

Analysis of metallic environment solutions regarding HF RFID systems

Adrian-Ioan PETRARIU, Vasile-Gheorghii GĂITAN, Valentin POPA

Abstract—This paper presents an analysis of 13,56 MHz HF RFID systems working in the proximity of metallic environments. Are highlighted the effects of this environments and their action over the HF RFID system performances, bringing an analysis on the main parameters that suffers drastic changes (resonance frequency and reading distance). Thus, solutions regarding limiting these effects are discussed by analyzing different papers that are related on this aspect.

Index Terms—HF RFID system, metallic environments, resonance frequency, reading range

I. INTRODUCERE

TEHNOLOGIA identificării prin radio frecvență (RFID) a devenit una dintre cele mai răspândite tehnologii în momentul de față. Este folosită într-o varietate de domenii, două dintre cele mai importante fiind sistemele pentru anti-furt și logistică.

Aceste sisteme se bazează pe comunicația dintre un cititor sau interogator și o etichetă atașată pe obiectul ce trebuie identificat. Schimbul de informații între cititor și etichetă se realizează prin intermediul canalului radio din banda de frecvență alocată acestei tehnologii.

Eficiența acestor sisteme depinde de antena cititorului. Sistemele RFID ce funcționează în domeniul HF folosesc pentru schimbul de informații cuplajul magnetic între cititor și etichetă. Câmpul magnetic generat de antena cititorului alimentează cu energie eticheta pentru a putea realiza schimbul de informații.

Un aspect important ce trebuie avut în vedere când se folosesc sisteme RFID în gama de frecvență HF în medii metalice este legat de distanța de citire a etichetelor. Apariția unui mediu metalic în proximitatea sistemului RFID produce un dezechilibru în frecvența de rezonanță a acestuia, fapt ce duce la o degradare a distanței de citire a etichetelor RFID, o degradare care poate fi totală, dacă mediul metalic este la o distanță foarte mică (de ordinul mm) de antena cititorului.

Adrian-Ioan PETRARIU – Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, str. Universității, nr. 13, Suceava (e-mail: apetrariu@eed.usv.ro)

Vasile-Gheorghii GĂITAN – Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, str. Universității, nr. 13, Suceava (e-mail: gaitan@eed.usv.ro)

Valentin POPA – Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, str. Universității, nr. 13, Suceava (e-mail: valentin@eed.usv.ro)

II. INFLUENȚA MEDIILOR METALICE

Datorită cuplajului inductiv creat între antena cititorului și eticheta RFID, câmpul magnetic necesar pentru alimentarea etichetei cu energie în vederea realizării comunicației cu cititorul are un rol important.

Orice câmp magnetic ce pătrunde un corp metalic induce apariția curenților eddy în acel corp. Acești curenți generează un câmp magnetic propriu care, potrivit legii lui Lenz, are orientarea opusă câmpului magnetic care l-a generat [1]. Ambele câmpuri interferă rezultând o deviere a câmpului magnetic, făcând ca liniile de câmp magnetic ce se deplasează ortogonal pe suprafața metalului să fie deviate în linii de câmp ce se deplasează tangențial cu suprafața metalică. Regiunea unde se produce devierea maximă a liniilor de câmp se află în imediata apropiere a suprafeței metalice, la câțiva milimetri de această suprafață, lucru care se poate observa și din Fig. 1.

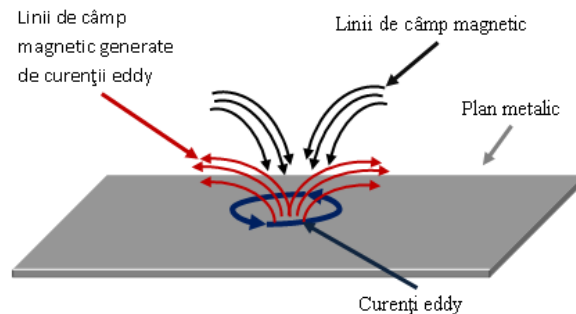


Fig. 1. Apariția curenților eddy într-un plan metalic.

O consecință a acestei devieri a câmpului magnetic poate fi observată în momentul în care o etichetă ce funcționează în domeniul de frecvență HF are bobina antenei orientată paralel cu suprafața metalică. Acesta nu va putea funcționa corespunzător datorită insuficienței energiei necesare pentru alimentare, energie provenită din cadrul câmpului magnetic generat de antena cititorului.

Atunci când o etichetă RFID este atașată de un obiect metalic, frecvența sa de rezonanță se schimbă, făcând imposibilitatea comunicării cu sistemul RFID.

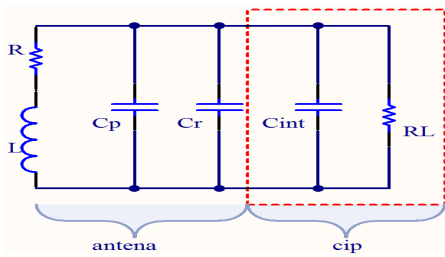


Fig. 2. Circuitul echivalent al unei etichete RFID [2].

Un circuit echivalent pentru o astfel de etichetă RFID poate fi observat în Fig. 2, unde \$L\$, \$R\$ și \$C_p\$ reprezintă inductanța, rezistența și capacitatea parazită a bobinei. \$C_r\$ reprezintă capacitatea de rezonanță care este aleasă pentru a îndeplini frecvența de rezonanță (relația 1) iar \$R_L\$ și \$C_{int}\$ reprezintă rezistența și capacitatea internă a cip-ului RFID [2].

Din circuitul echivalent prezentat putem spune că prezența metalului în apropierea etichetei face ca inductanța antenei acesteia \$L\$ să scadă, fapt ce duce la creșterea frecvenței de rezonanță \$f_{res}\$, frecvență exprimată prin relația:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_p + C_r + C_{int})}} \quad (1)$$

Această remarcă este întâlnită și în [3-6] unde se face o analiză a frecvenței de rezonanță pentru un sistem RFID atunci când antena cititorului sau eticheta folosită pentru realizarea schimbului de informații se află în prezența unui plan metallic.

Bovelli și ceilalți [4] folosesc un plan metallic din aluminiu având dimensiunile 30cm x 20cm și evidențiază acest efect pentru o etichetă RFID. La o distanță de 1cm între etichetă și planul metallic, această frecvență de rezonanță crește cu mai mult de 1MHz, lucru care face ca circuitul rezonant să nu mai fie destul de sensibil pentru a aproviziona cu energia necesară cip-ul prezent în eticheta RFID (Fig. 3).

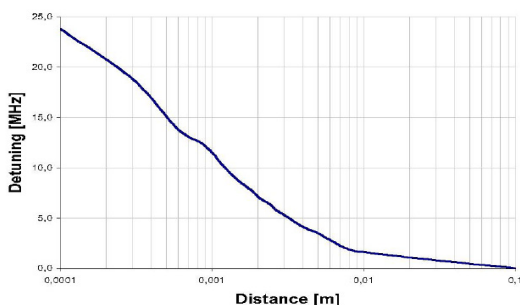


Fig. 3. Măsurarea variației frecvenței de rezonanță în raport cu un plan metallic [4].

III. SOLUȚII PENTRU DIMINUAREA EFECTELOR MEDIILOR METALICE ASUPRA SISTEMELOR RFID

În ceea ce privește aspectul soluțiilor asupra diminuării efectelor produse de mediile metalice asupra etichetelor

RFID, în 2006 apar primele lucrări ce prevăd acest aspect. Bovelli și ceilalți [7] încearcă să aducă o îmbunătățire asupra diminuării efectelor create de mediile metalice asupra etichetelor RFID. Rezolvarea frecvenței de rezonanță a etichetei a fost făcută prin simpla adăugare a unui condensator variabil în circuit și calibrarea acesteia pe frecvența de rezonanță a cititorului, lucru evidențiat în Fig. 4.

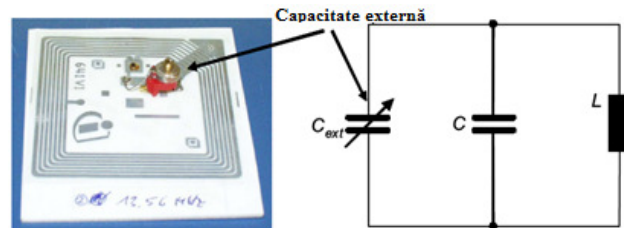


Fig. 4. Corectarea frecvenței de rezonanță a unei etichete RFID [7].

Cu toate că realizarea acordului între etichetă și cititor a fost rezolvat prin aducerea frecvenței de rezonanță a etichetei RFID pe frecvența de lucru a cititorului, distanța de citire a rămas destul de mică, fiind de 10 cm la o putere emisă de antena cititorului de 4W. Pentru a rezolva acest aspect legat de distanța de citire a etichetei, Bovelli și ceilalți au introdus între aceasta și planul metallic un mediu absorbant, constituit dintr-o folie de ferită. Acest material împiedică formarea curenților eddy și de asemenea ghidează câmpul magnetic spre eticheta RFID (Fig. 5).

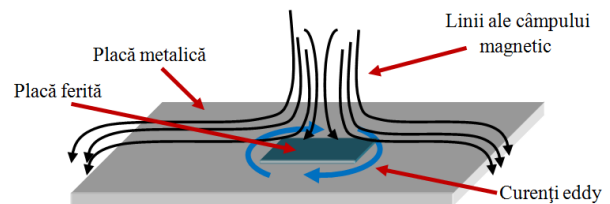


Fig. 5. Efectul foliei de ferită asupra câmpului magnetic.

În timp ce metalul scade inductivitatea bobinei, ferita realizează o creștere a inductivității acesteia datorită permeabilității magnetice \$\mu_r\$ [8]. Prin folosirea foliei de ferită, frecvența de rezonanță se schimbă din nou, fiind nevoie de o nouă ajustare a acesteia. Odată realizată frecvența de rezonanță a etichetei cu frecvența de lucru a cititorului RFID, factorul de calitate a circuitului rezonant exprimat prin relația 2 crește.

$$Q \cong \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2)$$

unde \$C\$, \$L\$ reprezintă capacitatea, respectiv inductanța circuitului oscilant.

Acest fapt poate fi benefic pe de o parte deoarece crește sensibilitatea etichetei și odată cu aceasta crește și distanța sa de citire iar pe de altă parte lățimea de bandă a circuitului

rezonant scade, fapt ce conduce la o mai puțină tolerare la eventualele influențe ale mediului care decalbează eticheta.

Ținând cont de cele amintite, Bovelli și ceilalți [7] propun un nou model de etichetă RFID ce poate fi observată în Fig. 6, capabilă să ofere o distanță de citire comparabilă cu cea a unei etichete fără să aibă în proximitatea sa prezența unui mediu metalic. Aceștia folosesc drept suport o placă de ferită peste care realizează o antenă bobinată din bandă de cupru.

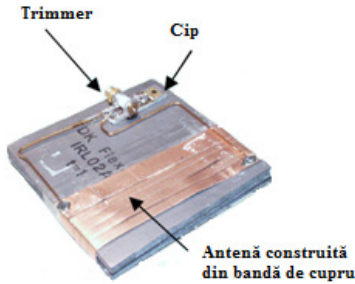


Fig. 6. Prototip de tag pasiv în banda HF [7].

În 2007, pornind de la indicațiile realizate în [7], Hailong și ceilalți [9] realizează o simulare a unei etichete RFID atașată de un plan metalic (Fig. 7) și încearcă să găsească o modalitate de a realiza o etichetă care poate fi citită și din poziție înclinată, la un oarecare unghi format între aceasta și antena cititorului. Pentru antena cititorului folosește o antenă circulară obișnuită sub forma unei bucle iar pentru a evidenția influențele mediilor metalice se folosește un plan metalic construit din aluminiu cu dimensiunile 60cm x 60cm, și o grosime de 5cm.

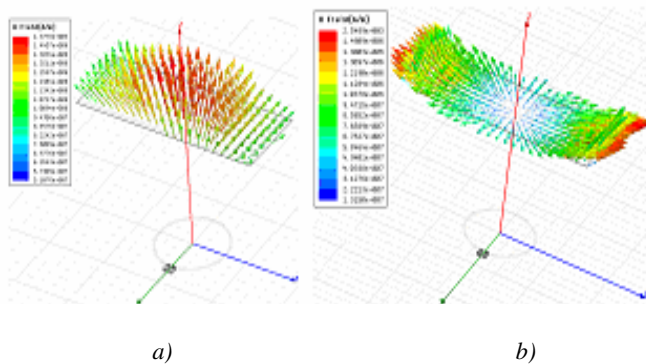


Fig. 7. Modelul vectorilor de câmp magnetic pentru sistemul RFID [9].
a) fără plan metalic b) cu plan metalic

În vederea realizării soluției în aplicarea etichetei pe planul metalic, Hailong și ceilalți folosesc o folie subțire de ferită, ca element de absorbție a liniilor de câmp magnetic. Materialul absorbant trebuie să satisfacă condițiile de adaptare a impedanței, pentru a se putea realiza schimbul maxim de energie între cip și antenă. Acest lucru se poate exprima prin factorul de reflexie Γ , exprimat în relația 3.

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (3)$$

unde Z este impedanța caracteristică feritei și Z_0 este impedanța caracteristică câmpului deschis.

Materialul absorbant va oferi performanțe ridicate atunci când $\Gamma=1$, ceea ce înseamnă că nu există reflexii.

Simularea liniilor de câmp magnetic pentru cazul în care se folosește planul metalic fără folie de material absorbant și planul metalic împreună cu folie de material absorbant pentru eticheta RFID este prezentată în Fig. 8.

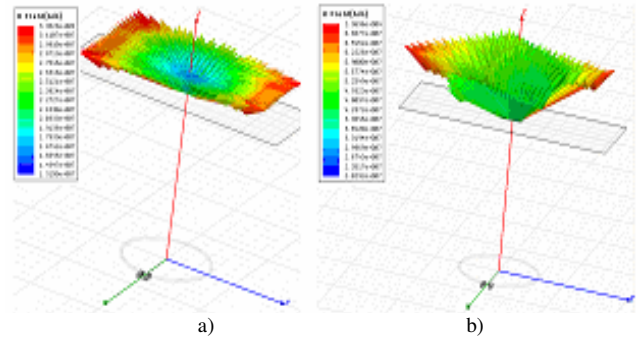


Fig. 8. Simularea liniilor de câmp magnetic [9].

a) cu plan metalic fără folie de ferită b) cu plan metalic și folie de ferită

Pentru a construi o etichetă ce poate fi citită la un oarecare unghi format între aceasta și antena cititorului, poziția antenei acestei etichete trebuie să aibă o orientare diferită față de cea normală, deoarece direcția câmpului magnetic este aproape paralelă cu suprafața metalică. Un astfel de model de antenă pentru eticheta RFID se poate observa în Fig. 9. Eticheta este alcătuită din două straturi de dielectric, o folie de ferită și o antenă acestuia.

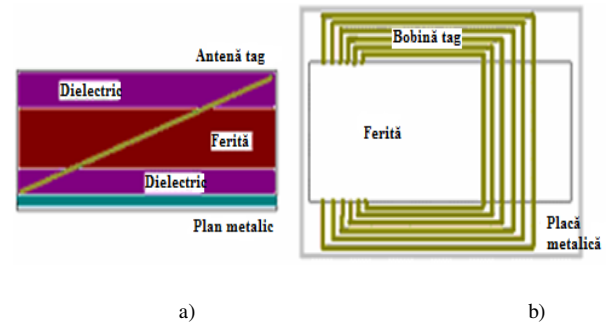


Fig. 9. Prototip etichetă RFID [9].

a) vedere laterală

b) vedere frontală

Bobina antenei este orientată după un unghi α , unghi care este mai mare decât unghiul unei etichete obișnuite. Acest lucru face ca noul model implementat în [9] să funcționeze în medii metalice mult mai bine decât modelele de etichete obișnuite. Placa de ferită este așezată în centrul bobinei antenei etichetei și nu are rolul de material absorbant, ci pentru a crește valoarea echivalentă a permeabilității relative și de a mări fluxul magnetic la suprafața antenei etichetei. Bucățile de dielectric sunt pentru a realiza uniformitatea etichetei. Folia metalică are rolul de a forța direcția câmpului magnetic să fie paralel cu partea superioară a etichetei, indiferent de orientarea acesteia.

În concluzie, soluțiile cu privire la etichetele RFID ce lucrează în domeniul de frecvență HF care funcționează în proximitatea mediilor metalice au ca principal element introducerea între planul metalic și antena etichetei RFID a unui material absorbant, care anulează apariția curenților eddy, făcând astfel posibilă comunicarea cu cititorul RFID.

Analize asupra influenței mediilor metalice asupra antenei cititorului RFID au început să apară începând cu 2009, când D’Hoe și ceilalți [6] au realizat un studiu asupra influenței mediilor metalice asupra antenei cititorului.

Pornind de la ideile menționate în [3] și abordând stilul antenei realizate în [10], aceștia au analizat diferite tipuri de planuri metalice caracterizate de diferite mărimi și grosimi, și au încercat să scoată în evidență principalele efecte atunci când antena cititorului este atașată de respectivul plan metalic. La fel ca și în cazul antenei etichetei RFID, antena cititorului este afectată de apariția curenților eddy și de schimbarea frecvenței de rezonanță.

Aceeași analiză întâlnită în [7] este preluată și în [6] pentru a arăta creșterea frecvenței de rezonanță a antenei odată cu micșorarea distanței dintre planul metalic și antena cititorului (Fig. 10).

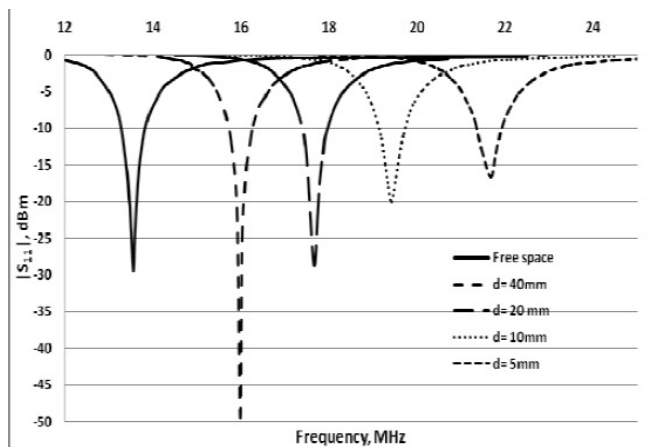


Fig. 10. Evoluția frecvenței de rezonanță odată cu modificarea distanței cu planul metalic pentru o antenă RFID [6].

O soluție privind acest aspect este oferită prin folosirea unui model de antenă „static” ce are în componența sa un plan metalic la o distanță de 1cm față de aceasta (Fig. 11). Calibrarea acestui model de antenă pe frecvența de lucru a sistemului RFID se face o singură dată când se atașează planul metalic de antenă. Acest lucru face ca orice alt mediu metalic care intră în contact cu noul model de antenă să aibă o influență foarte mică asupra sistemului.

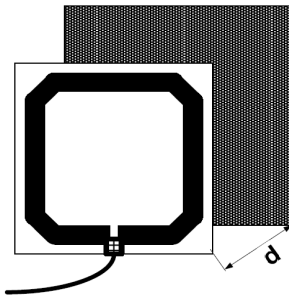


Fig. 11. Model de antenă RFID „static” [6].

Când însă mediul metalic din proximitatea antenei cititorului este în continuă schimbare sau când mediul metalic este de partea opusă antenei cititorului (fiind separată de acesta prin planul metalic), soluția propusă nu are rezultate notabile chiar și în cazul unei recalibrări.

Tot în 2009, Xianming și ceilalți [11] propun un model de antenă pentru banda de frecvență HF în vederea diminuării influenței mediilor metalice asupra sistemelor RFID (Fig. 12). Acest nou model realizat este propus pentru biblioteci și în special pentru aplicațiile ce folosesc rafturi metalice. Drept material dielectric între antenă și planul metalic se folosește spumă de polistiren extrudat, ce are constanta dielectrică aproximativ egală cu 1,07.

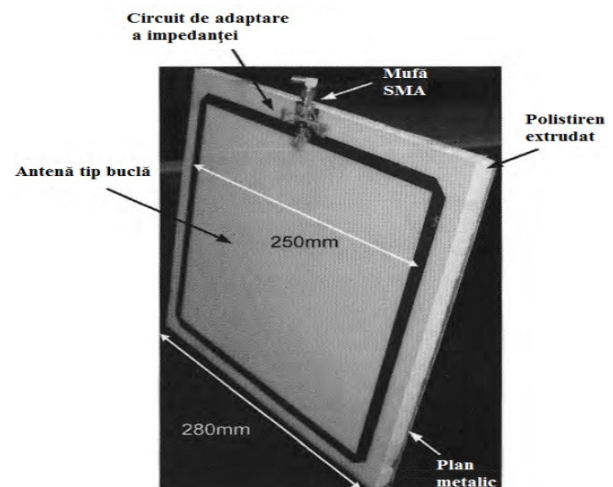


Fig. 12. Prototip de antenă HF cu plan metalic permanent [11].

După ce se face o analiză a distanței minime între antenă și planul metalic, se propune acest nou prototip din Fig. 12, construit pe același fundament teoretic existent ca și în cazul precedent, adică noul model va fi un model „static” ce va avea un plan metalic fix și va avea frecvența de rezonanță calibrată pe frecvența de lucru a sistemului.

Acest model de antenă a fost implementat pentru gestionarea cărților într-o bibliotecă, oferind o acuratețe de 95%.

IV. CONCLUZII

Lucrarea prezintă o analiză a influenței mediilor metalice asupra sistemelor ce funcționează folosind tehnologia RFID. Încă de la începutul anilor 2003 s-au analizat efectele acestor medii asupra sistemelor RFID iar una dintre soluțiile găsite a fost utilizarea materialelor absorbante, materiale ce funcționează ca o barieră între planul metalic și eticheta sau antena cititorului RFID. Aceste materiale sunt cu precădere folosite pentru construcția etichetelor RFID, oferind o imunitate ridicată.

Când luăm în considerare antena cititorului RFID, soluția cea mai eficientă în domeniul de frecvență HF este utilizarea unui model de antenă „static” ce are în componența sa un plan

metalic aflat la o anumită distanță față de antena RFID. Acest model este calibrat pe frecvența de rezonanță a singurii date, făcând ca sistemul să folosească acest model să funcționeze satisfăcător când în proximitatea acestuia se află medii metalice.

V. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Efectele cauzate de influența mediilor metalice asupra sistemelor RFID au în prim plan scăderea performanțelor sistemelor prin modificarea frecvenței de rezonanță a antenei și scăderea drastică a distanței de citire pentru etichetele RFID. Pornind de la acest aspect, direcțiile viitoare de cercetare vor avea ca principal scop găsirea unui nou model inovativ ce va asigura recalibrarea antenei sistemului RFID pe frecvența de lucru a sistemului ori de câte ori va fi nevoie acest lucru, indiferent de modificările din jur a mediului.

Un astfel de sistem ar putea funcționa chiar și într-un dulap metalic și chiar și în condițiile în care diverse obiecte metalice, având etichete RFID atașate, ar ajunge în raza sa de acțiune.

MULȚUMIRI

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Provocările cunoașterii și dezvoltare prin cercetare doctorală PRO-DOCT Contract nr.POSDRU/88/1.5/S/52946", proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] D. Dos Reis, M. Lambert and D. Lesselier, "Eddy-current evaluation of three-dimensional defects in a metal plate," Institute of physics publishing inverse problems, *Inverse Problems* 18, 2002, pp. 1857–1871;
- [2] P. Lugli, S. Bovelli, A. Di Carlo, M. Berliocchi, A. Bolognesi, and M. Manenti, "RFID: Ideas for Future Development", Proceedings of the Munich Symposium on "Fields, Networks, Computation and Systems", Springer Verlag -Munich, 2004;
- [3] M. Rata, G. Rata, A. Graur, and V. Popa, "The influence of different materials in 13.56 RFID system," RFID Eurasia, 2007 1st Annual Conference, 5-6 Sept. 2007;
- [4] S. Bovelli, F. Neubauer, and C. Heller, "A Novel Antenna Design for Passive RFID Transponders on Metal Surfaces," Microwave Conference, 2006. 36th European, 2006;
- [5] H. Zhu, S. Lai, and H. Dai, "Solutions of Metal Surface Effect for HF RFID Systems," 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Sep. 2007;
- [6] K. D. Hoe, a Van NIEUWENHUYSE, G. Ottoy, L. De STRYCKER, L. De BACKER, J.-P. Goemaere, and B. Nauwelaers, "Influence of Different Types of Metal Plates on a High Frequency RFID Loop Antenna: Study and Design," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, 2009;
- [7] S. Bovelli, F. Neubauer, and C. Heller, "Mount-on-Metal RFID Transponders for Automatic Identification of Containers," Microwave Conference, 2006. 36th European, 2006;
- [8] M. T. Thomson, "Inductance Calculation Techniques", in *Power Control and Intelligent Motion*, Dec. 1999;
- [9] H. Zhu, S. Lai, and H. Dai, "Solutions of Metal Surface Effect for HF RFID Systems," 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Sep. 2007;
- [10] Texas Instruments, „HF Antenna Design Notes Technical Application,” Report 11-08-26-003, Jun. 23, 2003;
- [11] X. Qing and Z.N. Chen, "Characteristics of a Metal-Backed Loop Antenna and its Application to a High-Frequency RFID Smart Shelf," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 51, Apr. 2009;