

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA
INFORMAȚIEI

Ing. Filip Dan-Sebastian

Doina-
Liana Pislă

Digitally signed
by Doina-Liana
Pislă

Date: 2019.07.19
13:12:16 +03'00'

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

SISTEME DE TRANSFER AL ENERGIEI FĂRĂ FIR PRIN CUPLAJ REZONANT

Conducător științific
Prof.dr.ing. Dorin Petreuş

1. Introducere

O problemă stringentă a societății actuale este legată de pierderile care apar în transferul și distribuția de energie. Pe măsură ce consumul de energie crește, producția de energie crește, iar odată cu acestea cresc și pierderile. Astfel că, rețeaua de transfer și distribuție a energiei electrice trebuie să fie într-o continuă dezvoltare și perfecționare.

La începuturile cercetării și dezvoltării fenomenelor electromagnetice, înainte ca rețeaua de distribuție a energiei electrice să fie construită, un efort deosebit a fost depus în cercetarea și dezvoltarea unei metode de transfer a energiei fără un mediu de transport dedicat, adică fără fire, însă rezultatul cercetărilor nu s-a ridicat la nivelul așteptărilor. Soluții precum utilizarea antenelor omnidirecționale, care funcționează excepțional în transferul de informații, nu sunt potrivite pentru transferul de energie, deoarece o bună parte a energiei se pierde în spațiu liber. Radiația electromagnetică direcționată, de exemplu utilizarea LASER-elor sau antene unidirecționale, poate fi folosită în transferul de energie fără fir, chiar și la distanță mare, însă necesită ca receptorul să rămână în câmpul vizual al emițătorului și necesită eventual un sistem complex de urmărire în cazul în care receptorul este mobil. Dezvoltarea rapidă a aparatelor electronice autonome din ultimii ani, cum ar fi laptop-uri, telefoane mobile, roboți etc, este un bun motiv pentru reluarea studiului asupra transferului de energie fără fir. Întrucât rețeaua de distribuție a energie din zilele noastre permite alimentarea cu energie electrică aproape oriunde în lume, transferul de energie fără fir ar deveni util pentru alimentarea aparatelor electronice autonome, fără a necesita conectarea acestora prin fire la rețea și crescând nivelul de autonomie.

Proiectul intenționează să contribuie la studiul și dezvoltarea echipamentelor de transmisie fără fir a energiei electrice pe distanțe scurte și medii. Puterea transferată poate varia de la câțiva wați la zeci și sute de wați și permite alimentarea mai multor dispozitive cu diferite nivele de tensiune aflate la distanțe diferite.

2. Importanța și relevanța conținutului științific

Ultimul deceniu a înregistrat o creștere semnificativă a dispozitivelor electronice portabile. Viața de zi cu zi a fiecărei persoane depinde într-o măsură tot mai mare de astfel de dispozitive, fie că discutăm despre dispozitive utilizate în comunicații, cum sunt telefoanele mobile, tabletele sau laptopurile, fie că este vorba despre dispozitive medicale cum sunt aparatele auditive, stimulatoarele cardiace etc. Toate acestea necesită o sursă de alimentare portabilă, cu posibilitate de reîncărcare cât mai rapidă sau, dacă nu, cât mai convenabilă. Transferul de putere fără fir vine ca o alternativă la încărcarea acestor dispozitive fără a implica utilizatorul final. Cu alte cuvinte, încărcarea dispozitivelor nu constituie o problemă dacă nu necesită atenția utilizatorului.

Încărcarea dispozitivelor fără a utiliza o conexiune fizică permite de asemenea izolarea completă a dispozitivului de mediul exterior. Construcția unor dispozitive rezistente la apă, praf, medii acide sau medii sterile este mult mai ușoară dacă nu există necesitatea unei conexiuni fizice a dispozitivului pentru transferul de putere. Includerea unui material între emițător și receptor poate avea efecte negative asupra transferului de putere. Lucrarea de față analizează și acest aspect al transferului de putere în vederea optimizării transferului pentru diferite materiale izolatoare și de asemenea creșterea eficienței transferului prin direcționarea câmpului magnetic utilizând materiale feromagnetice.

Prin utilizarea simulărilor cu metoda elementului finit se poate studia în detaliu transferul de putere între emițător și receptor. De asemenea se pot include diferite fenomene fizice relevante pentru fiecare sistem și permite o dezvoltare a unor astfel de sisteme într-un timp scurt și cu un randament ridicat. Simulările permit și evidențierea unor anumite riscuri de proiectare și funcționare și oferă posibilitatea testării unor soluții pentru preîntâmpinarea unor astfel de probleme.

3. Stadiul actual

Încă de la construcția primelor rețele electrice a existat dorința de a elimina firele pentru transportul de putere, însă limitările tehnologice au făcut dificilă realizarea practică a transferului de putere fără fir. Odată cu dezvoltarea tehnologiei și reducerea semnificativă a prețurilor pentru semiconductoare, dezvoltarea unor sisteme de transfer a puterii fără fir a cunoscut un nou avânt. Au fost făcute numeroase studii în privința factorului de calitate al bobinelor utilizate în transferul de putere în încercarea de a crește cât mai mult acest factor Q pentru a îmbunătăți randamentul sistemului.

Poziția bobinelor cuplate este de asemenea critică în obținerea unor randamente mari de transfer, existând studii în această direcție. Au fost propuse metode de calcul pentru determinarea inductanței mutuale dintre două bobine aflate la o anumită distanță una față de cealaltă. De asemenea, pentru a veni în ajutorul proiectanților s-au realizat o serie de aproximări pentru a estima inductanța mutuală și a putea considera un factor de cuplaj. În momentul de față se încearcă și o standardizare a sistemelor de transfer a puterii fără fir, motiv pentru care a fost înființat „Wireless Power Consortium” prescurtat WPT, un organism care încearcă să elaboreze un standard internațional pentru aceste sisteme.

Nivelele de putere transmise în momentul de față sunt la nivelul de zeci de wați, în general fiind utilizate în încărcarea acumulatorilor din telefoanele mobile sau a tabletelor. Există însă studii pentru creșterea puterii la sute de wați în vederea încărcării acumulatorilor din mașinile electrice. Partea de emițător poate fi poziționată pe șosea astfel încât autovehiculele să treacă peste ea, moment în care bateriile ar fi reîncărcate. Montând suficiente astfel de sisteme ar permite mașinilor electrice o autonomie teoretic infinită. Un astfel de sistem este prezentat în Fig. 3.1.

Același sistem utilizat în cazul autovehiculelor se poate extinde în cazul roboților de distribuție în interiorul unor hale sau în cazul alimentării cu energie a unor drone. Lipsa cablurilor și a conexiunii fizice între echipamentul mobil și sistemul de andocare reduce atât costurile de mentenanță cât și costurile de proiectare pentru o conexiune fizică eficientă.

Alte studii includ simulări cu element finit pentru determinarea câmpului electromagnetic generat de aceste bobine. În cazul transferului de putere se preferă cuplajul inductiv, iar transferul are loc prin câmp magnetic însă există și studii pentru transferul de putere utilizând câmp electric și cuplaj capacitiv. Au fost făcute și simulări cu metoda elementului finit și au

fost identificate câteva neajunsuri legate de cuplajul capacitiv în cazul transferului de putere fără fir.

Datorită înrăutățirii semnificative a randamentului de transfer odată cu creșterea distanței dintre cele două bobine cuplate inductiv, s-a încercat intercalarea unor circuite rezonante L-C între circuitul de emisie și cel de recepție pentru a crește distanța de transmisie. Experimentele au fost făcute și publicate în literatura de specialitate.

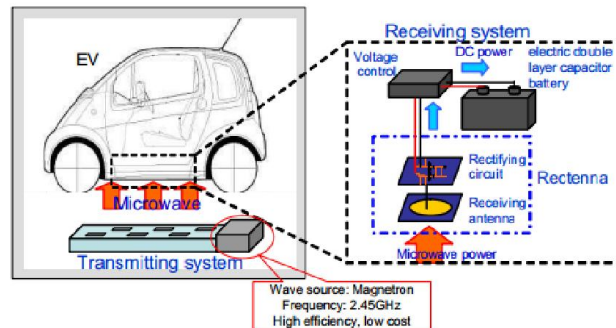


Fig. 3.1 Sistem de încărcare a autovehiculelor electrice utilizând transfer de energie fără fir

Există și varianta de transfer a energiei utilizând o rețea rezonantă de tip domino. În acest caz, frecvența de lucru a fost setată în jurul valorii de 500 kHz, frecvență folosită și în cazul convertoarelor în comutație. Prin plasarea bobinelor rezonante la distanță mică una de cealaltă se pot obține factori de cuplaj mari și randament de transfer mare. Mai mult, prin aranjarea bobinelor se poate face transfer atât în linie dreaptă cât și în Y, curbiliniu sau chiar cerc închis.

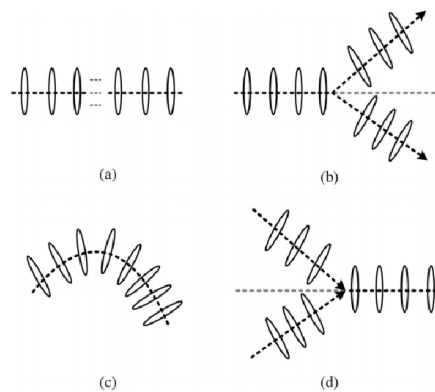


Fig. 3.2 Rețea de transfer a puterii fără fir de tip domino a) în linie dreaptă, b) în Y prin bifurcarea emisiei, c) în format curbiliniu, d) în Y prin contopirea emisiei

4. Scopul tezei

Această teză are ca obiectiv studierea sistemelor de transfer a energiei electrice fără a utiliza fire, ci prin cuplaj rezonant între două sau mai multe elemente inductive. Studiul este făcut cu accent pe metoda elementului finit, construind un model cât mai exact al sistemului de transfer în vederea utilizării în proiectarea ulterioară a unor astfel de sisteme. De asemenea, utilizarea simulărilor cu element finit permite o analiză atentă a câmpului electromagnetic generat în jurul elementelor inductive în vederea optimizării transferului de putere și reducerea perturbațiilor induse în restul circuitului.

Elaborarea tezei implică un grad de interdisciplinaritate ridicat, fiind necesare cunoștințe de electronică de putere, radiofrecvență și propagarea undelor, analiză matematică, etc.

Obiectivele principale ale tezei sunt:

- Studierea metodelor de transfer a puterii fără fir, accentul fiind pus pe cuplajul rezonant;
- Construirea unor foi de calcul pentru determinarea parametrilor de transfer în cazul unor astfel de sisteme;
- Construirea simulărilor cu metoda elementului finit pentru sisteme de transfer a puterii cu două sau mai multe elemente inductive cuplate rezonant și aflate la anumite distanțe una față de celelalte;
- Construirea unor scheme echivalente pe baza rezultatelor obținute din simulările cu element finit și simularea acestor scheme în medii de simulare și proiectare dedicate circuitelor electronice;
- Studierea câmpului magnetic și a câmpului electric generat de bobinele rezonante și ajustarea acestuia pentru reducerea emisiilor și creșterea puterii transferate;
- Modelarea în element finit a unei singure bobine rezonante și evaluarea câmpului electric generat de aceasta în vederea obținerii plasmei la presiune atmosferică.

Obiectivele acestei teze de doctorat ce țin de documentare, analiză, proiectare, modelare, implementare, studiu comparativ, realizare practică și îmbunătățire a sistemului propus de încărcare a bateriilor folosind sisteme de transfer a energiei fără fir creează premise pentru creativitatea tehnică în domeniul conversiei și transportul energiei electrice.

Pe de altă parte, dezvoltarea experimentală a sistemului propus, bazată pe cunoștințele obținute prin cercetare aplicativă, poate avea un impact semnificativ în progresul tehnic al proceselor de fabricație a unor astfel de produse.

Provocarea proiectului constă în corelarea ideilor deja existente în domeniu cu scopul inovației și aplicării de noi metode care să aibă ca rezultat practic un model original (prototip) care să includă toate calitățile tehnice și caracteristicile de funcționare ale produsului dorit.

5. Metodologia tezei

Obiectivul principal al tezei de doctorat este studierea sistemelor de transfer a puterii fără fir, prin cuplaj rezonant și simularea acestor sisteme cu metoda elementului finit în vederea proiectării optime a acestora. Simularea cu element finit este necesară în analiza mai multor fenomene fizice concomitente și evaluarea funcționării sistemului de distribuție în condiții reale. Din cauza unor limitări legate de complexitatea simulărilor cu element finit, pentru simularea unor elemente de sistem au fost folosite programe de simulare specializate pentru anumite domenii. Programele de simulare folosite au fost Comsol Multiphysics, LTSpice, PSIM, iar pentru dezvoltarea modelului matematic s-a folosit Mathcad. Comsol Multiphysics include mai multe module pentru simularea cu element finit, iar principalele module folosite au fost cele de câmp electric și câmp magnetic, cele de circuit electric și cele de radiofrecvență.

Contribuții originale amintim realizarea unor simulări cu metoda elementului finit a căror rezultate sunt confirmate de teste experimentale precum și analiza câmpului electromagnetic creat de aceste sisteme. De asemenea au fost făcute mai multe simulări pentru diferite sisteme cu număr variat de bobine cuplate rezonant și cu diferite poziții ale bobinelor pentru a evidenția modificarea randamentului și a analiza atent câmpul magnetic și electric generat de bobine. Rezultatele simulărilor au fost validate prin intermediul măsurărilor experimentale utilizând prototipuri.

Rezultatele au fost diseminate în 7 lucrări la conferințe internaționale și jurnale ISI cu factor de impact.

6. Organizarea tezei

Teza include două studii majore, prima parte, capitolele 2, 3, 4 și 5 fiind legate de câmpul magnetic generat de bobinele cuplate inductiv-rezonant și capitolul 6 legat de câmpul electric generat de o singură bobină rezonantă. Prin utilizarea simulărilor cu metoda elementului finit s-a studiat atent distribuția câmpului magnetic și electric în jurul bobinei și influența frecvenței de rezonanță asupra acestei distribuții. Dacă în cazul câmpului magnetic accentul s-a pus pe transferul de putere între două sau mai multe bobine, în cazul studiului câmpului electric, accentul a fost pus pe creșterea intensității câmpului pentru obținerea plasmei în aer liber.

Capitolul 2 include un scurt istoric al sistemelor de transfer a puterii fără a utiliza fire conductoare. Se observă că astfel de sisteme nu reprezintă o noutate la nivel de concept, diferite dispozitive experimentale fiind dezvoltate începând cu anii 1900 și bucurându-se de un anumit succes. Din cauza limitărilor tehnologice din acea vreme însă, utilizarea unor astfel de sisteme la scară industrială a fost limitată. Pe măsură ce materialele utilizate în electronică s-au îmbunătățit, ideea de transfer a puterii fără a utiliza fire a revenit de actualitate și, în zilele noastre, se bucură de o atenție sporită.

Capitolul prezintă și o clasificare a celor mai cunoscute metode de transfer a puterii fără fir precum și avantajele și limitările fiecărei metode. Accentul fiind pus pe transferul inductiv rezonant, se prezintă modul prin care se poate stabili performanța unui astfel de sistem, unul din parametri fiind randamentul, iar celălalt fiind raportul de transfer. După cum se va putea observa un sistem cu randament mare implică o rată mică a raportului de transfer, iar un sistem cu rată de transfer mare va avea un randament scăzut.

Capitolul continuă cu prezentarea topologiilor de bază pentru transferul inductiv rezonant precum și avantajele și dezavantajele fiecărei topologii. Structura bloc a unui sistem rezonant este de asemenea prezentată.

Capitolul 3 pornește cu o analiză matematică a unui sistem rezonant pentru o mai bună înțelegere a unui astfel de sistem și include pierderile care apar în astfel de sisteme. Dacă prima parte a analizei este făcută pe un sistem rezonant oarecare, etapa următoare face o analiză pe un circuit electric rezonant utilizat în transferul de putere. Din calcule rezultă că un rol important în transferul de putere îl joacă inductanța mutuală a bobinelor cuplate inductiv. Valoarea inductanței mutuale depinde de distanța fizică între bobine precum și de unghiul dintre bobine.

Pentru a limita efectul pe care îl are distanța între bobine asupra inductanței mutuale există varianta de a include circuite rezonante între circuitul emițător și circuitul receptor, o analiză mai detaliată fiind făcută în capitolele următoare. În cazul unghiului dintre bobine, metoda preferată este de a direcționa într-o oarecare măsură câmpul magnetic generat de bobina emițătoare pentru a se închide prin bobina receptoare. Primul sistem utilizează un pat de ferită cu trei înfășurări primare și în funcție de înfășurările care sunt activate se poate direcționa câmpul magnetic astfel încât intensitatea maximă să corespundă cu poziția bobinei receptoare pe patul de ferită. Totuși pentru ca transferul să existe este necesar ca bobina receptoare să se afle orizontal pe patul de ferită.

Se încearcă rezolvarea acestei probleme prin construirea unui sistem de trei înfășurări primare poziționate perpendicular una pe cealaltă, ideea fiind de a direcționa câmpul electric spre bobina receptoare indiferent de unghiul pe care aceasta îl face cu cele 3 bobine din primar. Aici intervine simularea cu metoda elementului finit care ne permite să evaluăm atât rata de transfer a puterii din primar spre secundar cât și să vizualizăm liniile de câmp magnetic generate de bobinele emițătoare și modul în care se închid prin bobina receptoare. Din simulare se poate observa că este posibil transfer de putere între bobine indiferent de unghiul dintre bobina receptoare și bobinele emițătoare.

Capitolul 4 este rezervat investigării inductanței mutuale și a factorului de cuplaj între două sau mai multe bobine precum și efectul pe care îl are factorul de cuplaj asupra transferului de putere. Se pornește de la calcularea cât mai exactă a factorului de cuplaj între două bobine poziționate aleator, iar rezultatul este folosit ca referință pentru rezultatele obținute din simularea cu metoda elementului finit. În cazul simulărilor au fost abordate două metode de modelare a bobinelor, prima considerând bobina ca un filament subțire prin care trece tot curentul din bobină, iar a doua metodă consideră bobina ca un mănunchi de spire strâns legate între ele. Se constată că pentru o abordare teoretică modelarea bobinelor ca filament este preferată, însă pentru o abordare practică se preferă modelarea bobinelor ca mănunchi de spire. Având erori mici între modelul simulat și rezultatele calculate, putem considera modelul de simulare ca apropiindu-se destul de mult de cazul real, și se poate trece la simularea unor bobine de formă pătrată. Simularea se poate extinde pentru bobine cu diferite forme geometrice și determinarea factorului de cuplaj în situații în care calculul matematic pentru astfel de bobine poate să fie complicat.

Odată cu evaluarea factorului de cuplaj se poate simula și evalua puterea transferată între bobine precum și influența distanței dintre bobine asupra factorului de cuplaj. Mergând mai departe, se încearcă creșterea distanței de transfer a puterii prin intercalarea unor circuite rezonante LC între bobina emițătoare și bobina receptoare. Pentru studiu se consideră un sistem cu două circuite rezonante aflate între bobina receptoare și bobina emițătoare. Cu ajutorul simulărilor cu metoda elementului finit se poate evalua performanța sistemului. Se analizează factorul de cuplaj între toate bobinele sistemului și se ajustează acești factori astfel încât transferul de putere să fie optim. Se face o simulare în condiții identice pentru un sistem de transfer a puterii utilizând doar două bobine și prin compararea rezultatelor se observă o îmbunătățire a transferului pentru sistemul cu patru circuite în condițiile în care se respectă ca raportul factorilor de cuplaj să aibă valoarea unu. Ideea includerii circuitelor rezonante în sistem pentru creșterea puterii transferate prezintă și dezavantaje, unul din ele fiind pierderile de putere pe fiecare circuit rezonant adăugat.

Capitolul 5 prezintă o analiză detaliată a unui sistem de transfer a puterii cu două bobine rezonante. Ca model practic utilizat pentru compararea rezultatelor obținute prin simulare cu măsurători experimentale s-a folosit placa de dezvoltare BQTesla. Pentru simularea cu metoda elementului finit accentul s-a pus pe modelarea cât mai exactă a celor două bobine utilizate în transferul de putere. Atât dimensiunile bobinelor cât și poziția lor și materialele folosite au fost modelate pentru a avea rezultate cât mai concludente. Pe măsură ce sunt adăugate elemente în simularea cu metoda elementului finit, crește gradul de complexitate al simulării și timpii de calcul devin tot mai lungi. Soluția de compromis este de a analiza cuplajul între bobine și a determina factorul de cuplaj, iar aceste rezultate se pot folosi în medii de simulare specifice circuitelor electronice precum LTSpice pentru o evaluare rapidă a sistemului.

Comparând rezultatele obținute prin simularea cu metoda elementului finit și rezultatele obținute în LTSpice cu măsurătorile făcute pe sistemul real, se observă că simulările se apropie destul de mult de realitate. Astfel se poate folosi simularea cu metoda elementului finit pentru o evaluare rapidă a unit sistem de transfer a puterii cu rezultate apropiate de realitate.

Capitolul 6 are ca scop studiul câmpului electric generat de o singură bobină rezonantă pentru generarea plamei în aer liber la puteri relativ mici. Dispozitivul este proiectat astfel încât să fie portabil, cu un consum de putere cât mai mic, pentru utilizarea în măsurători spectrale pe teren. Bobina utilizată în generarea plamei este de tip helicoidal și se poate aproxima în funcționare cu un ghid de undă. Dacă lungimea bobinei este egală cu $\lambda/4$ a

frecvenței de rezonanță, este posibilă generarea unui câmp electric de intensitate suficient de mare pentru a ioniza gazul și a produce plasmă. Dacă la începutul capitolului se prezintă succint utilizarea plasmei și moduri prin care se poate obține, în partea a doua se prezintă analiza matematică pentru proiectarea unei bobine pentru generarea plasmei precum și modelarea unei astfel de bobine în vederea simulării cu metoda elementului finit.

Utilizând simularea cu metoda elementului finit se pot evalua mai multe bobine cu diferite dimensiuni și frecvențe de rezonanță, în final rămânând o singură bobină pentru testare și măsurători. Valorile obținute prin simulare sunt comparate cu rezultatele măsurătorilor. Având modelul de simulare apropiat de rezultatul experimental, se pot evalua și simula alți parametri care sunt mai dificil de măsurat experimental, ca de exemplu tensiunea din vârful bobinei la obținerea plasmei.

Tot aici este evaluat circuitul de adaptare de impedanță adăugat între generator și bobina helicoidală. Utilizând date obținute prin simularea cu metoda elementului finit și realizând un circuit echivalent simplificat pentru generarea plasmei se poate evalua rapid funcționarea circuitului precum și posibilitatea testării unor modificări pentru îmbunătățirea generatorului de plasmă.

Capitolul 7 prezintă concluziile studiilor facute la fiecare capitol în parte și rezumă contribuțiile personale aduse. Fiind un domeniu vast de studiu, în final sunt enumerate câteva direcții de cercetare care pot fi urmate în vederea extinderii orizontului științific.

7. Contribuții personale

1. **Modelarea și simularea cu metoda elementului finit a unui sistem de transfer a puterii fără fir compus din trei bobine emițătoare aflate în plane perpendiculare și o bobină receptoare aflată în imediata vecinătate a sistemului.** Structura permite direcționarea câmpului magnetic spre bobina receptoare pentru a maximiza transferul de putere. Mediul de simulare permite și vizualizarea liniilor de câmp magnetic și închiderea lor prin bobina receptoare astfel că sistemul de transfer poate fi optimizat. Se constată că acest sistem permite un transfer de putere spre secundar indiferent de unghiul pe care îl face bobina receptoare cu planele bobinelor emițătoare.
2. **Modelarea bobinelor prin metoda curentului de filament și metoda mănunchiului de spire și utilizarea simulării cu metoda elementului finit pentru determinarea inductanței mutuale și a factorului de cuplaj dintre două bobine.** Rezultatele simulărilor au fost comparate cu rezultate obținute analitic și o comparație a fost făcută între cele două moduri de modelare a bobinelor. Se constată că metoda curentului de filament este o abordare mai teoretică care nu ține cont de dimensiunile geometrice ale bobinei, iar metoda mănunchiului de spire este o abordare mai practică luând în calcul și câmpul magnetic care se închide printre spirele bobinei.
3. **Simularea cu metoda elementului finit a unui sistem de transfer a puterii fără fir prin cuplaj rezonant compus din patru bobine.** Simularea demonstrează că prin utilizarea unor circuite rezonante intermediare se poate realiza transfer de putere la distanță mai mare decât în cazul unui sistem simplu cu două bobine rezonante, atâta timp cât raportul dintre factorii de cuplaj a bobinelor adiacente rămâne apropiat de valoarea unu. Simularea evidențiază și modul în care liniile de câmp sunt direcționate cu ajutorul circuitelor rezonante intermediare de la bobina generatoare la bobina receptoare.
4. **Modelarea și simularea cu metoda elementului finit a sistemului de transfer rezonant de putere BQTesla.** Simularea ia în calcul atât dimensiunile bobinelor utilizate în transfer cât și materialele utilizare și poziția relativă a celor două bobine. Din informațiile obținute din simularea cu element finit a fost posibilă modelarea

sistemului în LTSpice. Rezultatele simulărilor au fost comparate cu măsurători făcute pe sistemul real.

5. **Modelarea și construcția unei bobine helicoidale pentru obținerea plasmei în aer liber.** Pentru obținerea plasmei, bobina helicoidală trebuie să se comporte ca un ghid de undă cu lungime $\lambda/4$ astfel că intensitatea câmpului electric în vârful bobinei să fie foarte mare. Simularea cu element finit a permis evaluarea rapidă și ajustarea dimensiunii bobinei pentru un randament cât mai bun precum și vizualizarea distribuției câmpului electric în jurul bobinei pentru a ne asigura că intensitatea câmpului este maximă în vârful bobinei. Pe baza rezultatelor simulării s-a construit o bobină și s-a reușit generarea plasmei. A fost construit și un model de simulare simplificat al circuitului generator de plasmă pentru a se evalua rețeaua de adaptare de impedanță aflată între generator și bobina helicoidală.

Lista de publicații

Articol în revistă indexată ISI cu factor de impact 1.114

E1. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Study and Implementation of an Atmospheric Pressure Plasma Generator Based on Helical Coil”, *Revue roumaine des sciences techniques Série Électrotechnique et Énergétique*, Vol. 64, Nr. 2, Pp. 9 – 15, 2019

Articole indexate ISI Proceedings, IEEE Xplore Digital Library

E2. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Wireless energy transfer using resonant induction”, *Proceedings of the 2014 37th International Spring Seminar on Electronics Technology*, Dresden, Germania, Mai 2014, DOI: 10.1109/ISSE.2014.6887598

E3. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Simulation of an inductive coupled power transfer system”, *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florența, Italia, Dec. 2016, DOI: 10.1109/IECON.2016.7793628

E4. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Simulation of a Resonant Inductive Wireless Charger”, *2017 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Sofia, Bulgaria, Mai 2017, DOI: 10.1109/ISSE.2017.8000947

E5. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Simulation of a Four Resonant Coil Power Transfer System”, *2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, Brasov, Romania, Iulie 2017, DOI: 10.1109/OPTIM.2017.7974970

E6. Radu Etz, Dorin Petreus, Toma Patarau, Cristian Orian, **Dan-Sebastian Filip**, „Life cycle test bench for LiFePO₄ batteries”, *2017 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Sofia, Bulgaria, Mai 2017, DOI: 10.1109/ISSE.2017.8000934

Alte articole

E7. **Dan-Sebastian Filip**, Dorin Petreus, „Medium Power Buck-Boost Converter for Solar Application”, *36th International Spring Seminar on Electronics Technology*, Alba Iulia, Romania, Mai 2013