

SIMULAREA COMPORTĂRII UNUI SISTEM DE DOUĂ BOBINE CUPLATE MAGNETIC ÎN PREZENȚA TOLELOR METALICE

Dan-Gabriel STĂNESCU¹, Ioana-Gabriela SÎRBU², Ioan-Alexandru MIHĂILĂ³
Mircea-Emilian ARDELEANU⁴ și Radu-Cristian DINU⁵,
^{1,2,3,4,5}Universitatea din Craiova, Facultatea de Inginerie Electrică
dan.stanescu@edu.ucv.ro¹, ioana.sirbu@edu.ucv.ro², mihaila.ioan.e9v@student.ucv.ro³
mircea.ardeleanu@edu.ucv.ro⁴, radu.dinu@edu.ucv.ro⁵

Rezumat. În cadrul acestei lucrări sunt prezentate și analizate o serie de aspecte privind simularea funcționării unui sistem de două bobine cuplate magnetic în prezența tolelor metalice. Sistemul este format din două bobine, una de emisie și una de recepție. Bobina de emisie a fost alimentată cu un semnal sinusoidal de tensiune. Tolele sunt amplasate transversal între bobine, fiind luate în considerare mai multe modalități de poziționare a acestora în calea câmpului magnetic creat de bobina de emisie.

1. INTRODUCERE

Instrumentele software din domeniul ingineriei electrice asistate de calculator au cunoscut în ultima perioadă o dezvoltare din ce în ce mai mare. Complexitatea lor variază, depinzând de funcțiile pe care le posedă, de precizia cu care oferă rezultatele finale, de categoriile de probleme pe care le pot rezolva, etc. Astfel s-au dezvoltat pachete de programe de modelare și simulare ce rezolvă probleme de complexitate ridicată, inclusiv probleme cuplate, cu o precizie extrem de mare, în general atât pentru probleme bidimensionale (2D), cât și tridimensionale (3D). Aceste programe sunt oferite contra cost, prețul lor fiind deloc neglijabil (ANSYS, CST, FLUX, QuickField, etc) [1–5]. O altă categorie de pachete software a renunțat la unele aspecte legate de precizie, sunt utilizabile pentru o gamă redusă de probleme (în general cu geometrie simplă), pentru varianta 2D și sunt disponibile în mod gratuit pe internet, pentru o utilizare largă (FEMM, QuickField Student, etc) [6]. Ambele categorii permit obținerea unor rezultate bune și foarte bune (după caz) privind analiza și testarea modului de comportare a anumitor dispozitive electromagnetice în diferite regimuri sau condiții de funcționare. Acest lucru le face un instrument extrem de util inginerului profil electric, care le poate folosi, în funcție de posibilități, pentru a dimensiona cât mai bine echipamentele pe care le studiază sau le construiește [1–9].

Legea inducției electromagnetice este aceea care stă la baza funcționării mașinilor electrice, a tehnologiilor bazate pe comunicațiile magneto-inductive sau transfer de energie prin cuplaj inductiv [2–5, 7, 8]. Această lege, alături de alte legi fundamentale ale electromagnetismului, au fost implementate în pachetele software de tipul celor amintite mai sus, în scopul obținerii unui sprijin real pentru cercetătorii ce studiază aceste dispozitive electromagnetice. Astfel cercetătorii pot dezvolta nu doar studii teoretice sau experimentale, ci pot efectua și modelări ale câmpului electromagnetic, care vin ca un suport important în cercetările din domeniu. În felul acesta, numărul studiilor legate de aceste aplicații ingineresti a crescut extrem de mult de la an la an.

Indiferent de tipul aplicației, dintre cele amintite și nu numai, conceptul de bază este legat de existența a cel puțin două bobine cuplate inductiv, prin câmpul magnetic creat de acestea, în cazul alimentării cu tensiune variabilă în timp. Aceste bobine pot fi fără miez feromagnetic (în aer) sau cu miez feromagnetic, în funcție de aplicație. Un aspect specific acestor studii îl constituie uneori prezența în vecinătatea bobinelor a unor piese conductoare. Este cunoscut din literatura de specialitate faptul că un material conductor aflat în zona de

cuplaj magnetic dintre două bobine va determina o modificare a valorilor câmpului magnetic, implicit a spectrului acestuia [1, 10, 11].

Astfel, lucrarea de față și-a propus să studieze la nivel de simulare, folosind un program ce oferă rezultate de precizie ridicată, modul în care o tolă metalică de cupru, plasată în diferite moduri, influențează spectrul câmpului magnetic dintre două bobine.

2. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII SISTEMULUI DE BOBINE CUPLATE MAGNETIC

Utilizând un instrument software bazat pe analiza cu elemente finite (ANSYS), au fost realizate o serie de simulări pentru un sistem de două bobine cilindrice, cu miez feromagnetic, în prezența unei tole conductoare, pornind de la schema prezentată în Fig. 1.

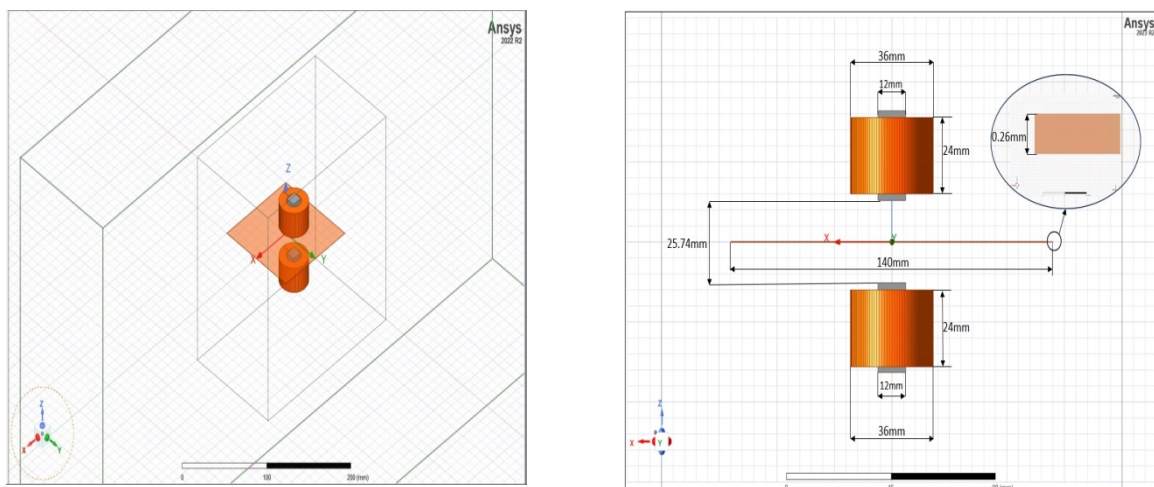


Fig. 1. Ilustrativă privind dimensiunile geometrice ale modelului analizat

Așa cum reiese din Fig., bobinele au fost amplasate astfel încât să se poată obține un cuplaj magnetic cât mai bun. Bobinele au fost considerate ca fiind realizate cu același număr de spire (700 spire), iar miezul ca fiind realizat din material de tip ferită. Bariera metalică din cupru are o grosime de 0.26 mm, fiind simulată sub forma unui pătrat cu latura de 140 mm. Proprietățile de material luate în considerare pentru tot sistemul analizat sunt ilustrate în Fig. 2.

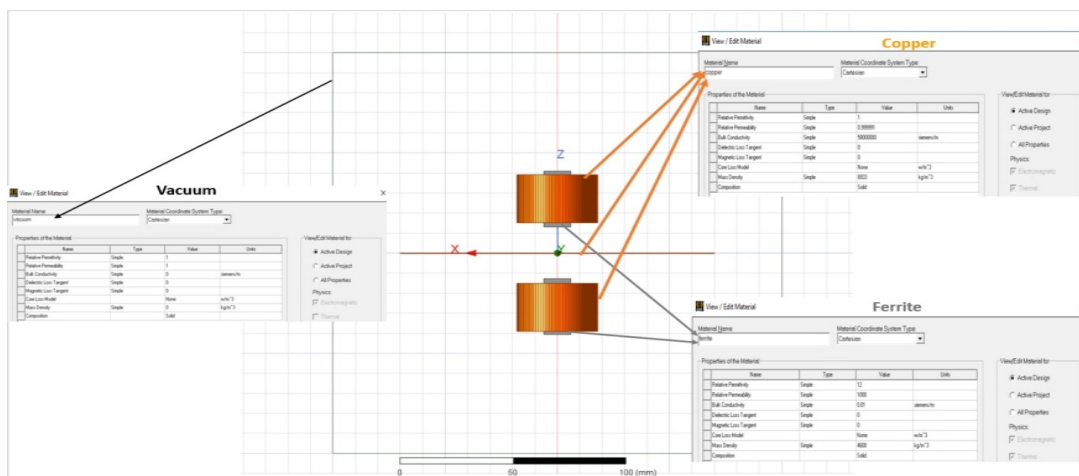


Fig. 2. Ilustrativă privind parametrii modelului analizat

Simulările au fost realizate la frecvența de 80 kHz. Bobina de emisie a fost alimentată cu un semnal sinusoidal de tensiune cu valoarea efectivă de 10 V. Următoarele Fig. prezintă rezultatele simulărilor, respectiv spectrul câmpului magnetic în 4 cazuri analizate, în prezența tolei metalice din cupru funcționând ca barieră în calea câmpului magnetic: tolă plasată lângă bobina de emisie și dispusă simetric/asimetric față de axul bobinei (cazurile 1, 2), tolă plasată lângă bobina de recepție și dispusă simetric/asimetric față de axul acesteia (cazurile 3, 4).

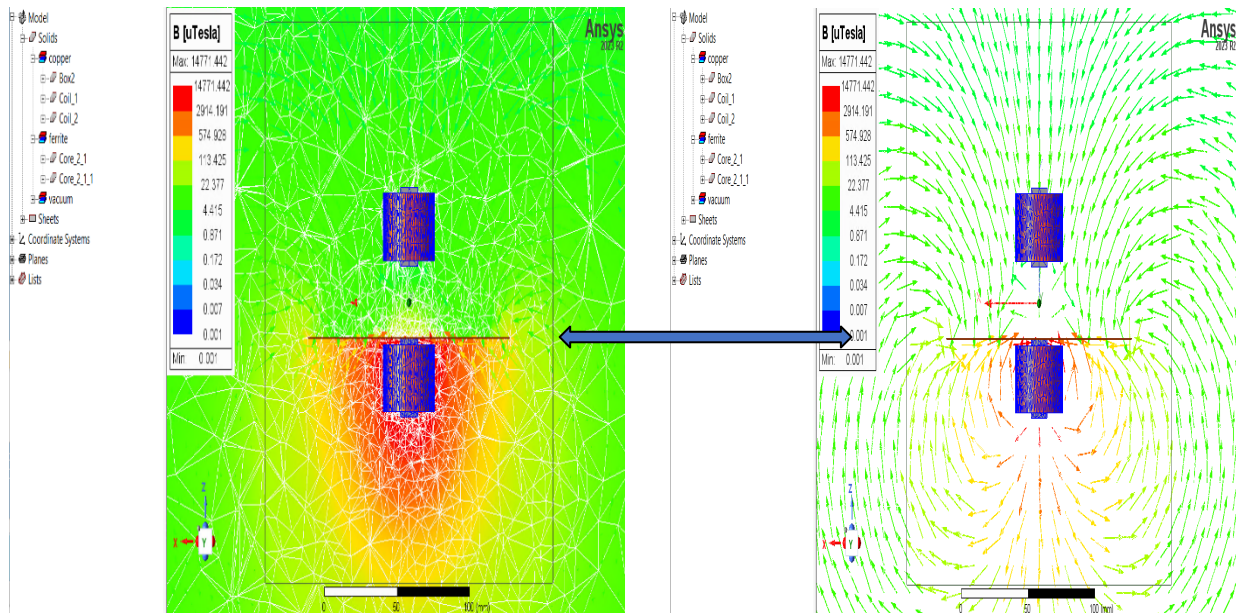


Fig. 3. Ilustrativă privind rezultatele simulării modelului analizat, tola metalică fiind plasată lângă bobina de emisie și dispusă simetric față de axul acesteia (cazul 1)

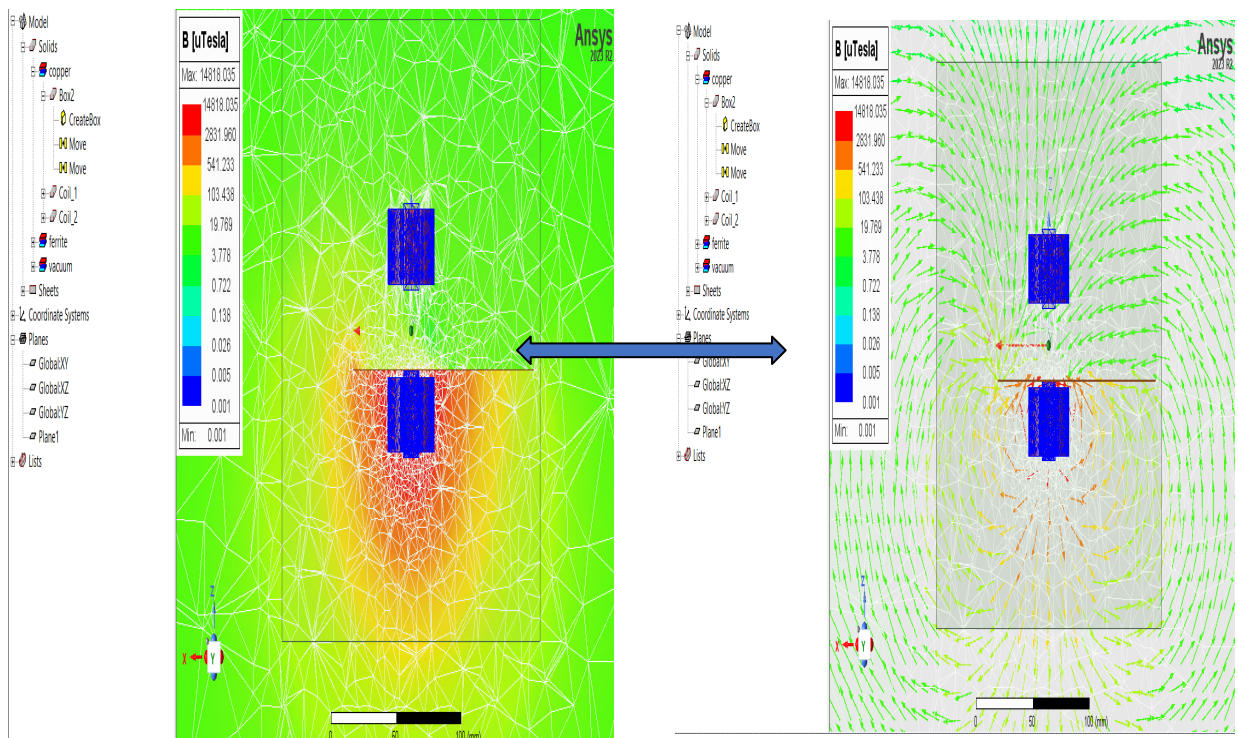


Fig. 4. Ilustrativă privind rezultatele simulării modelului analizat, tola metalică fiind plasată lângă bobina de emisie și dispusă asimetric față de axul acesteia (cazul 2)

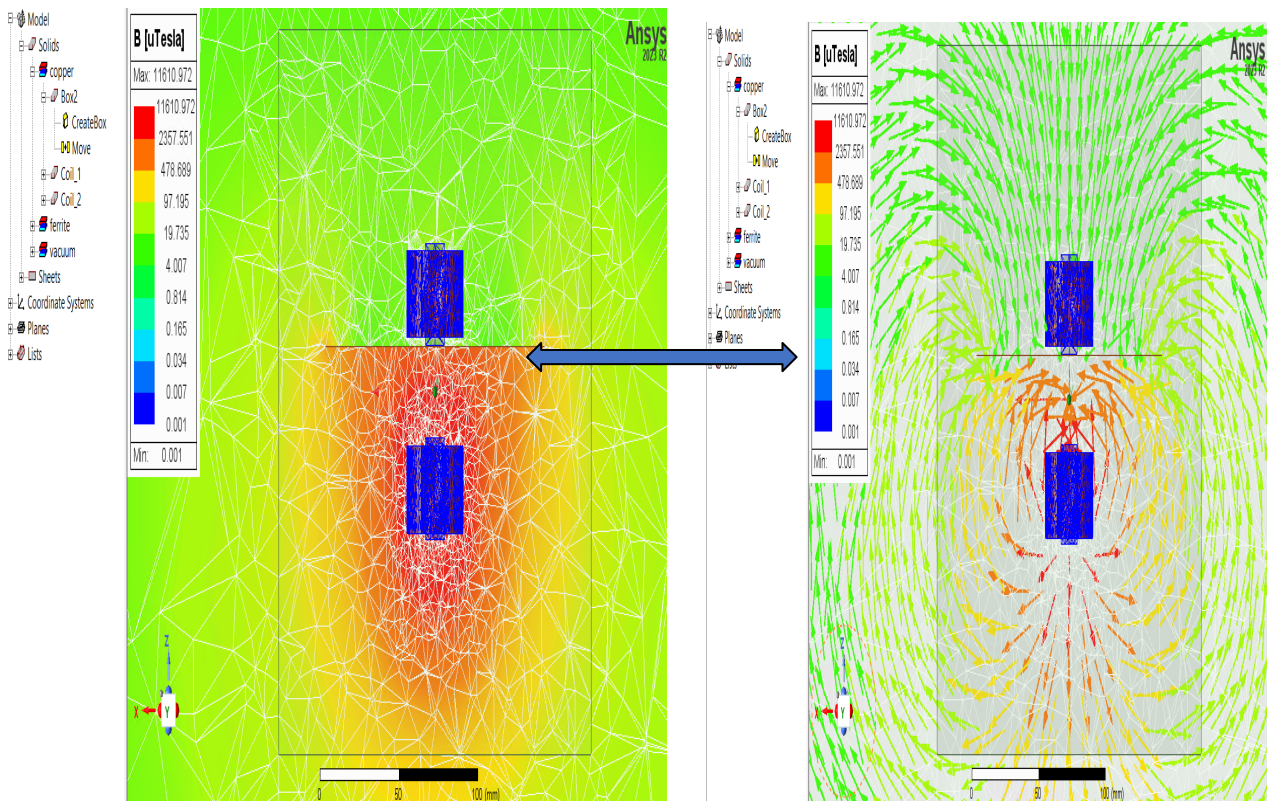


Fig. 5. Ilustrativă privind rezultatele simulării modelului analizat, tola metalică fiind plasată lângă bobina de recepție și dispusă simetric față de axul acesteia (cazul 3)

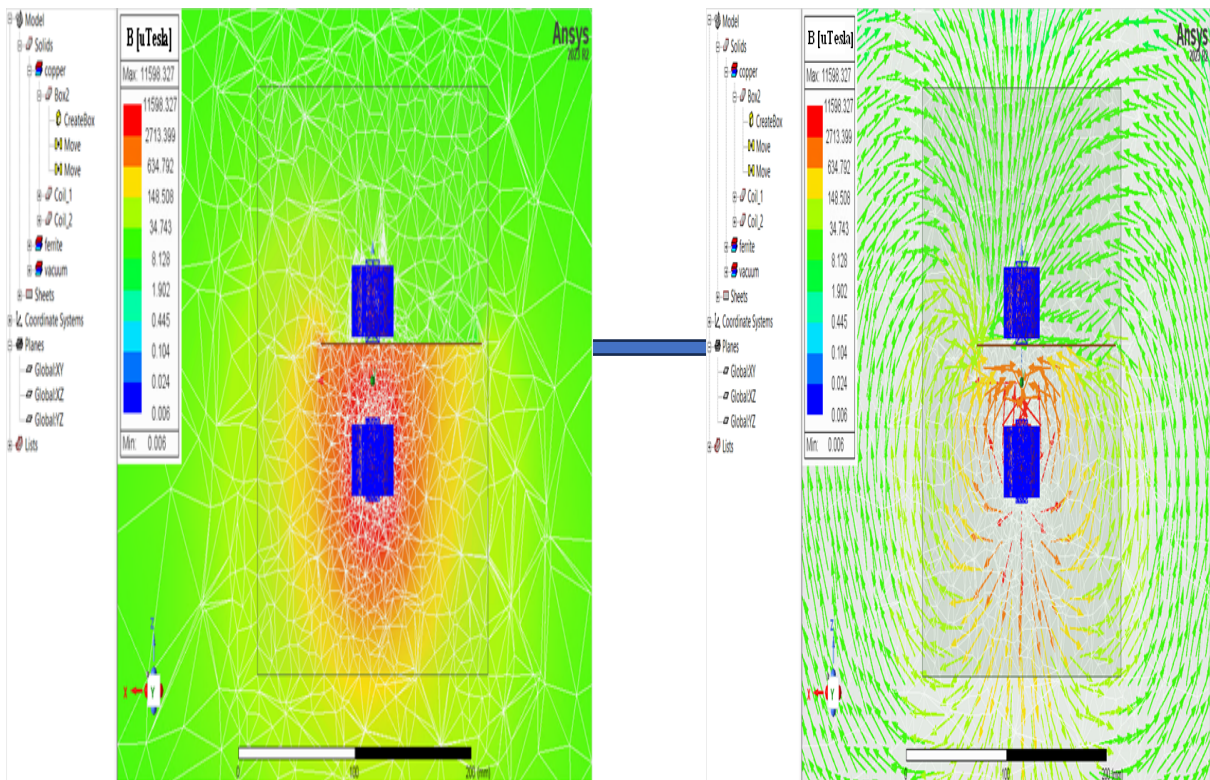


Fig. 6. Ilustrativă privind rezultatele simulării modelului analizat, tola metalică fiind plasată lângă bobina de recepție și dispusă asimetric față de axul acesteia (cazul 4)

Rezultatele obținute sunt sintetizate în tabelul următor. Sunt prezentate valorile maxime ale inducției magnetice (B_{\max}), precum și valoarea tensiunii electromotoare induse în bobina de recepție ($U_{\text{indusă}}$). La o primă analiză a acestor rezultate se poate observa faptul că, pentru distanța (constantă) dintre cele două bobine luată în considerare, dimensiunea barierei metalice nu influențează valoarea tensiunii electromotoare induse.

Tabelul 1
Rezultatele obținute în urma simulărilor numerice

Frecvența semnalului de alimentare	1 (Poziție toală metalică)	2 (B_{\max} -mT)	3 ($U_{\text{indusă}}$ -V)
80kHz	Cazul 1	14.771	2.80
	Cazul 2	14.818	2.88
	Cazul 3	11.610	2.87
	Cazul 4	11.598	2.95

La Fig. 3-6 reprezentările din stânga prezintă distribuțiile inducției magnetice ca valoare numerică, în timp ce reprezentările din dreapta prezintă orientarea vectorilor inducției magnetice.

Analizând cazurile 1 și 2 (Fig. 3 și 4) se constată faptul că există o concentrare a câmpului magnetic în jurul bobinei de emisie (poziționată în partea de jos), până la nivelul tolei de cupru. Dincolo de această barieră câmpul magnetic scade semnificativ, fără însă a fi complet eliminat. Acest lucru este pus în evidență prin faptul că în bobina de recepție (poziționată în partea superioară) se induce o tensiune electrică. Conform Tabelului 1 aceasta are valoarea de 2.8 V (cazul 1), adică de 3.5 ori mai mică decât tensiunea de alimentare a bobinei de emisie, și respectiv de 2.88 V (cazul 2). Diferența obținută între cele două valori ale tensiunii electrice induse se datorează poziționării diferite a tolei de cupru: în cazul 1 câmpul magnetic, în regiunea sa mai intensă, este limitat de bariera de cupru, în vreme ce în cazul 2, o parte din câmpul magnetic de valoare importantă „scapă” în zona superioară, crescând valoarea câmpului magnetic din vecinătatea bobinei receptoare (a se vedea figura 4) și implicit valoarea tensiunii electrice induse.

Analizând cazurile 3 și 4 (Fig. 5 și 6) se constată faptul că zona de câmp magnetic intens se întinde până în apropierea bobinei receptoare, fiind limitată apoi de prezența tolei de cupru. Dincolo de această barieră câmpul magnetic este diminuat. Conform Tabelului 1, în aceste cazuri valorile inducției magnetice sunt mai mici comparativ cu cazurile 1 și 2, fapt explicat prin creșterea distanței dintre bobina de emisie și toală. Tensiunea indusă are valoarea de 2.87 V (cazul 3) și respectiv de 2.95 V (cazul 4). Diferența obținută între cele două valori ale tensiunii electrice induse se datorează poziționării diferite a tolei de cupru: în cazul 3 câmpul magnetic, în regiunea sa mai intensă, este limitat de bariera de cupru, în vreme ce în cazul 2, o parte din câmpul magnetic de valoare importantă „scapă” în zona apropiată bobinei receptoare, crescând valoarea câmpului magnetic din vecinătatea acesteia (a se vedea Fig. 6) și implicit valoarea tensiunii electrice induse.

4. CONCLUZII

În cadrul lucrării a fost analizată la nivel de simulare influența tolelor metalice asupra unui sistem format din două bobine cuplate magnetic. A fost utilizat un instrument software dedicat pentru analiza câmpului electromagnetic, instrument software bazat pe metoda

elementelor finite. Au fost analizate patru cazuri. Au fost obținute la nivel de simulare valorile inducției magnetice și tensiunii electromotoare induse la bornele bobinei de recepție în cazul în care tola metalică este amplasată transversal în calea câmpului magnetic, la diferite distanțe de bobina de emisie și în poziții diferite față de axa de simetrie a acestor bobine.

Din rezultatele obținute se poate observa faptul că, în cazurile analizate, tensiunea electromotoare indusă nu este influențată foarte mult de pozițiile diferite ale tolei metalice în spațiul dintre bobine. Acest lucru se poate explica prin dimensiunea aleasă pentru tola (depășește dublul dimensiunii unei bobine) și datorită distanței dintre cele două bobine cuplate magnetic. În cazul în care se plasează tola metalică asimetric față de axa bobinei de emisie, se observă o mică amplificare a valorii inducției magnetice, față de cazul simetric, datorită efectului de capăt al tolei metalice. Rezultatele obținute pot fi extinse pentru a analiza comportarea altor tipuri de materiale aflate în zona de cuplaj magnetic dintre două bobine.

CONFIRMARE

Lucrarea a fost prezentată la Simpozionul de Mașini Electrice SME'XIX, ediția 2023.

BIBLIOGRAFIE

1. A. Vallecchi, S. Chu, L. Solymar, C. Stevens, E. Shamonina, *Coupling between coils in the presence of conducting medium*, IET Microwaves, Antennas and Propagation, **13**, 1, pp. 55-62, 2019.
2. M. L. Iordache (Bobaru), M. Iordache, *Optimization of Magnetic Coupled Resonator Structure Used in Wireless Electromagnetic Energy Transfer*, U.P.B. Sci. Bull., Series C, **78**, 4, pp. 137-148, 2016.
3. D. Niculae, M. Iordache, M. Stănculescu, L. Iordache, *The Influence of the Alignment Between Receiver and Transmitter Coils on Efficiency of Wireless Transfer Energy*, 2016 Int. Conf. on Appl. and Theor. Electr. (ICATE), Craiova, Romania, pp. 1-5, Oct. 2016.
4. B. Olukotun, J. S. Partridge, R. W. G. Bucknall, *Loss Performance Evaluation of Ferrite-Cored Wireless Power System with Conductive and Magnetic Shields*, 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), București, Romania, pp. 1-5, Oct. 2019.
5. A. Deshmukh, M. Bhutada, *Three Phase Induction Motor-Model Design and Performance Analysis in ANSYS Maxwell*, International Research Journal of Engineering and Technology, **8**, 4, pp.3125-3131, Apr. 2021.
6. I. G. Sirbu, *Study on the Influence of a Magnetic Core on the Coupled Coils Behavior*, Acta Electrotehnica, **56**, 3, pp.334-339, May 2015.
7. J. Zhang, X. Yuan, C. Wang et al, *Comparative analysis of two-coil and three-coil structures for wireless power transfer*, IEEE Trans. on Power Electron., **32**, 1, pp. 341-352, Jan. 2017.
8. L. Chen, S. Liu, Y.C. Zhou et al, *An optimizable circuit structure for high-efficiency wireless power transfer*, IEEE Trans. on Ind. Electron., **60**, 1, pp. 339-349, Jan.2013.
9. J. Conway, *Exact solutions for the mutual inductance of circular coils and elliptic coils*, IEEE Trans. on Magnetics, **48**, 1, pp.81-94, Jan. 2012.
10. A. Schwab, W. Kurner, *Compatibilitate electromagnetică*, Editura AGIR, București, 2013.
11. C. Paul, *Compatibilita elettromagnetica*, Editore Ulrico Hoepli, Milano, 2008.