Moraru, 2020] **Moraru, A.**, Ursachi, C., Helerea, E., *A New Washable UHF RFID Tag: Design, Fabrication and Assessment*. *Sensors*, 20, 3451, pp. 1-17, 2020.
- [Procter, 2013] Procter & Gamble, *History of laundry* [www.scienceinthebox.com/history-of-laundry-detergent-and washing machines](http://www.scienceinthebox.com/history-of-laundry-detergent-and-washing-machines), 2013.
- [Rokunuzzaman, 2016] Rokunuzzaman, M., Islam, M.T., Rowe, W.S.T., Kibria, S., Jit Singh, M., Misran, N., *Design of a Miniaturized Meandered Line Antenna for UHF RFID Tags*, *PLOS ONE*, vol. 11, no. 8, pp. 1-14, 2016.
- [Rosa, 1916] Rosa, E.B., Grover F.W., *Formula and Tables for self and mutual inductance calculation*, 1916.
- [Salman, 2017] Salman, K.N., Ismail, A., Abdullah, R., Saeedi, T., *Coplanar UHF RFID tag antenna with U-shaped inductively coupled feed for metallic applications*, *PLoS ONE*, vol. 12, no. 6, 2017.
- [Shamir, 2019] Shamir, O., *Cotton textiles from the Byzantine period to the Medieval period in ancient Palestine*, *Revue ethnoecology*, vol.15, 2019, pp. 1-38.
- [Shoewu, 2018] Shoewu, O., Makanjuola, N.T, Phillips, D.A., Emmanuel, A, *Design and Implementation of a Laundry Management System*, *The Pacific Journal of Science and Technology*, vol. 17, no. 2, 2018, pp. 197-204.
- [Skews, 2015] Skews, M., *Adding further efficiencies to the laundry and hospitality industries*, Thesis, Turku University of Applied Sciences, 2015.
- [Son, 2005] H. W. Son, C. S. Pyo, *Design of RFID tag antennas using an inductively coupled feed*, *Electronics Letters*, vol. 41, no. 18, 2005, pp. 994-996.
- [Stankovski, 2009] Stankovski, S, Ostojić, G., Lazarević, M., *RFID technology in product lifecycle Management*, 2009.
- [Stockman, 1948] Stockman, H., *Communication by means of reflected power*, *Proceedings of the I.R.E*, 1948, Vol. 36, pp. 1196-1204.
- [Stutzman, 2013] Stutzman, W. L., Thiele, G.A., *Antenna theory and design*, Ed. 3, John Willey & Sons, Danvers, p.42, 2013.

- [Styles, 2013] Styles, S., Schönberger, H., Galvez Martos, J.L., *Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector*, European Commission - JRC Scientific and Policy Reports, 2013.
- [Tesla, 1905] Tesla, N., *The transmission of electrical energy without wires as a means for furthering peace*, *Elect. World Eng.*, Ian. 1905, pp. 21–24.
- [Toivonen, 2013] Toivonen, M., Björninen, T., Sydänheimo, L., *Impact of moisture and washing on the performance of embroidered UHF RFID tags*, *IEEE Antennas&Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 1590–1593, 2013.
- [Umanei, 2011] Umanei, A.E., *Understanding low frequency non-radiative power transfer*, Fulton Innovation, LLC, 2011.
- [Virkki, 2015] Virkki, J., Bjorninen, T., Merilampi, S., Sydanheimo, L., Ukkonen, L., *The effects of recurrent stretching on the performance of electro-textile and screen-printed ultra-high-frequency radio-frequency identification tags*, *Textile Research Journal*, vol. 85, no. 3, pp. 294–301, 2015.
- [Wang, 2001] Wang C., He Z., *The application of a novel motor in washing machines*, *Electrical Machines and Systems, ICEMS.*, vol 2, pp. 1030-1033, 2001.
- [Zambonin, 2018] Zambonin, G., Altinier, F., Corso, L., Sessolo, M., Beghi, A., Susto, G.A., *Soft Sensors for Estimating Laundry Weight in Household Heat Pump Tumble Dryers*, 2018.

II. Brevete de invenții

- [Bielomatik, 2010] Bielomatik, *Chip module for a RFID system*, Patent US 20100032487 A1/1, Feb, 2010.
- [Blauert,1996] Blauert, P., Boldt, F., Wobkemeier, M., Pilgram, P.T., Rehfuess, U. *Method for determining the mass of wet laundry in a laundry drum*, US Patent 5,507,054, 1996.
- [Datamars, 2012] Datamars SA, *Textile Item identification tag*, Patent EP 2405054 A1, Feb 2012.
- [Didier, 1988] Didier, L., Geay. J.C., *Washing and/or drying machine having means for determining a load of clothes in a rotary drum*, US Patent 4741182,1988.

- [Kutluhan, 2013] Usta, K., *The enhanced antenna structure for RFID tags*, Patent WO 2013, 128299 A1, Sep 2013.
- [Moraru, 2018a] **Moraru, A.**, Ursachi, C., *Radio-frequency identification transponder for aggressive environments*, Patent, WO2018124906A1, July 5, 2018.
- [Moraru, 2020] **Moraru, A.**, Ursachi, C., *RFID tag for harsh environment inductively coupled in double loop*, Patent, US 2020076048A1, March 5, 2020.
- [Noriyuki, 2009] Noriyuki, O., *FID tag*, Patent US 20090079574 A1, Mar 2009.
- [Pachoud, 2012] Pachoud, D., Stegmaier, P., Datamars, *Textile Item identification tag*, Patent, EP 2405054 A1, 2012.
- [Pelczer, 2012] Pelczer, A., *Method for determining the load in a washing machine*, US Patent 8,312,581, 2012.
- [Walton, 1983] Walton, C. A., *Portable Radio Frequency Emitting Identifier*, US Patent 4.384.288, 1983.

III. Reglementări

- [Alien, 2020] *Alien Higgs4-SOT323 Datasheet*, Alien Technology, 845 Embedded Way San Jose, CA, 2020.
- [CarbonTrust, 2009] *Guide to the laundries sector*, Industrial Energy Efficiency Accelerator, 2009.
- [EPC_GS1, 2005] EPCglobal Incorporated, *EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID, Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz*, Version 1.0.9, 2005, pp. 1-94.
- [EU, 2015] Comisia Europeană pentru consumul de detergent în spălătoriile comerciale, 2015.
- [EU Journal, 2004] Official Journal of the European Union, 2004, Regulation (EC) no 852/2004 of the European parliament and of the council on the hygiene of foodstuffs.
- [EU Report, 2014] Preliminary report for the revision of ecological criteria for laundry detergents: domestic and industrial and institutional. revision of european ecolabel criteria for laundry detergents, DG JRC (IPTS), 2014,

<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/detergents/docs/LD%20Preliminary%20Report.pdf>.

- [Horizon, 2020] Comisia Europeană, *Programul – cadru pentru cercetare și inovare al Uniunii Europene – HORIZON 2020*, 2014.
- [IFC, 2007] *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Tourism and Hospitality Development*, International Finance Corporation Washington D.C. 2007, p. 30.
- [OMS, 2000] Ordinul Ministrului Sănătății, nr. 1.025/2000.
- [OMS, 2016] Ordinul Ministrului Sănătății, nr. 961/2016.
- [RFID Lab, 2014] RFID Lab, *ARC benchmarking equipment*, Auburn University, Auburn, 2014.

IV. Surse WEB

- [***1] <https://muzeul-satului.ro/planifica-vizita/ce-pot-vedea/expozitia-permanenta-arhitectura-vernaculara/instalatii/piua-de-haine-si-valtoare-borlova-judetul-caras-severin/>
- [***2] <https://www.wientjens.com/equipment/blueocean-filter/>
- [***3] <https://osha.europa.eu/ro>
- [***4] <http://www.inpm.ro/>
- [***5] <https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>
- [***6] <https://www.gs1.org/standards>
- [Circuitsdk, 2020] *VMware and integrated environments*, Circuits, at http://www.circuits.dk/calculator_planar_coil_inductor.htm.
- [Datamars, 2020] Textile ID Datamars, at <https://textile-id.com/products-to-identify-and-track-every-kind-of-textile/#1572541468213-7b13fc6c-2d51>.
- [eeweb, 2020] *Inductance calculator*, <https://www.eeweb.com/tools/coil-inductance>, 2020.
- [Fenotag, 2020] Fenotag, at <https://fenotag.com/products/>.

- [Invengo, 2020] Invengo Technologies SARL, at <https://www.invengo-textile.com/uhf-laundry-tags-and-hardware/>.
- [Schmitt, 2000] Schmitt, R., *Understanding electromagnetic fields and antenna radiation need no math*, www.ednmag.com, March 2000.
- [Ustek, 2020] Ustek RFID Solutions, at <https://ustek-rfid.com/products/uhf-rfid-tags/>.
- [Voyantic, 2020] *Tag performance pro*, Voyantic Ltd., Espoo, Finland, at http://voyantic.com/Tagformance_pro.

SCURT REZUMAT (ROMÂNĂ/ENGLEZĂ)

Dezvoltarea de etichete inteligente pentru spălătorii industriale

Rezumat

Cercetarea efectuată a avut în vedere implementarea tehnologiei RFID în domeniul serviciilor de igienizare a textilelor profesionale prin dezvoltarea de etichete UHF RFID pasive cu cuplaj inductiv care ataşate articolelor textile, să fie capabile să funcţioneze cu fiabilitate crescută în mediul ostil al spălătoriilor industriale. Analiza efectuată a scos în evidenţă inadecvarea utilizării etichetelor inteligente existente, fiind necesară dezvoltarea de etichete noi. S-a proiectat şi realizat un transponder RFID în care circuitul integrat este conectat direct la bucla de cuplaj inductiv fără conexiune de tip „bridge”. De asemenea s-a proiectat şi realizat o antenă UHF a cărei geometrie prezintă o buclă dublă de cuplaj inductiv în zona centrală. Acestea constituie subiectul a două brevete de invenţie. Eticheta realizată este validată prin testare într-un laborator extern iar în mediul industrial într-o spălătorie cu experienţă în domeniul igienizării industriale a textilelor profesionale. Rezultatul testelor arată că acest nou şi inovativ model de etichetă pasivă RFID cu cuplaj inductiv este o soluţie viabilă răspunzând scopurilor propuse ale tezei.

Developing smart labels for industrial laundries

Abstract

The research aimed at implementing the RFID technology in the field of professional textile sanitation services by developing passive RFID UHF tags with inductive coupling, which attached to textiles to be able to operate with increased reliability in the harsh environment of industrial laundries. The analysis highlighted the inadequacy of the use of existing smart tags, requiring the development of new tags. An RFID transponder has been designed and built in which the integrated circuit is connected directly to the inductive coupling loop without a "bridge" connection. A UHF antenna was also designed and made, the geometry of which has a double loop in the central area of the inductive coupling. These are the subject of two patents. The tag is validated by testing in an external laboratory and in the industrial environment in a laundry with experience in the field of industrial sanitation of professional textiles. The results of the tests show that this new and innovative model of passive RFID tag with inductive coupling is a viable solution meeting the proposed objectives of the thesis.