

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA „VALAHIA” DIN TÂRGOVIȘTE
IOSUD - ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
Domeniul: Inginerie Electrică**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:
Prof. univ. dr. ing. Nicolae VASILE**

**DOCTORAND:
drd. ing. Nicolae FIDEL**

**TÂRGOVIȘTE
2020**

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA „VALAHIA” DIN TÂRGOVIȘTE
IOSUD - ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
Domeniul: Inginerie Electrică**

TEHNOLOGII AVANSATE DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:
Prof. univ. dr. ing. Nicolae VASILE**

**DOCTORAND:
drd. ing. Nicolae FIDEL**

**TÂRGOVIȘTE
2020**

CUPRINS

	SINTEZA STRUCTURII TEZEI DE DOCTORAT.....	pag. 1
CAP. 1	ANALIZĂ A STADIULUI ACTUAL ȘI A SOLUȚIILOR DISPONIBILE ÎN DOMENIUL TRANSFERULUI DE ENERGIE WIRELESS.....	pag. 4
	1.1. SCURT ISTORIC.....	pag. 7
	1.2. CLASIFICAREA TEHNICILOR DE TRANSFER AL ENERGIEI WIRELESS.....	pag. 9
	1.2.1. Clasificarea tehnicilor de transfer ale energiei wireless în câmp îndepărtat.....	pag. 9
	1.2.2. Clasificarea tehnicilor de transfer ale energiei wireless în câmp apropiat.....	pag. 9
	1.3. PARAMETRII DE BAZĂ ÎN TRANSFERUL ENERGIEI WIRELESS.....	pag. 11
	1.3.1. Frecvența.....	pag. 11
	1.3.2. Transferul energiei.....	pag. 11
	1.3.3. Eficiența transferului wireless de energie.....	pag. 11
	1.3.4. Distanța transferului.....	pag. 12
	1.4. TRANSFERUL WIRELESS AL ENERGIEI ÎN LITERATURA DE SPECIALITATE	pag. 12
	1.4.1. Cuplarea inductivă.....	pag. 12
	1.4.2. Cuplarea prin rezonanță magnetică.....	pag. 13
	1.4.3. Cuplarea capacitivă.....	pag. 13
	1.5. APLICAȚIILE TEW	pag. 14
	1.5.1. Transferul de energie wireless pentru automobilul electric	pag. 14
	1.5.2. Rețele de senzori wireless	pag. 14
CAP. 2	ANALIZĂ TEORETICĂ ȘI CONSTRUCTIVĂ A SISTEMELOR DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS	pag. 15
	2.1. MODELAREA TEW CU RAZĂ MEDIE DE ACȚIUNE PE BAZA CUPLĂRII PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ	pag. 15
	2.1.1. Teoria modului cuplat (TMC)	pag. 15
	2.1.2. Teoria circuitului (TC)	pag. 15
	2.1.3. Analiză comparativă între teoria modului cuplat și teoria circuitelor	pag. 15
	2.1.4. Arhitectura sistemului	pag. 16
	2.2. COMPONENTE UTILIZATE ÎN TRANSFERUL DE ENERGIE WIRELESS	pag. 16
	2.2.1. Reglatoarele zero voltage switching (ZVS)	pag. 16
	2.2.1.1. Pierderile în comutarea fără ZVS.....	pag. 16
	2.2.1.2. Comutarea ZVS	pag. 17
	2.2.1.3. Modul de funcționare al ZVS	pag. 17
	2.2.1.4. Utilizarea ZVS în TEW	pag. 17
	2.2.2. Bobinele emițătoare și receptoare	pag. 18

2.2.2.1. Optimizarea mediului adiacent bobinelor utilizate în TEW	pag. 18
2.2.3. Bobinele de filtrare	pag. 19
2.2.4. Condensatori	pag. 19
2.2.4.1. Condensatori de intrare și de ieșire	pag. 19
2.2.5. Tranzistori MOSFET	pag. 19
2.2.6. Diode și rezistențe pull-up	pag. 19
2.3. INTEGRAREA COMPONENTELOR ELECTRONICE ÎN SISTEMUL TEW	pag. 20
2.3.1. Schema circuitului electronic	pag. 20
2.3.2. Modul de operare	pag. 20
2.3.3. Aspecte negative legate de convertorul rezonant	pag. 21
2.3.3.1. Alimentarea cu energie a transmițătorului în momentul comutării	pag. 21
2.3.3.2. Impedanța reflectată din partea receptorului către transmițător	pag. 21
2.4. COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ – PROPRIETĂȚI ALE TRANSFERULUI DE ENERGIE WIRELESS	pag. 21
2.5. EXEMPLE DE APLICAȚII TEW.....	pag. 22
2.5.1. Circuit simplu pentru receptor TEW	pag. 22
2.5.2. Convertor rezonant standard (transmițător și receptor până la aproximativ 10 w)	pag. 22
CAP. 3 ANALIZĂ COMPARATIVĂ A SISTEMELOR TEW UTILIZATE PENTRU ALIMENTAREA DISPOZITIVELOR ELECTRICE DE PUTERE MICĂ ȘI MEDIE.....	pag. 24
3.1. SISTEMUL TEW LKCH-TXRX40W-EVB.....	pag. 24
3.1.1. Descrierea modului de transmitere TEW (TSDMTX- 24V3-EVM).....	pag. 25
3.1.2. Descrierea modului de receptare TEW (TSDMRX- 19V/40W-EVM)	pag. 26
3.2. MODUL DE FUNCȚIONARE ȘI TESTAREA SISTEMULUI TEW LKCH-TXRX40W-EVB.....	pag. 27
3.2.3. Testarea sistemului TEW	pag. 27
3.2.5. Analiză termică a modulelor electronice	pag. 29
3.2.6. Testarea modului receptor TSDMRX-19V/40W-EVM utilizat pentru încărcarea acumulatorilor	pag. 30
3.3. SISTEMUL TEW 760308EMP.....	pag. 31
3.3.1. Descrierea TEW 760308EMP.....	pag. 31
3.3.2. Specificații tehnice.....	pag. 32
3.3.3. Schema bloc funcțională.....	pag. 32
3.3.4. Descrierea componentelor sistemului TEW 760308EMP...	pag. 33
3.3.4.1. Modulul TX TEW 760308EMP.....	pag. 34
3.3.4.2. Modulul RX TEW 760308EMP.....	pag. 35
3.4. MODUL DE FUNCȚIONARE ȘI TESTAREA SISTEMULUI TEW 760308EMP.....	pag. 36
3.5. ANALIZA COMPARATIVĂ A SISTEMELOR TEW TESTATE.	pag. 39
CAP. 4 DEZVOLTAREA SISTEMULUI DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS PENTRU ALIMENTAREA APARATELOR ELECTRICE ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR.....	pag. 40

4.1. Descrierea generală și implementarea sistemelor BEF (Brick Energy Free) / PEF (Pillar Energy Free) pentru transmiterea energiei wireless	pag. 41
4.2. Descrierea și analiza componentelor sistemului TEW	pag. 42
4.3. Conceperea și realizarea sistemului TEW.....	pag. 43
4.3.1. Obiectivul propus.....	pag. 43
4.3.2. Schema bloc a sistemului TEW.....	pag. 43
4.3.3. Etapele construirii sistemului TEW.....	pag. 43
4.3.4. Realizarea algoritmului de funcționare a dispozitivului ce integrează receptorul TEW	pag. 44
4.3.5. Descrierea funcționării sistemului TEW.....	pag. 45
CAP. 5 CONCLUZII	pag. 47
5.1. Contribuții originale	pag. 47
5.2. Direcții de cercetare și dezvoltare ulterioară	pag. 48
PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE	pag. 49
BIBLIOGRAFIE	pag. 52

LISTĂ DE ABREVIERI

AC = curent alternativ
BST = conexiune „Bootstrap”
CC = curent continuu
CDM = Modelul Dispozitivului Încărcat
CEM = compatibilitate electromagnetică
EM = energie electromagnetică
EMI = interferență electromagnetică
ESD = sensibilitatea dispozitivelor electronice la descărcări electrostatice
EV = vehicule electrice
FET = tranzistor cu efect de câmp
FOD = detectarea obiectelor străine
GPS = global positioning system
HBM = Modelul Corpului Uman
IoT = „Internet of things” (internetul obiectelor)
LDO = „low drop out”
MIMO = Intrări multiple/Ieșiri multiple
MISO = Intrări multiple/Ieșire unică
MOSFET = tranzistor cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor
OUT = ieșire
PCB = printed circuit board
PDA = personal digital assistant
PWM = modularea lățimii impulsurilor
RF = radio-frecvență
RPCM = rezonatoare puternic cuplate magnetic
RSE = rezistența serie echivalentă
RWS = rețea wireless de senzori
SIMO = Intrare unică/Ieșiri multiple
SMD = surface-mount technology
TC = teoria circuitului
TEW = transmiterea energiei wireless
THT = through hole technology
TMC = teoria modului de cuplare
TPI = transfer de putere inductiv
UAV = vehiculele aeriene fără pilot
UVLO = oprirea alimentării la subțensiune
ZCS = Regulator de tensiune cu comutație la curent zero
ZVS = Regulator de tensiune cu comutație la tensiune zero

SINTEZA STRUCTURII TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat „**TEHNOLOGII AVANSATE DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS**” este structurată în cinci capitole distincte.

Încă de la început, „**ÎNCADRAREA EPISTEMOLOGICĂ A LUCRĂRII DE DOCTORAT**” prezintă aspecte ale transferului de energie fără conductori ce vine ca o soluție tehnică de actualitate pentru domeniile fundamentale influențate de conjunctura internațională de piață. Descrierea cercetărilor realizate anterior ca preambul al obiectivelor propuse în cercetarea doctorală realizate conform metodelor științifice caracteristice este completată de încadrarea transferului de energie wireless din punct de vedere al direcțiilor prioritare de piață ale ingineriei electrice.

În **CAPITOLUL 1** pornind de la conceptualizarea transferului de energie wireless prin prisma Teoriei Constructale, Teoriei Sistemelor și Autonomiei Sistemelor, se prezintă evoluția Transferului de Energie Wireless (TEW) din punct de vedere istoric cu argumentare pentru domeniile aplicabile acestuia. Astfel, se realizează un tablou general al dezvoltării tehnicilor de transfer al energiei fără conductori pornind de la fuzionarea legilor circuitului magnetic și inducției electromagnetice până la rezonatoarele puternic cuplate magnetic, soluție adoptată în anul 2007 și care a reprezentat momentul de cotitură în dezvoltarea actuală în acest domeniu. În continuare este realizată o clasificare a tehnicilor de transfer al energiei fără conductori de scurtă și lungă distanță urmată de prezentarea parametrilor de bază în Transferul Energiei Wireless și anume: Frecvența, Tipul transferului, Eficiența transferului, Distanța transferului. Pentru fiecare parametru prezentat există o complexă argumentare bibliografică. Un punct forte al primului capitol este reprezentat de cercetarea întreprinsă în vederea sintetizării materialelor din literatura de specialitate pe cele trei tipuri de transfer wireless. Ca și finalitate pentru primul capitol, sunt indicate ca și aplicații ale transferului energiei fără conductori, vehiculele electrice, rețelele de senzori wireless, dispozitivele electronice și diverse aparate electrice dintre care și cele autonome.

CAPITOLUL 2 este structurat pe Analiza teoretică și constructivă a sistemelor de transmitere a energiei wireless prin modelarea din punct de vedere a Teoriei Modulului Cuplat (TMC) și a Teoriei Circuitelor (TC) pentru un transfer cu rază medie de acțiune, Componentele utilizate în TEW și integrarea acestora în sistem, Compatibilitate electromagnetică și Exemple de aplicații. În primele secțiuni se realizează o analiză comparativă a celor două teorii cu demonstrarea faptului că TMC și TC se utilizează în mod similar pentru analizarea caracteristicilor puterii de transfer în starea non-rezonantă dar concluzionând că Teoria Modulului Cuplat este aplicabilă numai bobinelor cu factor înalt de calitate și coeficient de cuplare pentru distanțe mari, dar simplifică analiza prin reducerea numărului ecuațiilor diferențiale la jumătate comparativ cu Teoria Circuitului. Analiza componentelor utilizate este completată de prezentarea detaliată a caracteristicilor tehnice ale acestora prin ecuații, grafice și Anexe de produs. Toate acestea sunt utilizate pentru înțelegerea modului de Integrare a componentelor în cadrul sistemelor TEW, secțiune detaliată prin Schema circuitului electric, Modul de operare și Compatibilitate electromagnetică. Exemplele de aplicații TEW prezentate în ultima parte a Capitolului 2 sunt modele funcționale cu diverse caracteristici studiate pentru alegerea celei

mai bune variante de utilizat în cadrul proiectului practic conform obiectivelor enunțate încă din prima parte a Tezei de doctorat.

CAPITOLUL 3 reprezintă îmbinarea teoriei cu practica prin Analiză comparativă a sistemelor TEW utilizate pentru alimentarea dispozitivelor electrice de putere mică și medie. Cercetarea întreprinsă se bazează pe testarea comparativă a sistemelor TEW, LKCH-TXRX40W-EVB produs de Semtech Corporation și kitul de dezvoltare de 200w, 760308EMP, produs de Infineon și Würth Elektronik, în vederea identificării modului și a parametrilor de funcționare. Finalitatea cercetării este reprezentată de selectarea soluției optime de utilizat în cadrul cercetării/proiectului propus. Scopul testării produselor îl reprezintă compararea și interpretarea rezultatelor experimentale cu cele teoretice pe baza calculelor, realizarea unui concept grafic și schematic al sistemului de transfer al energiei wireless, realizarea de măsurători și achiziții de date pentru transferul energiei wireless pentru diverse tipuri de consumatori precum și interpretarea rezultatelor experimentale și cele teoretice. Astfel, în cadrul capitolului, sunt descrise componentele ambelor sisteme prin descrierea funcționalității pentru fiecare modul al sistemului (Emitător/Receptor). După descrierea componentelor și a funcționalității acestora, sunt prezentate modul de funcționare și testarea ambelor sisteme alese. În testarea celor două sisteme TEW sunt analizate și descrise Analiza semnalelor, Distanța transferului, Eficiența transferului și Analiza termică a modulelor. Conform testării produselor este realizată o analiză comparativă a celor două sisteme.

Ca urmare a cercetării întreprinse și prezentate în capitolele anterioare, în **CAPITOLUL 4** este prezentată Dezvoltarea sistemului pentru Transmiterea Energiei Wireless (TEW) care poate fi implementat în clădiri rezidențiale și în spații conexe, precum și în construcții industriale, administrative sau din domeniul sănătății și educației, în funcție de necesarul de energie, în locuri în care se dorește alimentarea fără conductori pentru flexibilizarea sistemului. Se prezintă originalitatea reprezentată de lucrarea practică prin realizarea a două sisteme inovative de transmitere a energiei wireless. Primul sistem este BEF și reprezintă acronimul de la expresia „Brick Energy Free” și poate fi descris ca sursă de energie integrată în zidăria clădirilor astfel încât să ofere energie acolo unde s-a identificat din faza de proiectare că este necesară fără a se utiliza conductori către consumatori sub forma unui bloc monolitic de dimensiuni standard în domeniul construcțiilor, alimentat la rețeaua electrică a clădirii și care să poate transfera energie simultan, atât în exterior cât și în interior către diverse dispozitive electrice. Al doilea sistem, PEF reprezintă acronimul de la expresia „Pillar Energy Free” și poate fi descris ca fiind o sursă de energie disponibilă în jurul clădirilor, pe suprafața de teren unde se identifică necesitatea unei surse de energie și unde nu se poate utiliza BEF. PEF este un stâlp cilindric sau paralelipipedic retractabil la nivelul solului sau fix, care este alimentat subteran cu energie electrică și care, prin implementarea sistemului TEW, poate transmite energie wireless către dispozitive sau mașini electrice. În continuare sunt descrise cele două sisteme iar pentru exemplificare este prezentată lucrarea practică ce are la bază un robot înzestrat cu o placă de dezvoltare Arduino precum și kitul de dezvoltare descris anterior TEW 760308EMP. În lucrarea practică sunt descrise Etapele construcției sistemului TEW, Funcționarea sistemului TEW precum și Măsurătorile parametrilor de funcționare ale sistemului în funcție de scenariile alese.

În **CAPITOLUL 5** sunt prezentate Concluziile tezei de doctorat sub forma Contribuțiilor originale și a Direcțiilor viitoare de cercetare și dezvoltare.

Contribuția originală este reprezentată de:

- analiza și sinteza tehnologiilor de fabricare a elementelor din componența sistemelor de transmitere a energiei wireless;
- realizarea practică a unui sistem care îmbină robotica cu transmiterea energiei wireless și cu electronica prin conceperea și dezvoltarea circuitelor electronice necesare compatibilității sistemelor;
- realizarea algoritmului de funcționare a dispozitivului (robot) ce integrează receptorul TEW;
- soluțiile de integrare a sistemului TEW la nivelul construcțiilor prin sistemele BEF (Brick Energy Free) și PEF (Pillar Energy Free);
- integrarea unui sistem TEW pentru exemplificarea încărcării acumulatorilor la nivelul vehiculelor electrice.

CAPITOLUL I

ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ȘI A SOLUȚIILOR DISPONIBILE ÎN DOMENIUL TRANSFERULUI DE ENERGIE WIRELESS

Dezvoltarea umană reprezintă un lanț evolutiv într-o continuă înșiruire de acoperire a necesităților. Din punct de vedere sistemic fiecare nouă treaptă a evoluției își sprijină greutatea pe experiențele anterioare înglobând la nivel universal toate răspunsurile la încercările constante ale oamenilor de a se integra în designul fluid al universului înconjurător.

Fiecare conștiință umană se află înlănțuită prin existență de acțiunile precursorilor precum și, la nivel intuitiv, de vizualizarea proiectării perpetue a sistemului universal în funcție de curgerea timpului.

Astfel, fiecare acțiune se încadrează în paradigma constructivismului bazat pe curgerea cât mai fluidă a tot ceea ce din punct de vedere fizic interacționează ca urmare a cauzalității temporale. Mergând la un nivel superior, putem spune că, din punct de vedere al **teoriei constructale**, curgerea informației de la nivelul inspirației sau al revelației acceptate și până la concretizarea în acțiunile umane, se dovedește a fi un proces caracterizat de o evidentă proiectare evolutivă. Niciun salt nu a depășit limitele canalelor de curgere într-un sens al dezvoltării dincolo de înțelegerea umană iar barajele demonstrate istoric au condus către o expansiune de idei și soluții care au urmat întotdeauna aceeași direcție de proiectare dar la un nivel de penetrare redus fără reunirea factorilor divizați.

Teoria constructală demonstrează, pentru fiecare domeniu în care se aplică, existența unei forțe de propulsie supusă în permanență **forței sistemice** care urmărește menținerea funcționalității integrității sistemului. Fiecare sistem în parte își regăsește astfel puterea de dezvoltare prin forța prin care se poate impune în sistemul global în sensul dezvoltării acestuia.

La nivel global se pot identifica canalele de curgere în funcție de conturarea subsistemelor și astfel se pot materializa metode și mijloace de îmbunătățire ale sistemului universal. În acest sens, realizarea unor izvoare noi de împânzire a sistemului energetic sau informațional se poate identifica prin autonomia sistemelor.

Autonomia sistemelor reprezintă o multiplicare la scară redusă a sistemului universal astfel încât acesta să devină tot mai viguros și deschis către o dezvoltare accelerată.

Teoriile care ne conduc spre conceptualizarea unui sistem progresiv, în care dezvoltarea să se realizeze prin eliminarea erorilor de proiectare astfel încât mijloacele să fie judicios utilizate și pe care mi-am bazat cercetarea prezentată în această lucrare înglobează principiile **Teoriei Constructale**, **Teoriei Sistemelor** și **Autonomia sistemelor**.

Curgerea informației din punct de vedere al realizărilor în domeniul energetic pare a se potrivi din ce în ce mai mult cu Teoria Constructală emisă de Adrian Bejan în anul 1996 și care se referă la un fenomen din natură: generarea configurațiilor de curgere. Astfel, „Pentru ca un sistem de curgere de dimensiuni finite să persiste în timp (să trăiască) el trebuie să evolueze astfel încât să ofere acces din ce în ce mai mare curenților care îl străbat”[1].

Atât prin organisme vii, cât și prin structurile fizice neînsufletește circulă felurite fluide: apă, aer, sevă, sânge, fluxuri electrice și calorice. În tranzitul lor, fluidele au tendința de a curge mai ușor, pe căi de mai mare acces. Dar „cel mai bine adaptat“ are, din perspectiva legii constructale, un sens fizic clar: este acel design animal în interiorul și exteriorul căruia curenții

curg cel mai ușor, iar curgerea locomoției animale este cea mai eficientă, asigurând funcționarea motorului viu cu un consum mai mic de energie, deci de hrană. [2]

Prin extrapolare se poate compara locuința umană cu un organism viu, în care, pentru o armonizare cu necesitățile umane și în acord cu Teoria Constructală și Autonomia Sistemelor, să se realizeze un transfer energetic tot mai liber și eficient.

Astfel, de la utilizarea surselor de energie regenerabilă pentru care se consumă mai puține resurse și, implicit, poluează mai puțin, până la distribuția sau utilizarea directă la utilizatorul final prin metode fluide, de curgere liberă, noile metode tehnologice vin să eficientizeze întregul proces prin economie reală de energie.

Preocupările din ce în ce mai mari pentru siguranța și confortul alimentării cu energie electrică au creat o conjunctură pozitivă pentru cercetarea și dezvoltarea tehnicilor de transfer ale energiei wireless (TEW) utilizate de dispozitivele industriale, electronicele de consum și vehiculele electrice (EV). Conductorii tradiționali folosiți în transferul energiei au trecut în plan secundar datorită emulației permanente și accentuate în studiul transferului de energie wireless din ultimii 10 ani ce propune înlocuirea acestora pentru anumite aplicații datorită avantajului imens al **mobilității**, precum și al **siguranței** în utilizare pe care îl oferă TEW. De asemenea, înlocuirea cablurilor de alimentare cu acumulatori nu reprezintă o soluție optimă prin prisma duratei scurte de viață a acestora precum și asupra amprentei ecologice de implementare hardware ce se reflectă și în costuri operaționale ridicate.

Progresele recente au permis ca energia undelor electromagnetice să fie transferată wireless de la sursele de alimentare (transmițătoare) către consumatori (receptoare), prin tehnica denumită Transferul Energiei Wireless (TEW). Totuși, așa cum voi descrie pe parcursul cercetării întreprinse, se vor studia două modalități de utilizare a transmițerii energiei fără conductorii printr-un sistem combinat ce prevede în primul caz **stocarea** energiei în vederea utilizării la aparatele electrice care necesită mobilitate/portabilitate și **fără stocarea** energiei pentru aparatele ce nu implică aspecte de mobilitate în al doilea caz.

Fiind una dintre cele mai proeminente tehnologii, TEW schimbă folosirea convențională a energiei în viața de zi cu zi a ființei umane. Noile evoluții din tehnica TEW motivează noi căi de cercetare în diferite aplicații pentru care prezintă un mare potențial, cum ar fi dispozitivele electronice portabile [3], instrumentele medicale, implanturile medicale [4], electronicele inaccesibile [5], încălzirea [6], vehiculele electrice (EV), încărcarea staționară [7], mișcarea și încărcarea dinamică [8], antrenarea motoarelor în roți [9], rețeaua senzorilor fără fir (RSWs), vehiculele aeriene fără pilot (UAV), iluminat, alimentarea cu energie a sistemelor de securitate sau a sistemelor multimedia [2], încărcarea de la distanță a roboților ce lucrează în medii periculoase pentru oameni [10] sau a diverselor dispozitive electrice utilizate în mediul casnic. Transferul wireless de energie (TEW) s-a bucurat de un interes considerabil și în multe aplicații industriale sau zone interdisciplinare [11, 12, 13].

Prin cercetarea întreprinsă voi evidenția studii actualizate specifice domeniului TEW, care includ clasificarea, comparația și aplicațiile potențiale ale TEW în viața de zi cu zi.

Utilizarea transferului de energie wireless, intens studiat în ultimii zece ani a reprezentat un moment de cotitură în interpretarea modernă a modului de proiectare a sistemelor electrice în diversele domenii de utilizare. Avantajul major pe care acest sistem îl aduce prin utilizarea în siguranță în orice mediu precum și prin ușurința cu care se realizează transferul de energie vine să suplinească randamentul mai scăzut față de utilizarea cablurilor electrice.

În **domeniul transporturilor** principalul avantajul este reprezentat de faptul că un vehicul poate fi încărcat prin simpla poziționare a receptorului integrat în componența acestuia în dreptul emițătorului. În acest mod, procesul se va desfășura fără a mai fi necesară utilizarea conductorilor, a cuplelor și implicit a acțiunii umane care să realizeze efectiv contactul galvanic. Concomitent, în interiorul vehiculului, confortul va fi asigurat de alimentarea wireless (în anumite zone) a echipamentelor electronice astfel încât conducătorul auto să nu mai fie nevoit să execute operațiuni de racordare cu fire. Evident, siguranța rutieră va crește prin eliminarea potențialelor accidente ce s-ar putea produce din cauza neatenției.

În **domeniul sănătății** au fost dezvoltate soluții tehnologice de alimentare a diverselor dispozitive electronice necesare pentru investigații în interiorul corpului uman și care pot fi alimentate prin expunerea la un câmp de emisie de energie care să asigure autonomie până când investigația este finalizată.

În **domeniul educației**, pe lângă transferul audio-video și de date, transferul de energie wireless conduce către un mediu cât mai simplu și sigur în utilizare de către toți cei care își desfășoară activitatea în procesul instructiv-educativ.

În **construcții**, noile inovații legate de transferul de energie wireless, pot fi introduse încă din faza de realizare a proiectării construcțiilor astfel încât integrarea ulterioară a tehnologiilor ce utilizează această tehnică să fie ușor de implementat. Putem surprinde aici soluțiile de utilizare a iluminatului, sistemelor de supraveghere, aparatelor multimedia, sculelor electrice sau a unor aparate de întreținere a mediului natural din imediata vecinătate prin simpla poziționare a echipamentelor în preajma unor insule de energie anterior integrate în construcție. Astfel se pune accent pe extinderea capacităților utile dintr-o rază de acțiune de câțiva metri către zeci sau chiar sute de metri.

Agricultura ar avea de câștigat prin implementarea tehnologiei de transmitere a energiei wireless prin alimentarea în zone retrase a rețelelor de senzori sau a diverselor aparate utilizatoare de energie prin transmiterea energiei de către aparate autonome programate astfel încât să susțină aprovizionarea cu energie acolo unde există necesitatea astfel încât acțiunea umană să fie redusă iar controlul să fie exact.

Mașinile electrice utilizate în **industrie** pot fi gestionate mult mai ușor prin creșterea mobilității în sectoarele unde cablurile electrice împiedică desfășurarea anumitor operațiuni. Astfel, proiectarea stațiilor de lucru se poate face într-un spațiu mult mai mic și cu o modularitate crescută.

Domeniul cercetării ar beneficia de tehnologia de transmitere a energiei wireless în multe situații în care explorarea ar fi imposibilă sau periculoasă prin utilizarea conductorilor electrici. Un exemplu concret este reprezentat de către acțiunea de la Fukushima unde au fost utilizați roboți alimentați fără conductori, de la distanță deoarece mediul era unul periculos oamenilor.

Toate exemplele de mai sus conduc către eficientizarea proceselor desfășurate precum și către realizarea unor economii însemnate de timp, spațiu și resurse astfel încât diferența de randament al transferului de energie să fie suplinită dacă nu chiar eliminată în funcție de domeniul de utilizare.

Transferul de energie wireless se bazează în principiu pe modul de funcționare al unui transformator. Curentul este furnizat unei bobine primare care produce un câmp

electromagnetic (EM). În imediata vecinătate este amplasată o bobină secundară. Câmpul EM induce un curent în bobina secundară, furnizând energie către consumatorul la care este atașată.

Cu toate acestea, spre deosebire de un transformator de putere convențional care funcționează la frecvențe de linie și necesită un miez de fier pentru eficiență, sistemele de alimentare wireless sunt proiectate să funcționeze în gama de peste 100kHz și astfel pot funcționa eficient în transmiterea energiei prin aer. Astfel, înfășurările primare și secundare, pot fi distanțate, ceea ce permite amplasarea lor în dispozitive separate, elementul primar fiind parte a unui emițător iar cel secundar în cadrul unui receptor. Această implementare poate fi, de asemenea, descrisă ca un proces de transmisie radio și, ca atare, aceste bobine pot fi de asemenea văzute ca antene identice, fiind descrise asemănător în cele ce urmează.[14]

În **Figura 1** este prezentată schema bloc a sistemului TEW în care se pot observa părțile componente ale acestuia precum și procesul de transfer al energiei și al informației pe baza căreia se reglează transferul.

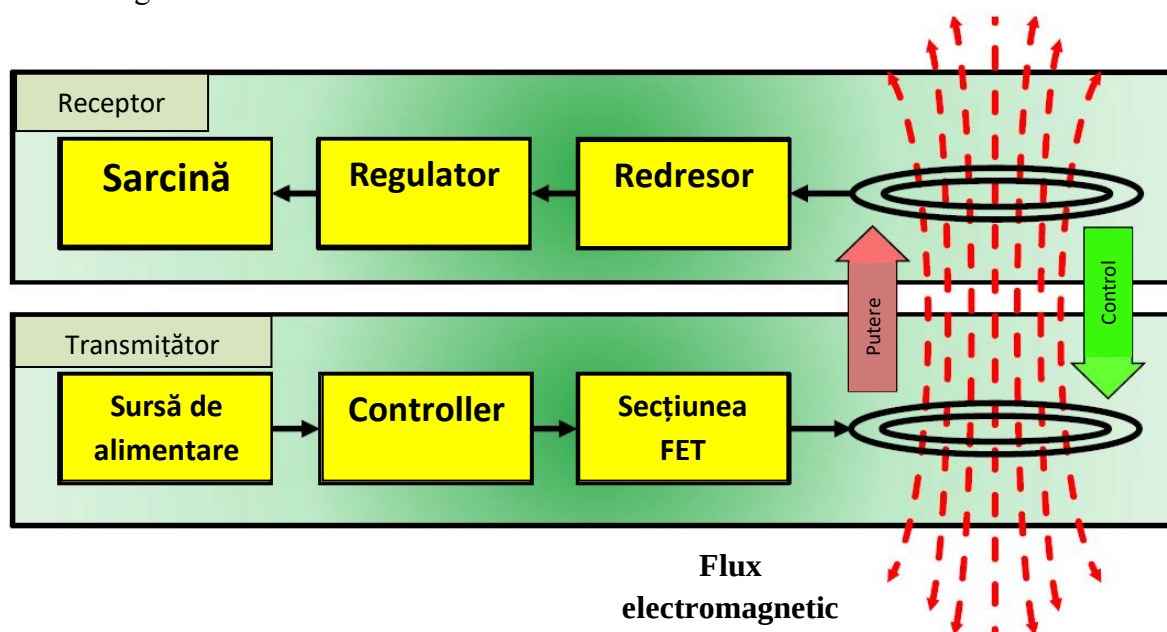


Fig. 1 Schema bloc a sistemului TEW

1.1. SCURT ISTORIC

Transmiterea energiei wireless (TEW) este un termen care desemnează numeroase și diferite tehnologii pentru transmiterea energiei electromagnetice dar nu reprezintă neapărat un concept nou. În ultimele decenii s-au făcut mai multe eforturi pentru a transfera energia fără fir însă începuturile TEW datează din 1868, când James Clerk Maxwell a fuzionat „Legea circuitului magnetic în regim staționar – Legea lui Ampère” și „Legea inducției electromagnetice – Legea lui Faraday”. În plus, alte experimente, observații și modele matematice au fost dezvoltate într-o teorie consistentă și care constituie teoria electromagnetică convențională. Ecuațiile Maxwell reprezintă piatra de temelie pentru curenții electromagnetici, inclusiv transferul de energie wireless. În 1884, John Henry Poynting a prezentat o ecuație matematică a câmpului electromagnetic care poate fi utilizată în transferul de energie fără contact [15, 16]. În 1888, Heinrich Rudolf Hertz a descoperit undele radio/undele Hertziene,

confirmând previziunea propagării electromagnetice de către Maxwell. Experimentele lui Hertz au arătat că undele electromagnetice ar putea fi produse în bobinele transmițătoare și detectate de către o bobină receptor [17]. În 1894, sistemul TEW patentat de Hutin și Leblanc a fost utilizat pentru alimentarea unui sistem feroviar electric [18]. Sistemul lor consta dintr-un singur fir în primar care transmitea energie la 2 kHz de-a lungul căii ferate și din câteva bobine rezonante cu rol de receptor utilizate în secundar.

În perioada 1891-1904, prima inovație semnificativă în tehnologia TEW a fost realizată de Nikola Tesla care, prin experimentele sale efectuate pe baza cuplării inductive a TEW utilizând bobine Tesla ce produc curent alternativ de înaltă frecvență (AC), a demonstrat iluminarea fără fir a becurilor fosforescente. În anul 1897, Tesla a brevetat „Turnul Tesla” construit în Colorado Springs în care a aprins trei lămpi de la o distanță de transfer a energiei wireless de aproximativ 30 de metri. Cercetarea lui Tesla a contribuit la transferul de energie pe distanțe lungi pe baza comunicațiilor radio. William C. Brown a realizat transferul de energie pe distanțe lungi datorită avansării tehnologiei cu microunde în 1960 iar în 1964 a propus o schemă de transfer wireless de la punct la punct pe baza fasciculelor cu microunde [19], utilizând eficient o „rectenna” (antena redresoare) pentru a transforma undele electromagnetice în curent continuu (CC). În 1968, inginerul american Peter Glaser a prezentat conceptul de stație de energie solară spațială și a constatat că energia solară ar putea fi transformată mai întâi în energie electrică și apoi transmisă către Pământ sub formă de microunde. Au avut loc progrese uriașe în proiectul SPS (Satellite Power System) în anii 1970 [20], care au arătat că oamenii au înțeles această tehnologie spațială de transfer de energie electrică. În 1975, Brown a realizat transferul pe distanță scurtă a 475 W utilizând microundele cu o eficiență de 54% CC/CC la Landmark. În 2007, transferul de energie wireless a uimit din nou lumea, echipa de cercetare condusă de profesorul Marin Soljacic de la MIT realizând prin utilizarea rezonatoarelor puternic cuplate magnetic (SCMR) aprinderea unui bec de 60 wați la distanțe mai mari de 2 metri cu eficiență de aproximativ 40% [21, 22]. Ulterior, Intel și Qualcomm și-au prezentat și sistemele realizate de acestea de transfer wireless de energie, ceea ce a arătat că această tehnologie nouă va apărea în curând în viața noastră de zi cu zi. În 2012, Departamentul de Transport al Statelor Unite a realizat utilizarea TEW pentru încărcarea vehiculelor în timp ce se deplasează pe autostradă [23]. Eforturile de cercetare TEW între 2001 și 2013 sunt descrise pe scurt în [24]. Astfel, cele patru țări cele mai active în cercetarea TEW sunt SUA, Japonia, China și Coreea de Sud. În 2015, echipa de Inginerie Nucleară și Quantum de la Universitatea KAIST a utilizat cuplajul inductiv TEW pentru a transfera energia la o distanță de 3, 4 și 5 m cu eficiență de 29%, 16% și, respectiv, 8%. Această echipă a transferat energia pe o frecvență oscilantă de 20 kHz în bobina de transmisie. Recent, unele colegii și institute de cercetare au obținut deja numeroase rezultate semnificative în ceea ce privește utilizarea rezonatoarelor puternic cuplate magnetic (RPCM), care includ, în principal, subiectele de elaborare a principiilor, caracteristicilor de transfer, materiale noi, interferențe și aplicații practice [25].

1.2. CLASIFICAREA TEHNICILOR DE TRANSFER AL ENERGIEI WIRELESS

TEW pot fi clasificate în două tipuri, și anume TEW de câmp la distanță mare și de câmp la distanță mică. Un sistem TEW implică o unitate de transmițător conectată la sursa principală de energie, care transformă energia electrică într-un câmp electromagnetic. Acest câmp poate fi recepționat de unul sau mai multe receptoare pentru a-l converti înapoi în energie electrică, pentru a fi utilizat de sarcina electrică. Pe partea transmițătorului, semnalul de alimentare și informațiile sunt purtate de același semnal de frecvență radio (RF).

1.2.1. Clasificarea tehnicilor de transfer ale energiei wireless în câmp îndepărtat

Transferul de energie în câmp îndepărtat ar trebui să fie proiectată în principal pentru aplicații cu putere redusă, cu prioritate redusă a eficienței transmisiei cu toate că, utilizând acest tip de transmitere a energiei, o cantitate mare de energie poate fi transmisă între două poziții. Transmisia în câmp îndepărtat este implementată cu microunde sau cu laser printr-o cale directă și fără obstacole între transmițător și receptor [26]. Luând în considerare eficiența și siguranța expunerii umane [27], transmisia în câmp îndepărtat nu reprezintă o opțiune bună pentru transmiterea energiei în situații cotidiene.

Transferul de energie wireless pe distanțe mici se referă la distanța de transfer a energiei în lungimea de undă (λ) a antenei transmițătoare. Datorită eficienței ridicate și a limitei de siguranță a expunerii în spectrul radiofrecvenței în câmp apropiat, transferul de energie wireless în câmp apropiat este o opțiune mai bună în comparație cu transmisia cu microunde sau cu laser [28]. În mod particular, transferul de putere inductiv, transferul de putere capacitiv și cuplajul cu rezonatoare puternic cuplate magnetic (RPMC) sunt cele mai populare tehnologii TEW în câmp apropiat [29, 30, 31]. Mai mult decât atât, pe baza rezonanței câmpurilor magnetice și electrice în circuitul LC, utilizarea cuplării cu rezonanță magnetică pentru TPI a devenit dominantă în sistemul TEW [32, 33].

1.2.2 Clasificarea tehnicilor de transfer ale energiei wireless în câmp apropiat

Aceste tehnologii sunt clasificate pe baza mecanismului principal de transfer al energiei și al distanței de transfer. Bazându-se pe diferența de transfer de energie, metodele TEW sunt împărțite în două categorii: câmp îndepărtat și câmp apropiat. Tehnica poate fi considerată de câmp îndepărtat dacă lungimea de undă a semnalului electromagnetic este mai mică decât distanța de transfer. Prin contrast, dacă lungimea de undă a semnalului electromagnetic este mai lungă decât distanța de transfer, tehnica aparține unui tip de câmp apropiat. De exemplu, atunci când frecvența de rezonanță este relativ mică (mai mică de 5 MHz) și intervalul de transfer este scurt (de exemplu, 5 cm), tehnica este de câmp apropiat. Atunci când frecvența de rezonanță este de 900 MHz și intervalul de transfer de putere este mai mare de 2 m, tehnica este caracterizată ca transfer de putere în câmp îndepărtat [34]. Microundele, RF, fotoelectrice, laser și acusticele pot fi clasificate drept tehnici de transfer de energie în câmp îndepărtat, în timp ce cuplarea inductivă și cuplarea prin rezonanță magnetică pot fi considerate tehnici în câmp apropiat.

În **Figura 2** se regăsesc subcategoriile tehnicilor TEW în câmp apropiat studiate până în prezent [35].

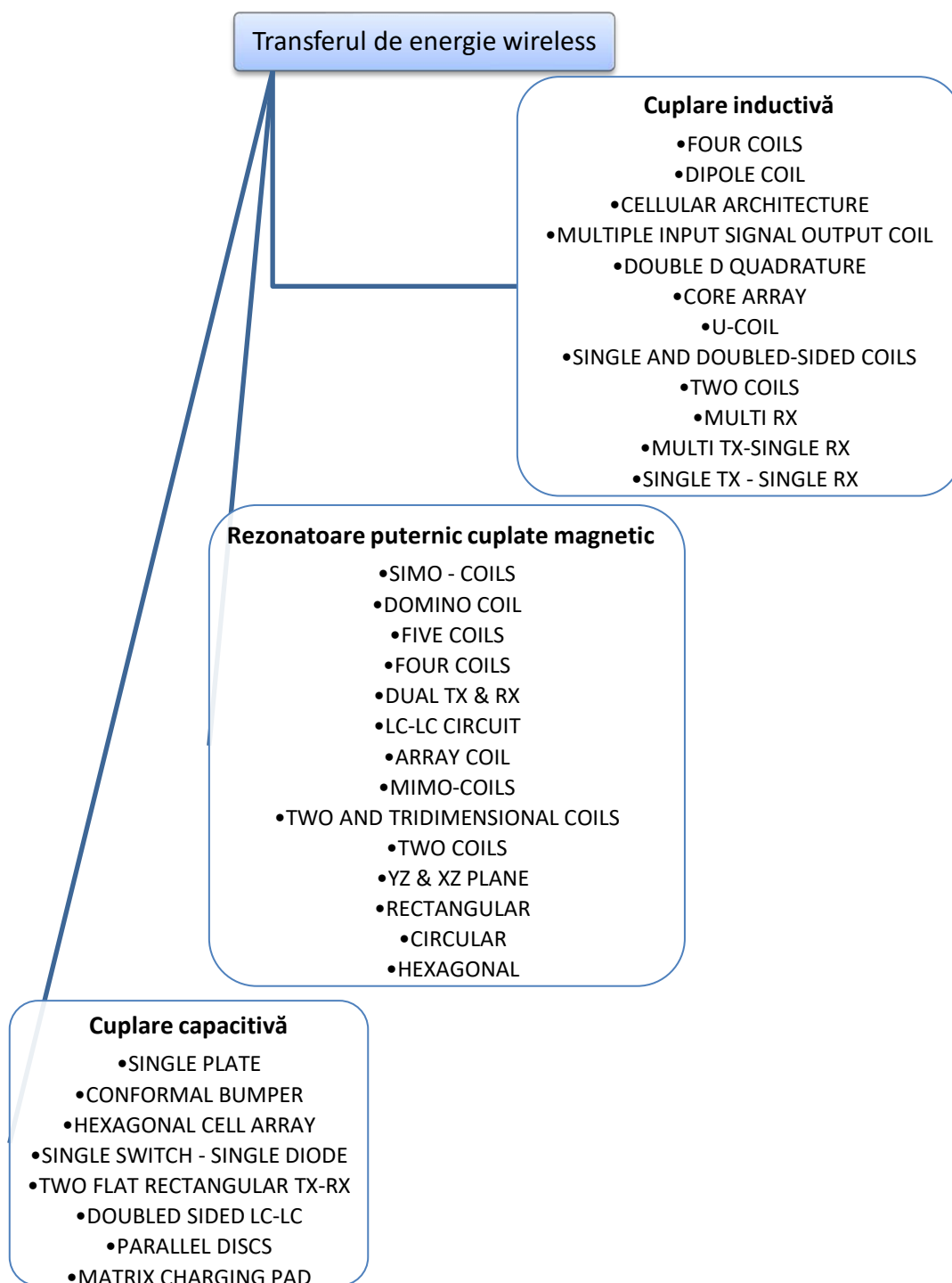


Fig. 2 Clasificarea tehnicilor de transfer al energiei wireless în câmp apropiat

1.3 PARAMETRII DE BAZĂ ÎN TRANSFERUL ENERGIEI WIRELESS

1.3.1 Frecvența

Proiectarea frecvenței de lucru a transferului de energie în câmp apropiat a fost implementată cu constrângeri de reglementare și limitări tehnice [36]. Pentru cuplarea inductivă, frecvența de operare variază în benzile de frecvență joasă. De exemplu, în [21], autorii au adoptat o gamă de frecvențe de 20-40 kHz pentru distanța proiectată de la bobină la bobină de aproximativ 10 cm. Sistemele de cuplare cu rezonanță magnetică funcționează în mod obișnuit în benzile de frecvență înaltă; intervalul de frecvență de la 1 la 50 MHz a fost luat în considerare în [37]. În metoda de cuplare prin rezonanță magnetică, eficiența ridicată cu o distanță mai mare între antenele receptoare și cele de transmisie poate fi realizată atunci când frecvențele lor de rezonanță sunt aceleași [38].

1.3.2. Transferul energiei

TEW pot fi clasificate drept radiative (în câmp depărtat) și non-radiative (în câmp apropiat). Tehnica transferului energiei radiative poate fi clasificată în două tipuri: directă și omnidirecțională. Pentru aplicația omnidirecțională, radiația va fi utilizată pentru a transfera energia către dispozitivele portabile [21]. Cu toate acestea, caracteristicile omnidirecționale ale energiei radiate reduc în mod semnificativ eficiența sistemului.

1.3.3 Eficiența transferului wireless de energie

Eficiența transferului este definită ca *puterea receptorului la bobina receptorului* împărțită la *puterea totală de la intrarea bobinei transmițătorului*. Eficiența sistemului TEW depinde de tipul de tehnică. În **Figura 3** se poate observa eficiența diferitelor tehnici TEW pentru câmp apropiat și îndepărtat. Tehnica de cuplare inductivă realizează o eficiență a transferului de energie de 70-90% și scade cu distanța dintre bobina primară și secundară.

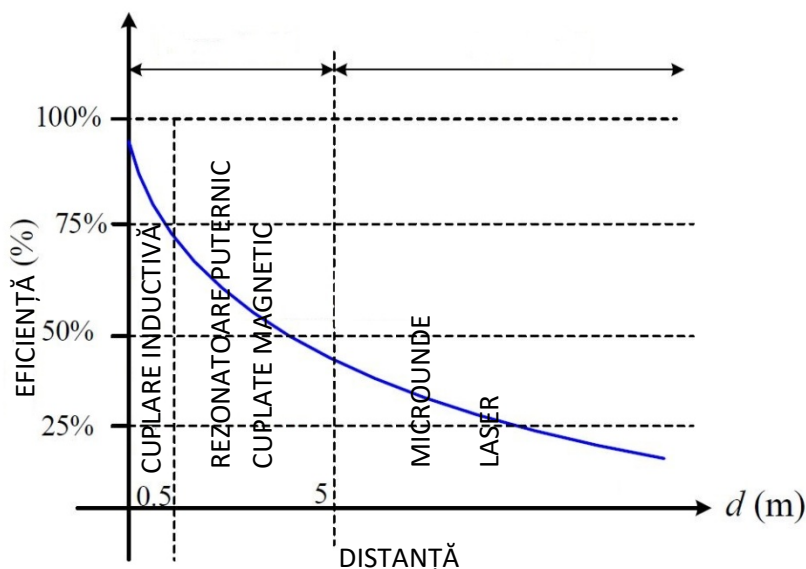


Fig. 3 Compararea eficienței pentru diferite tehnici TEW

1.3.4. Distanța transferului

Distanța de transfer este considerată o problemă critică în domeniul TEW în câmp apropiat, deoarece determină puterea de ieșire CC. Distanța de transfer variază de la un tip la altul de TEW în câmp apropiat, unde depinde de utilizarea tehnicii de transfer de putere. Tehnica de cuplare inductivă are o distanță de transfer limitată cu o eficiență de transfer ridicată, în timp ce pentru cuplajul cu rezonanță magnetică, energia poate fi transferată pe o rază medie de acțiune de la sursă la sarcină față de metoda de cuplare inductivă. Cu toate acestea, în această metodă, eficiența transferului va fi redusă.

1.4 TRANSFERUL WIRELESS AL ENERGIEI ÎN LITERATURA DE SPECIALITATE

Transferul de energie wireless în câmp apropiat este o tehnologie promițătoare care poate alimenta obiectele din RSW, telefoanele mobile și dispozitivele medicale fără a se înlocui acumulatorul și fără a se conecta la sursa principală de alimentare. Mai multe studii au propus diferite sisteme TEW în câmp apropiat.

1.4.1. Cuplarea inductivă

Unele studii majore legate de cuplarea inductivă TEW sunt evidențiate și organizate pe baza cronologiei prezentate în tabelul 3. Unele dintre aceste eforturi sunt următoarele:

Worgan și colaboratorii [39] a prezentat un PowerShake pentru a transfera energie între dispozitivele mobile. PowerShake păstrează transferul de putere de aproximativ 3,1W, care este adecvat pentru a încărca dispozitivele care consumă energie, cum ar fi telefoanele mobile. Așa cum au precizat autorii, puterea de ieșire de 3,1 W și frecvența generată de 97 kHz a transmițătorului păstrează țesutul corpului uman în siguranță față de efectele câmpului electromagnetic [40]. Proiectarea circuitelor lor de transmisie și recepție a fost supusă standardelor sau specificațiilor Qi [41].

Cuplajul inductiv TEW are următoarele avantaje și dezavantaje:

Avantaje:

- distanța scurtă de transfer;
- non-radiativ și, prin urmare, sigur pentru corpul uman;
- topologie simplă;
- o eficiență ridicată de transfer de până la 95% la distanțe scurte;
- implementarea simplă.

Dezavantaje:

- distanța scurtă de transfer (de ordinul centimetrilor);
- necesită o aliniere precisă între transmițător și receptor;
- produce curenți turbionari (curenți Foucault care conduc la pierderi de energie prin efectul Joule și implicit la micșorarea randamentului instalației electrice);
- efect de încălzire;

- necorespunzătoare utilizării mobile;
- necesită alinierea adaptată între dispozitivele de încărcare și sistemul TEW.

1.4.2 Cuplarea prin rezonanță magnetică

Mittleider și colaboratorii [42] au prezentat o metodă nouă pentru încărcarea rețelelor de senzori fără fir bazată pe UAV. UAV-ul poate fi localizat cu precizie de 15 cm pe baza senzorilor rezonanți magnetici, unde sistemul global de poziționare (GPS) este inexact și are nevoie de o linie de vizibilitate între receptor și satelit [11]. Cu toate acestea, eficiența de încărcare poate fi mărită atunci când bobina de transmisie (montată pe UAV) și bobina de recepție (fixată în nodul senzorului) sunt apropiate unul de celălalt. În consecință, puterea de încărcare de 5,49 W la o distanță de 6 cm între bobinele de recepție și de emisie este adecvată pentru a încărca bateria nodurilor senzorilor fără fir într-o locație îndepărtată.

Avantaje:

- transferul de energie pe câțiva metri;
- nu este necesară vizibilitatea directă între emițător și receptor;
- nu este afectată de mediile meteorologice;
- are o eficiență ridicată a transferului în antena omnidirecțională;
- nu este necesară alinierea bobinelor de emisie și recepție;
- încărcarea mai multor dispozitive simultan pentru diferite puteri;
- adecvate pentru aplicații mobile.

Dezavantaje:

- scăderea eficienței datorită neconcordanței axiale între bobinele receptoarelor și emițătorilor;
- reducerea eficienței cu distanța mărită;
- implementarea complexă.

1.4.3. Cuplarea capacitivă

În această secțiune sunt discutate câteva lucrări asociate cu cuplarea capacitivă TEW. Comparativ cu cuplarea inductivă, cuplarea capacitivă este încă o tehnică emergentă care a fost discutată de un număr mai mic de cercetători [43].

Cu toate acestea, cuplarea capacitivă poate fi utilizată în aplicații similare de joasă putere similar cuplării inductive, pentru încărcarea dispozitivelor mobile sau biomedicale. Cuplarea capacitivă este frecvent utilizată în aplicații cu putere redusă deoarece are o capacitate mică de cuplare.

Avantaje:

- puterea este transferată prin metal;
- eficiență ridicată a transferului;
- putere mare de ieșire pentru aplicațiile EV;
- design simplu.

Dezavantaje:

- zona de cuplare mare este necesară pentru o putere mare;
- distanță mică de transfer.

1.5. APLICAȚIILE TRANSFERULUI DE ENERGIE ELECTROMAGNETICĂ FĂRĂ CONDUCTORI

1.5.1. Transferul de energie wireless pentru automobilul electric

Compania germană TPI Technology a început în 1996 ca Wampfler și apoi a continuat ca Conductix în ianuarie 2014 ca TPI Technology [44].

Această companie a lansat câteva generații de autobuze electrice încărcate de TPI. Tehnologia lor de e-mobilitate TPI Charge oferă posibilitatea încărcării wireless a autobuzelor hibride și electrice echipate cu bobine de recepție secundare. Această tehnologie este capabilă să încarce în timp ce autobuzul este oprit sau parcat pe tampoanele alimentate (inductoare primare) încorporate în carosabil sau în podeaua garajului după cum se poate observa în **Figura 5**.

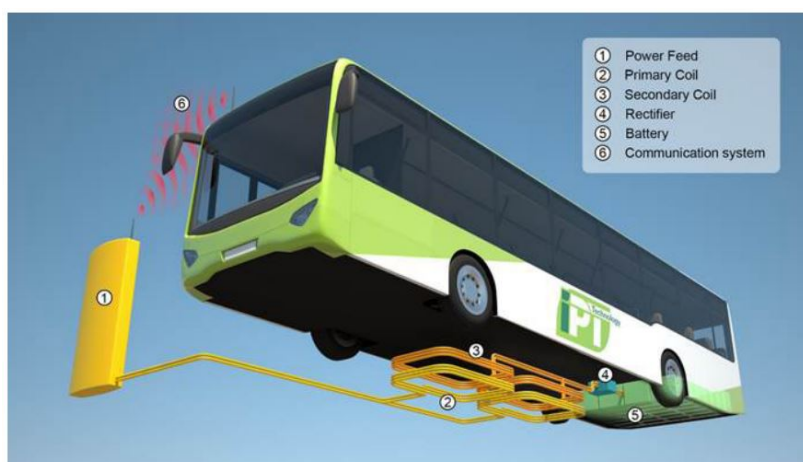


Fig. 5 Conductix-Wampfler (Încărcare prin cuplare inductivă pentru TEW)

Un nou sistem de transmisie a puterii fără fir a fost prezentat de Nihon Dengyo Kosaku și Volvo Technology Japan. Spre deosebire de versiunile anterioare dezvoltate de Dengyo, acesta este capabil să transmită 10 kilowați de energie electrică prin microunde la o distanță de 4 până la 6 metri.

Deși este de două ori mai puternic decât ceea ce au dezvoltat deja, noul sistem de transmisie a energiei fără fir este construit folosind „rectenna” (antena redresoare) lui Dengyo, un dispozitiv realizat prin combinarea unei antene și a unui redresor.

1.5.2. Rețele de senzori wireless

Tehnicile TEW pot fi utilizate pentru a rezolva problema consumului de energie în rețelele de senzori wireless (RSW) [45]. Durata de viață a RSW este limitată de capacitatea bateriei și poate funcționa numai pentru o perioadă limitată de timp. Mai multe studii au subliniat metode diferite de prelungire a duratei de viață a rețelelor. Deși aceste eforturi au demonstrat o îmbunătățire a consumului de energie RSW, consumul lor de energie / durata de viață rămâne un obstacol în ceea ce privește performanța, iar fezabilitatea acestuia este factorul cheie care împiedică desfășurarea în zone întinse.

CAPITOLUL II

ANALIZĂ TEORETICĂ ȘI CONSTRUCTIVĂ A SISTEMELOR DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS

2.1. MODELAREA TEW CU RAZĂ MEDIE DE ACȚIUNE PE BAZA CUPLĂRII PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ

2.1.1. Teoria modului cuplat (TMC)

Teoria modului cuplat vizează cercetarea legilor în modul cuplat al undelor electromagnetice, care a fost aplicată inițial în domeniul microundelor [46]. Potrivit TMC, procesele fizice de transfer de energie de la un obiect rezonant la altul pot fi descrise ca fiind:

$$\dot{a}_m(t) = (i\omega_m - \Gamma_m)a_m(t) + \sum_{n \neq m} i K_{mn} a_n(t) + F_m(t) \quad (1)$$

unde $a_m(t)$, ω_m , Γ_m , K_{mn} și $F_m(t)$ reprezintă amplitudinea energiei, frecvența rezonantă, rata intrinsecă de decădere (intrinsic decay rate), coeficienții de cuplare și, respectiv, condiția de transfer. Dacă nu se ia în considerare rata de decădere intrinsecă, schimbul de energie între două obiecte rezonante va fi fără pierderi.

2.1.2 Teoria circuitului (TC)

Conceptul modului de cuplare electromagnetică apare la începutul anilor 1950, iar după o lungă perioadă de dezvoltare, actualul TMC este potrivit pentru analiza procesului de schimb de energie dintre două rezonatoare [110], dar conceptele sale sunt încă puțin cunoscute și înțelese. Mai degrabă, Teoria Circuitului (TC) bazată pe modul inductanței mutuale reprezintă o metodă mai directă.

Compensările paralel-paralel și serie-serie sunt structurile de bază care au fost bine discutate în literatură și, în plus, metodele lor de analiză și de proiectare sunt elaborate în [47, 48].

2.1.3 Analiza comparativă între teoria modului cuplat și teoria circuitelor

Atât TMC cât și TC pot fi folosite pentru a analiza cuplarea puternică prin rezonanță magnetică (SCMR), dar aparțin unor ramuri științifice diferite, deci este semnificativ să le distingem în mod clar. Potrivit TMC, avem [25,110]:

$$\Gamma_L = \frac{R_L}{2L_3}, \Gamma_3 = \frac{R_3}{2L_3}, \Gamma_2 = \frac{R_2}{2L_2}, K = \frac{\omega}{2} k = \frac{\omega M_{23}}{2\sqrt{L_2 L_3}} \quad (14)$$

Noul parametru k corespunde coeficientului de cuplare din TC, iar indicatorii 2 și 3 corespund indicatorilor m și n din Teoria Modulului Cuplat. Presupunând că sistemul

funcționează în stare rezonantă, iar rezistența internă a sursei de tensiune este ignorată înlocuind Ecuația (14) în Ecuația (8) și simplificând în continuare expresiile, putem trage concluzia că Ecuațiile (8) și (13) sunt absolut identice, aceasta verificând faptul că analiza bazată pe TMC și TC este echivalentă în starea de rezonanță.

2.1.4 Arhitectura sistemului

În aplicațiile practice, distanțele de transfer și impedanțele se schimbă frecvent. Conform analizei TMC și TC, putem constata că arhitectura sistemului cu două bobine nu poate satisface aceste cerințe, astfel încât studiul noilor arhitecturi de sistem este valoroasă. Arhitecturile de sistem cu trei și patru bobine pot optimiza caracteristicile de transfer cu grade suplimentare de libertate în ajustare.

2.2. COMPONENTE UTILIZATE ÎN TRANSFERUL DE ENERGIE WIRELESS

2.2.1. Reglatoarele de tensiune cu comutație în zero

Proiectarea circuitelor pentru reglatoarele de tensiune în curent continuu devine tot mai dificilă de realizat din cauza densității de putere (W/m^3) și a nivelurilor de tensiune ale alimentării în CC ce se află în creștere precum și a scăderii parametrilor de tensiune din siliciu în scopul creșterii eficienței.

Diferența dintre tensiunea de alimentare și cea solicitată de siliciu creează o cădere mare peste regulator, crescând pierderile de comutare și limitând în cele din urmă frecvența de comutare a dispozitivului.

De exemplu, un sistem de control al tensiunii poate solicita o reglare de la 24 V la 3,3V, un decalaj care ar trebui acoperit în mod obișnuit prin două etape de reglare, mărind astfel dimensiunea circuitului electronic, costurile și problemele de fiabilitate. Mai mult decât atât, frecvența limitată de comutare este un dezavantaj deoarece necesită folosirea componentelor magnetice și a altor componente pasive mai mari pentru circuitele de filtrare, crescând dimensiunea sistemului și acționând împotriva densității de putere.

O soluție care să permită revenirea la o frecvență mai rapidă de comutare pentru reglatoarele ridicătoare-coborâtoare de tensiune este reprezentat de către reglatoarele de tensiune cu comutație în zero, ZVS (Zero Voltage Switching).

2.2.1.1 Pierderile în comutarea fără ZVS

Majoritatea regloarelor de tensiune neizolate suferă pierderi mari de comutare în timpul tranziției dintre fazele de pornit-oprit datorate stresului indus de apariția simultană a tensiunii și curentului de valori ridicate aplicate tranzistorului cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor (MOSFET). Aceste pierderi cresc cu frecvența de comutare și tensiunea de intrare și limitează operarea la frecvență maximă, eficiența și densitatea de putere.

Pierderea de comutare are loc în timpul suprapunerii dintre tensiune și curent atunci când se pornește și se oprește MOSFET-ul. Producătorii de reglatoare de tensiune încearcă să

minimalizeze suprapunerea pentru a minimaliza pierderile de comutare prin creșterea ratei de schimbare a curentului (di/dt) și a tensiunii (dv/dt) în forma de undă de comutare.

2.2.1.2 Comutarea ZVS

Comutarea cvasi-rezonantă este o tehnică bună pentru îmbunătățirea eficienței regulatorului de tensiune, dar lucrurile pot fi îmbunătățite în continuare prin implementarea unei comutări soft. În timpul comutării soft tensiunea scade la zero (față de utilizarea unei valori minime) înainte ca MOSFET-ul să fie pornit sau oprit, eliminând orice suprapunere între tensiune și curent și reducând pierderile. Tehnica poate fi de asemenea folosită pentru comutarea MOSFET-ului când curentul, mai degrabă decât tensiunea, ajunge la zero. Acest lucru este cunoscut sub numele de Zero Current Switching - ZCS.

2.2.1.3 Modul de funcționare al ZVS

În **Figura 13** se prezintă un circuit electronic ZVS. Acest circuit este identic cu un regulator convențional, cu excepția unui comutator suplimentar de prindere conectat prin inductorul de ieșire. Comutatorul este adăugat pentru a permite utilizarea energiei stocate în inductorul de ieșire pentru a implementa ZVS.

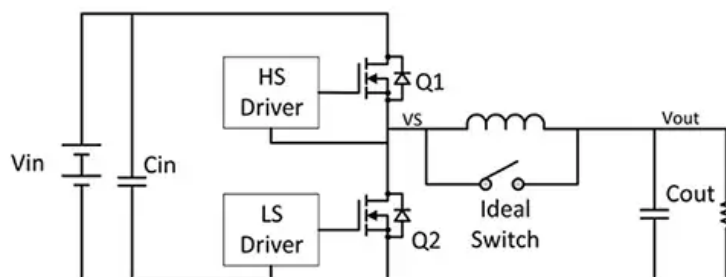


Fig. 13 Topologie ZVS

Convertizorul ZVS funcționează în trei stări principale. Acestea sunt definite ca Q1 pe fază, Q2 pe fază și faza conectării directe dintre VS și V_{out} . Q1 se pornește la curent zero și când tensiunea la sursă este aproape zero. Curba de curent crește în MOSFET și în inductorul de ieșire la un curent de vârf determinat de momentul de timp al Q1, tensiunea pe inductor și valoarea inductorului. În timpul fazei Q1, energia este stocată în inductorul de ieșire, iar încărcarea este furnizată condensatorului de ieșire. În timpul fazei Q1, disiparea puterii din Q1 este dominată de rezistența MOSFET, iar pierderea de comutare este neglijabilă.

2.2.1.4 Utilizarea ZVS în TEW

În cadrul aplicațiilor de Transmitere a Energiei Wireless, dispozitivele ZVS sunt utilizate ca și convertoare rezonante clasice.

Regulatorul oferă numeroase avantaje:

- Acesta oscilează independent și necesită doar o sursă de curent continuu;

- Profilul de curent și tensiune este aproape sinusoidal;
- Nu sunt necesare componente active și niciun software;
- Este scalabil de la 1W la 200W;
- Comutatorul MOSFET se apropie de punctul de trecere zero;
- Este scalabil pentru multe tensiuni/curenți diferite;

2.2.2. BOBINELE EMITĂTOARE ȘI RECEPTOARE

Pentru a găsi bobina de TEW adecvată, trebuie luate în considerare mai întâi câteva aspecte:

- Cât de mare este curentul maxim estimat (curent reactiv și nominal) în bobină?
- Care este dimensiunea maximă permisă a montajului (L/l/H)?

Pentru a evita saturația nedorită sau supra-încălzirea bobinelor, trebuie întotdeauna planificat un tampon de siguranță de 30%. Dacă se pot încorpora mai multe bobine, ar trebui utilizate cele cu cea mai mare inductanță, deoarece condensatorul circuitului rezonant poate fi mai mic.

În plus, această măsură reduce curenții reactivi care apar în „rezervor”. Curenții mai mici din circuitul rezonant conduc la auto-încălzirea scăzută și la proprietățile CEM mai bune.

Curentul maxim în „rezervor” se calculează prin relația (6).

$$I_{max} = U_{in} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (6)$$

Cea mai bună cuplare se realizează atunci când bobinele transmițătorului și receptorului au aceeași dimensiune, prin urmare se recomandă o dimensiune de 1:1. Componentele din familia WE-WPCC (de exemplu, 760 308 102 142, 53mmx53mm, ANEXA 2, 760 308 100 143, ø50mm, ANEXA 3, 760 308 100 110, ø 50mm, ANEXA 4) au fost special dezvoltate pentru putere mare. Aceste bobine pot fi utilizate ca transmițătoare și receptoare. Ele sunt caracterizate de valori R_{dc} foarte scăzute, valori Q foarte ridicate și curenți de saturație foarte mari I_R .

2.2.2.1 Optimizarea mediului adiacent bobinelor utilizate în TEW

Dacă bobinele TEW sunt fixate pe metal, pot apărea pierderi inductive datorate curenților turbionari induși cauzăți de câmpul magnetic periferic. În plus, metalul apropiat de (de exemplu cupru pe PCB) se poate încălzi. Circuitele electronice pot fi, de asemenea, influențate de câmpurile magnetice puternice. Acest efect va fi mai mare cu cât distanța dintre bobinele sistemului TEW este mai mare.

Măsurile adecvate includ creșterea distanței bobinelor față de PCB/metal, precum și utilizarea foliei de ferită foarte permeabile, cum ar fi WE-FSFS.

2.2.3 BOBINELE DE FILTRARE

Cele două inductoare de filtrare decuplează moderat circuitul rezonant „AC” de la sursa de alimentare. În același timp, ele servesc și ca sursă constantă de curent și element de filtrare. Capacitatea curentă de încărcare trebuie adaptată la curentul nominal maxim al circuitului. Un inductor clasic de putere (de exemplu, WE-HCI – ANEXA 5, WE-PD – ANEXA 6, WE-LHMI – ANEXA 7) cu factor Q înalt trebuie întotdeauna utilizat. Inductanța sa nominală ar trebui să fie de cel puțin 5 ori mai mare decât inductanța bobinei WPT pentru a fi în poziția de a reîncărca suficientă energie în circuitul rezonant. Dacă amplificarea intrare/ieșire este încă prea mare, valorile inductorului sau condensatorului de filtrare pot fi mărite.

2.2.4 CONDENSATORI

Deoarece curenții mari circulă în circuitul rezonant paralel, nu este potrivită orice tehnologie a condensatoarelor pentru această sarcină. În funcție de aplicație, sunt disponibile numai trei tipuri diferite de selecție: MKP (WE-FTXX – ANEXA 10 / WE-FTBP – ANEXA 11), NP0 (WE-CSGP ANEXA 12) sau FKP.

2.2.4.1 Condensatorii de intrare și de ieșire

Aceste condensatoare, în combinație cu bobinele de putere, servesc în principal ca filtre. Deoarece frecvențele de rezonanță sunt sub 200 kHz, condensatorii trebuie să fie corespunzător mai mari. Testele au arătat că trebuie anticipate valori cuprinse între 10 și 1000μF, în funcție de bobinele de aplicație și putere folosite. Frecvența de deconectare de -6dB rezultată din filtrul LC ar trebui să fie de aproximativ 1/10 din frecvența circuitului rezonant. În teorie, se așteaptă o atenuare de 40dB/dec.

2.2.5 TRANZISTORI MOSFET

Selectarea corespunzătoare a N-MOSFET-urilor depinde în primul rând de nivelul tensiunii de alimentare. Dacă aceasta este de numai 5V, de exemplu, un tip de nivel logic trebuie utilizat pentru a porni în siguranță porțile. Deoarece cele mai multe MOSFET-uri au o tensiune maximă a porții de +/- 20V, trebuie luate măsuri pentru a proteja porțile în cazul unei tensiuni de alimentare mai mari de 20V_{CC}. Aceasta poate fi o diodă Zener la masă sau un divizor de tensiune capacitiv, care păstrează tensiunea de poartă în intervalul optim. De asemenea, trebuie avut grijă ca tensiunea la poartă să nu fie prea mică, altfel un MOSFET în convertorul rezonant va rămâne blocat în modul de funcționare al amplificatorului liniar, determinând circuitul să intre într-o stare de blocare.

2.2.6 DIODE ȘI REZISTENȚE PULL-UP

Pe măsură ce MOSFET-urile trebuie reîncărcate relativ repede, curenți rapizi apar o dată cu încărcarea și descărcarea porții. Acești curenți de încărcare/descărcare trebuie să fie dirijați

prin rezistențele PULL-UP și prin diode. Pierderile rezultate nu sunt neglijabile. Din acest motiv, pierderea maximă permisă de putere (P_v) și capacitatea de încărcare curentă a acestor componente trebuie să se aleagă corespunzător. De asemenea, diodele trebuie să aibă aceeași stabilitate de tensiune ca și MOSFET-urile. Ca alternativă la diodele clasice sau Schottky, diodele corpului MOSFET pot fi, de asemenea, utilizate.

2.3. INTEGRAREA COMPONENTELOR ELECTRONICE ÎN SISTEMUL TEW

2.3.1 Schema circuitului electronic

În **Figura 15** este circuitul de bază pentru partea transmițătorului incluzând bobina de transmisie L_p . Partea receptorului poate fi construită cu același circuit de bază.

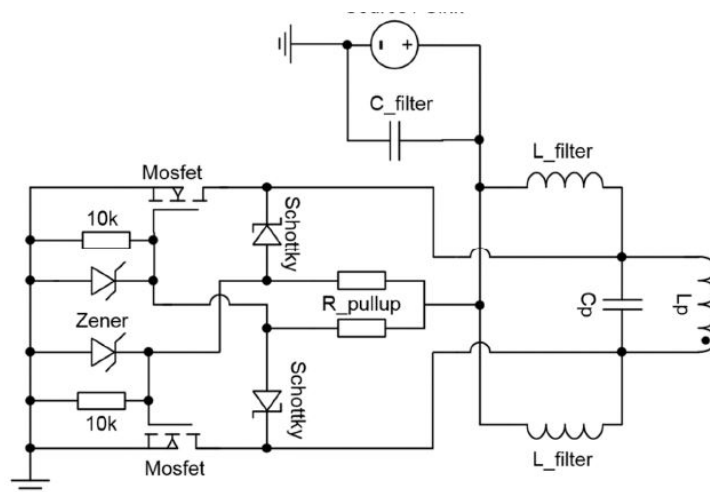


Fig. 15 *Circuitul convertorului rezonant de bază*

2.3.2 Modul de operare

Convertorul rezonant funcționează de obicei la o frecvență de lucru constantă, determinată de frecvența rezonantă a circuitului rezonant paralel LC. De îndată ce o tensiune CC este aplicată circuitului, acesta începe să oscileze pe baza toleranțelor componentelor MOSFET. Într-o fracțiune de secundă, unul dintre cele două MOSFET-uri este puțin mai conductiv decât celălalt. Feedback-ul pozitiv al celor două porți MOSFET și scurgerea opusă a MOSFET-ului mai puțin conductiv duce la o schimbare de fază de 180° . Cele două MOSFET-uri sunt, prin urmare, întotdeauna eliminate din fază și nu pot conduce niciodată simultan. MOSFET-urile leagă alternativ ambele capete ale circuitului rezonant paralel la masă, permițând reîncărcări periodice ale circuitului rezonant cu energie.

Eficiența întregului circuit de transfer de energie wireless poate depăși 90% în practică. Acest lucru este destul de remarcabil, deoarece pierderile de cuplare prin decalajul de aer sunt deja incluse și la intrare este disponibilă o tensiune CC continuă. Eficiența rămâne stabilă într-un interval de aer între 4-10 mm. O mare parte din energia din câmpul magnetic, care nu este cuplată la partea receptorului, este returnată la „circuitul emițătorului”. O distanță maximă de

până la 18 mm este posibilă în funcție de aplicație, dar se fac concesii în ceea ce privește factorul de cuplare și al Compatibilității Electromagnetice (CEM).

2.3.3 Aspecte negative legate de convertorul rezonant

Două aspecte sensibile trebuie să fie luate în considerare în practică cu această construcție de circuit pentru a preveni blocarea MOSFET-urilor și anume, *Alimentarea cu energie a transmițătorului în momentul comutării și Impedanța reflectată din partea receptorului către transmițător.*

2.3.3.1 Alimentarea cu energie a transmițătorului în momentul comutării

Dacă alimentarea cu energie electrică nu este în măsură să producă un curent suficient în timpul oscilației tranzitorii a circuitului, este posibil ca unul dintre cele două MOSFET-uri să se blocheze în modul de amplificare liniară, iar tensiunea de intrare să fie permanent scurtcircuitată la masă. Acest lucru ar face ca MOSFET-ul să se supraîncălzească și să se deterioreze.

2.3.3.2 Impedanța reflectată din partea receptorului către transmițător

Date fiind sarcinile mari de încărcare pe partea receptorului sau modificările bruște ale factorilor de cuplare (14) pentru cele două bobine, se poate întâmpla ca impedanța reflectată să scurtcircuiteze parțial inductanța de magnetizare (15) a transmițătorului. Aceasta, la rândul său, poate duce la descompunerea oscilațiilor și la intrarea circuitului într-o stare de blocare.

$$k = \frac{U_{sec}}{U_{pri} \cdot \pi} \cdot \frac{N_{pri}}{N_{sec}} = \frac{M}{\sqrt{L_{pri} \cdot L_{sec}}} \quad (14)$$

$$M = k \cdot \sqrt{L_{pri} \cdot L_{sec}} \quad (15)$$

Pentru a contracara acest lucru, este util să se modifice ușor frecvența circuitului rezonant al receptorului cu ajutorul unui alt condensator paralel (cu o frecvență mai mare cu 10-20% decât transmițătorul). Alternativ, o inductanță suplimentară (inductor de putere) poate fi conectată în paralel cu bobina emițătorului, care nu este cuplată magnetic cu traiectoria de transmisie.

2.4 Compatibilitate electromagnetică – proprietăți ale transferului de energie wireless

Deoarece puterea este transferată cu foarte multe aplicații de alimentare fără fir, respectarea limitelor CEM este esențială. Provocarea este ca bobinele transmițătorului și receptorului să se comporte ca un transformator cu un factor de cuplare scăzut și un spațiu de aer foarte mare. Acest lucru duce la un câmp electromagnetic foarte mare în vecinătatea bobinelor. Măsurătorile CEM au arătat că interferența în bandă largă poate avea loc în spectrul

undelor fundamentale până la domeniul de frecvențe de 80 MHz. Dacă nivelul de interferență măsurat este menținut sub limită cu o rezervă, se poate presupune că limitele intensității câmpului de interferență sunt, de asemenea, menținute.

2.5. EXEMPLE DE APLICAȚII TEW

2.5.1 Circuit simplu pentru receptor TEW

În **Figura 17** este reprezentat circuitul electronic al unui receptor TEW realizat cu un redresor cu diode Schottky și condensatoare SMD din polimer de aluminiu rezistent la curent. Puterea de ieșire a acestui circuit receptor este de aproximativ 120 W în funcție de suprafața de răcire. Sunt utilizate diode TVS de alimentare pentru a proteja împotriva supratensiunilor tranzitorii (bidirecțional, tensiune maximă de operare 60 V).

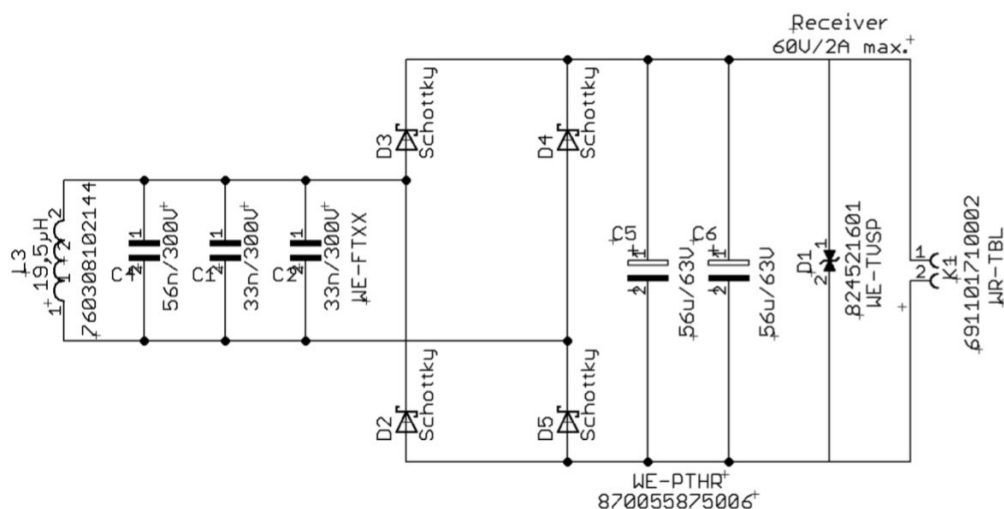


Fig. 21 Circuit simplu pentru receptor TEW

2.5.2 Convertor rezonant standard (transmițător și receptor până la aproximativ 10 w)

Exemplu de circuite simple de rezonator pentru transmițător / receptor pentru utilizare până la 10W. Pentru toate transmițătoarele trebuie să fie implementată o monitorizare a curentului de intrare. Aceasta protejează puterea FET de suprasarcină termică. Dacă oscilația nu pornește în mod corespunzător sau se descompune în timpul funcționării, una dintre puterile FET ar fi permanent controlată de GND și astfel distrusă termic. Nivelul logic FET trebuie utilizat pentru tensiuni de alimentare sub 9V. (**Figura 18**)

CAPITOLUL III

ANALIZĂ COMPARATIVĂ A SISTEMELOR TEW UTILIZATE PENTRU ALIMENTAREA DISPOZITIVELOR ELECTRICE DE PUTERE MICĂ ȘI MEDIE

Cercetarea întreprinsă se bazează pe testarea comparativă a sistemelor TEW, LKCH-TXRX40W-EVB [49] produs de Semtech Corporation [50] și kitul de dezvoltare de 200W, 760308EMP, produs de Infineon și Würth Elektronik, în vederea identificării modului și a parametrilor de funcționare. Finalitatea cercetării este reprezentată de selectarea soluției optime de utilizat în cadrul cercetării/proiectului propus.

Scopul testării produselor îl reprezintă compararea și interpretarea rezultatelor experimentale cu cele teoretice pe baza calculelor, realizarea unui concept grafic și schematic al sistemului de transfer al energiei wireless, realizarea de măsurători și achiziții de date pentru transferul energiei wireless pentru diverse tipuri de consumatori precum și interpretarea rezultatelor experimentale și cele teoretice.

Rezultatul cercetării bazat pe metodele științifice enunțate anterior se va concretiza în dezvoltarea unui sistem proiectat în vederea utilizării în domeniul construcțiilor astfel încât acesta să reprezinte eliminarea barierelor în alimentarea cu energie a dispozitivelor autonome sau în vederea reducerii necesarului de materiale utilizate precum și a operațiunilor costisitoare reprezentate de alimentarea cu energie clasică (cu fire).

3.1 SISTEMUL TEW LKCH-TXRX40W-EVB

Sistemul TEW LKCH-TXRX40W-EVB include un transmițător și un receptor. Modulul testat oferă o soluție completă de sistem și este compatibil cu standardele de transmisie a puterii (WPC) sau standardele Qi, ceea ce face ca acest transmițător să fie o platformă ideală pentru alimentarea majorității receptoarelor wireless utilizate astăzi.

Transmițătorul TSDMTX-24V3-EVM este o platformă pentru testarea și experimentarea soluțiilor de încărcare cu energie wireless, bazată pe controlerul transmițătorului de energie Semtech TS80003, driverul FET TSET002, convertorul DC/DC TS30041 și amplificatorul de curent TS94033.

În timp ce sistemul este capabil să încarce dispozitive la 40W, este de asemenea compatibil și cu dispozitive de putere redusă (5W) dar care permit niveluri de încărcare rapidă.

Caracteristicile sistemului TEW sunt următoarele:

- Intrare 24V / Putere de ieșire 40W;
- Tensiunea de ieșire variabilă (implicit 19V);
- Conform cu standardul WPC1.2;
- Funcție avansată de detectare a obiectelor străine (FOD);
- Suportă diferite protocoale de încărcare a dispozitivelor.

Schema bloc a sistemului TEW este prezentată în **Figurile 26 și 27**. În **Figura 26** este reprezentat modulul de transmitere a energiei wireless (TSDMTX-24V3-EVM) iar în **Figura 27** se regăsește reprezentarea modulului pentru receptarea energiei wireless (TSDMRX-19V/40W-EVM).

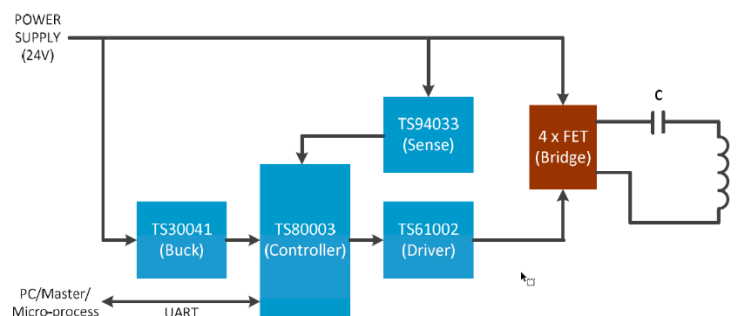


Fig. 26 Schema bloc a transmițătorului (TSDMTX-24V3-EVM)

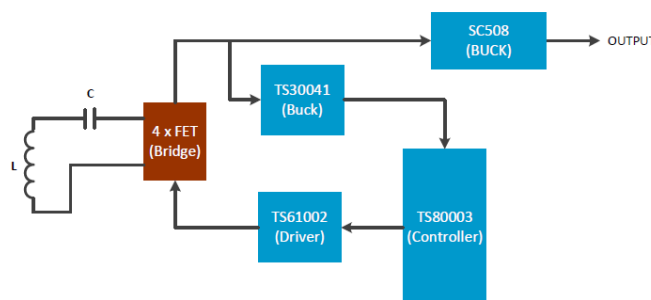


Fig. 27 Schema bloc a receptorului (TSDMRX-19V/40W-EVM)

3.1.1. Descrierea modului de transmitere TEW (TSDMTX-24V3-EVM)

Modulul de transmitere TSDMTX-24V3-EVM poate transfera o putere de până la 40 de wați (atunci când este utilizat împreună cu TSDMRX-19V/40W-EVM) pentru transmisia de putere fără fir compatibilă cu standardele WPC/Qi.

Emițătorul poate fi cuplat cu orice modul receptor Qi pentru a forma un sistem complet de transmisie a energiei fără fir. Alegerea modului receptor Semtech TSDMRX-19V/40W-EVM permite o varietate de experimente pentru a observa comportamentul sistemului din punct de vedere al puterii transmise, al temperaturii în timpul funcționării pentru diverse nivele de putere și timp de funcționare precum și al fiabilității acestuia.

Există o serie de alte module receptoare care acceptă diferite nivele de putere și tensiuni de ieșire, oricare dintre acestea putând fi utilizate deoarece sunt compatibile cu standardul Qi și, prin urmare, sunt compatibile cu transmițătorul TSDMTX-24V3-EVM. De asemenea se poate utiliza orice produs compatibil Qi existent, deși accesul limitat pe care aceste dispozitive îl oferă poate face ca gama de experimente care pot fi efectuate să fie mai limitată.

Tehnologia cheie în sistemul evaluat este circuitul integrat Semtech TS80003, care controlează sistemul și implementează protocolul Qi.

TSDMTX-24V3-EVM poate fi împărțit într-un număr de sub-blocuri, după cum se arată în diagrama din figura 2.

Blocurile componente sunt:

- Sursă de CC de 24 de volți – transformatorul extern care convertește curentul alternativ în curent continuu cu o valoare de 24 de volți;
- Convertorul Buck TS30041, care convertește 24V CC la o valoare de 5V CC;

- Controlerul TEW - bazat pe circuitul integrat TS80003 care conține porturi de comunicare I/O: USB, I2C, senzor de temperatură, afișaj LED;
- Driverul H (Full Bridge) FET TS61002 care acționează FET-urile pe baza semnalelor de la controler;
- Punți FET care direcționează energia de la sursa de 19V pentru a acționa circuitul rezonant (antena);
- Bobina de transmitere a energiei, WE760308102144.

3.1.2. Descrierea modului de receptare TEW (TSDMRX-19V/40W-EVM)

Modulul de receptare TEW, TSDMRX-19V/40W-EVM și modulul său de transmitere TEW compatibil, TSDMTX-24V3-EVM, formează un sistem complet de transmitere a energiei wireless, de mare putere, pentru a furniza energie direct unui consumator sau pentru încărcarea bateriilor Li-ion.

Componentele cheie ale TSDMRX-19V/40W-EVM sunt TS80003, TS61002, TS30041 și SC508. TS 80003 oferă comunicații compatibile Qi și controlul receptorului. TS61002 controlează rectificarea sincronă extrem de eficientă a curentului de curent alternativ din bobina receptorului. TS30041 furnizează 5V tuturor componentelor care necesită această tensiune de funcționare. În cele din urmă, SC508 procesează puterea primită oferind o tensiune de ieșire bine reglată și limitarea curentului pentru sarcină sau către acumulatori. SC508 poate fi anulat pentru a permite aplicarea puterii primite direct la sarcină sau acumulator. Această tehnică poate fi utilizată în aplicații de încărcare cu putere constantă.

După cum se poate vedea în **Figura 65**, receptorul este format din două părți, o bobină și un circuit electronic. Două porturi sunt prevăzute, unul pentru puterea de ieșire și celălalt pentru programare. Acestea sunt situate, respectiv, în colțurile superior și inferior din partea dreaptă a plăcii.

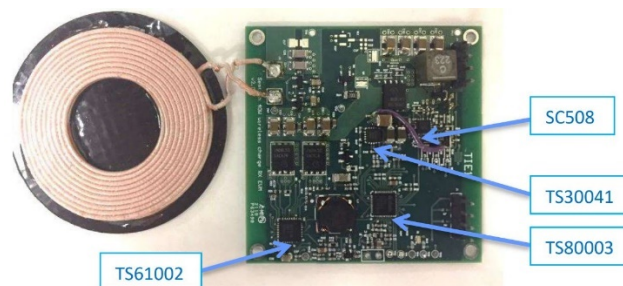


Fig. 65 TSDMRX-19V/40W-EVM

TSDMRX-19V/40W-EVM poate fi împărțit într-un număr de sub-blocuri așa cum se arată în diagrama din **Figura 66**.

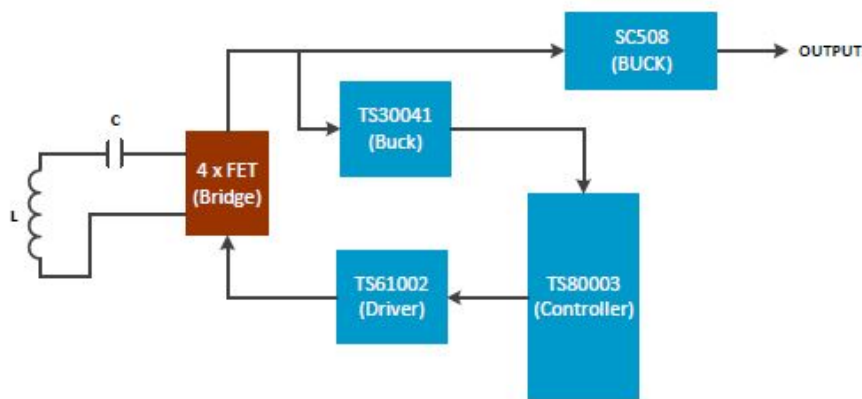


Fig. 66 TSDMRX-19V/40W-EVM

Blocurile componente sunt:

- Bobina receptoare TDK WT505090-20K2-A10-G;
- Convertorul Buck TS30041, care reglează tensiunea primită la o valoare de 5V CC;
- Controlerul TEW - bazat pe circuitul integrat TS80003 care conține porturi de comunicare I/O: USB, I2C, senzor de temperatură, afișaj LED;
- Driverul H (Full Bridge) FET TS61002 care acționează FET-urile pe baza semnalelor de la controler;
- Puntea redresoare FET care transformă curentul alternativ în curent continuu;
- Convertorul intern SC508 care convertește tensiunea redresată la o valoare de 19 V, pentru o putere de 40 W și include, de asemenea, circuite de protecție;

Receptorul poate fi, de asemenea, configurat prin anularea SC508 pentru a permite aplicarea puterii primite direct la sarcină sau acumulator (**Figura 67**).

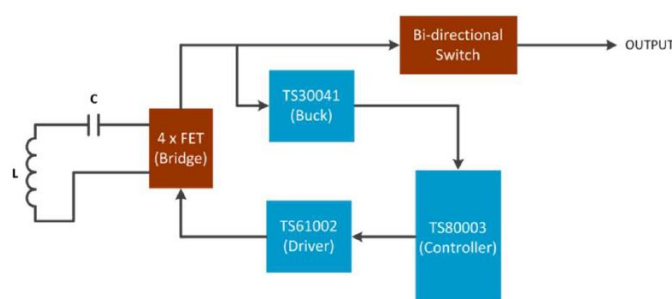


Fig. 67 Configurație fără SC508

3.2. MODUL DE FUNCȚIONARE ȘI TESTAREA SISTEMULUI TEW

TSDMTX-24V3-EVM este ușor de configurat și utilizat. Am utilizat modulul de alimentare și cablul de linie care vine cu kitul EVM pentru alimentarea la EVM prin „J2”, mufa de intrare de 24V. Intervalul de tensiune de intrare acceptabil este de la 22V la 26V. Odată

furnizată puterea de intrare, ledul verde se aprinde aproximativ o jumătate de secundă și apoi se stinge. În acest moment, EVM este gata să transmită energie wireless. De câteva ori pe secundă, emițătorul emite un „ping” (semnal) de energie în căutarea unui receptor conform intervalului.

Atunci când receptorul se află în raza de acțiune (de obicei 4 mm ~ 8mm), receptorul este alimentat suficient în timpul fazei „ping” astfel încât să fie capabil să-și anunțe prezența sa la emițător și să înceapă procesul de transmitere a energiei. Emițătorul furnizează pentru o perioadă scurtă de timp o cantitate mică de putere receptorului nou descoperit astfel încât să-i permită acestuia să-i furnizeze cerințele sale de putere. La finalizarea negocierii, emițătorul începe să furnizeze puterea solicitată, indicată printr-un LED verde intermitent. În timpul transferului de energie, receptorul comunică continuu cu emițătorul, direcționând activ procesul. În acest fel se asigură transmiterea puterii atâta timp cât este solicitată de un receptor disponibil și compatibil cu emițătorul. Dacă este necesar, un receptor poate crește sau reduce în mod activ cererea de alimentare, iar emițătorul va acționa în consecință. Ca atare, echipamentele cu cerințe complexe de încărcare pot fi acceptate cu exactitate și este asigurată doar cantitatea dorită de putere.

Odată ce încărcarea este finalizată, LED-ul nu mai clipește și rămâne aprins. Dacă este detectată vreo eroare, ledul roșu este aprins și emiterea de energie este oprită. Pentru a reporni, receptorul trebuie scos din intervalul de distanță (4-8mm) față de emițător și pus din nou în zona țintă pentru a începe un nou proces de transmitere a energiei wireless.

3.2.3 Testarea sistemului TEW

Testele pot fi efectuate cu utilizarea unui modul receptor TEW. Există o serie de receptoare produse de Semtech [51], Wurth Electronics Inc. [52], Adafruit Industries LLC [53], STMicroelectronics [54], JH Electronic Technology Ltd [55], RRC [56], Texas Instruments [57], Seeed Technology Co., Ltd [58], Rohm Semiconductor [59], NXP USA Inc. [60], IDT [61] care acceptă diferite niveluri de putere și tensiuni de ieșire, oricare dintre acestea putând fi utilizate, deoarece toate acceptă standardul Qi și, prin urmare, sunt compatibile cu transmițătorul TSDMTX-24V3-EVM. În această cercetare am selectat TSDMRX19V/40W-EVM ca receptor pentru testare.

De asemenea, se pot utiliza telefoane care includ funcții de încărcare wireless WPC, cum ar fi Samsung S6-S10 sau Apple Iphone 8-11, pentru a testa TSDMTX-24V3-EVM.

Pentru a utiliza TSDMRX-19V/40W-EVM ca receptor țintă, pur și simplu se plasează receptorul peste cercul țintă pe modulul emițător. Se vor aprinde LED-urile de culoare verde, ceea ce indică negocierea realizată între cele două module.

Se pot selecta o serie de opțiuni posibile. Sarcina optimă de selectat ar fi o sarcină continuă programabilă. Se poate regla cu ușurință o anumită putere, ceea ce face sistemul foarte flexibil și ușor de utilizat. Dacă nu este disponibilă, se poate utiliza o unitate cu rezistențe pentru a simula o serie de condiții de încărcare.

Orice sarcină este selectată, conductorii se conectează de la pinii VOUT + și GND ai receptorului TEW la sarcina de testare selectată. După adăugarea sarcinii, receptorul TEW poate fi utilizat pentru a efectua o varietate de teste. În mod alternativ, puterea poate fi extrasă din liniile VBUS și GND ale portului USB.

Se conectează un voltmetru CC pe pinii VOUT + și GND pentru a monitoriza tensiunea care este emisă la sarcină, și un ampermetru CC în serie cu linia VOUT +.

Fără nicio sarcină conectată, prin așezarea receptorului în centrul cercului țintei transmițătorului, odată ce transmisia începe, se citesc valorile de 24 de volți și 0 amperi.

Prin aplicarea unei varietăți de sarcini se poate observa performanța la niveluri de 5, 10 și 15 wați. Tensiunea ar trebui să rămână aproape constantă, iar curentul ar trebui să urmeze relația $P = U \times I$. Se poate experimenta cu o putere maximă care poate fi extrasă înainte ca receptorul să detecteze o suprasarcină și să întrerupă puterea. Se poate observa cum la o suprasarcină de scurtă durată, receptorul va încerca să restabilească puterea testând încărcarea intermitent. În cazul unei supraîncărcări majore, emițătorul poate înregistra o eroare, așa cum este indicat de un LED roșu de pe acesta astfel încât se va opri activitatea ulterioară până când receptorul este îndepărtat din zona țintă timp de câteva secunde înainte de a fi plasat din nou pentru a porni un nou transfer.

LED-urile roșii și verzi de pe modulul TEW anunță utilizatorul ce face emițătorul în funcționare. Așa cum se vede în diagrama de mai jos, **Figura 78**, atunci când este aplicată puterea, transmițătorul se inițializează după cum este indicat de LED-ul verde aprins timp de aproximativ o jumătate de secundă. Apoi, pe măsură ce emițătorul caută un receptor din apropiere, nu se aprinde niciun LED, menținând puterea la un nivel minim în această stare de așteptare. Când un receptor este localizat, emițătorul primește instrucțiuni cu privire la transferul ce va urma. Se transmite apoi puterea și LED-ul verde clipește în fiecare secundă indicând un eveniment de încărcare în desfășurare.

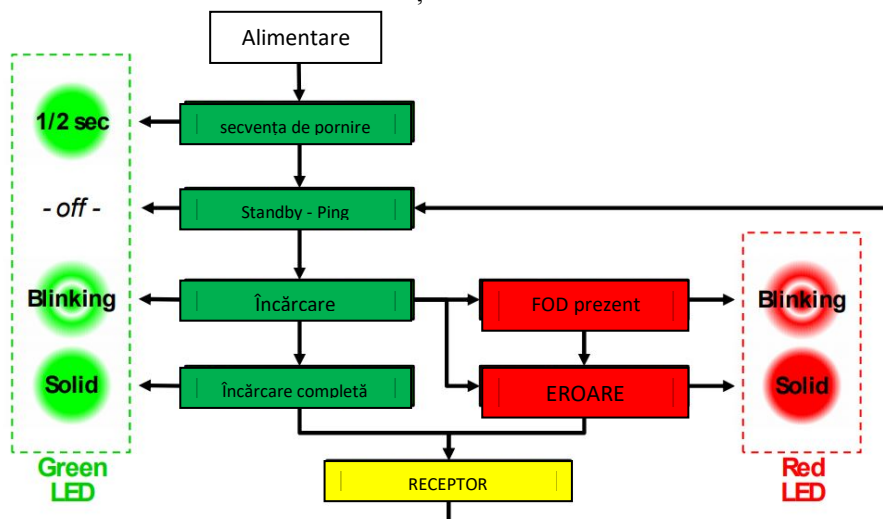


Fig. 78 Schema de funcționare a LED-urilor sistemului TEW

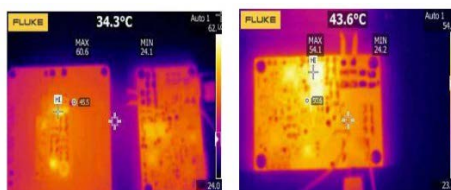
În timpul transferului, dacă este detectat un obiect străin, încărcarea este anulată, iar LED-ul roșu va clipi în fiecare secundă indicând defectul detectat și va continua să facă acest lucru până când receptorul va fi îndepărtat din zona țintă. În mod similar, orice altă eroare detectată va anula procesul de încărcare, indicat printr-un LED roșu constant, care rămâne aprins până la scoaterea receptorului. Condițiile de eroare includ erori de comunicare între receptor și transmițător și detectarea excesului de tensiune, curent, putere sau temperatură pe receptor sau transmițător. În lipsa unei erori, încărcarea continuă până când receptorul indică că nu este necesară o altă putere, de obicei atunci când o baterie atașată este complet reîncărcată.

În acest moment, transmițătorul intră în starea completă a încărcării, așa cum este indicat de LED-ul verde aprins constant, ceea ce continuă să facă până când receptorul este scos din emițător. Ori de câte ori receptorul este eliminat din zona țintă, emițătorul revine la starea de așteptare, căutând un alt receptor.

3.2.5 Analiză termică a modulelor electronice

Testarea sistemului TEW a fost efectuată la o temperatură ambientală de 26,5°C. Dispozitivul de preluare a imaginilor termice utilizat a fost FLUKE TIS10 cu specificațiile în **ANEXA 15**.

În **Figurile 79a** și **79b** sunt imaginile termice capturate utilizând TSDMRX-19V20W-EVM pentru o putere de 20W. Astfel, în **Figura 79a**, pentru receptorul TEW, temperatura maximă se atinge la 60,6°C din zona controlerului TS80003 iar în **Figura 79b**, în dreptul emițătorului TEW se atinge temperatura maximă de 54,1°C.

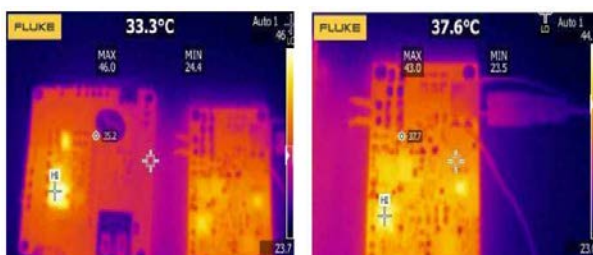


a) TSDMRX-19V20W-EVM

b) TSDMTX-24V3-EVM

Fig. 79 Imagini termice sistem TEW

În **Figurile 80a** și **80b** sunt imaginile termice capturate utilizând TSDMRX-19V20W-EVM pentru o putere de 10W. Astfel, în **Figura 80a**, pentru receptorul TEW, temperatura maximă se atinge la 46°C iar în **Figura 80b**, în dreptul emițătorului TEW se atinge temperatura maximă de 43°C.



a) TSDMRX-19V20W-EVM

b) TSDMTX-24V3-EVM

Fig. 80 Imagini termice sistem TEW

Imaginea termică a TSDMRX-19V/40W-EVM în cadrul testului de încărcare completă este prezentată mai jos. Componenta cu cel mai înalt coeficient de căldură de pe modul este mosfetul regulatorului buck (75°C), după cum se poate vedea în **Figura 81**.

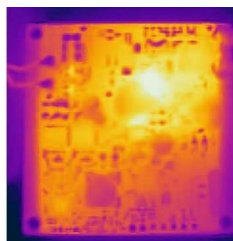


Fig. 81 Imagine termică TSDMRX-19V/40W-EVM

3.2.6 Testarea modului receptor TSDMRX-19V/40W-EVM utilizat pentru încărcarea acumulatorilor

Cu ajutorul modului transmițător TSDMTX 24V3-EVM se pot efectua o varietate de teste. Prin conectarea unei surse de 24V capabile să furnizeze mai mult de 50 W putere la intrarea în transmițător folosind un conector de alimentare coaxial OD de 3,5 mm, la aplicarea puterii, LED-ul verde se aprinde, indicând că modulul este acum activ. Pentru a utiliza TSDMRX-19V/40W-EVM ca receptor țintă, acesta este plasat peste cercul țintei („bobina primară” sau „antena emițătorului”) pe modulul EVM al transmițătorului, apoi se conectează un acumulator la J4 al receptorului.

Se conectează un voltmetru de curent continuu între pinii VOUT și PGND pentru a monitoriza tensiunea și un ampermetru de curent continuu în serie cu linia J4 pentru a monitoriza curentul de încărcare. Aparatele de măsură sunt configurate pentru 20 de volți și 2,5 amperi.

LED-ul receptorului trebuie să fie verde atunci când receptorul este plasat pe transmițătorul activ. Aceasta indică faptul că tensiunea de ieșire este normală.

3.3 SISTEMUL TEW 760308EMP

Sistemul TEW 760308EMP [62] reprezintă un kit de dezvoltare realizat în colaborare de către Infineon și Würth Elektronik. Acest sistem oferă posibilitatea demonstrării avantajului transferului de energie wireless la un nivel de putere medie astfel încât să aducă dezvoltatorilor capacitatea de testare și integrare în diverse aplicații.

Kitul de dezvoltare este conceput pentru a fi operat într-un mediu de cercetare și dezvoltare sub supravegherea tehnicienilor sau inginerilor calificați în scopuri de testare și măsurare.

Puterea transmisă cu ajutorul kitului a reprezentat motivul pentru care m-am orientat către testarea acestui sistem prin analiză comparativă cu kitul descris anterior (Semtech LKCH-TXRX40W-EVB).

Sistemul își găsește aplicabilitate în următoarele domenii:

- Drone, mașini de tuns iarba robotizate și scule electrice;
- IoT;
- Aplicații industriale;
- Dispozitive din mediul medical;
- Dispozitive cu un număr mare de cicluri de conectare galvanică, pentru a evita deteriorarea conectorului.

Domeniile de aplicabilitate ale kitului de dezvoltare au reprezentat motivul pentru care am ales testarea acestuia.

3.3.1 Descrierea TEW 760308EMP

Sistemul TEW 760308EMP din **Figura 82** are la bază BSZ070N08LS5 care este un MOSFET de putere OptiMOS™ 5 care are nivelul $R_{DS(on)}$ potrivit pentru acest kit de 200 W într-un format SMD foarte compact de 3,3 x 3,3 mm.

De asemenea este echipat cu un regulator de tensiune ce are la bază un controler de mare viteză IR1161L proiectat cu dimensiuni reduse dar care îmbunătățește eficiența cu până la 2% față de rectificarea cu diodă simplă. Caracteristica de timp minimă este reglabilă pentru a se asocia cu o varietate de MOSFET-uri Infineon. XMC1302 este un procesor ARM® Cortex®-M0 până la 48 MHz reprezentând cea mai bună alegere pentru aplicațiile de încărcare wireless de înaltă performanță, inteligente și sigure. Bobina de transfer de energie fără fir 760308102142 are un factor Q ridicat pentru o eficiență ridicată a transferului de putere. Convertorul 171032401 este ușor de utilizat, de dimensiuni mici și potrivit pentru o gamă largă de aplicații. Condensatoarele 860160578032 sunt condensatoare electrolitice cu durată lungă de viață și cu o rezistență echivalentă serie (ESR) scăzută.

Sistemul reprezintă o soluție tehnologică PLUG & PLAY compusă din ambele module (TX și RX) cu o putere de până la 200W. Abordarea sistemului este modulară și flexibilă astfel încât soluția poate fi integrată în diverse proiecte TEW.



Fig. 82 Sistem TEW 760308EMP

3.3.2. Specificații tehnice

Tensiunea de intrare a rețelei: 100V-240V CA

Tensiunea de intrare redresată: 24V CC

Puterea maximă transmisă: 200W

Tensiunea de ieșire: 19-20V CC

Distanța maximă dintre bobine: 10 mm

3.3.3. Schema bloc funcțională

Sistemul prezentat în **Figura 83** este compus din modulul de transmitere a energiei, modulul de receptare a energiei precum și sursa de alimentare în curent continuu.

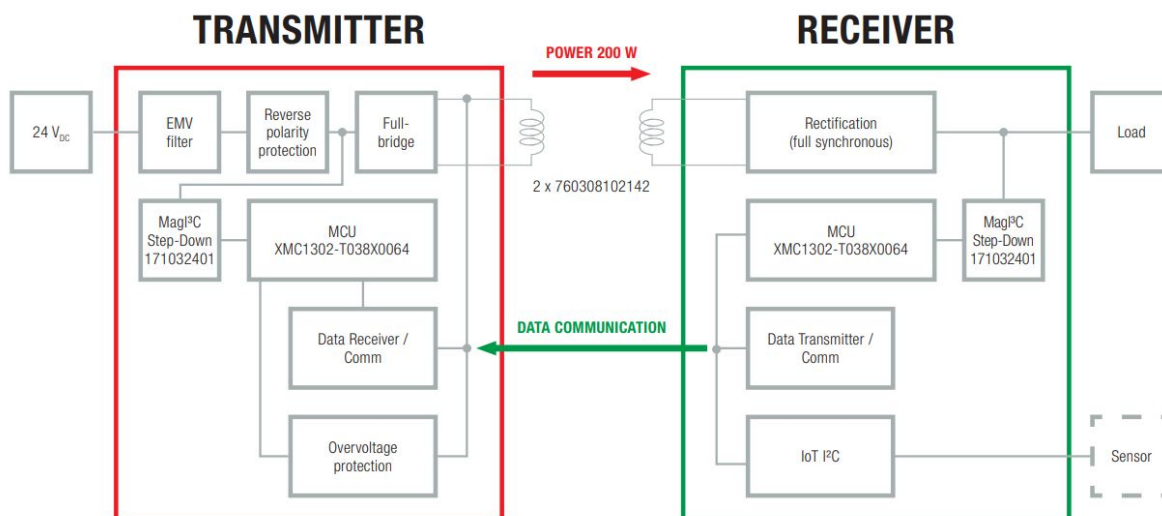


Fig. 83 Schema bloc funcțională a sistemului TEW 760308EMP

Modulul de transmitere a energiei conține filtrul EMI, protecția la inversarea polarității, puntea redresoare, bobina și circuitul de control. Transferul de putere este controlat complet digital de un microcontroler din seria XMC1302. Semnalele de control pentru puntea redresoare sunt generate de MCU și pot fi controlate în modul automat sau în modul manual. În modul manual, frecvența de comutare poate fi modificată cu ajutorul codificatorului. Aceasta poate fi folosită pentru a modifica tensiunea de ieșire sau pentru a optimiza eficiența.

Modulul de receptare a energiei integrează toate funcțiile necesare pentru a acționa ca un receptor de alimentare fără fir, cum ar fi: redresarea sincronă completă (înlocuiește diodele Schottky prin MOSFET-uri ce au $R_{DS(on)}$ scăzut, astfel micșorându-se disiparea de căldură și crescând eficiența (cu 3-4%) și fiabilitatea precum și scăderea dimensiunilor⁶³), modulatorul și modulul de alimentare WE MagI³C. Modulatorul este utilizat pentru transferul de date. Este controlat de MCU pentru a trimite date din partea receptorului către partea transmițătorului. Receptorul este echipat cu o interfață I²C care poate fi utilizată pentru a interfața cu senzorii. Interfața senzorului are propria sursă de alimentare reglabilă.

Sursa de alimentare din **Figura 84** se conectează în soclul J4 al Modulului de transmitere și are următoarele caracteristici tehnice:

- Tensiunea de intrare: 100-240V AC;
- Tensiunea de ieșire: 24V CC;
- Curentul de ieșire: 6,25A.



Fig. 84 Sursa de alimentare a sistemului TEW 760308EMP

3.3.4. Descrierea componentelor sistemului TEW 760308EMP

Kitul de dezvoltare TEW 760308EMP reprezintă o soluție tehnologică dezvoltată cu scopul să analizeze componentele utilizate în transmiterea wireless a energiei astfel încât să se obțină cele mai bune rezultate din punct de vedere al eficienței transferului precum și al fiabilității sistemului.

Astfel, în **Tabelul 18** se regăsesc componentele cheie utilizate iar în următoarele rânduri voi descrie caracteristicile acestora precum și modul de funcționare.

Tabel 18 Componentele cheie ale sistemului TEW 760308EMP

PRODUCĂTOR	CLASA PRODUSULUI	NUMĂRUL SERIE	DE	MODULUL CARE UTILIZEAZĂ	ÎN SE
Infineon	Tranzistor OptiMOS™ 5	BSZ070N08LS5		RX	
Infineon	Controller redresare sincronă	IR1161L		RX	
Infineon	ARM® Cortex®-M0 Microcontroller	XMC1302- T038X0064 AB		TX și RX	
Würth eiSos	Elektronik Bobină TEW	760308102142		TX și RX	
Würth eiSos	Elektronik Modul de putere MagI ³ C	171032401		TX și RX	
Würth eiSos	Elektronik Condensator WCAP- ATLL	860160578032		RX	

3.3.4.1. Modulul TX TEW 760308EMP

Componentele PCB ale Modulului TX TEW 760308EMP din **Figura 85** conform descrierii din [64] sunt următoarele:

- WCAP-ATLL 860160578032, 860160675026
- MagI³C-VDRM 171032401
- WCAP-CSGP 885012207103, 885012207086, 885012207098, 885012209048, 885012207092, 885012207094, 885012007054, 885012109011, 885012208087, 885012207100, 885012207079, 885012007061
- WL-SMCW 150080RS75000, 150080GS75000, 150080BS75000
- WCAP-ASLL 865060440001
- WCAP-FTX2 890324025039CS
- WE-ExB 744844221
- WE-MAPI 74438336100
- WR-TBL 691313510002
- WR-PHD 61300821121
- WR-BHD 61200821621
- WR-DC 694108106102
- WA-SPAIE 971100365
- WA-SPAI 970300365
- WE-WPCC 760308102142

3.3.4.2. Modulul RX TEW 760308EMP

Componentele PCB ale Modulului RX TEW 760308EMP din **Figura 86** conform descrierii [109] sunt următoarele:

- WCAP-CSGP 885012207103, 885012207092, 885012207098, 885012107018, 885012207086, 885012207094, 885012109011, 885012208087, 885012209048, 885012207100, 885012007031, 885012208083, 885012208091, 885012007057, 885012207079
- WCAP-PSLC 875075555003
- WCAP-ATLL 860160578032
- WL-SMCW 150080RS75000, 150080GS75000, 150080BS75000
- MagI³C-VDRM 171032401
- WR-PHD 61300821121, 613004243121
- WE-MAPI 74438336100
- WR-TBL 691313510002
- WE-PF 742792901
- WA-SPAIE 971100365
- WE-SPAI 970300365
- WE-WPCC 760308102142

3.4. MODUL DE FUNCȚIONARE ȘI TESTAREA SISTEMULUI TEW 760308EMP

Sistemul TEW 760308EMP din **Figura 87** poate fi utilizat într-o gamă largă de aplicații în care transferul energiei wireless aduce un avantaj față de utilizarea clasică de alimentare cu energie electrică.

Datorită puterii proiectate să o livreze, sistemul se încadrează în intervalele TEW de mică și medie putere.

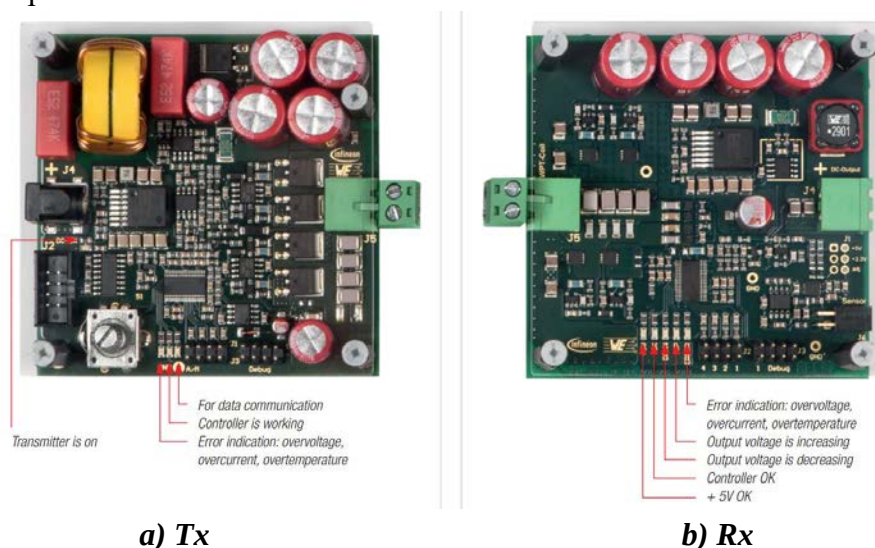


Fig. 87 Sistemul TEW 760308EMP

În **Figura 89** se poate observa kitul de transfer al energiei wireless pregătit pentru testare și poziționat la distanța de 1cm între bobinele Tx și Rx.

La punerea în funcțiune (**Figura 90**) ledurile celor două module s-au aprins corespunzător indicând starea de funcționare normală iar pentru distanța de 1 cm dintre bobinele Tx și Rx (**Figura 91**) valorile citite cu aparatele de măsură au indicat eficiența prevăzută în descrierea sistemului și anume de aproximativ 90%. (**Figura 92**)

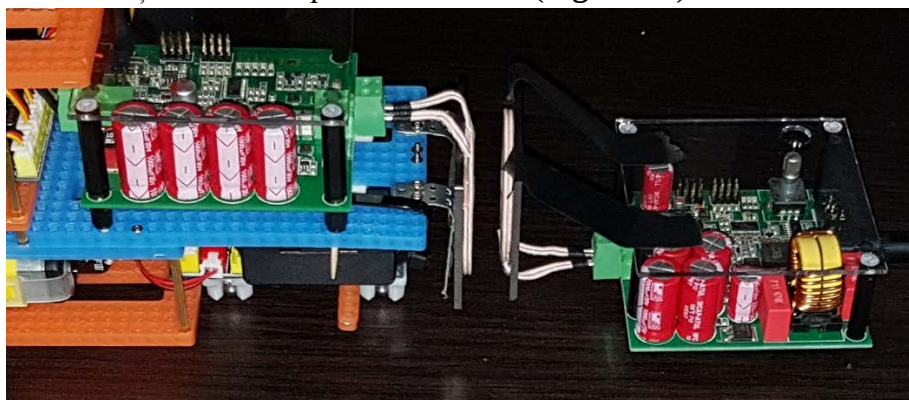


Fig. 89 Sistemul TEW pregătit pentru testare



a) Tx

b) Rx

Fig. 90 Afișarea modului normal de funcționare prin indicațiile luminoase

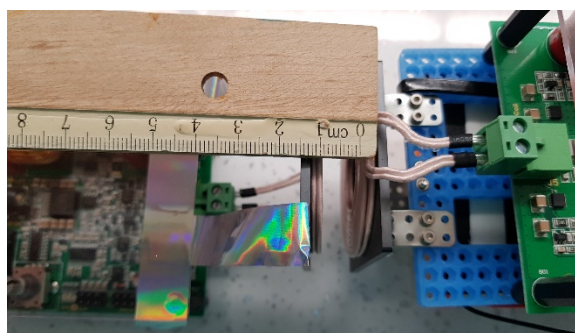


Fig. 91 Distanța de 1 cm dintre bobinele Tx și Rx

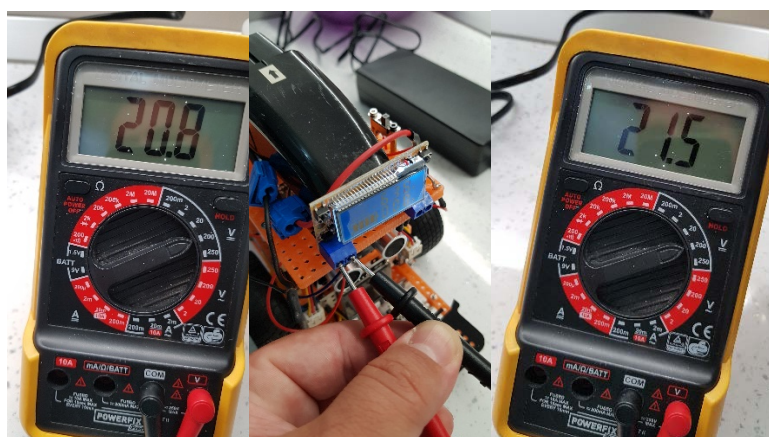


Fig. 92 Valorile de tensiune pe modulul Rx

Pentru distanța de 1,5 cm dintre bobinele Tx și Rx (**Figura 93**) sistemul a continuat să funcționeze și să transmită fără eroare cu o eficiență a sistemului de 50%.



Fig. 93 Distanța de 1,5 cm dintre bobinele Tx și Rx și valoarea tensiunii de ieșire la modulul Rx

Pentru distanța de 2 cm dintre bobinele Tx și Rx (**Figura 94**) sistemul a continuat să funcționeze și să transmită fără eroare cu o eficiență a sistemului de 38%.

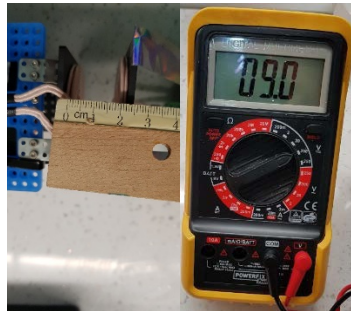


Fig. 94 Distanța de 2 cm dintre bobinele Tx și Rx și valoarea tensiunii de ieșire la modulul Rx

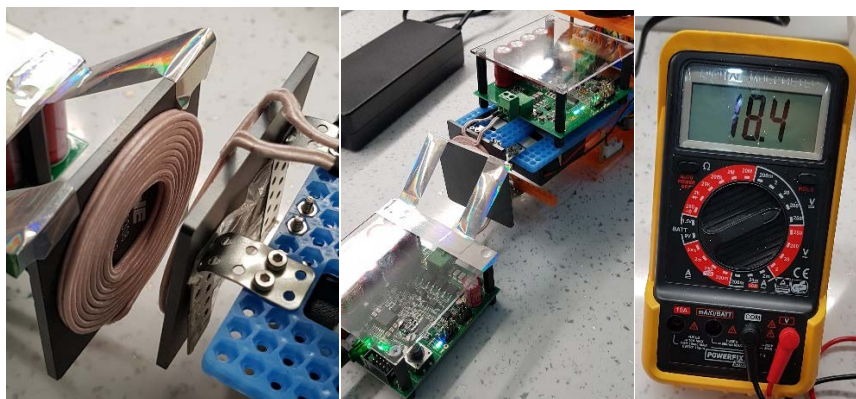
Sistemul a continuat să funcționeze și să transmită fără eroare până la distanța de 2,2 cm între bobinele Tx și Rx (**Figura 95**) dar cu o eficiență a sistemului de 25%.



Fig. 95 Distanța de 2,2 cm dintre bobinele Tx și Rx și valoarea tensiunii de ieșire la modulul Rx

După distanța de 2,2 cm dintre bobinele Tx și Rx, ledurile de pe modulul Rx se sting dar transferul continuă până la distanța de aproximativ 3 cm unde se înregistrează valoarea 0 a transferului.

Alinierea laterală (**Figura 96a**) și angulară (**Figura 96b**) [65, 66] au fost alte două situații evidențiate în transferul energiei dintre cele două module în limita distanței de 1cm. Astfel, la deplasarea laterală a modulului Rx față de modulul Tx, transferul se întrerupe în momentul în care 50% din suprafața bobinei este deplasată lateral față de bobina Tx. La formarea unghiului între cele două bobine se păstrează o eficiență de 75% la un unghi de 30° după care valoarea scade rapid.



a) aliniment lateral

b) aliniment angular

Fig. 96 Aliniamentul lateral și paralel între Tx și Rx

3.5. ANALIZA COMPARATIVĂ A SISTEMELOR TEW TESTATE

Ca urmare a testării celor două sisteme TEW s-a dovedit funcționarea ambelor în parametrii proiectați.

Eficiența ambelor sisteme a fost maximă în intervalele proiectate atât pentru sistemul Semtech LKCH-TXRX40W-EVB (4-8mm) cât și pentru sistemul Wurth Infineon 760308EMP (până la 1 cm) cu un plus pentru sistemul Wurth Infineon 760308EMP.

Din punct de vedere al temperaturilor atinse de componentele celor două sisteme, ambele au funcționat fără a fi evidențiate creșteri peste limitele proiectate.

Sistemul Wurth Infineon 760308EMP depășește la nivel de putere transmisă sistemul Semtech LKCH-TXRX40W-EVB conform caracteristicilor tehnice proiectate și dovedite prin testare ceea ce conduce către alegerea acestuia ca și soluție de integrat în proiectul vizat de cercetarea prezentă.

CAPITOLUL IV

DEZVOLTAREA SISTEMULUI DE TRANSMITERE A ENERGIEI WIRELESS PENTRU ALIMENTAREA APARATELOR ELECTRICE ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR

Transmiterea energiei wireless nu mai este doar un concept. În ultimii ani, TEW a trecut rapid prin etapele de cercetare, proiectare și testare iar astăzi, după cum am prezentat și în secțiunile anterioare, a devenit un segment care s-a dezvoltat până la apariția soluțiilor complete în diverse domenii.

Versatilitatea TEW prin interconectarea cu sursele regenerabile de obținere a energiei și prin domeniile extinse de aplicabilitate produce într-un ritm susținut cercetare în domeniu și conduce către proiectarea de noi soluții tehnologice. Aceste produse modifică perspectiva în proiectarea clădirilor, a vehiculelor, a dispozitivelor electronice, a sculelor și uneltelor electrice și nu numai.

În urmă cu numai câțiva ani am proiectat sisteme de transmitere a energiei wireless pentru puteri reduse (aproximativ 6W) utilizând componente THT cât și SMD cu un randament cuprins între 60-65% pentru o distanță de până la 5cm. Soluțiile proiectate au fost realizate cu scopul de a prezenta modul de transfer al energiei fără conductori dar și pentru a trasa direcții în utilizarea acestora.

Astăzi, cercetarea întreprinsă are la bază produse dezvoltate în laboratoare foarte performante cu „know-how” de nivel înalt iar rolul personal este acela de analizare și testare ale acestora în vederea proiectării și dezvoltării de soluții noi în domeniul TEW precum și pentru integrarea acestora în cadrul dispozitivelor existente în vederea facilitării și siguranței transferului de energie electrică.

Astfel, în cadrul cercetării efectuate voi prezenta soluții inovatoare de utilizare a dispozitivelor TEW pentru implementarea acestora în cadrul construcțiilor civile și industriale.

Dacă din punct de vedere al fiabilității, siguranței în utilizare precum și a opțiunilor hardware cât și software, ambele sisteme testate și prezentate în capitolul al treilea reprezintă soluții complete pentru transmiterea energiei wireless, am ales utilizarea sistemului TEW 760308EMP pentru dezvoltare și integrare în conceptele pe care le voi descrie în următoarele subcapitole.

Soluția tehnologică aleasă pentru dezvoltarea conceptului de transmitere a energiei electrice într-o platformă viabilă pentru modernizarea transferului de energie la nivelul activităților umane este sistemul TEW 760308EMP.

Acest sistem, conform testelor efectuate precum și analizei comparative reprezintă un concept sigur, fiabil și ușor de implementat în cadrul proiectelor TEW.

Punctul forte al acestui sistem a fost reprezentat de nivelul de putere pe care îl poate transmite care este suficient pentru alimentarea diferitelor aparate electronice, unelte și scule electrice atât din punct de vedere al menținerii în funcțiune precum și pentru asigurarea încărcării acumulatorilor.

Având la bază cercetarea întreprinsă anterioară în domeniul transferului de energie wireless, surselor de energie regenerabile precum și a teoriei asupra autonomiei sistemelor am

inițiat prezenta cercetare ca suport pentru crearea unor soluții tehnologice ce pot fi utilizate în domeniul construcțiilor.

Astfel, în secțiunile următoare voi prezenta realizarea a două sisteme TEW care pot fi implementate încă din faza de proiectare a construcțiilor în vederea facilitării alimentării cu energie pentru diverse dispozitive electronice la nivel de clădire și pentru vehicule electrice sau roboți autonomi cu diverse funcții în exteriorul clădirilor.

4.1. Descrierea generală și implementarea sistemelor BEF (Brick Energy Free) / PEF (Pillar Energy Free) pentru transmiterea energiei wireless

Construcțiile civile și industriale construite în zilele noastre trebuie să satisfacă mai multe cerințe astfel încât să contribuie la eliminarea poluării și a utilizării judicioase a resurselor energetice.

Au apărut soluții noi de integrare a resurselor regenerabile de energie, fie că este vorba despre sistemele fotovoltaice sau eoliene pentru asigurarea energiei electrice sau despre sistemele ce asigură climatizarea locuințelor.

O dată cu progresul în această direcție, cercetarea în transferul energiei wireless vine ca o soluție pentru integrarea în circuitul producerii și consumului de energie care să aducă modernism și în același timp să faciliteze alimentarea cu energie al aparatelor autonome cum ar fi roboții sau vehiculele electrice.

Astfel, pornind de la termeni în limba engleză am creat două concepte de sisteme TEW și anume BEF și PEF.

BEF (**Figura 97**) reprezintă acronimul de la expresia „Brick Energy Free” și poate fi descris ca fiind o sursă de energie integrată în zidăria clădirilor astfel încât să ofere energie acolo unde s-a identificat din faza de proiectare că este necesară fără a se utiliza conductori către consumatori. Ideea presupune crearea unui sistem de dimensiuni standard în domeniul construcțiilor, alimentat la rețeaua electrică a clădirii și care să poate transfera energie simultan, atât în exterior cât și în interior către diverse dispozitive electrice.



Fig. 97 BEF

PEF (**Figura 98**) reprezintă acronimul de la expresia „Pillar Energy Free” și poate fi descris ca fiind o sursă de energie disponibilă în jurul clădirilor, pe suprafața de teren unde se identifică necesitatea unei surse de energie și unde nu se poate utiliza BEF. PEF este un stâlp cilindric sau paralelipipedic retractabil la nivelul solului sau fix, care este alimentat subteran cu energie electrică și care, prin implementarea sistemului TEW, poate transmite energie wireless către dispozitive sau mașini electrice.



Fig.98 PEF

Dispozitivele electrice aflate în interiorul clădirilor pot fi: aspiratoare robot autonome, roboți de bucătărie, roboți suport pentru persoanele cu dizabilități, electronice multimedia (TV, DVD, sisteme audio, sisteme de supraveghere, banc de lucru cu aparate și unelte electrice etc.), surse de iluminat.

Dispozitivele și mașinile electrice utilizate în exteriorul clădirilor pot fi: roboți pentru îngrijirea gazonului, banc de încărcare pentru unelte utilizate în activitățile de îngrijire a spațiilor verzi (coasă electrică, foarfecă electrică, drujbă electrică etc.), vehicule electrice (bicicletă electrică, trotinetă electrică, hoverboard, automobile etc.).

În contrast cu utilizarea conductorilor pentru extinderea rețelei electrice în funcție de necesitate, utilizarea BEF/PEF reprezintă o soluție inteligentă, dezvoltată astfel încât să ofere energie electrică sigură și disponibilă permanent. În **Figura 99** este prezentată o exemplificare grafică a modului de integrare BEF/PEF.

4.2. Descrierea sistemelor BEF/PEF

Ambele sisteme au la bază utilizarea sistemului TEW 760308EMP descris anterior. În integrarea sistemului TEW 760308EMP în cadrul BEF/PEF soluția adoptată diferă în funcție de modulul suport fie că este vorba despre un bloc monolitic realizat prin imprimare 3D în cazul BEF fie că este vorba despre un cilindru/paralelipiped al unui sistem deja existent ca produs comercial în cazul PEF.

În ambele sisteme se vor integra următoarele componente:

- sursa alimentare AC/DC pentru modulul Tx al TEW 760308EMP;
- modulul Tx al TEW 760308EMP.

Conexiunea electrică se va realiza cu conductori din rețeaua electrică proiectată a construcției pentru BEF și care va fi extinsă subteran pentru PEF.

Ambele sisteme vor fi conectate prin circuite dedicate și protejate cu disjunctori diferențial de 10mA pentru siguranța utilizării. De asemenea, pentru sistemul PEF se va ține

cont de respectarea gradului de protecție IP68W astfel încât, indiferent de condițiile de mediu, să existe siguranță în utilizare și protecție a dispozitivului față de factorii externi.

4.3. Conceperea și realizarea sistemului TEW

4.3.1. Obiectivul propus

Sistemul TEW reprezintă o soluție modernă de transfer al energiei. Mi-am propus realizarea unei lucrări practice care să pună în vedere aspectele teoretice ale transmiterii energiei wireless și în același timp să reprezinte un argument pentru realizarea sistemelor BEF/PEF.

De asemenea, sistemul realizat are și o valență didactică deoarece poate fi utilizat în demonstrarea principiului transmiterii energiei wireless și al integrării acestuia în dispozitivele electrice.

4.3.2. Schema bloc a sistemului TEW

Schema bloc a sistemului realizat prezentată în **Figura 100** prezintă totalitatea modulelor componente: sistemul TEW 760308EMP, acumulatori, robot MIRO, sursă coborâtoare de tensiune CC-CC, placă dezvoltare Arduino, circuite electrice.

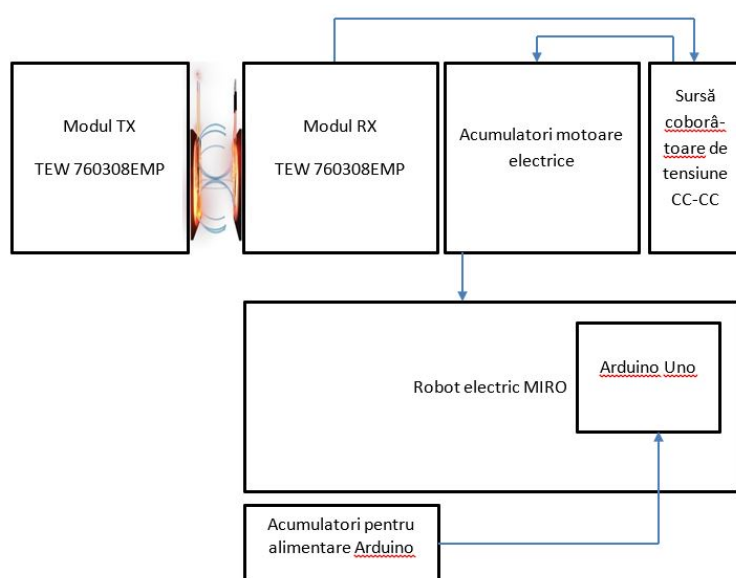


Fig. 100 Schema bloc a sistemului TEW

4.3.3. Etapele construirii sistemului TEW

Pentru realizarea sistemului TEW am analizat o serie de produse și materiale disponibile conform cerințelor enunțate anterior referitoare la conceptul transmiterii energiei wireless în domeniul construcțiilor.

Analiza esențială și descrisă în capitolul 3 am avut în vedere identificarea soluției optime de transmitere a energiei wireless pentru proiectul propus.

Sistemul TEW 760308EMP din **Figura 101** a fost sistemul ales datorită, în primul rând, disponibilului de putere furnizat fără conductori.



Fig. 101 TEW 760308EMP

Sistemul reprezintă un kit de dezvoltare și așa cum a fost prezentat anterior se pretează pentru o serie de aplicații TEW de putere mică și medie.

De asemenea, kitul de dezvoltare este scalabil astfel încât se pot dezvolta sisteme de până la 1kW pe baza specificațiilor sistemului prezentat.

Pentru exemplificarea BEF/PEF am ales în continuare un dispozitiv capabil să efectueze sarcini asemănătoare aspiratoarelor roboți, mașinilor de tuns iarba roboți sau chiar a vehiculelor electrice. Robotul MIRO prin posibilitatea de a fi programabil astfel încât să execute sarcini de mobilitate diverse reprezintă modul în care dispozitivele prezentate realizează operațiunile pentru care au fost realizate.

Pentru exemplificarea încărcării acumulatorilor am ales să folosesc acumulatori Ni-Cd pentru puterea livrată precum și pentru ușurința în utilizare.

Deoarece Sistemul TEW 760308EMP livrează la ieșire o putere de aproximativ 150W (19V și aproximativ 8A) am ales o sursă coborâtoare de tensiune CC-CC cu afișaj (5A, tensiune de intrare: 6.5 - 36V, tensiune de ieșire: 1.2 - 32V) pentru încărcarea optimă a acumulatorilor (4 x 1,2V, 2000mAh).

4.3.4. Realizarea algoritmului de funcționare a dispozitivului ce integrează receptorul TEW

Pentru testarea conceptului de transmitere a energiei wireless pentru diverse dispozitive, ulterior construirii robotului MIRO, utilizând aplicația MIXLY am conceput codul de programare a plăcuței Arduino Uno.

În conceperea codului am ținut cont de două direcții în utilizarea dispozitivului:

- un program (V1) de parcurgere a unui traseu prin urmărirea unei linii astfel încât să simuleze activitatea desfășurată de aparate autonome într-un anumit perimetru (mașină electrică de tuns iarba, aspirator, scarificator etc.) cu încărcarea acumulatorilor atunci când tensiunea acestora scade sub o anumită valoare presetată;

- un program (V2) combinat de parcurgere a unui traseu pentru înregistrarea datelor de temperatură și umiditate în care dispozitivul utilizează toți senzorii integrați astfel încât acesta poate evita obstacole, poate aprinde leduri de iluminare atunci când photodioda indică o valoare

scăzută a luminozității precum și de urmărire a liniei pentru încărcarea acumulatorilor atunci când tensiunea acestora scade sub o anumită valoare presetată.

Pentru scrierea codului au fost declarate variabile și funcții de rulat în funcție de programul utilizat.

Programarea în MIXLY este intuitivă și utilizează blocuri care sunt transpuse automat în linii de cod fiind accesibilă înțelegerii limbajului de programare de bază chiar și pentru copiii de vârstă școlară mică (clasele II-IV) dar se poate utiliza și pentru crearea de programe complexe pe baza plăcilor Arduino sau Raspberry Pi.

Algoritmul scris pentru controlul modului Arduino pentru ambele variante se regăsește în anexe astfel: Varianta 1 - **ANEXA 16**, Varianta 2 - **ANEXA 17**.

4.3.5. Descrierea funcționării sistemului TEW

În **Figura 117** se poate vedea sistemul TEW montat pe robotul MIRO iar în **Figura 118** se poate observa întregul proiect practic realizat cu toate componentele montate și pregătit pentru testare.

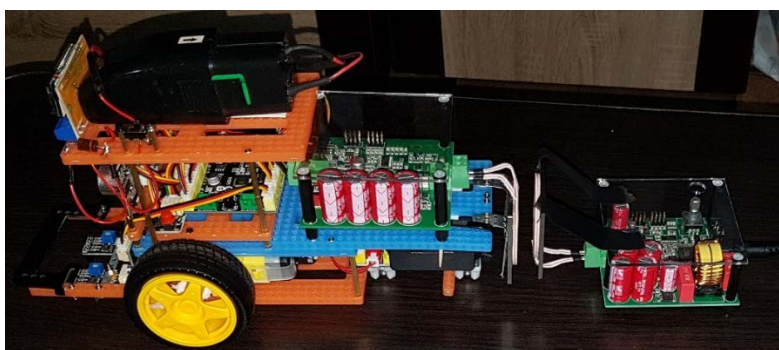


Fig. 117 Sistemul TEW montat pe robotul MIRO

S



Fig. 118 Proiectul practic în testare

Prima etapă a funcționării sistemului TEW este reprezentată de realizarea montajului conform schemei bloc prezentată în **Figura 100**.

În momentul în care toate sistemele sunt dispuse conform montajului se conectează sursa de alimentare în soclul J4 al modului Tx și se pornește prin apăsarea contactorului S1, modulul Tx.

Se pornește sistemul Arduino al robotului MIRO și alimentarea cu energie a driverului pentru motoarele robotului. Robotul rulează codul încărcat astfel încât, după verificarea funcționalității, pornește pe traseul marcat urmărind linia acestuia. La apropierea robotului de modulul Tx, acesta se orientează cu bobina Rx spre bobina Tx și se apropie la o distanță cuprinsă între 0-1cm între acestea.

La sesizarea receptorului, emițătorul va porni furnizarea de energie wireless, operație indicată pe panoul sursei coborâtoare de tensiune care afișează procesul de încărcare al acumulatorilor.

La finalizarea procesului de încărcare, robotul va porni pe traseul marcat și îl va parcurge până în momentul în care este necesară o nouă încărcare moment în care se va întoarce la stația de încărcare cu energie wireless BEF/PEF.

Valorile de tensiune pentru care robotul va căuta stația pentru încărcare și părăsirea acesteia sunt integrate în codul înregistrat în memoria flash a acestuia.

Întreaga procedură explicată se regăsește pe platforma Youtube și poate fi accesată apăsând linkul: >>>**Proiect TEW 2020**<<<.

Sistemul va fi oprit în ordinea inversă a pornirii și anume prin oprirea robotului (oprirea motoarelor și a plăcii Arduino) și apoi prin acționarea contactorului S1 se oprește și sistemul TEW.

De asemenea, după cum se poate vedea în filmarea de pe Youtube și în **Figura 119**, transmiterea energiei wireless se poate transfera în mod direct pentru a deservi cererea de energie fără acumulatori. Astfel, o mașină de găurit și înșurubat poate fi utilizată în câmpul de acțiune a modulului Tx fiind echipată cu modulul Rx iar exemplul se poate extrapola la alte dispozitive electrice.



Fig. 119 Sistem TEW pentru utilizare directă

Măsurătorile efectuate în urma realizării lucrării practice sunt în concordanță cu cele prezentate în Capitolul al III-lea în care au fost testate sistemele TEW comparate.

Astfel, sistemul TEW 760308EMP ales pentru utilizare în lucrarea practică a demonstrat, în urma testelor, caracteristicile tehnice prevăzute în fișa tehnică. Sistemul reprezintă o soluție viabilă pentru utilizarea în diverse aplicații TEW.

Descrierea funcționării și succesul realizării proiectului dovedește conceptele enunțate anterior de utilizare a energiei wireless pentru alimentarea aparatelor autonome ce deservesc scopurilor umane la nivel de construcție sau perimetru adiacent.

CAPITOLUL V

CONCLUZII

5.1. Contribuții originale

În urma cercetării tehnicilor de transfer ale energiei wireless s-au studiat stadiul actual al realizărilor în acest domeniu, principiile de funcționare și predicția tendințelor viitoare. Frecvențele de funcționare ridicate și factorii de calitate ridicată reprezintă motivele principale pentru care RPCM poate transfera energie cu o eficiență ridicată pe distanțe lungi. Frecvențele suplimentare de ajustare existente în diferite arhitecturi de sistem sunt benefice pentru optimizarea caracteristicilor transferului de sistem. Designul global de optimizare și metodele de control prin luarea în considerare a factorilor cu efecte multiple sunt, de asemenea, valoroase pentru aplicațiile sale de inginerie. Principiile de bază ale RPCM și TPI sunt identice, în ciuda unor distincții între ele, astfel încât studiarea reciprocă și asimilarea dintre RPCM și TPI sunt benefice pentru ambele domenii. În practică, este necesară o anumită putere nominală, dar această frecvență rezonantă MHz poate aduce o mare provocare anumitor componente electronice, de exemplu redresorul sau tranzistorii MOSFET.

Prin cercetarea și experimentele desfășurate am identificat o soluție modernă de transmitere a energiei wireless care înglobează toate soluțiile moderne de proiectare ale sistemului în vederea utilizării pentru o multitudine de aplicații.

Astfel, aplicabilitatea sistemului prezentat pentru o gamă variată de puteri dovedește pe de altă parte și implementarea unui sistem riguros de protecție pentru utilizator și sistem, precum și integrarea comunicațiilor de date necesare atât pentru optimizarea transferului cât și pentru respectarea acestor norme de siguranță.

Sistemele de transmitere wireless a energiei se pot integra foarte ușor în aparatele electrice moderne deoarece există soluții de proiectare variate precum și materiale fiabile în construirea acestora.

Testele efectuate au demonstrat fiabilitatea, eficacitatea precum și ergonomia utilizării sistemelor TEW care, împreună cu soluții de management și control, pot conduce către autonomia sistemelor în care acestea sunt integrate. De asemenea, sistemele TEW se pot integra foarte ușor cu sistemele regenerabile de producere a energiei în vederea extinderii necesarului în creștere pentru energie în locuri izolate și cu o infrastructură de transport al energiei slab dezvoltată.

Scopul cercetării a fost acela de a identifica o soluție TEW pentru conceperea unui sistem inovativ cu utilizare în cadrul construcțiilor dar și al aparatelor electrice a căror rază de acțiune este limitată de utilizarea conductorilor.

Contribuția originală este reprezentată de soluțiile de integrare a sistemului TEW la nivelul construcțiilor și anume BEF (Brick Energy Free) și PEF (Pillar Energy Free).

De asemenea, un aspect original este modul în care am integrat sistemul TEW într-un dispozitiv autonom care poate desfășura operațiuni programate prin încărcarea acumulatorilor ori de câte ori este necesar fără intervenția utilizatorului sau pentru utilizarea instantanee a energiei electrice în diverse dispozitive electrice și electronice.

Algoritmul de funcționare a sistemului autonom este realizat într-un mediu de programare tot ca soluție originală în dezvoltarea conceptului de transmitere a energiei wireless pentru diverse aparate autonome sau vehicule electrice.

Studiul practic poate fi un exemplu de perfecționat și creat la scară pentru diverse alte aplicații asemănătoare.

5.2. Direcții de cercetare și dezvoltare ulterioară

Cercetarea viitoare se va baza pe finalizarea dezvoltării și integrării sistemului TEW testat, în cadrul soluțiilor proiectate personal, precum și demonstrarea utilității acestora.

Proiectarea sistemului, inclusiv selectarea parametrilor de sistem, realizarea reglării impedanței, proiectarea strategiei de control, evaluarea cost-beneficiu, este de fapt un proces global de optimizare, în scopul satisfacerii cerințelor practice în inginerie și îmbunătățirea caracteristicilor de transfer. Determinarea modului de depășire a efectelor negative asupra caracteristicilor de transfer cauzate de sensibilitatea parametrilor de sistem sau de obiectele înconjurătoare merită de asemenea să fie studiate în continuare.

Astfel, voi continua testarea ambelor soluții prezentate în vederea dezvoltării unor produse brevetate pentru ca toată cercetarea întreprinsă încă de la Proiectul de Diplomă precum și al Lucrării de Disertație care au urmat aceeași linie cu Teza de Doctorat să completeze direcția de modernism din punct de vedere tehnologic al societății actuale.

Direcții importante vor fi reprezentate și de conectarea sistemului TEW la celelalte soluții tehnologice moderne, și anume, interconectarea pentru control cu sistemele mobile (smartphone, tabletă etc.) precum și interfațarea și controlul WEB prin intermediul Internetului, proiecte demarate la momentul prezent.

Articole ISI:

1. Cosmin Cobianu, Stan Mihail-Florin, Iulian Bancuta, **FIDEL NICOLAE**, *Investigation of Ni-Cu thin films magnetic sensors deposited on SiO₂ substrates by sputtering*, Journal of Science and Arts, Year 19, No. 4(49), pp. 1055-1066, eISSN: 2068-3049, **2019**;

2. **FIDEL NICOLAE**, Mihail-Florin Stan, Ramona CHIRESCU, *Position control system for maximum WPT efficiency*, Proceedings of the 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, March 28-30, **2019**, Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-7281-0102-6, DOI: 10.1109/ATEE.2019.8724934;

3. Ionut CRAIU, Florian Ion, **FIDEL NICOLAE**, Ramona CHIRESCU, Mihail-Florin STAN, *Measuring and maintaining the water level in a tank for efficient use in irrigation*, Proceedings of The 11th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2019, June 27 - 29, **2019**, Pitești, Romania;

4. Mihail-Florin Stan, Ionuț Mina, **FIDEL NICOLAE**, Cobianu Cosmin, *Increasing the reliability of an industrial cold production system using Fault Tree Analysis (FTA)*, Proceedings of The 10th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2018, June 28 - 30, **2018**, Iași, Romania;

5. Mihail-Florin Stan, **FIDEL NICOLAE**, Ionuț Mina, Adela-Gabriela Husu, *Improvement of Wireless Power Transfer Efficiency for Home Electronics and Appliances with the Use of SMD Components*, Proceedings of The 10th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2018, June 28 - 30, **2018**, Iași, Romania;

6. Mihail-Florin Stan, Husu Adela-Gabriela, Ionuț Mina, **FIDEL NICOLAE**, Cobianu Cosmin, *Design and implementation of an HVAC System for converting a decommissioned hangar in a conference room with a capacity of 800 seats*, Proceedings of the 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, March 23-25, **2017**, Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-4673-5979-5, DOI: 10.1109/ATEE.2017.7905037;

7. Mihail-Florin Stan, Cobianu Cosmin, **FIDEL NICOLAE**, Husu Adela-Gabriela, *A Variant of a Synchronous Motor With Two Stators and High-Energy Permanent Magnets Disposed on the Both Rotor Peripheries*, Proceedings of The 7th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2015, June 25 - 27, **2015**, Bucharest, Romania, vol. 7 – No. 3/2015, ISSN: 1843-2115; ISBN: 978-1-4673-6646-5; IEEE Catalog Number: CFP1527U-PRT, WOS:000370971100099;

8. Cosmin Cobianu, Mihail-Florin Stan, Adela Gabriela Husu, **FIDEL NICOLAE**, Elena Otilia Virjoghe, *Magnetic Sensors Thin Layer Cu and Co Deposited on Silicon Oxide. Construction, Characteristics and Applications*, Proceedings of The 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, Oradea, 11-12 June **2015**, Romania, pp. 261-265, ISBN: 978-1-4799-7649-2; IEEE Catalog Number: CFP15A89-PRT, **WOS:000363815100064**;

9. Adela Gabriela Husu, Mihail-Florin Stan, Cosmin Cobianu, **FIDEL NICOLAE**, Otilia Nedelcu, *An Inedited Solution to Increase the Energy Efficiency of Photovoltaic Panels for Regions with Snow*, Proceedings of The 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, Oradea, 11-12 June **2015**, Romania, pp. 257-261, ISBN: 978-1-4799-7649-2; IEEE Catalog Number: CFP15A89-PRT, **WOS:000363815100063**;

10. Cosmin Cobianu; Mihail-Florin Stan; Adela-Gabriela Husu; **FIDEL NICOLAE**, *Analysis Of Magnetic Sensors Multi-films Obtained From Cu/Co Deposited On Sital By PLD*, Proceedings of THE 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, MAY 7-9, **2015** Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-4673-5979-5, **WOS:000368159800088**;

Article BDI:

1. **FIDEL NICOLAE**, *Assessment and Testing of WPT System for the Design of Modern Wireless Energy Transmission Solutions*, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 19 No.2 (62–67) / **2019**, Online ISSN 2286-2455, DOI: <https://doi.org/10.1515/sbeef-2019-0023>, Publisher DE GRUYTER OPEN;

2. N. Vasile, Bogdan Tene, Andrei Nedelschi, **FIDEL NICOLAE**, Ionuț Craiu, *Autonomy of electrical systems. Technical solutions based on storage of electric energy*, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 18 No.1 (38)/ **2017**, Online ISSN 2286-2455, DOI: 10.1515/SBEEF-2017-0023, Publisher DE GRUYTER OPEN;

3. N. Vasile, Floarea Vasile, Ramona Chirescu, **FIDEL NICOLAE**, *Constructal Analysis of Thermal Flows in Electrical Machines*, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 15 No.1 / **2016**, Online ISSN 2286-2455, DOI: 10.1515/SBEEF-2016-0009, Publisher DE GRUYTER OPEN;

4. Cobianu Cosmin, Mihail-Florin Stan, **FIDEL NICOLAE**, Husu Adela-Gabriela, *Case Study Concerning to the Radiation Levels Emitted by Mobile Phones on the Human Body*, Proceedings of The 8th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI **2016**, June 30– July 02, 2016, Ploiesti, Romania,

5. Husu Adela-Gabriela, Mihail-Florin Stan, **FIDEL NICOLAE**, Cobianu Cosmin, Horia Andrei, *Analysis of Economic and Energy Efficiency for the Grid-Connected PV Systems*,

Proceedings of The 8th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2016, June 30– July 02, **2016**, Ploiesti, Romania,

6. Mihail-Florin Stan, **FIDEL NICOLAE**, I. Ilea, I. Mina, *System design for wireless power transfer in order to integrate in buildings*, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 15 No.3 (31) / **2015**, Bibliotheca Publishing House, Târgoviște, pp. 16-26, p- ISSN 1843-6188, e-ISSN 2286-2455;

7. Vîrjoghe Elena Otilia, Mihail-Florin Stan, Enescu Diana, Coandă George Henri, Husu Adela Gabriela, Cobianu Cosmin, Nedelcu Otilia, **FIDEL NICOLAE**, *Numerical Determination of Magnetic Field Around a High Voltage Electrical Overhead Line*, Proceedings of The 7th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI **2015**, June 25- 27, 2015, Bucharest, Romania, vol. 7 – No. 3/2015, ISSN: 1843-2115; ISBN: 978-1-4673-6646-5, IEEE Catalog Number: CFP1527U-PRT;

8. Cosmin Cobianu, Mihail-Florin Stan, Elena-Otilia Virjoghe, **FIDEL NICOLAE**, *Characterization of the magnetic thin multi-layers with vibrating sample magnetometer*, Journal of Science and Arts, Year 12, No. 4(21), pp. 451-458, ISSN: 1844 – 9581, **2012**;

Cărți:

1. Mihail-Florin STAN, **FIDEL NICOLAE**, Transmiterea wireless a energiei. Un concept pentru viitorul trilemei energetice, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 424 pagini, ISBN: 978-606-772-421-9, Ed. Cartdidact, Chișinău, 424 pg., ISBN: 978-9975-3354-2-3, **2019**;

2. **FIDEL NICOLAE**, Mihail-Florin STAN, Transmiterea energiei wireless - Interfața Sistemismului în Teoria Constructală, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 106 pagini, ISBN: 978-606-772-383-0, **2019**;

3. **FIDEL NICOLAE**, Mihail-Florin Stan - Alimentarea wireless cu energie electromagnetică a diferitelor categorii de consumatori, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 204 pagini, ISBN: 978-606-772-367-0, **2019**;

4. Horia ANDREI, Nicolae OLARIU, Mihail-Florin STAN, Elena-Otilia VÎRJOGHE, Adela-Gabriela HUSU, Iulian BĂNCUȚĂ, Mihaela-Eugenia IVAN, **FIDEL NICOLAE**, Bazele Electrotehnicii Îndrumar de Laborator, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 214 pagini, ISBN: 978-606-772-352-6, **2019**;

5. **FIDEL NICOLAE**, Transmiterea energiei wireless pentru alimentarea diferitelor tipuri de consumatori, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 210 pg., ISBN: 978-606-772-070-9, **2015**;

6. **FIDEL NICOLAE**, Metode interactive pentru didactica școlară utilizând TIC, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 120 pg., ISBN: 978-973-712-971-0, **2014**.

BIBLIOGRAFIE

- ¹ DESIGN NATURAL CU TEORIA CONSTRUCTALĂ Principiile fundamentale dau formele naturale; ele pot, de asemenea, ghida inginerul, Termotehnica, 2/2009, AGIR buletin 663
- ² <https://www.natgeo.ro/dezbateri-globale/omul-si-viata/9186-natura-e-constructal>
- ³ Wu, R.; Li, W.; Luo, H.; Sin, J.K.; Yue, C.P. Design and characterization of wireless power links for brain-machine interface applications. *IEEE Trans. Power Electron.* **2014**, 29, 5462–5471.
- ⁴ RamRakhyani, A.K.; Mirabbasi, S.; Chiao, M. Design and optimization of resonance-based efficient wireless power delivery systems for biomedical implants. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* **2011**, 5, 48–63.
- ⁵ Liu, C.; Chau, K.T.; Zhang, Z.; Qiu, C.; Li, W.; Ching, T. Wireless power transfer and fault diagnosis of high-voltage power line via robotic bird. *J. Appl. Phys.* **2015**, 117, 17D521.
- ⁶ Han, W.; Chau, K.T.; Zhang, Z. Flexible induction heating using magnetic resonant coupling. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2016**, 64, 1982–1992.
- ⁷ Wang, Z.; Wei, X.; Dai, H. Design and control of a 3 kW wireless power transfer system for electric vehicles. *Energies* **2016**, 9, 10.
- ⁸ Choi, S.Y.; Gu, B.W.; Jeong, S.Y.; Rim, C.T. Advances in wireless power transfer systems for roadway-powered electric vehicles. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* **2015**, 3, 18–36.
- ⁹ Sato, M.; Yamamoto, G.; Gunji, D.; Imura, T.; Fujimoto, H. Development of wireless in-wheel motor using magnetic resonance coupling. *IEEE Trans. Power Electron.* **2016**, 31, 5270–5278.
- ¹⁰ K. Nagatani, S. Kiribayashi, Y. Okada, K. Otake, K. Yoshida, S. Tadokoro, T. Nishimura, T. Yoshida, E. Koyanagi, M. Fukushima, and S. Kawatsuma, “Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima daiichi nuclear power plants using mobile rescue robots,” *J. Field Robot.*, vol. 30, pag. 44–63, Jan. **2013**.
- ¹¹ Covic, G.A.; Boys, J.T. Inductive power transfer. *Proc. IEEE* **2013**, 101, 1276–1289.
- ¹² Li, Y.; Mai, R.; Lin, T.; Sun, H.; He, Z. A novel TEW system based on dual transmitters and dual receivers for high power applications: Analysis, design and implementation. *Energies* **2017**, 10, 174
- ¹³ Jang, Y.J.; Jeong, S.; Lee, M.S. Initial energy logistics cost analysis for stationary, quasi-dynamic, and dynamic wireless charging public transportation systems. *Energies* **2016**, 9, 783.
- ¹⁴ https://www.semtech.com/uploads/documents/LinkCharge_40_-_EVB_UG_v1.4.pdf
- ¹⁵ Tomar, A.; Gupta, S. Wireless power transmission: Applications and components. *Int. J. Eng.* **2012**, 1, 1–8.
- ¹⁶ Shinohara, N. History, Present and Future of TEW, in *Wireless Power Transfer Via Radiowaves*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, **2013**.
- ¹⁷ Cichon, D.J.; Wiesbeck, W. The Heinrich Hertz wireless experiments at Karlsruhe in the view of modern communication. In *Proceedings of the 1995 International Conference on 100 Years of Radio*, London, UK, 5–7 September **1995**; pp. 1–6.
- ¹⁸ Shadid, R.; Noghanian, S.; Nejadpak, A. A literature survey of wireless power transfer. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, Grand Forks, ND, USA, 19–21 May **2016**; pp. 782–787.
- ¹⁹ Brown, W. Experiments in the Transportation of Energy by Microwave Beam. In *Proceedings of the IRE International Convention Record*, New York, NY, USA, 21–25 March **1966**; pp. 8–17.
- ²⁰ Brown, W.C. Status of the microwave power transmission components for the solar power satellite (SPS). *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **1981**, 29, 1319–1327.
- ²¹ Kesler, M. Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance; Witricity Corp.: Watertown, MA, USA, **2013**; pp. 1–32.
- ²² Kurs, A.; Karalis, A.; Moffatt, R.; Joannopoulos, J.D.; Fisher, P.; Soljacic, M. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science* **2007**, 317, 83–86.
- ²³ Miller, J.M.; Jones, P.T.; Li, J.-M.; Onar, O.C. ORNL experience and challenges facing dynamic wireless power charging of EV's. *IEEE Circuits Syst. Mag.* **2015**, 15, 40–53.
- ²⁴ Olivares-Galvan, J.C.; Campero-Littlewood, E.; Magdaleno-Adame, S.; Maximov, S.; Xu, W. Wireless power transfer: Literature survey. In *Proceedings of the 2013 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Mexico City, Mexico, 13–15 November **2013**; pp. 1–7.
- ²⁵ Zhao, Z.; Zhang, Y.; Chen, K. New progress of magnetically-coupled resonant wireless power transfer technology. *Proc. CSEE* **2013**, 33, 2–13.
- ²⁶ Marian, V.; Allard, B.; Vollaie, C.; Verdier, J. Strategy for microwave energy harvesting from ambient field or a feeding source. *IEEE Trans. Power Electron.* **2012**, 27, 4481–4491.
- ²⁷ Lin, J.C. A new IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency radiation. *IEEE Antennas Propag. Mag.* **2006**, 48, 157–159.
- ²⁸ Garnica, J.; Chinga, R.A.; Lin, J. Wireless power transmission: From far field to near field. *Proc. IEEE* **2013**, 101, 1321–1331.

- ²⁹ Jiang, C.; Chau, K.T.; Ching, T.W.; Liu, C.; Han, W. Time-division multiplexing wireless power transfer for separately excited DC motor drives. *IEEE Trans. Magn.* **2017**.
- ³⁰ Sample, A.P.; Meyer, D.T.; Smith, J.R. Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2011**, *58*, 544–554.
- ³¹ Zhang, H.; Lu, F.; Hofmann, H.; Liu, W.; Mi, C.C. A four-plate compact capacitive coupler design and LCL-compensated topology for capacitive power transfer in electric vehicle charging application. *IEEE Trans. Power Electron.* **2016**, *31*, 8541–8551.
- ³² Zhang, Y.; Zhao, Z.; Chen, K. Frequency-splitting analysis of four-coil resonant wireless power transfer. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2014**, *50*, 2436–2445.
- ³³ Zhang, W.; White, J.C.; Abraham, A.M.; Mi, C.C. Loosely coupled transformer structure and interoperability study for ev wireless charging systems. *IEEE Trans. Power Electron.* **2015**, *30*, 6356–6367.
- ³⁴ Sun, T.; Xie, X.; Wang, Z. *Wireless Power Transfer for Medical Microsystems*; Springer: New York, NY, USA, **2013**; p. 183.
- ³⁵ Aqeel Mahmood Jawad, Rosdiadee Nordin, Sadik Kamel Gharghan, Haider Mahmood Jawad and Mahamod Ismail. Opportunities and Challenges for Near-Field Wireless. *Energies* **2017**, *10*, 1022.
- ³⁶ Vilathgamuwa, D.M.; Sampath, J.P.K. Wireless power transfer (WPT) for electric vehicles (EVS)—Present and future trends. In *Plug in Electric Vehicles in Smart Grids: Integration Techniques*; Rajakaruna, S., Shahnian, F., Ghosh, A., Eds.; Springer: Singapore, 2015; pp. 33–60.
- ³⁷ Christ, A.; Douglas, M.; Nadakuduti, J.; Kuster, N. Assessing human exposure to electromagnetic fields from wireless power transmission systems. *Proc. IEEE* **2013**, *101*, 1482–1493.
- ³⁸ Imura, T.; Hori, Y. Maximizing air gap and efficiency of magnetic resonant coupling for wireless power transfer using equivalent circuit and neumann formula. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2011**, *58*, 4746–4752.
- ³⁹ Worgan, P.; Knibbe, J.; Fraser, M.; Martinez Plasencia, D. Powershake: Power transfer interactions for mobile devices. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Santa Clara, CA, USA, 7–12 May 2016; pp. 4734–4745.
- ⁴⁰ Ieee. C95.1-2005—IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 KHz to 300 GHz. Available online: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/c95.1-2005.html>
- ⁴¹ Wireless Power Consortium. System Description. *Wireless Power Transfer Volume I: Low Power Part 1: Interface Definition. Version 1.1.2. June 2013.* Available online: <http://www.Wirelesspowerconsortium.Com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>
- ⁴² Mittleider, A.; Griffin, B.; Detweiler, C. Experimental analysis of a uav-based wireless power transfer localization system. In *Experimental Robotics: The 14th International Symposium on Experimental Robotics*; Hsieh, M.A., Khatib, O., Kumar, V., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 357–371.
- ⁴³ Dai, J.; Ludois, D.C. A survey of wireless power transfer and a critical comparison of inductive and capacitive coupling for small gap applications. *IEEE Trans. Power Electron.* **2015**, *30*, 6017–6029.
- ⁴⁴ https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0060.pdf
- ⁴⁵ Antônio Dâmaso, Davi Freitas, Nelson Rosa, Bruno Silva, Paulo Maciel. „Evaluating the Power Consumption of Wireless Sensor Network Applications Using Models”. *Sensors* **2013**, *13*, 3473–3500; doi:10.3390/s130303473
- ⁴⁶ Haus, H.; Huang, W.P. Coupled-mode theory. *Proc. IEEE* **1991**, *79*, 1505–1518.
- ⁴⁷ Sandrolini, L.; Reggiani, U.; Puccetti, G.; Neau, Y. Equivalent circuit characterization of resonant magnetic coupling for wireless transmission of electrical energy. *Int. J. Circuit Theory Appl.* **2013**, *41*, 753–771.
- ⁴⁸ Xun, L.; Ng, W.M.; Lee, C.K.; Hui, S.Y.R. Optimal Operation of Contactless Transformers with Resonance in Secondary Circuits. In *Proceedings of the Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2008)*, Austin, TX, USA, 24–28 February 2008; pp. 645–650.
- ⁴⁹ <https://www.semtech.com/products/wireless-charging/linkcharge-high-power-evms/lkch-txrx40w-evb>
- ⁵⁰ <https://www.semtech.com/company>
- ⁵¹ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/semtech-corporation/TSDMRX-19V-20W-EVM/TSDMRX-19V-20W-EVM-ND/6569371>
- ⁵² <https://www.digikey.com/product-detail/en/760308MP/732-10324-ND/6012406/?itemSeq=291505416>
- ⁵³ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/adafruit-industries-llc/2162/1528-1977-ND/6827104>
- ⁵⁴ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/stmicroelectronics/EVALSTWBC-EP/497-19486-ND/10231580>
- ⁵⁵ <https://www.wirelesschargingcoil.com/about-us/>
- ⁵⁶ <https://www.rrc-ps.com/en/accessories/wireless-power/>
- ⁵⁷ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/texas-instruments/BQ500210EVM-689/296-30296-ND/2749359>
- ⁵⁸ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/seeed-technology-co-ltd/114990025/1597-1233-ND/5487775>
- ⁵⁹ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/rohm-semiconductor/ROHM-760308MP-EVK-001/ROHM-760308MP-EVK-001-ND/6618306>
- ⁶⁰ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/nxp-usa-inc/NXQ1TXH5DB1401UL/568-12925-ND/5970308>

⁶¹ <https://www.idt.com/products/power-management/wireless-power/wireless-power-receivers/p9221-r-evk-wireless-power-receiver-reference-solution>

⁶² https://www.we-online.com/web/en/index.php/show/media/07_electronic_components/produkte_3/wireless_power/Manual_200W_Kit.pdf

⁶³ <https://www.electronica-azi.ro/2012/05/31/redresarea-sincrona-ridica-performantele-surselor-de-alimentare/>

⁶⁴ https://www.we-online.com/web/en/electronic_components/produkte_pb/demobboards/wireless_power/design_kit_200_w/wirelessl_power_explorer_board_2.php

⁶⁵ Dragoș Niculae, Marilena Stănculescu, Mihai Iordache, Maria-Lavinia Bobaru - An Analysis on Efficiency of Wireless Transfer Energy Due to a Misalignment of Two Coils. Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 42, Issue 1, 2018; ISSN 1842-4805

⁶⁶ Dragoș Niculae, Mihai Iordache, Marilena Stănculescu, Lavinia Iordache - The influence of the alignment between receiver and transmitter coils on efficiency of wireless transfer energy. 2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)



Curriculum vitae Europass



Informații personale

Nume / Prenume **FIDEL NICOLAE**
Adresă Str. Vasile Florescu, Nr. 6, Bl. 20, Sc. B, Ap. 24, cod poștal: 130036, Târgoviște, Dâmbovița, România
Telefon Mobil: 0723197105
E-mail(uri) fidelnicolae@yahoo.com
nicolae.fidel@valahia.ro
fidelnicolae@scoalaraciu.ro
Naționalitate română
Data nașterii 4.11.1977
Sex M

Experiența profesională

Perioada 1.09.1997-prezent
Funcția sau postul ocupat Profesor pentru învățământ primar
Activități și responsabilități principale Responsabilități în cadrul Școlii cu PJ RACIU:
1. COMISIA METODICĂ A ÎNVĂȚĂTORILOR (responsabil)
2. CEAC (coordonator)
3. CONSILIUL DE ADMINISTRAȚIE (membru 2000-prezent)
4. ACHIZIȚII ȘI ADMINISTRARE BAZĂ MATERIALĂ (administrator)
5. ASOCIAȚIA ORIZONTURI NOI (vicepreședinte)
6. COMISIA PENTRU IMAGINEA ȘCOLII (responsabil)
Redactor șef revista școlii „HELYOS” Realizarea și administrarea site-urilor instituției:
o www.scoalaraciu.ro
o www.asociatiaorizonturinoi.wordpress.com o www.scoalaaltfelraciu.wordpress.com
o www.furnicutele.wordpress.com
o www.furnicutele2013.wordpress.com o www.orarscoalaraciu.wordpress.com
Numele și adresa angajatorului ȘCOALA GIMNAZIALĂ RACIU
Tipul activității sau sectorul de activitate ÎNVĂȚĂMÂNT

Educație și formare

Perioada 1.10.2017-prezent
Doctorand
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Valahia din Târgoviște / Facultatea de Inginerie Electrică, Electronică și Tehnologia Informației
Nivelul în clasificarea națională sau internațională Ciclu III – Studii universitare de doctorat
Perioada 1.10.2015-31.07.2017
Calificarea / diploma obținută Master în Inginerie Electrică
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Valahia din Târgoviște / Facultatea de Inginerie Electrică, Electronică și Tehnologia Informației
Nivelul în clasificarea națională sau internațională Ciclu II – Studii universitare de masterat
Perioada 1.10.2011-31.07.2015

Calificarea / diploma obținută	Inginer Electric
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Valahia din Târgoviște / Facultatea de Inginerie Electrică, Electronică și Tehnologia Informației
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Ciclul I – Studii universitare de licență
Perioada	1.09.1992-31.07.1997
Calificarea / diploma obținută	Învățător/Educator
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Școala Normală Târgoviște
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Învățământ Secundar Superior (pedagogic)
Perioada	24.02-08.07.2020
Calificarea / diploma obținută	CURS „DOCENDO DISCIMUS – Pedagogie Postmodernă” acreditat prin OMEN nr. 3706/21.05.2018
Perioada	15-27.02.2020
Calificarea / diploma obținută	CURS „Educație Incluzivă – strategii de identificare și intervenție” acreditat prin OMEN nr. 3706/21.05.2018
Perioada	07-19.02.2020
Calificarea / diploma obținută	CURS „Managementul proiectelor educaționale” acreditat prin OMEN nr. 3904/05.06.2018
Perioada	20.10.2018 – 15.12.2018
Calificarea / diploma obținută	„Informatică și TIC pentru gimnaziu, clasa a V-a” acreditat prin OMEN nr. 4586/9.08.2017
Perioada	4.10.2017
Calificarea / diploma obținută	CERTIFICAT DE COMPETENȚĂ LINGVISTICĂ nr. 6630/4.10.2017 eliberat de Facultatea de Științe Politice, Litere și Comunicare – Departamentul de Litere care atestă nivelul cunoștințelor de Limba Engleză (B2)
Perioada	6–13.09.2016
Calificarea / diploma obținută	CURS “Abilitarea curriculară a cadrelor didactice din învățământul primar pentru clasa pregătitoare”
Perioada	1.05.2014 – 31.10.2015
Calificarea / diploma obținută	CURS “Rețea de formare continuă a cadrelor didactice pentru a utiliza multimedia, instrumentația virtuală și web 2.0 în aria curriculară Matematică și științe ale naturii (ProWeb)” POS DRU/157/1.3/ S/141587
Perioada	17–19.10.2014
Calificarea / diploma obținută	CURS “Educație de calitate în școlile din mediul rural” POSDRU ID 133316
Perioada	26–28.04.2013
Calificarea / diploma obținută	CURS “Înregistrarea electronică a autoevaluării”, în cadrul proiectului “Sprijin pentru unitățile școlare în implementarea manualului de evaluare internă a calității educației” POSDRU ID 55668, beneficiar ARACIP
Perioada	02–30.04.2011

Calificarea / diploma obținută	CURS "Școli și comunități în acțiune pentru prevenirea părăsirii timpurii a școlii" componenta Dezvoltare instituțională, activitatea A.2.5
Perioada	01–31.10.2010
Calificarea / diploma obținută	Formare de consilieri și asistenți suport pentru implementarea strategiei de descentralizare a învățământului preuniversitar Cf. Certificat nr. 252/31.10.2010
Perioada	2008-2009
Calificarea / diploma obținută	Program de dezvoltare profesională pe baza activității proprii desfășurate în școală Cf. Atestat de formare continuă nr. 3514/27.10.2009
Perioada	2011-2013
Calificarea / diploma obținută	Acordarea gradului I în învățământ cf. Certificat Nr. 23/30.01.2014
Perioada	august 2004
Calificarea / diploma obținută	Acordarea gradului II în învățământ cf. Certificat Nr. 318/13.01.2005
Perioada	martie 2002
Calificarea / diploma obținută	Programul «Metode și tehnici de utilizare a calculatorului personal» cf. Adeverința nr.9/18.03.2002
Perioada	august 2000
Calificarea / diploma obținută	Acordarea definitivării în învățământ cf. Certificat Nr. 103/14.03.2001

Aptitudini și competențe personale

Limba(i) maternă(e) **română**

Limba(i) străină(e) cunoscută(e)

Autoevaluare Nivel european (*)	Înțelegere				Vorbire				Scriere	
	Ascultare		Citire		Participare la conversație		Discurs oral		Exprimare scrisă	
Limba	B2	engleză	B2	engleză	B2	engleză	B2	engleză	B2	engleză
Limba	B2	italiană	B2	italiană	B1	italiană	B1	italiană	B1	italiană
Limba	A2	franceză	B1	franceză	A2	franceză	A2	franceză	A2	franceză

(*) Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine

Competențe și abilități sociale - bune abilități de comunicare dobândite în urma experienței mele ca responsabil de comisii școlare;
- excelente abilități de interacțiune în cadrul unui grup, dobândite prin activitățile de formare profesională.

Competențe și aptitudini organizatorice - leadership ;
- Bune competențe organizaționale dobândite ca și Coordonator al Comisiei de Evaluare și Asigurare a Calității în Învățământ și responsabil al Comisiei Metodice a Învățătorilor.
- o bună cunoaștere a proceselor de control ale calității;
- bun mentor (ca responsabil al comisiei metodice, am fost responsabil cu instruirea și formarea noilor angajați).

Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului	- o bună stăpânire a pachetului Office (procesor de text, calcul tabelar, software pentru prezentări); - Corel Draw - nivel intermediar; - Ansoft - nivel intermediar; - Arduino-nivel mediu de utilizare - bună utilizare a programelor de comunicare (Skype Zoom Google Meets etc.); - bune cunoștințe de editare foto și video.
--	--

Permis(e) de conducere	B
------------------------	---

MINISTRY OF NATIONAL EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
"VALAHIA" UNIVERSITY OF TÂRGOVIȘTE
IOSUD - DOCTORAL SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES
Domain: Electrical Engineering

SUMMARY OF THE DOCTORAL THESIS

PHD SUPERVISOR:
Prof. univ. Dr. Eng. Nicolae VASILE

CANDIDATE:
PhD. Eng. Nicolae FIDEL

TÂRGOVIȘTE
2020

**MINISTRY OF NATIONAL EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
"VALAHIA" UNIVERSITY OF TÂRGOVIȘTE
IOSUD - DOCTORAL SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES
Domain: Electrical Engineering**

ADVANCED WIRELESS POWER TRANSFER TECHNOLOGIES

PHD SUPERVISOR:

Prof. univ. Dr. Eng. Nicolae VASILE

CANDIDATE:

PhD. Eng. Nicolae FIDEL

**TÂRGOVIȘTE
2020**

CONTENTS

	SYNTHESIS OF THE STRUCTURE OF THE DOCTORAL THESIS	page 1
CHAP. 1	ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND OF THE SOLUTIONS AVAILABLE IN THE FIELD OF WIRELESS ENERGY TRANSFER	page 4
	1.1. HISTORY	page 7
	1.2. CLASSIFICATION OF WIRELESS ENERGY TRANSFER TECHNIQUES	page 8
	1.2.1. Classification of wireless field energy transfer techniques	page 8
	1.2.2. Classification of wireless energy transfer techniques in the near field	page 9
	1.3. BASIC PARAMETERS IN WIRELESS ENERGY TRANSFER	page 11
	1.3.1. Frequency	page 11
	1.3.2. Energy transfer	page 11
	1.3.3. Efficiency of wireless energy transfer	page 11
	1.3.4. Transfer distance	page 12
	1.4. TRANSFER ENERGY WIRELESS IN SPECIALTY LITERATURE	page 12
	1.4.1. Inductive coupling	page 12
	1.4.2. Magnetic resonance coupling	page 13
	1.4.3. Capacitive coupling	page 13
	1.5. WPT APPLICATIONS	page 14
	1.5.1. Wireless power transfer for the electric car	page 14
	1.5.2. Wireless sensor networks	page 14
CHAP. 2	THEORETICAL AND CONSTRUCTIVE ANALYSIS OF WIRELESS ENERGY TRANSFER SYSTEMS	page 15
	2.1. MEDIUM-RANGE WPT MODELING BASED ON MAGNETIC RESONANCE COUPLING	page 15
	2.1.1. Coupled mode theory (TMC)	page 15
	2.1.2. Circuit Theory (TC)	page 15
	2.1.3. Comparative analysis between coupled mode theory and circuit theory	page 15
	2.1.4. System architecture	page 16
	2.2. COMPONENTS USED IN WIRELESS POWER TRANSFER ...	page 16
	2.2.1. Zero voltage switching (ZVS) regulators	page 16
	2.2.1.1. Switching losses without ZVS	page 16
	2.2.1.2. ZVS switching	page 17
	2.2.1.3. How ZVS works	page 17
	2.2.1.4. Using ZVS in WPT	page 17
	2.2.2. Transmitting and receiving coils	page 18
	2.2.2.1. Optimization of the environment adjacent to the coils used in WPT	page 18
	2.2.3. Filter coils	page 18
	2.2.4. Capacitors	page 19
	2.2.4.1. Input and output capacitors	page 19

	2.2.5. MOSFET transistors	page 19
	2.2.6. Diodes and pull-up resistors	page 19
	2.3. INTEGRATION OF ELECTRONIC COMPONENTS INTO THE WPT SYSTEM	page 20
	2.3.1. Electronic circuit diagram	page 20
	2.3.2. How to operate	page 20
	2.3.3. Negative aspects related to the resonant converter	page 21
	2.3.3.1. Power supply to the transmitter at the time of switching	page 21
	2.3.3.2. The impedance reflected from the receiver to the transmitter ...	page 21
	2.4. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY - WIRELESS POWER TRANSFER PROPERTIES	page 21
	2.5. EXAMPLES OF WPT APPLICATIONS	page 22
	2.5.1. Simple circuit for WPT receiver	page 22
	2.5.2. Standard resonant converter (transmitter and receiver up to about 10 w)	page 22
CHAP. 3	COMPARATIVE ANALYSIS OF WPT SYSTEMS USED TO SUPPLY LOW AND MEDIUM POWER ELECTRICAL DEVICES	page 23
	3.1. WPT LKCH-TXRX40W-EVB SYSTEM	page 23
	3.1.1. Description of the WPT transfer module (TSDMTX - 24V3 - EVM)	page 24
	3.1.2. Description of the WPT receiving module (TSDMRX-19V / 40W-EVM)	page 25
	3.2. WPT LKCH-TXRX40W-EVB SYSTEM OPERATION AND TESTING	page 26
	3.2.3. WPT system testing	page 27
	3.2.5. Thermal analysis of electronic modules	page 29
	3.2.6. Testing the TSDMRX-19V / 40W-EVM Receiver Module Used to Charge the Batteries	page 30
	3.3. WPT System 760308EMP	page 30
	3.3.1. Description of WPT 760308EMP	page 30
	3.3.2. Technical specifications	page 31
	3.3.3. Functional block diagram.....	page 31
	3.3.4. Description of WPT 760308EMP system components.....	page 32
	3.3.4.1. TX module WPT 760308EMP	page 33
	3.3.4.2. RW module WPT 760308EMP.....	page 33
	3.4. WPT 760308EMP SYSTEM OPERATION AND TESTING	page 34
	3.5. COMPARATIVE ANALYSIS OF TESTED WPT SYSTEMS	page 37
CHAP. 4	DEVELOPMENT OF THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR THE POWER SUPPLY OF ELECTRICAL APPLIANCES IN THE FIELD OF CONSTRUCTIONS	page 38
	4.1. General description and implementation of BEF (Brick Energy Free) / PEF (Pillar Energy Free) systems for wireless energy transfer ...	page 39
	4.2. Description and analysis of WPT system components	page 40
	4.3. Design and implementation of the WPT system	page 40
	4.3.1. The proposed objective	page 40
	4.3.2. Block diagram of the WPT system	page 41
	4.3.3. The stages of building the WPT system	page 41

	4.3.4. Realization of the operating algorithm of the device that integrates the WPT receiver	page 42
	4.3.5. Description of the operation of the WPT system	page 42
CHAP.	CONCLUSIONS	page 45
5		
	5.1. Original contributions	page 45
	5.2. Further research and development directions	page 46
	SCIENTIFIC PUBLICATIONS	page 47
	BIBLIOGRAPHY	page 50

LIST OF ABBREVIATIONS

AC = alternating current
BST = Bootstrap connection
DC = direct current
CDM = Charged Device Model
EMC = electromagnetic compatibility
EM = electromagnetic energy
EMI = electromagnetic interference
ESD = sensitivity of electronic devices to electrostatic discharges
EV = electric vehicles
FET = field effect transistor
FOD = detection of foreign objects
GPS = global positioning system
HBM = Human Body Model
IoT = "Internet of things"
LDO = "low drop out"
MIMO = Multiple inputs / Multiple outputs
MISO = Multiple inputs / Single output
MOSFET = metal-oxide-semiconductor field effect transistor
OUT = output
PCB = printed circuit board
PDA = personal digital assistant
PWM = pulse width modulation
RF = radio frequency
RPCM = strongly magnetically coupled resonators
CSR = equivalent series resistance
RWS = wireless sensor network
SIMO = Single Input / Multiple Outputs
SMD = surface-mount technology
TC = circuit theory
WPT = wireless power transfer
THT = through hole technology
TMC = coupling mode theory
TPI = inductive power transfer
UAV = unmanned aerial vehicles
UVLO = power supply off
ZCS = Zero current switching voltage regulator
ZVS = Voltage regulator with zero voltage switching

SYNTHESIS OF THE STRUCTURE OF THE DOCTORAL THESIS

The doctoral thesis "ADVANCED WIRELESS ENERGY TRANSFER TECHNOLOGIES" is structured in five distinct chapters.

From the very beginning, the "EPISTEMOLOGICAL FRAMEWORK OF THE DOCTORAL WORK" presents aspects of the transfer of energy without conductors that comes as a topical technical solution for the fundamental fields influenced by the international market conjuncture. The description of the research previously carried out as a preamble of the objectives proposed in the doctoral research carried out according to the characteristic scientific methods is completed by the classification of wireless energy transfer from the point of view of the priority market directions of electrical engineering.

In CHAPTER 1 starting from the conceptualization of wireless energy transfer through the prism of Constructal Theory, Systems Theory and Systems Autonomy, we present the evolution of Wireless Energy Transfer (WPT) from a historical point of view with arguments for its applicable fields. Thus, a general picture of the development of energy transfer techniques without conductors is made, starting from the fusion of the laws of magnetic circuit and electromagnetic induction to strongly coupled magnetic resonators, a solution adopted in 2007 and which represented the turning point in the current development field. Below is a classification of energy transfer techniques without short and long-distance conductors followed by the presentation of the basic parameters in Wireless Energy Transfer, namely: Frequency, Transfer type, Transfer efficiency, Transfer distance. For each parameter presented there is a complex bibliographic argumentation. A strong point of the first chapter is represented by the research undertaken to synthesize the materials from the specialized literature on the three types of wireless transfer. As a finality for the first chapter, there are indicated as applications for the transfer of energy without conductors, electric vehicles, wireless sensor networks, electronic devices and various electrical appliances, including autonomous ones.

CHAPTER 2 is structured on Theoretical and constructive Analysis of wireless power transfer systems by modeling from the point of view of Coupled Mode Theory (CMT) and Circuit Theory (CT) for a medium range transfer, Components used in WPT and their integration in the system, Electromagnetic compatibility and Examples of applications. In the first sections a comparative analysis of the two theories is performed with the demonstration that CM and CT are used similarly to analyze the transfer power characteristics in the non-resonant state but concluding that the Coupled Mode Theory is only applicable to high quality coils and coupling coefficient for long distances, but simplifies the analysis by halving the number of differential equations compared to Circuit Theory. The analysis of the components used is complemented by a detailed presentation of their technical characteristics through equations, graphs and product annexes. All of these are used to understand how to integrate components into WPT systems, a detailed section on the Electrical Circuit Diagram, Operating Mode, and Electromagnetic Compatibility. The examples of WPT applications presented in the last part of Chapter 2 are functional models with various characteristics studied to choose the best option to use in the practical project according to the objectives stated in the first part of the doctoral thesis.

CHAPTER 3 represents the combination of theory and practice through Comparative Analysis of WPT systems used to power low and medium power electrical devices. The research is based on the comparative testing of WPT, LKCH-TXRX40W-EVB systems

produced by Semtech Corporation and the 200w development kit, 760308EMP, produced by Infineon and Würth Elektronik, to identify the mode and operating parameters. The finality of the research is represented by the selection of the optimal solution to be used within the proposed research / project. The purpose of product testing is to compare and interpret experimental and theoretical results based on calculations, to achieve a graphical and schematic concept of the wireless energy transfer system, conducting measurements and data acquisitions for wireless energy transfer for various types of consumers as well as interpreting experimental and theoretical results. Thus, in the chapter, the components of both systems are described by describing the functionality for each module of the system (Transmitter / Receiver). After describing the components and their functionality, the operation and testing of both chosen systems are presented. In the testing of the two WPT systems are analyzed and described Signal Analysis, Transfer Distance, Transfer Efficiency and Thermal Analysis of Modules. According to the product testing, a comparative analysis of the two systems is performed.

Following the research undertaken and presented in the previous chapters, CHAPTER 4 presents the Development of the Wireless Energy Transfer (WPT) system that can be implemented in residential buildings and related spaces, as well as in industrial, administrative or health and education buildings, depending on the energy requirement, in places where it is desired to supply without conductors to make the system more flexible. The originality represented by the practical work by the realization of two innovative wireless energy transfer systems is presented. The first system is BEF and is the acronym for "Brick Energy Free" and can be described as a source of energy integrated into the buildings so as to provide energy where it has been identified from the design phase that it is needed without using conductors to consumers, in the form of a monolithic block of standard dimensions in the field of construction, supplied to the electrical network of the building and which can transfer energy simultaneously, both outside and inside to various electrical devices. The second system, PEF stands for "Pillar Energy Free" and can be described as a source of energy available around buildings, on the surface of the land where the need for an energy source is identified and where BEF cannot be used. PEF is a cylindrical or parallelepiped pole retractable at ground level or fixed, which is supplied underground with electricity and which, by implementing the WPT system, can transmit wireless energy to electrical devices or machines. Below are described the two systems and for example is presented the practical work based on a robot equipped with an Arduino development board and the development kit previously described WPT 760308EMP. The practical paper describes the stages of the construction of the WPT system, the operation of the WPT system and the measurements of the operating parameters of the system according to the chosen scenarios.

In CHAPTER 5 are presented the Conclusions of the doctoral thesis in the form of Original Contributions and Future Research and Development Directions.

The original contribution is represented by:

- analysis and synthesis of technologies for the manufacture of elements in the composition of wireless energy transfer systems;
- the practical realization of a system that combines robotics with the transfer of wireless energy and electronics by designing and developing the electronic circuits necessary for the compatibility of the systems;

- realization of the operating algorithm of the device (robot) that integrates the WPT receiver;
- solutions for integrating the WPT system at the construction level through the BEF (Brick Energy Free) and PEF (Pillar Energy Free) systems;
- integration of a WPT system to exemplify the charging of batteries in electric vehicles.

CHAPTER I

ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION AND SOLUTIONS AVAILABLE IN THE FIELD OF WIRELESS POWER TRANSFER

Human development is an evolving chain in a continuous series of needs. From a systemic point of view, each new stage of evolution draws its weight on previous experiences, universally encompassing all the answers to people's constant attempts to integrate into the fluid design of the surrounding universe.

Every human consciousness is chained by existence by the actions of the forerunners as well as, at an intuitive level, by the visualization of the perpetual design of the universal system according to the flow of time.

Thus, each action falls within the paradigm of constructivism based on the most fluid flow of everything that physically interacts because of temporal causality. Going to a higher level, we can say that, from the point of view of constructal theory, the flow of information from the level of inspiration or accepted revelation to the realization in human actions, proves to be a process characterized by an obvious evolutionary design. No leap has exceeded the limits of flow channels in a sense of development beyond human understanding and historically proven dams have led to an expansion of ideas and solutions that have always followed the same design direction but at a low level of penetration without meeting the factors divided.

Constructal theory demonstrates, for each area in which it applies, the existence of a propulsive force permanently subjected to systemic force aimed at maintaining the functionality of the system integrity. Each system thus regains its power of development through the force by which it can be imposed in the global system in the sense of its development.

At the global level, the flow channels can be identified according to the contouring of the subsystems and thus methods and means of improving the universal system can materialize. In this sense, the realization of new sources for spreading the energy or information system can be identified by the autonomy of the systems.

System autonomy it is a small-scale multiplication of the universal system so that it becomes more vigorous and open to accelerated development.

The theories that lead us to the conceptualization of a progressive system, in which development is achieved by eliminating design errors so that the resources are judiciously used and on which I based my research presented in this paper include the principles of Constructal Theory, Systems Theory and System Autonomy.

The flow of information in terms of achievements in the energy field seems to fit more and more with the Constructal Theory issued by Adrian Bejan in 1996 and which refers to a phenomenon in nature: the generation of flow configurations. Thus, "For a finite-sized flow system to persist over time (to live) it must evolve so as to provide increasing access to the currents flowing through it" [1].

Both living organisms and inanimate physical structures circulate various fluids: water, air, sap, blood, electrical and caloric flows. In their transit, fluids tend to flow more easily, on more accessible paths. But "best suited" has, from the perspective of constructal law, a clear physical meaning: it is that animal design inside and outside whose currents flow most easily,

and the flow of animal locomotion is most efficient, ensuring the operation of the living engine with a consumption less energy, so food. [2]

By extrapolation, the human home can be compared with a living organism, in which, for a harmonization with human needs and in accordance with the Constructal Theory and the Autonomy of Systems, to achieve an increasingly free and efficient energy transfer.

Thus, from the use of renewable energy sources for which less resources are consumed and, implicitly, less pollution, to the distribution or direct use to the end user by fluid, free flow methods, new technological methods come to streamline the whole process by real energy savings.

Growing concerns about the safety and comfort of power supply have created a positive environment for research and development of wireless energy transfer (WPT) techniques used by industrial devices, consumer electronics and electric vehicles (EVs). Traditional conductors used in energy transfer have faded into the background due to the permanent and accentuated emulation in the study of wireless energy transfer in the last 10 years that proposes their replacement for certain applications due to the huge advantage of mobility and safety in use offered by WPT . Also, replacing cables with battery power is not an optimal solution in terms of their short life as well as the environmental footprint of hardware implementation that is reflected in high operating costs.

Recent advances have allowed electromagnetic wave energy to be transferred wirelessly from power sources (transmitters) to consumers (receivers), using a technique called Wireless Energy Transfer (WPT). However, as I will describe during the research, two ways to use wireless power transfer will be studied through a combined system that provides in the first case energy storage for use in electrical appliances that require mobility / portability and without energy storage for devices that do not involve mobility issues in the second case.

Being one of the most prominent technologies, WPT changes the conventional use of energy in the daily life of the human being. New developments in WPT technology motivate new research ways in various applications for which it has great potential, such as portable electronic devices [3], medical instruments, medical implants [4], inaccessible electronics [5], warming up [6], electric vehicles (EV), stationary charging [7], motion and dynamic loading [8], driving engines in wheels [9], wireless sensor network (RSWs), unmanned aerial vehicles (UAVs), lighting, power supply of security systems or multimedia systems [2], remote charging of robots working in hazardous environments for humans [10] or various electrical devices used in the home. Wireless energy transfer (WPT) has also enjoyed considerable interest in many industrial applications or interdisciplinary areas [11,12,13].

Through my research I will highlight up-to-date studies specific to the field of WPT, which include the classification, comparison and potential applications of WPT in everyday life.

The use of wireless energy transfer, intensively studied in the last ten years, has been a turning point in the modern interpretation of the design of electrical systems in various fields of use. The major advantage that this system brings by its safe use in any environment as well as by the ease with which the energy transfer is made comes to replace the lower efficiency compared to the use of electrical cables.

In the field of **transportation**, the main advantage is that a vehicle can be charged by simply positioning the integrated receiver in its composition next to the transmitter. In this way,

the process will take place without the need for the use of conductors and human action to effectively achieve galvanic contact. At the same time, inside the vehicle, the comfort will be ensured by the wireless supply (in certain areas) of the electronic equipment so that the driver will no longer have to perform wiring operations. Obviously, road safety will be increased by eliminating potential accidents that could occur due to inattention.

In the field of **health**, technological solutions have been developed to power the various electronic devices needed for investigations inside the human body and which can be powered by exposure to an energy emission field that ensures autonomy until the investigation is completed.

In the field of **education**, in addition to audio-video and data transfer, wireless energy transfer leads to an environment as simple and safe to use by all those who carry out your activity in the instructive-educational process.

In **construction**, new innovations related to wireless energy transfer can be introduced from the construction design phase so that the subsequent integration of technologies using this technique is easy to implement. We can capture here the solutions for the use of lighting, surveillance systems, multimedia devices, power tools or natural environment maintenance devices in the immediate vicinity by simply positioning the equipment near energy islands previously integrated in the construction. Thus, the emphasis is on expanding the useful capacities from a range of a few meters to tens or even hundreds of meters.

Agriculture would benefit from the implementation of wireless power transfer technology by powering sensor networks or various energy-using devices in remote areas by transmitting power by autonomous devices programmed to support power supply where necessary so that action human resources to be reduced and control to be accurate.

Electric machines used in **industry** can be managed much more easily by increasing mobility in sectors where electric cables impede certain operations. Thus, the design of workstations can be done in a much smaller space and with increased modularity.

Research field would benefit from wireless power transfer technology in many situations where exploration would be impossible or dangerous by using electrical conductors. A concrete example is represented by the action in Fukushima where robots powered without conductors were used, from a distance because the environment was dangerous to humans.

All the above examples lead to the efficiency of the processes carried out as well as to the achievement of significant savings of time, space and resources so that the difference in energy transfer efficiency can be filled if not eliminated depending on the field of use.

Wireless power transfer is basically based on how a transformer works. The current is supplied to a primary coil that produces an electromagnetic field (EM). A secondary coil is in the immediate vicinity. The EM field induces a current in the secondary coil, providing energy to the consumer to which it is attached.

However, unlike a conventional power transformer that operates at line frequencies and requires an iron core for efficiency, wireless power systems are designed to operate in the range of over 100kHz and thus can operate efficiently in air power transfer. Thus, the primary and secondary windings can be spaced, which allows their placement in separate devices, the primary element being part of a transmitter and the secondary within a receiver. This implementation can also be described as a radio transfer process and, as such, these coils can also be seen as identical antennas, being similarly described below. [14]

Figure 1 shows the block diagram of the WPT system in which the component parts can be observed as well as the energy and information transfer process on the basis of which the transfer is regulated.

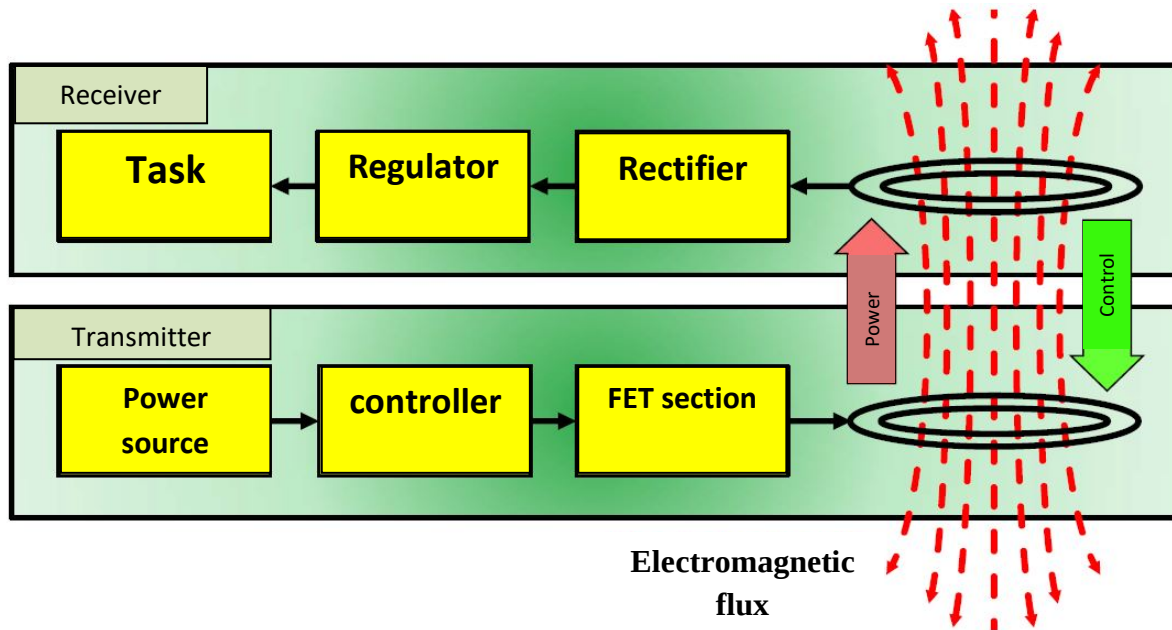


Fig. 1 Block diagram of the WPT system

1.1. HISTORY

Wireless energy transfer (WPT) is a term that designates many different technologies for the transfer of electromagnetic energy but is not necessarily a new concept. Several efforts have been made in recent decades to transfer energy wirelessly, but the beginnings of WPT date back to 1868, when James Clerk Maxwell merged the "Law of the Standing Magnetic Circuit - Ampère's Law" and "The Law of Electromagnetic Induction - Faraday's Law". In addition, other experiments, observations, and mathematical models have been developed into a consistent theory that constitutes conventional electromagnetic theory. Maxwell's equations are the cornerstone of electromagnetic currents, including wireless power transfer. In 1884, John Henry Poynting presented a mathematical equation of the electromagnetic field that can be used in contactless energy transfer [15,16]. In 1888, Heinrich Rudolf Hertz discovered radio waves / Hertzian waves, confirming Maxwell's prediction of electromagnetic propagation. Hertz's experiments showed that electromagnetic waves could be produced in the transmitting coils and detected by a receiving coil [17]. In 1894, the WPT system patented by Hutin and Leblanc was used to power an electric railway system [18]. Their system consisted of a single wire in the primary that transmitted energy at 2 kHz along the railway and several resonant coils with a receiver role used in the secondary.

In the period 1891-1904, the first significant innovation in WPT technology was made by Nikola Tesla who, through his experiments performed on the inductive coupling of WPT using Tesla coils that produce high frequency alternating current (AC), demonstrated the wireless illumination of phosphorescent bulbs. In 1897, Tesla patented the "Tesla Tower" built in Colorado Springs in which he lit three lamps from a wireless power transfer distance of about

30 meters. Tesla's research has contributed to long-distance energy transfer based on radio communications. William C. Brown made the transfer of energy over long distances due to the advancement of microwave technology in 1960 and in 1964 proposed a wireless point-to-point transfer scheme based on microwave beams [19], effectively using a "rectenna" (rectifying antenna) to convert electromagnetic waves into direct current (DC). In 1968, American engineer Peter Glaser introduced the concept of a space solar power station and found that solar energy could first be converted into electricity and then transmitted to Earth in the form of a microwave. Huge progress was made in the SPS (Satellite Power System) project in the 1970s [20], which showed that people understood this space technology of electricity transfer. In 1975, Brown made the short-distance transfer of 475 W using microwaves with an efficiency of 54% DC / DC to Landmark. In 2007, wireless power transfer amazed the world again, with research team led by MIT Professor Marin Soljacic using highly magnetic coupled resonators (SCMR) to light a 60-watt bulb at distances greater than 2 meters with an efficiency of about 40% [21,22]. Later, Intel and Qualcomm also introduced their wireless power transfer systems, which showed that this new technology will soon appear in our daily lives. In 2012, the U.S. Department of Transportation used WPT to load vehicles while traveling on the highway [23]. WPT research efforts between 2001 and 2013 are briefly described in [24]. Thus, the four most active countries in WPT research are the USA, Japan, China and South Korea. In 2015, the Nuclear and Quantum Engineering team at KAIST University used the WPT inductive coupling to transfer energy at a distance of 3, 4 and 5m with an efficiency of 29%, 16% and 8%, respectively. This team transferred energy on an oscillating frequency of 20 kHz to the transfer coil. Recently, some colleges and research institutes have already achieved numerous significant results in the use of high magnetically coupled resonators (RPCM), which mainly include topics of development of principles, transfer characteristics, new materials, interferences and practical applications. [25].

1.2. CLASSIFICATION OF WIRELESS ENERGY TRANSFER TECHNIQUES

WPT can be classified into two types, namely long-distance field WPT and short-distance field WPT. A WPT system involves a transmitter unit connected to the main power source, which converts electricity into an electromagnetic field. This field can be received by one or more receivers to convert it back into electricity, to be used by the electric charge. On the transmitter side, the power signal and information are carried by the same radio frequency (RF) signal.

1.2.1. Classification of wireless field energy transfer techniques

Remote field energy transfer should be designed mainly for low power, low priority transfer efficiency applications although, using this type of power transfer, a large amount of energy can be transmitted between two positions. Remote field transfer is implemented by microwave or laser in a direct and barrier-free way between transmitter and receiver [26]. Considering the efficacy and safety of human exposure [27], remote field transfer is not a good option for transmitting energy in everyday situations.

Short-distance wireless power transfer refers to the energy transfer distance in the wavelength (λ) of the transmitting antenna. Due to the high efficiency and safety limit of exposure in the near-field radio frequency spectrum, wireless energy transfer in the near field is a better option compared to microwave or laser transfer [28]. In particular, inductive power transfer, capacitive power transfer and magnetically coupled resonant coupling (RPMC) are the most popular WPT technologies in the near field [29,30,31]. Moreover, based on the resonance of the magnetic and electric fields in the LC circuit, the use of magnetic resonance coupling for TPI became dominant in the WPT system [32,33].

1.2.2 Classification of wireless energy transfer techniques in the near field

These technologies are classified based on the main energy transfer mechanism and the transfer distance. Based on the energy transfer difference, WPT methods are divided into two categories: far field and near field. The technique can be considered remote field if the wavelength of the electromagnetic signal is less than the transfer distance. By contrast, if the wavelength of the electromagnetic signal is longer than the transfer distance, the technique belongs to a close field type. For example, when the resonant frequency is relatively low (less than 5 MHz) and the transfer interval is short (for example, 5 cm), the technique is close field. When the resonant frequency is 900 MHz and the power transfer interval is longer than 2 m, [34]. Microwaves, RF, photoelectrics, lasers and acoustics can be classified as remote field energy transfer techniques, while inductive coupling and magnetic resonance coupling can be considered near field techniques.

Figure 2 shows the subcategories of WPT techniques in the near field studied so far [35].

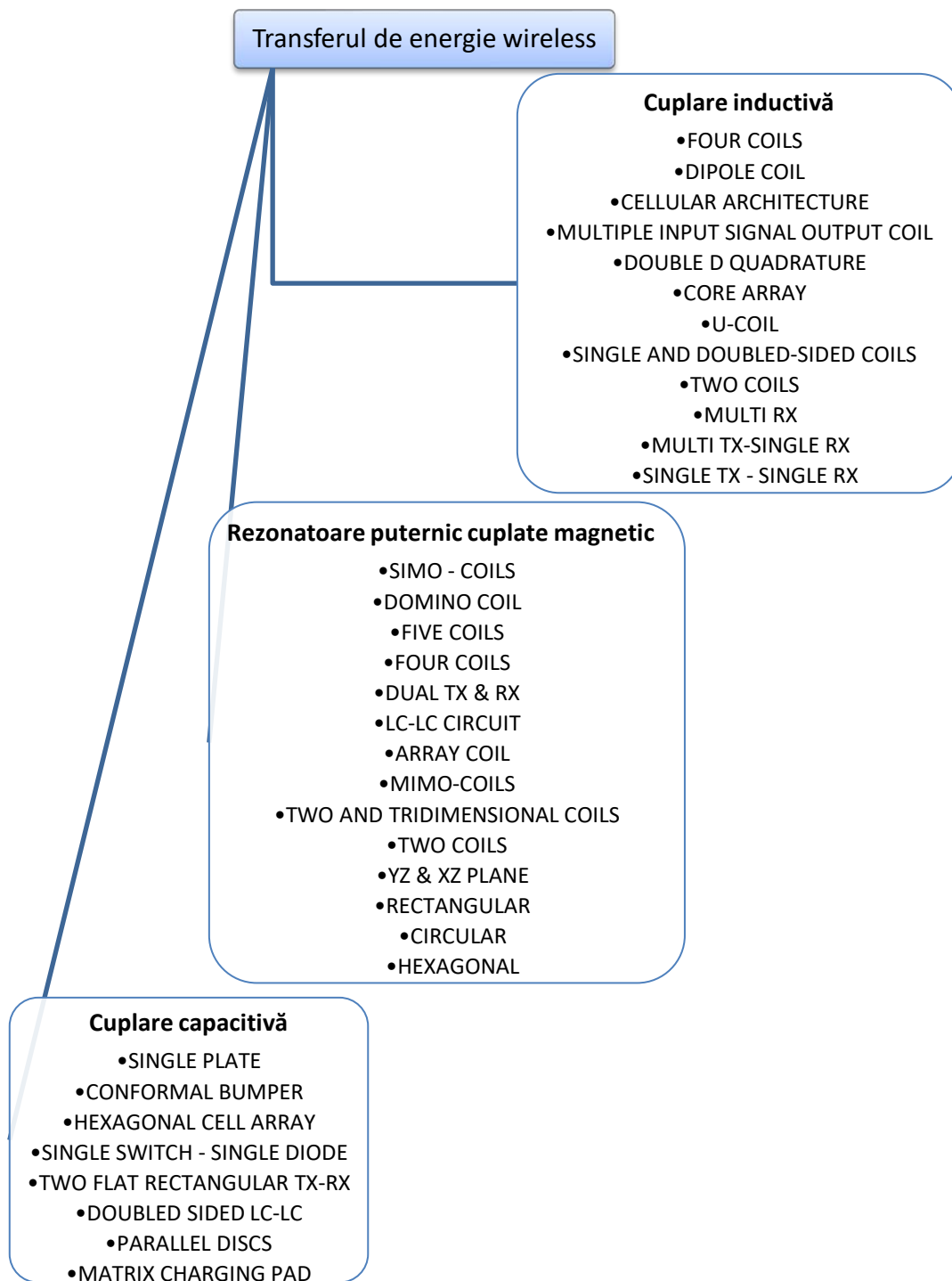


Fig. 2 Classification of wireless energy transfer techniques in the near field

1.3 BASIC PARAMETERS IN WIRELESS ENERGY TRANSFER

1.3.1 Frequency

The design of the working frequency of the energy transfer in the near field was implemented with regulatory constraints and technical limitations [36]. For inductive coupling, the operating frequency varies in the low frequency bands. For example, in [21], the authors adopted a frequency range of 20-40 kHz for the projected coil-to-coil distance of about 10 cm. Magnetic resonance imaging systems typically operate in high frequency bands; the frequency range from 1 to 50 MHz was taken into account in [37]. In the magnetic resonance coupling method, high efficiency with a greater distance between the receiving and transmitting antennas can be achieved when their resonant frequencies are the same [38].

1.3.2. Energy transfer

WPT can be classified as radiative (far field) and non-radiative (near field). The radiative energy transfer technique can be classified into two types: direct and omnidirectional. For the omnidirectional application, the radiation will be used to transfer energy to portable devices [21]. However, the omnidirectional characteristics of radiated energy significantly reduce the efficiency of the system.

1.3.3 Efficiency of wireless energy transfer

Transfer efficiency is defined as the power of the receiver at the receiver coil divided by the total power at the input of the transmitter coil. The efficiency of the WPT system depends on the type of technique. Figure 3 shows the efficiency of different WPT techniques for near and far field. The inductive coupling technique achieves an energy transfer efficiency of 70-90% and decreases with the distance between the primary and secondary coil.

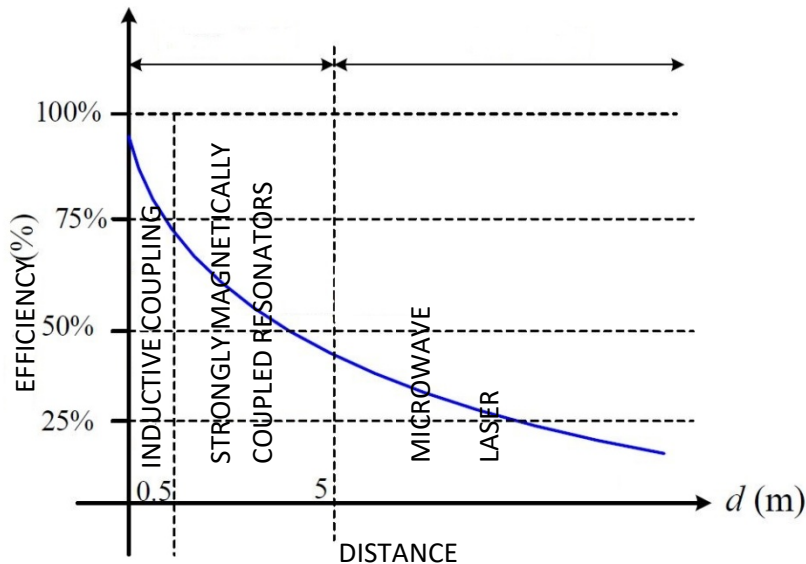


Fig. 3 Efficiency comparison for different WPT techniques

1.3.4. Transfer distance

Transfer distance is considered a critical issue in the WPT field in the near field, as it determines the DC output power. The transfer distance varies from one type of WPT to another in the near field, where it depends on the use of the power transfer technique. The inductive coupling technique has a limited transfer distance with a high transfer efficiency, while for magnetic resonance coupling, the energy can be transferred over a medium range of action from source to load compared to the inductive coupling method. However, in this method, the transfer efficiency will be reduced.

1.4 WIRELESS TRANSFER OF ENERGY IN THE SPECIALTY LITERATURE

Wireless field transfer is a promising technology that can power RSW objects, mobile phones and medical devices without replacing the battery and connecting to the main power supply. Several studies have proposed different WPT systems in the near field.

1.4.1. Inductive coupling

Some major studies related to WPT inductive coupling are highlighted and organized based on the chronology presented in Table 3. Some of these efforts are as follows:

Worgan et al. [39] presented a PowerShake to transfer power between mobile devices. PowerShake retains the power transfer of about 3.1W, which is suitable for charging energy-consuming devices such as mobile phones. As stated by the authors, the output power of 3.1 W and the generated frequency of 97 kHz of the transmitter keeps the human body tissue safe from the effects of the electromagnetic field [40]. The design of their transfer and reception circuits has been subject to Qi standards or specifications [41].

The WPT inductive coupling has the following advantages and disadvantages:

Benefits:

- short transfer distance;
- non-radiative and therefore safe for the human body;
- simple topology;
- high transfer efficiency of up to 95% over short distances;
- simple implementation.

disadvantages:

- short transfer distance (of the order of centimeters);
- requires precise alignment between transmitter and receiver;
- produces eddy currents (eddy currents that lead to energy losses through the Joule effect and thus to the reduction of the efficiency of the electrical installation);
- heating effect;
- unsuitable for mobile use;
- requires proper alignment between the chargers and the WPT system.

1.4.2 Magnetic resonance coupling

Mittleider and co-workers [42] presented a new method for charging UAV-based wireless sensor networks. The UAV can be located with an accuracy of 15 cm based on magnetic resonant sensors, where the global positioning system (GPS) is inaccurate and needs a line of sight between the receiver and the satellite [11]. However, the charging efficiency can be increased when the transfer coil (mounted on the UAV) and the receiving coil (fixed in the sensor node) are close to each other. Consequently, the charging power of 5.49 W at 6 cm between the receiving and transmitting coils is suitable to charge the battery of the wireless sensor nodes in a remote location.

Benefits:

- energy transfer over a few meters;
- no direct visibility between transmitter and receiver is required;
- is not affected by weather conditions;
- has a high transfer efficiency in the omnidirectional antenna;
- it is not necessary to align the transmitting and receiving coils;
- charging several devices simultaneously for different powers;
- suitable for mobile applications.

disadvantages:

- decrease in efficiency due to axial mismatch between receiver and transmitter coils;
- reducing efficiency with increased distance;
- complex implementation.

1.4.3. Capacitive coupling

This section discusses some papers associated with WPT capacitive coupling. Compared to inductive coupling, capacitive coupling is another emerging technique that has been discussed by a smaller number of researchers [43].

However, capacitive coupling can be used in similar low power applications like inductive coupling, for charging mobile or biomedical devices. Capacitive coupling is commonly used in low power applications because it has a low coupling capacity.

Benefits:

- power is transferred through the metal;
- high transfer efficiency;
- high output power for EV applications;
- simple design.

disadvantages:

- the large coupling area is required for high power;
- short transfer distance.

1.5. WIRELESS ELECTROMAGNETIC POWER TRANSFER APPLICATIONS

1.5.1. Wireless power transfer for the electric car

The German company TPI Technology started in 1996 as Wampfler and then continued as Conductix in January 2014 as TPI Technology [44].

This company has launched several generations of electric buses loaded by TPI. Their TPI Charge e-mobility technology offers the possibility of wireless charging of hybrid and electric buses equipped with secondary receiving coils. This technology is able to load while the bus is stopped or parked on the supplied buffers (primary inductors) embedded in the roadway or garage floor as can be seen in Figure 5.

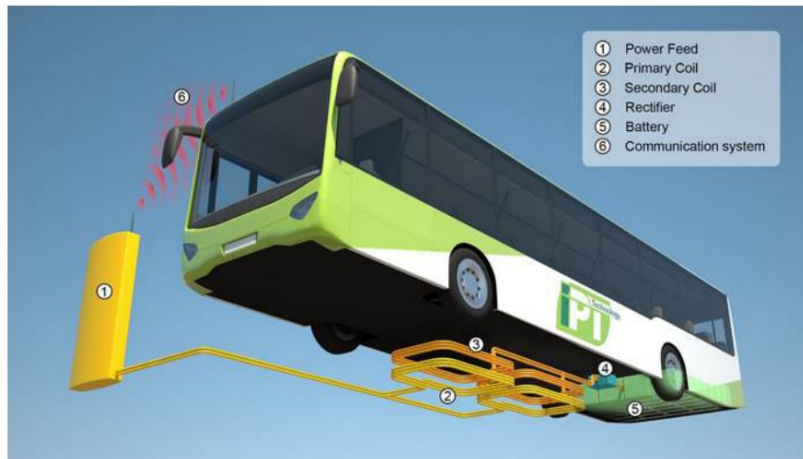


Fig. 5 Conductix-Wampfler (Inductive coupling charging for WPT)

A new wireless power transfer system was introduced by Nihon Dengyo Kosaku and Volvo Technology Japan. Unlike previous versions developed by Dengyo, it can transmit 10 kilowatts of electricity through the microwave at a distance of 4 to 6 meters.

Although twice as powerful as what they have already developed, the new wireless power transfer system is built using Dengyo's "rectenna" (rectifier antenna), a device made by combining an antenna and a rectifier.

1.5.2. Wireless sensor networks

WPT techniques can be used to solve the problem of power consumption in wireless sensor networks (RSW) [45]. RSW is limited by battery capacity and can only operate for a limited time. Several studies have highlighted different methods of extending the life of networks. Although these efforts have shown an improvement in RSW energy consumption, their energy consumption / lifespan remains an obstacle in terms of performance, and its feasibility is the key factor preventing development in large areas.

CHAPTER II

THEORETICAL AND CONSTRUCTIVE ANALYSIS OF WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS

2.1. MEDIUM-RANGE WPT MODELING BASED ON MAGNETIC RESONANCE COUPLING

2.1.1. Coupled mode theory (TMC)

Coupled mode theory aims to investigate the laws in coupled mode of electromagnetic waves, which was originally applied in the field of microwaves [46]. According to TMC, the physical processes of energy transfer from one resonant object to another can be described as:

$$\dot{a}_m(t) = (i\omega_m - \Gamma_m)a_m(t) + \sum_{n \neq m} i K_{mn} a_n(t) + F_m(t) \quad (1)$$

where $a_m(t)$, ω_m , Γ_m , K_{mn} and $F_m(t)$ represents the energy amplitude, the resonant frequency, the intrinsic decay rate, the coupling coefficients and the transfer condition, respectively. If the rate of intrinsic decay is not considered, the energy exchange between two resonant objects will be lossless.

2.1.2 Circuit Theory (TC)

The concept of electromagnetic coupling mode appeared in the early 1950s, and after a long period of development, the current TMC is suitable for analyzing the process of energy exchange between two resonators [110], but its concepts are still little known and understood. Rather, Circuit Theory (TC) based on mutual inductance mode is a more direct method.

Parallel-parallel and series-series offsets are the basic structures that have been well discussed in the literature and, in addition, their methods of analysis and design are elaborated in [47,48].

2.1.3 Comparative analysis between coupled mode theory and circuit theory

Both TMC and TC can be used to analyze strong magnetic resonance coupling (SCMR), but they belong to different scientific branches, so it is significant to distinguish them clearly. According to TMC, we have [25,110]:

$$\Gamma_L = \frac{R_L}{2L_3}, \Gamma_3 = \frac{R_3}{2L_3}, \Gamma_2 = \frac{R_2}{2L_2}, K = \frac{\omega}{2}, k = \frac{\omega M_{23}}{2\sqrt{L_2 L_3}} \quad (14)$$

The new parameter corresponds to the coupling coefficient in the TC, and indicators 2 and 3 correspond to the indicators m and n in the Coupled Mode Theory. Assuming that the system operates in a resonant state and the internal resistance of the voltage source is ignored

by replacing Equation (14) in Equation (8) and further simplifying the expressions, we can conclude that Equations (8) and (13) are absolutely identical, this verifying that the analysis based on TMC and TC is equivalent in the resonance state.

2.1.4 System architecture

In practical applications, transfer distances and impedances change frequently. According to the TMC and TC analysis, we can see that the architecture of the two-coil system cannot meet these requirements, so the study of new system architectures is valuable. Three- and four-reel system architectures can optimize transfer characteristics with additional degrees of freedom in adjustment.

2.2. COMPONENTS USED IN WIRELESS POWER TRANSFER

2.2.1. Zero switched voltage regulators

Circuit design for DC voltage regulators is becoming increasingly difficult due to power density (W / m^3) and the increasing voltage levels of the DC supply as well as the decrease of the silicon voltage parameters to increase the efficiency.

The difference between the supply voltage and the required silicon voltage creates a large drop across the regulator, increasing the switching losses and ultimately limiting the switching frequency of the device.

For example, a voltage control system may require an adjustment from 24 V to 3.3 V, a gap that should normally be covered by two adjustment steps, thus increasing the size of the electronic circuit, costs and reliability issues. Moreover, the limited switching frequency is a disadvantage because it requires the use of magnetic components and other larger passive components for the filter circuits, increasing the size of the system and acting against the power density.

A solution to return to a faster switching frequency for voltage-lowering regulators is represented by the zero-switching voltage regulators, ZVS (Zero Voltage Switching).

2.2.1.1 Switching losses without ZVS

Most non-insulated voltage regulators suffer large switching losses during the transition between start-stop phases due to stress induced by the simultaneous occurrence of high voltage and current values applied to the metal-oxide-semiconductor field effect transistor (MOSFET). These losses increase with switching frequency and input voltage and limit operation to maximum frequency, efficiency and power density.

The switching loss occurs during the overlap between voltage and current when the MOSFET is turned on and off. Voltage regulator manufacturers are trying to minimize overlap to minimize switching losses by increasing the rate of change of current (di / dt) and voltage (dv / dt) in the form of a switching wave.

2.2.1.2 ZVS switching

Quasi-resonant switching is a good technique for improving the efficiency of the voltage regulator, but things can be further improved by implementing soft switching. During soft switching the voltage drops to zero (compared to the use of a minimum value) before the MOSFET is switched on or off, eliminating any overlap between voltage and current and reducing losses. The technique can also be used to switch the MOSFET when the current, rather than the voltage, reaches zero. This is known as Zero Current Switching - ZCS.

2.2.1.3 How the ZVS works

In the **Figure 13** a ZVS electronic circuit is presented. This circuit is identical to a conventional regulator, except for an additional clamping switch connected through the output inductor. The switch is added to allow the use of energy stored in the output inductor to implement ZVS.

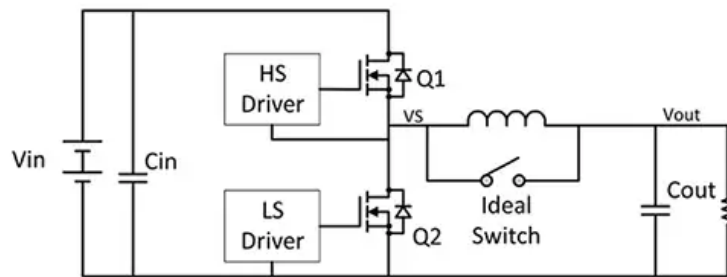


Fig. 13 ZVS topology

The ZVS converter operates in three main states. These are defined as Q1 per phase, Q2 per phase and the phase of the direct connection between VS and Vout. Q1 starts at zero current and when the voltage at the source is almost zero. The current curve increases in the MOSFET and in the output inductor at a peak current determined by the time moment of Q1, the voltage on the inductor and the value of the inductor. During phase Q1, energy is stored in the output inductor and the charge is supplied to the output capacitor. During phase Q1, the power dissipation in Q1 is dominated by the MOSFET resistor, and the switching loss is negligible.

2.2.1.4 Using ZVS in WPT

In Wireless Power Transfer applications, ZVS devices are used as classic resonant converters.

The controller offers many advantages:

- It oscillates independently and requires only a direct current source;
- The current and voltage profile is almost sinusoidal;
- No active components and no software required;
- It is scalable from 1W to 200W;

- The MOSFET switch approaches the zero crossing point;
- It is scalable for many different voltages / currents;

2.2.2. TRANSMITTER AND RECEIVER COILS

To find the right WPT coil, there are a few things to consider first:

- How high is the maximum estimated current (reactive and rated current) in the coil?
- What is the maximum allowable mounting size (L / L / H)?

To avoid unwanted saturation or overheating of the coils, a 30% safety buffer must always be planned. If more than one coil can be incorporated, the ones with the highest inductance should be used, as the resonant circuit capacitor may be smaller.

In addition, this measure reduces the reactive currents that occur in the "tank". Lower currents in the resonant circuit lead to lower self-heating and better EMC properties.

The maximum current in the 'tank' is calculated by relation (6).

$$I_{max} = U_{in} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (6)$$

The best coupling is achieved when the transmitter and receiver coils have the same size, therefore a 1: 1 size is recommended. Components of the WE-WPCC family (eg 760 308 102 142, 53mmx53mm, 760 308 100 143, ø50mm, 760 308 100 110, ø 50mm) were specially developed for high power. These coils can be used as transmitters and receivers. They are characterized by very low Rdc values, very high Q values and very high IR saturation currents.

2.2.2.1 Optimizing the environment adjacent to the coils used in WPT

If the WPT coils are fixed to the metal, inductive losses due to induced eddy currents caused by the peripheral magnetic field may occur. In addition, the metal close to (eg copper on the PCB) may heat up. Electronic circuits can also be influenced by strong magnetic fields. This effect will be greater the greater the distance between the coils of the WPT system.

Appropriate measures include increasing the distance of the coils from the PCB / metal, as well as the use of highly permeable ferrite foil, such as WE-FSFS.

2.2.3 FILTER COILS

The two filter inductors moderately disconnect the resonant circuit "AC" from the power supply. At the same time, they also serve as a constant source of current and filter element. The charging capacity must be adapted to the maximum rated current of the circuit. A classic power inductor (eg WE-HCI, WE-PD, WE-LHMI) with high Q factor should always be used. Its nominal inductance should be at least 5 times higher than the inductance of the WPT coil to be

able to recharge enough energy in the resonant circuit. If the input / output amplification is still too high, the values of the filter inductor or capacitor can be increased.

2.4 CAPACITORS

Because high currents flow in the parallel resonant circuit, not any capacitor technology is suitable for this load. Depending on the application, only three different types of selection are available: MKP (WE-FTXX / WE-FTBP), NP0 (WE-CSGP) or FKP.

2.2.4.1 Input and output capacitors

These capacitors, in combination with the power coils, serve mainly as filters. Because the resonant frequencies are below 200 kHz, the capacitors must be correspondingly higher. Tests showed that values between 10 and 1000 μ F should be anticipated, depending on the application coils and power used. The disconnection frequency of -6dB resulting from the LC filter should be about 1/10 of the resonant circuit frequency. In theory, an attenuation of 40dB / dec is expected.

2.2.5 TRANSISTORS MOSFET

The proper selection of N-MOSFETs depends primarily on the level of the supply voltage. If it is only 5V, for example, a logic level type must be used to safely start the gates. As most MOSFETs have a maximum gate voltage of +/- 20V, measures must be taken to protect the gates in the event of a supply voltage higher than 20VDC. This can be a grounded Zener diode or a capacitive voltage divider, which keeps the gate voltage within the optimum range. Care must also be taken that the gate voltage is not too low, otherwise a MOSFET in the resonant converter will remain blocked in the linear amplifier operating mode, causing the circuit to enter a blocking state.

2.2.6 DIODES AND PULL-UP RESISTORS

As MOSFETs need to be recharged relatively quickly, fast currents occur as the gate is loaded and unloaded. These charging / discharging currents must be routed through PULL-UP resistors and diodes. The resulting losses are not negligible. For this reason, the maximum permissible power loss (Pv) and the current load capacity of these components must be chosen accordingly. Also, the diodes must have the same voltage stability as the MOSFETs. As an alternative to conventional or Schottky diodes, MOSFET body diodes can also be used.

2.3. INTEGRATION OF ELECTRONIC COMPONENTS INTO THE WPT SYSTEM

2.3.1 Electronic circuit diagram

In the **Figure 15** is the basic circuit for the transmitter part including the L_p transfer coil. The receiver part can be built with the same basic circuit.

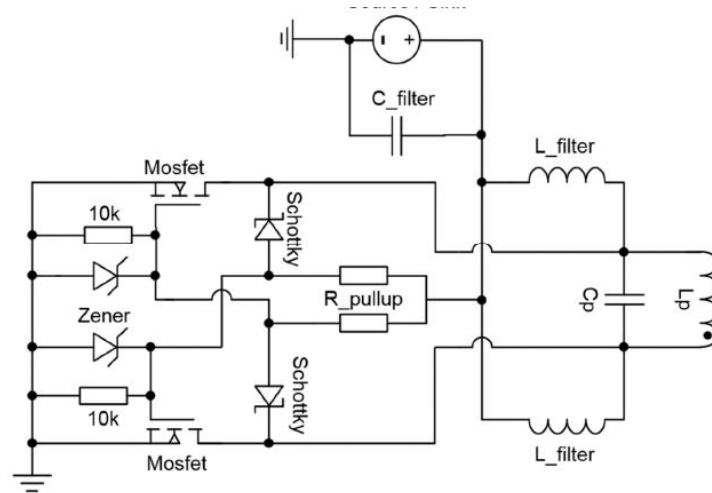


Fig. 15 Basic resonant converter circuit

2.3.2 Operating mode

The resonant converter usually operates at a constant operating frequency, determined by the resonant frequency of the LC parallel resonant circuit. As soon as a DC voltage is applied to the circuit, it begins to oscillate based on the tolerances of the MOSFET components. In a split second, one of the two MOSFETs is slightly more conductive than the other. Feedback—the positive flow of the two MOSFET gates and the opposite leakage of the less conductive MOSFET leads to a 180° phase change. The two MOSFETs are therefore always removed from the phase and can never drive simultaneously. MOSFETs alternately connect both ends of the resonant circuit parallel to ground, allowing periodic recharging of the resonant circuit with energy.

The efficiency of the entire wireless power transfer circuit can exceed 90% in practice. This is quite remarkable, because the coupling losses through the air gap are already included and a DC DC voltage is available at the input. Efficiency remains stable in an air range between 4-10 mm. Much of the energy in the magnetic field, which is not coupled to the receiver side, is returned to the "transmitter circuit". A maximum distance of up to 18 mm is possible depending on the application, but concessions are made regarding the coupling and Electromagnetic Compatibility (EMC).

2.3.3 Negative aspects related to the resonant converter

Two sensitive aspects need to be considered in practice with this circuit construction to prevent MOSFETs from jamming, namely, the power supply of the transmitter at the time of switching and the impedance reflected from the receiver to the transmitter.

2.3.3.1 Power supply of the transmitter at the time of switching

If the power supply is unable to produce sufficient current during the transient oscillation of the circuit, one of the two MOSFETs may lock in linear gain mode and the input voltage may be permanently shorted to ground. . This would cause the MOSFET to overheat and deteriorate.

2.3.3.2 Impedance reflected from the receiver to the transmitter

Given the high loads on the receiver side or sudden changes in the coupling factors (14) for the two coils, it may be that the reflected impedance partially short-circuits the magnetization inductance (15) of the transmitter. This, in turn, can lead to the decomposition of the oscillations and the entry of the circuit in a locked state.

$$k = \frac{U_{sec}}{U_{pri} \cdot \pi} \cdot \frac{N_{pri}}{N_{sec}} = \frac{M}{\sqrt{L_{pri} \cdot L_{sec}}} \quad (14)$$

$$M = k \cdot \sqrt{L_{pri} \cdot L_{sec}} \quad (15)$$

To counteract this, it is useful to slightly change the frequency of the resonant circuit of the receiver using another parallel capacitor (with a frequency 10-20% higher than the transmitter). Alternatively, an additional inductance (power inductor) can be connected in parallel with the transmitter coil, which is not magnetically coupled to the transfer path.

2.4 Electromagnetic compatibility - wireless power transfer properties

Because power is transferred with so many wireless power applications, EMC compliance is essential. The challenge is for the transmitter and receiver coils to behave like a transformer with a low coupling factor and a very large air gap. This leads to a very large electromagnetic field in the vicinity of the coils. EMC measurements have shown that broadband interference can occur in the fundamental wave spectrum up to the 80 MHz frequency range. If the measured interference level is kept below the limit with a reserve, it can be assumed that the limits of the interference field intensity are also maintained.

2.5. EXAMPLES OF WPT APPLICATIONS

2.5.1 Simple circuit for WPT receiver

Figure 17 shows the electronic circuit of a WPT receiver made with a Schottky diode rectifier and SMD capacitors made of current-resistant aluminum polymer. The output power of this receiver circuit is about 120 W depending on the cooling surface. TVS power diodes are used to protect against transient overvoltages (bidirectional, maximum operating voltage 60 V).

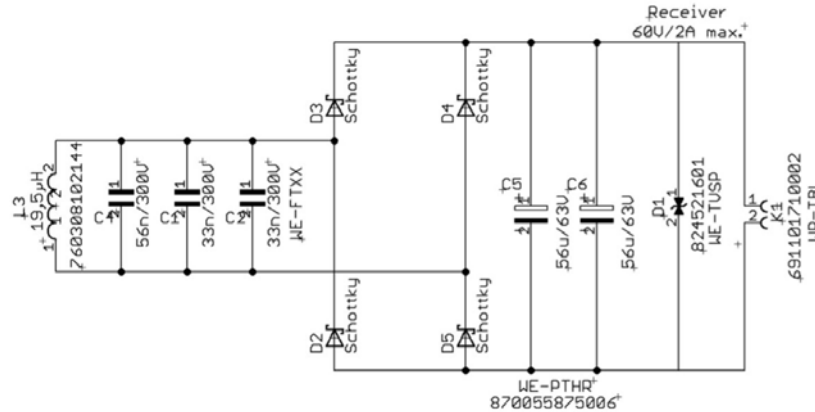


Fig. 21 Simple circuit for WPT receiver

2.5.2 Standard resonant converter (transmitter and receiver up to about 10 w)

Example of simple resonator circuits for transmitter / receiver for use up to 10W. An input current monitoring must be implemented for all transmitters. This protects the FET power from thermal overload. If the oscillation does not start properly or decomposes during operation, one of the FET powers would be permanently controlled by the GND and thus thermally destroyed. The FET logic level must be used for supply voltages below 9V. (Figure 18)

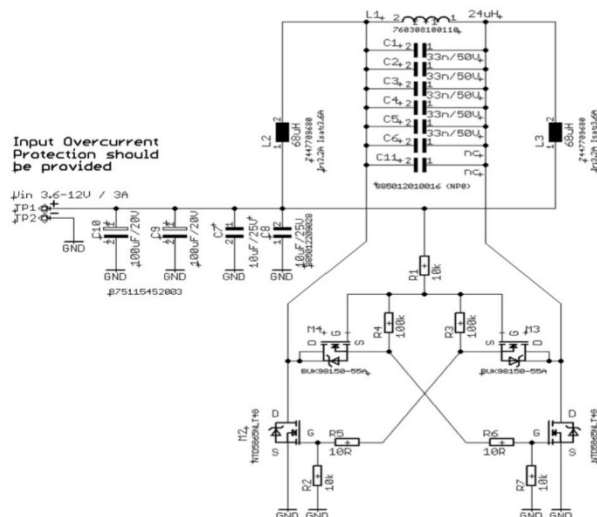


Fig. 18 Standard resonant converter (transmitter and receiver up to about 10W)

CHAPTER III

COMPARATIVE ANALYSIS OF WPT SYSTEMS USED TO SUPPLY LOW AND MEDIUM POWER ELECTRICAL DEVICES

The research undertaken is based on the comparative testing of WPT, LKCH-TXRX40W-EVB systems [49] produced by Semtech Corporation [50] and the 200W development kit, 760308EMP, produced by Infineon and Würth Elektronik, to identify the mode and operating parameters. The finality of the research is represented by the selection of the optimal solution to be used within the proposed research / project.

The purpose of product testing is to compare and interpret experimental and theoretical results based on calculations, achieve a graphical and schematic concept of the wireless energy transfer system, perform measurements and data acquisitions for wireless energy transfer for various types of consumers and interpretation experimental and theoretical results.

The result of the research based on the scientific methods stated above will materialize in the development of a system designed for use in construction so that it represents the elimination of barriers to power supply of autonomous devices or to reduce the need for materials used and costly operations represented of classical energy supply (with wires).

3.1 WPT LKCH-TXRX40W-EVB SYSTEM

The WPT LKCH-TXRX40W-EVB system includes a transmitter and a receiver. The tested module offers a complete system solution and is compatible with power transfer standards (WPC) or Qi standards, making this transmitter an ideal platform for powering most wireless receivers used today.

The TSDMTX - 24V3 - EVM transmitter is a platform for testing and experimenting wireless charging solutions based on the Semtech TS80003 power transmitter controller, TSET002 FET driver, TS30041 DC / DC converter and TS94033 power amplifier.

While the system is capable of charging devices at 40W, it is also compatible with devices with low power (5W) but which allow fast charging levels.

The characteristics of the WPT system are the following:

- 24V input / 40W output power;
- Variable output voltage (default 19V);
- According to the WPC1.2 standard;
- Advanced foreign object detection (FOD) function;
- Supports different device charging protocols.

The block diagram of the WPT system is presented in **Figures 26** and **27**. Figure 26 shows the wireless power transfer module (TSDMTX - 24V3 - EVM) and Figure 27 shows the representation of the wireless power reception module (TSDMRX-19V / 40W-EVM).

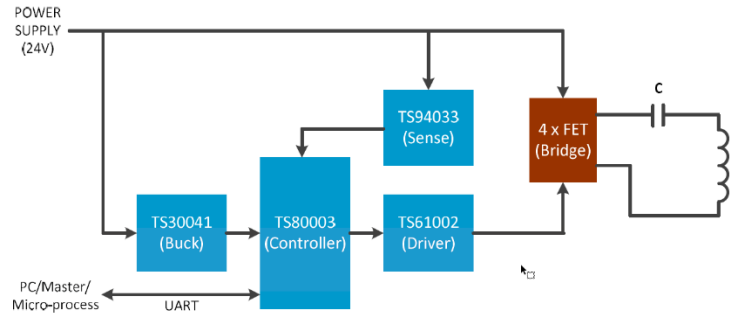


Fig. 26 Transmitter block diagram (TSDMTX - 24V3 - EVM)

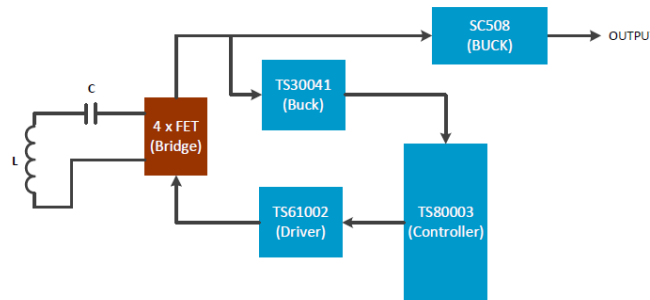


Fig. 27 Receiver Block Diagram (TSDMRX-19V / 40W-EVM)

3.1.1. Description of the WPT transfer module (TSDMTX - 24V3 - EVM)

The TSDMTX-24V3-EVM transfer module can transfer power up to 40 watts (when used in conjunction with TSDMRX-19V / 40W-EVM) for WPC / Qi compliant wireless power transfer.

The transmitter can be connected to any receiver module Qi to form a complete wireless power transfer system. The choice of the Semtech TSDMRX-19V / 40W-EVM receiver module allows a variety of experiments to observe the behavior of the system in terms of transmitted power, temperature during operation for various power levels and operating time, as well as its reliability.

There are several other receiver modules that support different power levels and output voltages, any of which can be used because they are compatible with the standard. Qi and therefore are compatible with the TSDMTX-24V3-EVM transmitter. Any existing Qi compatible product can also be used, although the limited access that these devices provide may make the range of experiments that can be performed more limited.

The key technology in the evaluated system is the integrated circuit Semtech TS80003, which controls the system and implements the Qi protocol.

The TSDMTX-24V3-EVM can be divided into a number of sub-blocks, as shown in the diagram in Figure 2.

The component blocks are:

- 24 volt DC source - the external transformer that converts alternating current to direct current with a value of 24 volts;
- Buck TS30041 converter, which converts 24V DC to a value of 5V DC;

- WPT controller - based on the TS80003 integrated circuit that contains I / O communication ports: USB, I2C, temperature sensor, LED display;
- H (Full Bridge) FET TS61002 driver that operates FETs based on signals from the controller;
- FET bridges that direct energy from the 19V source to drive the resonant circuit (antenna);
- Power transfer coil, WE760308102144.

3.1.2. Description of the WPT receiving module (TSDMRX-19V / 40W-EVM)

The WPT receiving module, TSDMRX-19V / 40W-EVM and its compatible WPT transfer module, TSDMTX-24V3-EVM, form a complete, high-power wireless power transfer system to provide power directly to a consumer or for charging Li-ion batteries.

The key components of the TSDMRX-19V / 40W-EVM are TS80003, TS61002, TS30041 and SC508. TS 80003 provides compatible communications Qi and receiver control. TS61002 controls the highly efficient synchronous rectification of alternating current in the receiver coil. TS30041 supplies 5V to all components that require this operating voltage. Finally, the SC508 processes the received power by providing a well-regulated output voltage and current limitation for the load or to the batteries. The SC508 can be canceled to allow the received power to be applied directly to the load or battery. This technique can be used in constant power charging applications.

As can be seen in **Figure 65**, the receiver consists of two parts, a coil and an electronic circuit. Two ports are provided, one for output power and the other for programming. They are in the upper and lower right corners of the plate, respectively.

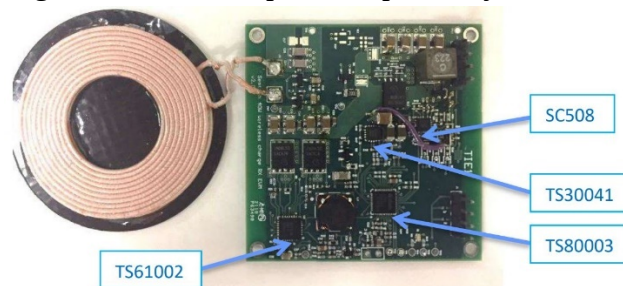


Fig. 65 TSDMRX-19V / 40W-EVM

The TSDMRX-19V / 40W-EVM can be divided into a number of sub-blocks as shown in the diagram in Figure 66.

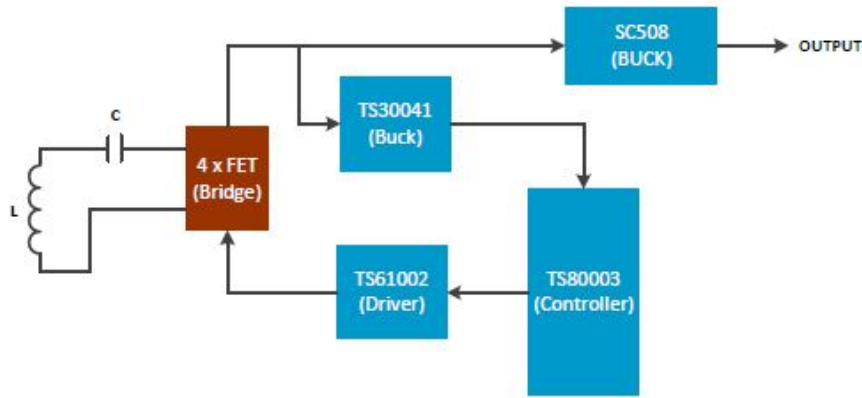


Fig. 66 TSDMRX-19V / 40W-EVM

The component blocks are:

- Receiver coil TDK WT505090-20K2-A10-G;
- Buck TS30041 converter, which regulates the received voltage to a value of 5V DC;
- WPT controller - based on the TS80003 integrated circuit that contains I / O communication ports: USB, I2C, temperature sensor, LED display;
- H (Full Bridge) FET TS61002 driver that operates FETs based on signals from the controller;
- FET rectifier bridge that converts alternating current into direct current;
- The SC508 internal converter that converts the rectified voltage to a value of 19 V, for a power of 40 W and also includes protection circuits;

The receiver can also be configured by overriding the SC508 to allow the received power to be applied directly to the load or battery (**Figure 67**).

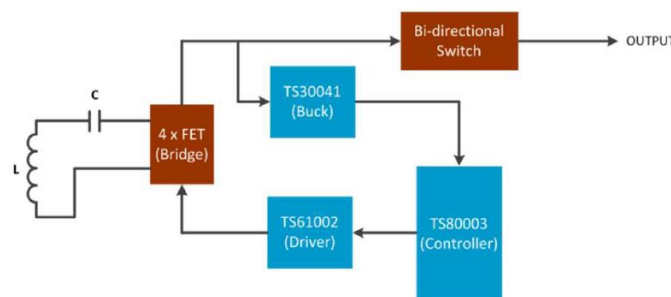


Fig. 67 Configuration without SC508

3.2. HOW IT WORKS AND TESTING THE WPT SYSTEM

TSDMTX-24V3-EVM is easy to configure and use. I used the power supply module and the line cable that comes with the EVM kit to power the EVM through the "J2", 24V input jack. The acceptable input voltage range is from 22V to 26V. Once the input power is provided,

the green LED lights up it's about half a second and then it goes out. At this point, the EVM is ready to transmit wireless power. Several times per second, the transmitter emits a "ping" (signal) of energy in search of a receiver according to the interval.

When the receiver is in range (usually 4mm ~ 8mm), the receiver is powered enough during the "ping" phase so that it is able to announce its presence at the transmitter and start the power transfer process. The transmitter supplies a small amount of power to the newly discovered receiver for a short period of time so as to enable it to supply its power requirements. At the end of the negotiation, the transmitter starts to provide the required power, indicated by a flashing green LED. During power transfer, the receiver communicates continuously with the transmitter, actively directing the process. This ensures that power is transmitted as long as it is required by a receiver that is available and compatible with the transmitter. If necessary, a receiver can actively increase or decrease the power demand, and the transmitter will act accordingly. As such, equipment with complex load requirements can be accurately accepted and only the desired amount of power is provided.

Once charging is complete, the LED-it stops blinking and stays on. If an error is detected, the red LED is on and the power is off. To restart, the receiver must be removed from the distance (4-8mm) from the transmitter and placed back in the target area to begin a new wireless power transfer process.

3.2.3 Testing the WPT system

The tests can be performed using a WPT receiver module. There are a number of receivers produced by Semtech [51], Würth Electronics Inc. [52], Adafruit Industries LLC [53], STMicroelectronics [54], JH Electronic Technology Ltd. [55], RRC [56], Texas Instruments [57], Seeed Technology Co., Ltd [58], Rohm Semiconductor [59], NXP USA Inc. [60], IDT [61] which supports different power levels and output voltages, any of which can be used, as they all support the Qi standard and are therefore compatible with the TSDMTX-24V3-EVM transmitter. In this research we selected TSDMRX19V / 40W-EVM as a receiver for testing.

You can also use phones that include WPC wireless charging features, such as Samsung S6-S10 or Apple Iphone 8-11, to test TSDMTX-24V3-EVM.

To use TSDMRX-19V / 40W-EVM as the target receiver, simply place the receiver over the target circle on the transmitter module. The green LEDs will light up, indicating the negotiation between the two modules.

Several possible options can be selected. The optimal task to select would be a continuous programmable task. A certain power can be easily adjusted, which makes the system very flexible and easy to use. If not available, a unit with resistors can be used to simulate a series of charging conditions.

Any load is selected, the conductors connect from the VOUT + and GND pins of the WPT receiver to the selected test load. After the addition of the load, the WPT receiver can be used to perform a variety of tests. Alternatively, power can be extracted from the VBUS and GND lines of the USB port.

Connect a DC voltmeter to the VOUT + and GND pins to monitor the voltage that is output at load, and a DC ammeter in series with the VOUT + line.

Without any connected load, by placing the receiver in the center of the transmitter target circle, once the transfer starts, the values of 24 volts and 0 amps are read.

By applying a variety of tasks, performance can be observed at levels of 5, 10 and 15 watts. The voltage should remain almost constant and the current should follow the relationship $P = V \times I$. It can be experimented with a maximum power that can be extracted before the receiver detects an overload and interrupts the power. At a short-term overload, the receiver will try to restore power by testing the charge intermittently. In the event of a major overload, the transmitter may record an error, as indicated by a red LED on it, so that further activity will stop until the receiver is removed from the target area for a few seconds before being placed again for to start a new transfer.

The red and green LEDs on the WPT module announce the user operating the transmitter. As seen in the diagram below, **Figure 78**, when power is applied, the transmitter initializes as indicated by the green LED on for about half a second. Then, as the transmitter searches for a nearby receiver, no LEDs light up, keeping power to a minimum in this standby state. When a receiver is located, the sender receives instructions on the next transfer. The power is then transmitted and the green LED flashes every second indicating an ongoing charging event. When the receiver is removed, the green LED turns off and the red LED turns on, indicating an error.

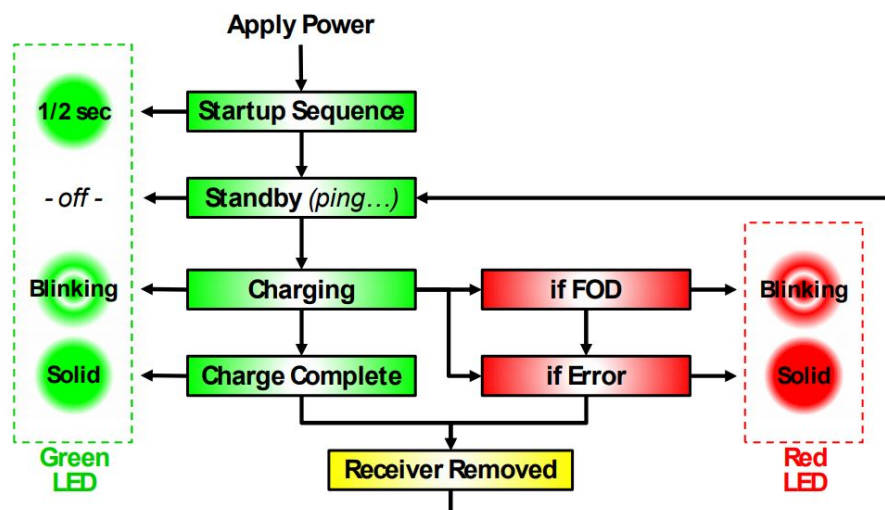


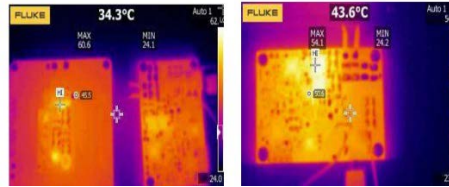
Fig. 78 Operating diagram of the WPT system LEDs

During the transfer, if a foreign object is detected, charging is canceled and the LED- The red light will flash every second indicating the detected defect and will continue to do so until the receiver is removed from the target area. Similarly, any other detected error will cancel the charging process, indicated by a constant red LED, which remains lit until the receiver is removed. Error conditions include communication errors between receiver and transmitter and detection of excess voltage, current, power or temperature on the receiver or transmitter. In the absence of an error, charging continues until the receiver indicates that no other power is required, usually when an attached battery is fully recharged. At this point, the transmitter enters the full state of charge, as indicated by the constantly lit green LED, which it continues to do until the receiver is removed from the transmitter.

3.2.5 Thermal analysis of electronic modules

The WPT system was tested at an ambient temperature of 26.5°C. The thermal imaging device used was FLUKE TIS10 with the specifications in ANNEX 15.

In the **Figures 79a** and **79b** are thermal images captured using TSDMRX-19V20W-EVM for 20W power. Thus, in **Figure 79a**, for the WPT receiver, the maximum temperature is reached at 60.6°C in the area of the TS80003 controller and in **Figure 79b**, next to the WPT transmitter, the maximum temperature of 54.1°C is reached.

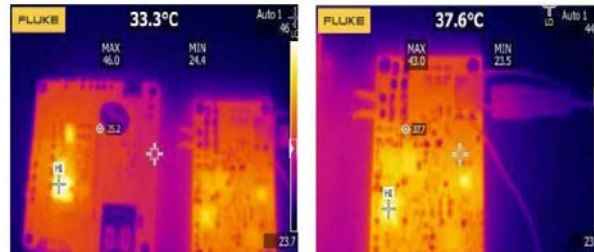


a) TSDMRX-19V20W-EVM

b) TSDMTX-24V3-EVM

Fig. 79 Thermal images WPT system

In the **Figures 80a** and **80b** are thermal images captured using TSDMRX-19V20W-EVM for 10W power. Thus, in **Figure 80a**, for the WPT receiver, the maximum temperature is reached at 46°C and in **Figure 80b**, near the WPT transmitter the maximum temperature of 43°C is reached.



a) TSDMRX-19V20W-EVM

b) TSDMTX-24V3-EVM

Fig. 80 Thermal images WPT system

The thermal image of the TSDMRX-19V / 40W-EVM in the full load test is shown below. The component with the highest heat coefficient on the module is the buck regulator mosquito (75°C), as can be seen in **Figure 81**.

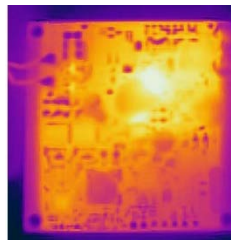


Fig. 81 Thermal image TSDMRX-19V / 40W-EVM

3.2.6 Testing the TSDMRX-19V / 40W-EVM Receiver Module Used to Charge the Batteries

A variety of tests can be performed using the TSDMTX 24V3-EVM transmitter module. By connecting a 24V source capable of supplying more than 50 W power to the transmitter input using a 3.5 mm OD coaxial power connector, when applying power, LED-The green light comes on, indicating that the module is now active. To use the TSDMRX-19V / 40W-EVM as the target receiver, it is placed over the target circle ("primary coil" or "transmitter antenna") on the transmitter's EVM module, then a battery is connected to the receiver's J4.

Connect a DC voltmeter between the VOUT and PGND pins to monitor the voltage and a DC ammeter in series with the J4 line to monitor the charging current. The meters are configured for 20 volts and 2.5 amps.

LEDThe receiver light must be green when the receiver is placed on the active transmitter. This indicates that the output voltage is normal.

3.3 WPT SYSTEM 760308EMP

WPT 760308EMP system [62] is a development kit from the collaboration by Infineon and Würth Elektronik. This system offers the possibility to demonstrate the advantage of wireless power transfer at an average power level to bring developers the ability to test and integrate into various applications.

The development kit is designed to be operated in a research and development environment under the supervision of qualified technicians or engineers for testing and measurement purposes.

The power transmitted by the kit was the reason why I focused on testing this system by comparative analysis with the kit described above (Semtech LKCH-TXRX40W-EVB).

The system is applicable in the following areas:

- Drones, robotic lawn mowers and power tools;
- IoT;
- Industrial applications;
- Medical devices;
- Devices with a large number of galvanic connection cycles to avoid damaging the connector.

The fields of application of the development kit were the reason why I chose to test it.

3.3.1 Description of WPT 760308EMP

The WPT 760308EMP system in **Figure 82** is based on BSZ070N08LS5 which is an OptiMOS™ 5 power MOSFET that has the RDSon level suitable for this 200 W kit in a very compact 3.3 x 3.3 mm SMD format.

It is also equipped with a voltage regulator based on a high-speed controller IR1161L designed with small dimensions but which improves efficiency by up to 2% compared to single diode rectification. The minimum time feature is adjustable to pair with a variety of Infineon

MOSFETs. The XMC1302 is an ARM® Cortex®-M0 processor up to 48 MHz, the best choice for high-performance, smart and secure wireless charging applications. The 760308102142 wireless power transfer coil has a high Q factor for high power transfer efficiency. The 171032401 converter is easy to use, small and suitable for a wide range of applications.

The system is a PLUG & PLAY technological solution composed of both modules (TX and RX) with a power of up to 200W. The system approach is modular and flexible so that the solution can be integrated into various WPT projects.

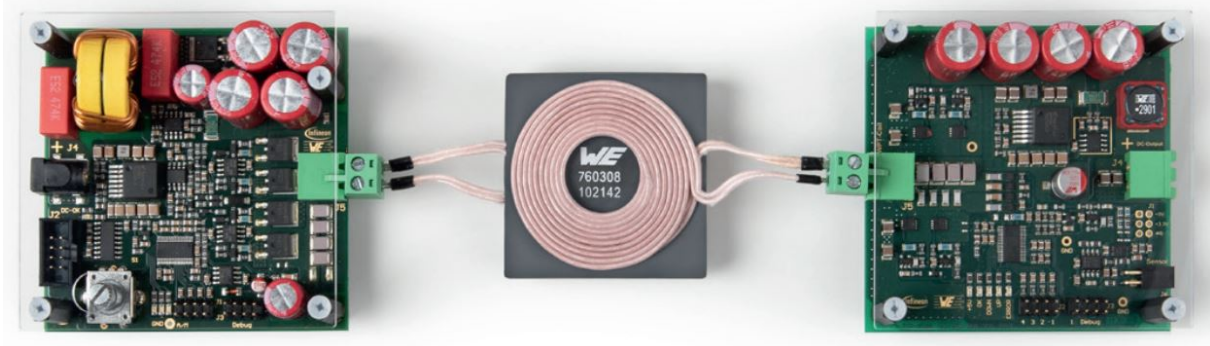


Fig. 82 WPT System 760308EMP

3.3.2. Technical specifications

Mains input voltage: 100V-240V AC

Rectified input voltage: 24V DC

Maximum transmitted power: 200W

Output voltage: 19-20V DC

Maximum distance between coils: 10 mm

3.3.3. Functional block diagram

The system shown in Figure 83 consists of the power transfer module, the power reception module as well as the DC power supply.

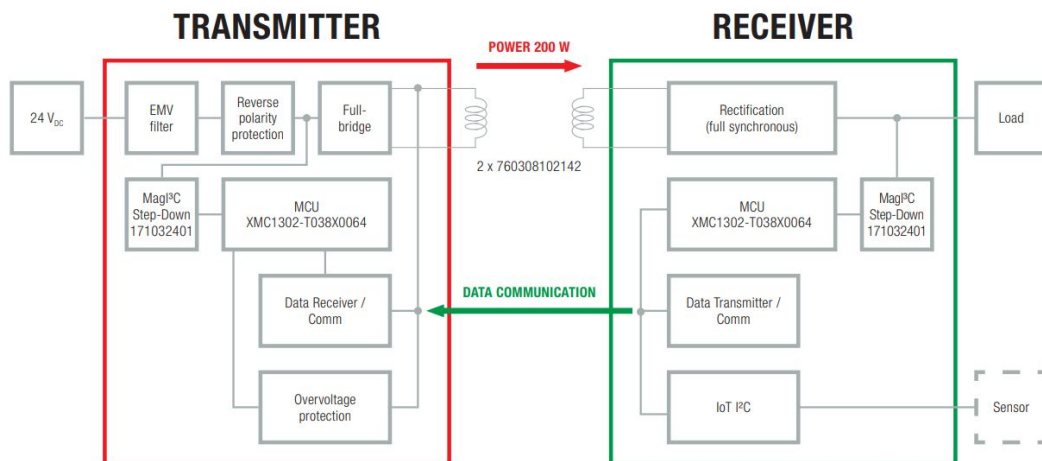


Fig. 83 Functional block diagram of the WPT 760308EMP system

The power transfer module contains the EMI filter, polarity reversal protection, rectifier bridge, coil and control circuit. The power transfer is completely digitally controlled by an XMC1302 series microcontroller. The control signals for the rectifier bridge are generated by the MCU and can be controlled in automatic mode or in manual mode. In manual mode, the switching frequency can be changed using the encoder. It can be used to change the output voltage or to optimize efficiency.

The power receiver module integrates all the functions needed to act as a wireless power receiver, such as: full synchronous rectification (replaces Schottky diodes with MOSFETs that have low R_{DSon} , thus reducing heat dissipation and increasing efficiency (by 3-4%) and reliability as well as decreasing dimensions⁶³), modulator and power supply module WE MagI³C. The modulator is used for data transfer. It is controlled by the MCU to send data from the receiver to the transmitter side. The receiver is equipped with an I²C interface that can be used to interface with sensors. The sensor interface has its own adjustable power supply.

The power supply in Figure 84 is connected to socket J4 of the Transfer Module and has the following technical characteristics:

- Input voltage: 100-240V AC;
- Output voltage: 24V DC;
- Output current: 6.25A.



Fig. 84 WPT 760308EMP system power supply

3.3.4. Description of WPT 760308EMP system components

Development kit WPT 760308EMP is a technological solution developed in order to analyze the components used in the wireless transfer of energy so as to obtain the best results in terms of transfer efficiency as well as system reliability.

Thus, in **Table 18** the key components used can be found and in the following lines I will describe their characteristics as well as how they work.

Table 18 Key components of the WPT 760308EMP system

PRODUCER	PRODUCT CLASS	SERIAL NUMBER	THE MODULE IN WHICH IT IS USED
Infineon	OptiMOS transistor TM 5	BSZ070N08LS5	RX
Infineon	Synchronous recovery controller	IR1161L	RX
Infineon	ARM® Cortex®-M0 Microcontroller	XMC1302-T038X0064 AB	TX and RX
Würth Elektronik eiSos	WPT coil	760308102142	TX and RX
Würth Elektronik eiSos	MagI ³ C power mode	171032401	TX and RX
Würth Elektronik eiSos	WCAP-ATLL capacitor	860160578032	RX

3.3.4.1. TX module WPT 760308EMP

components PCB of the TX Module WPT 760308EMP in Figure 85 as described in [64] are the following:

- WCAP-ATLL 860160578032, 860160675026
- MagI³C-VDRM 171032401
- WCAP-CSGP 885012207103, 885012207086, 885012207098, 885012209048, 885012207092, 885012207094, 885012007054, 885012109011, 885012208087, 885012207100, 885012207079, 885012007061
- WL-SMCW 150080RS75000, 150080GS75000, 150080BS75000
- WCAP-ASLL 865060440001
- WCAP-FTX2 890324025039CS
- WE-ExB 744844221
- WE-MAPI 74438336100
- WR-TBL 691313510002
- WR-PHD 61300821121
- WR-BHD 61200821621
- WR-DC 694108106102
- WA-SPAIE 971100365
- WA-SPAI 970300365
- WE-WPCC 760308102142

3.3.4.2. RW module WPT 760308EMP

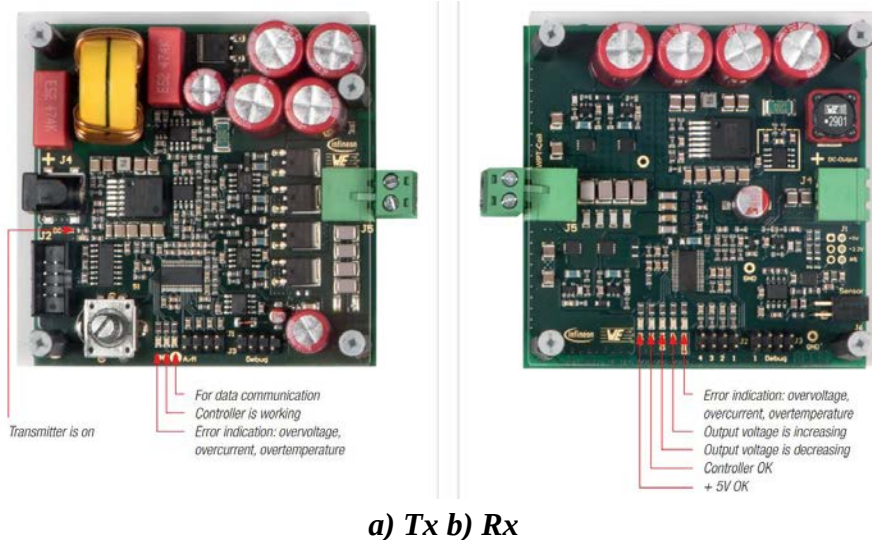
PCB components of the RX Module WPT 760308EMP in Figure 86 as described [109] are the following:

- WCAP-CSGP 885012207103, 885012207092, 885012207098, 885012107018, 885012207086, 885012207094, 885012109011, 885012208087, 885012209048, 885012207100, 885012007031, 885012208083, 885012208091, 885012007057, 885012207079
- WCAP-PSLC 875075555003
- WCAP-ATLL 860160578032
- WL-SMCW 150080RS75000, 150080GS75000, 150080BS75000
- MagI³C-VDRM 171032401
- WR-PHD 61300821121, 613004243121
- WE-MAPI 74438336100
- WR-TBL 691313510002
- WE-PF 742792901
- WA-SPAIE 971100365
- WE-SPAI 970300365
- WE-WPCC 760308102142

3.4. WPT 760308EMP SYSTEM OPERATION AND TESTING

The WPT 760308EMP system in Figure 87 can be used in a wide range of applications where wireless power transfer brings an advantage over conventional power supply use.

Due to power designed to deliver it, the system falls within the range of low and medium power WPT.



a) Tx b) Rx
Fig. 87 WPT System 760308EMP

In the **Figure 89** you can see the wireless power transfer kit prepared for testing and positioned at a distance of 1cm between the Tx and Rx coils.

During commissioning (Figure 90) the LEDs of the two modules lit up properly indicating the normal operating status and for the distance of 1 cm between the coils Tx and Rx (Figure 91) the values read with the measuring instruments indicated the efficiency provided in the system description. namely about 90%. (Figure 92)

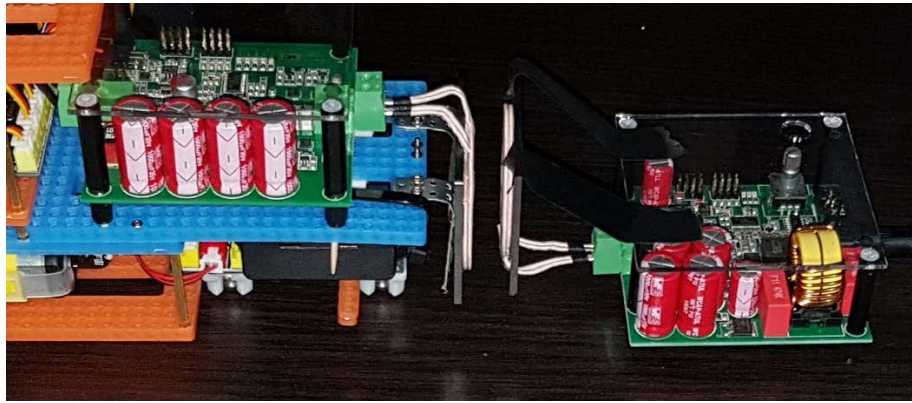
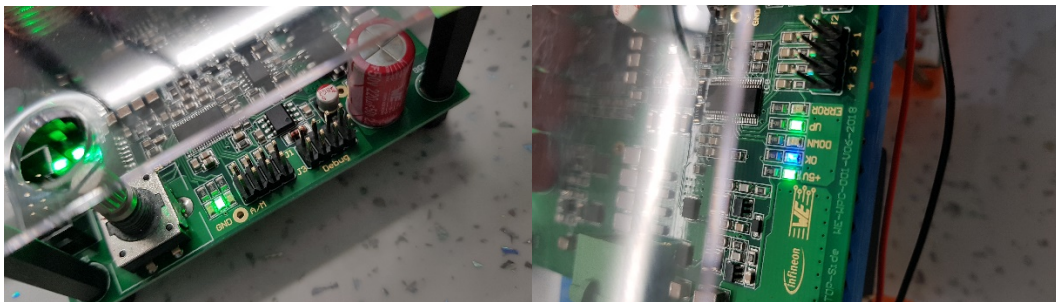


Fig. 89 WPT system ready for testing



a) Tx

b) Rx

Fig. 90 Display of normal operation by the indications

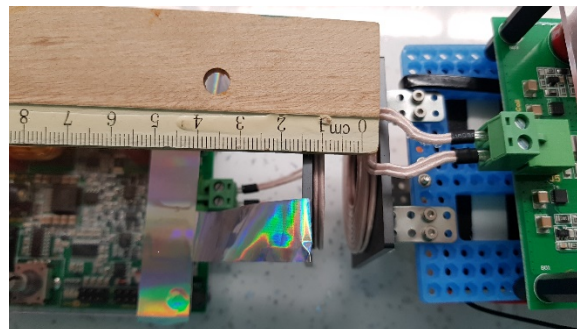


Fig. 91 1 cm distance between Tx and Rx coils

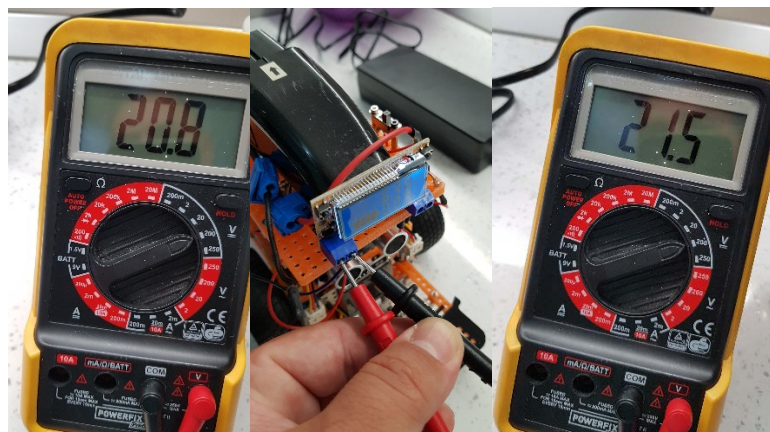


Fig. 92 Voltage values on the Rx module

For the distance of 1.5 cm between the coils Tx and Rx (Figure 93) the system continued to operate and transmit without error with a system efficiency of 50%.



Fig. 93 1.5 cm distance between Tx and Rx coils and the value of the output voltage at the Rx module

For the distance of 2 cm between the coils Tx and Rx (Figure 94) system continued to operate and transmit without error with a system efficiency of 38%.



Fig. 94 The distance of 2 cm between the coils Tx and Rx and the value of the output voltage at the Rx module

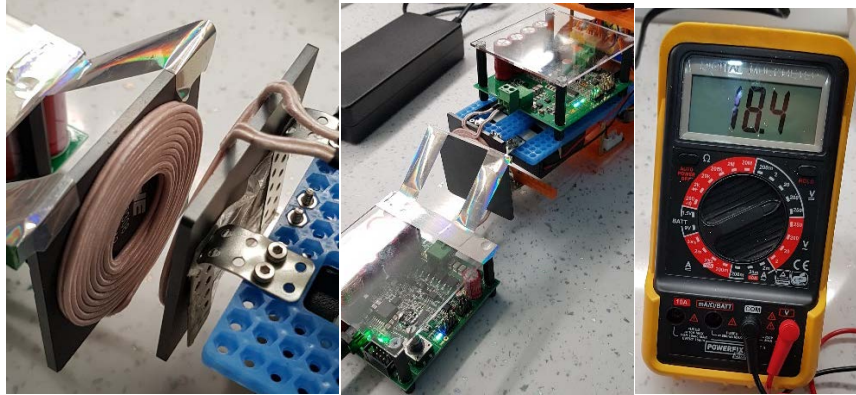
The system continued to operate and transmit without error up to a distance of 2.2 cm between the coils Tx and Rx (Figure 95) but with a system efficiency of 25%.



Fig. 95 The distance of 2.2 cm between the coils Tx and Rx and the value of the output voltage at the Rx module

After the distance of 2.2 cm between the coils Tx and Rx, the LEDs on the Rx module go out but the transfer continues until the distance of about 3 cm where the value 0 of the transfer is recorded.

Lateral (Figure 96a) and angular (Figure 96b) alignment [65, 66] there were two other situations highlighted in the energy transfer between the two modules within the distance of 1cm. Thus, when the Rx module moves sideways from the Tx module, the transfer is interrupted when 50% of the coil surface is moved sideways from the Tx coil. When forming the angle between the two coils, an efficiency of 75% is maintained at an angle of 30°, after which the value decreases rapidly.



a) lateral alignment

b) angular alignment

Fig. 96 Lateral and parallel alignment between Tx and Rx

3.5. COMPARATIVE ANALYSIS OF TESTED WPT SYSTEMS

Following the testing of the two WPT systems, the operation of both in the designed parameters was proved.

The efficiency of both systems was maximum in the intervals designed for both the Semtech LKCH-TXRX40W-EVB system (4-8mm) and the Würth Infineon system. 760308EMP (up to 1 cm) with a plus for the Würth Infineon 760308EMP system.

From the point of view of temperatures reached by the components of the two systems, both operated without any increase above the projected limits.

The system Würth Infineon 760308EMP exceeds the power level transmitted by the Semtech LKCH-TXRX40W-EVB system according to the technical characteristics designed and proven by testing, which leads to its choice as a solution to be integrated in the project targeted by the present research.

CHAPTER IV

DEVELOPMENT OF THE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM FOR POWER SUPPLY OF CONSTRUCTION ELECTRICAL APPLIANCES

The Wireless transfer energy is no longer just a concept. In recent years, WPT has quickly gone through the stages of research, design and testing and today, as we presented in previous sections, has become a segment that has developed until the emergence of complete solutions in various fields.

WPT versatility by interconnecting with renewable energy sources and through the extended fields of applicability it produces in a sustained rhythm research in the field and leads to the design of new technological solutions. These products change the perspective in the design of buildings, vehicles, electronic devices, tools and power tools and more.

Only a few years ago we designed wireless power transfer systems for low power (about 6W) using both THT and SMD components with a efficiency between 60-65% for a distance of up to 5cm. The designed solutions were made to present the way of energy transfer without conductors but also to draw directions in their use.

Today, The research is based on products developed in high-performance laboratories with high-level "know-how" and the personal role is to analyze and test them in order to design and develop new solutions in the field of WPT and to integrate them into devices. existing to facilitate and secure the transfer of electricity.

Thus, in my research I will present innovative solutions for the use of WPT devices for their implementation in civil and industrial construction.

If in terms of reliability, safety in use as well as hardware and software options, both systems tested and presented in the third chapter represent complete solutions for wireless power transfer, we chose to use the WPT 760308EMP system for development and integration in the concepts that I will describe in the following subchapters.

The technological solution chosen for development the concept of electricity transfer in a viable platform for the modernization of energy transfer in human activities is the WPT system 760308EMP.

This system, according to the tests performed as well as the comparative analysis is a safe, reliable and easy to implement concept in WPT projects.

The strength of this system was the power level which it can transmit which is sufficient to power the various electronic devices, tools and power tools both in terms of maintenance and to ensure that the batteries are charged.

Based on previous research in the field of wireless energy transfer, renewable energy sources as well as the theory on the autonomy of systems we have initiated this research as a support for creating technological solutions that can be used in the field of construction.

So, in the following sections I will present the realization of two WPT systems that can be implemented from the design phase of constructions in order to facilitate power supply for various electronic devices at the building level and for electric vehicles or autonomous robots with various functions outside buildings.

4.1. General description and implementation of BEF (Brick Energy Free) / PEF (Pillar Energy Free) systems for wireless power transfer

Civil and industrial constructions built today must meet several requirements so as to contribute to the elimination of pollution and the judicious use of energy resources.

New solutions have emerged to integrate renewable energy resources, whether it is photovoltaic or wind systems to provide electricity or systems that provide air conditioning for homes.

With progress in this direction, research in wireless energy transfer comes as a solution for integration in the circuit of energy production and consumption that brings modernism and at the same time facilitates the power supply of autonomous devices such as robots or electric vehicles.

Thus, starting from English terms, we created two concepts of WPT systems namely BEF and PEF.

BEF (Figure 97) is the acronym for "Brick Energy Free" and can be described as a source of energy integrated into the masonry of buildings so as to provide energy where it has been identified from the design phase that it is needed without using conductors to consumers. The idea involves creating a standard-sized system in the field of construction, powered by the building's electrical network and that can transfer energy simultaneously, both outside and inside to various electrical devices.



Fig. 97 BEF

PEF (Figure 98) is the acronym for "Pillar Energy Free" and can be described as a source of energy available around buildings, on the surface of the land where the need for an energy source is identified and where BEF cannot be used. PEF is a cylindrical or parallelepiped pole retractable at ground or fixed level, which is supplied underground with electricity and which, by implementing the WPT system, can transmit wireless energy to electrical devices or machines.



Fig.98 PEF

The electrical devices inside the buildings can be: stand-alone robot vacuum cleaners, food processors, support robots for people with disabilities, multimedia electronics (TV, DVD, audio systems, surveillance systems, workbench with electrical appliances and tools, etc.), lighting sources.

devices and electric machines used outside buildings can be: lawn care robots, loading bench for tools used in the care of green spaces (electric mower, electric scissors, electric chainsaw, etc.), electric vehicles (electric bicycle, electric scooter, hoverboard, automobile etc.).

In contrast to the use of conductors to extend the electrical network as needed, the use of BEF / PEF is a smart solution, developed to provide safe and permanently available electricity. Figure 99 shows a graphical example of the BEF / PEF integration mode.

4.2. Description of BEF / PEF systems

Both systems are based on the use of the WPT 760308EMP system described above. In the integration of the WPT 760308EMP system within the BEF / PEF, the solution adopted differs depending on the support module, whether it is a monolithic block made by 3D printing in the case of BEF or a cylinder / parallelepiped of an already existing system as a commercial product. in the case of PEF.

They will integrate in both systems the following components:

- AC / DC power supply for Tx module of WPT 760308EMP;
- Tx module of the WPT 760308EMP.

The electrical connection will be made with conductors from the designed electrical network of the construction for BEF and which will be extended underground for PEF.

Both systems will be connected through dedicated circuits and protected with 10mA differential circuit breaker for safe use. Also, for the PEF system, the observance of the degree of protection IP68W will be considered so that, regardless of the environmental conditions, there is safety in use and protection of the device against external factors.

4.3. Design and implementation of the WPT system

4.3.1. The proposed objective

The WPT system is a modern energy transfer solution. I set out to carry out a practical work that would consider the theoretical aspects of wireless energy transfer and at the same time represent an argument for the realization of BEF / PEF systems.

Also, the system made it also has a didactic value because it can be used in demonstrating the principle of wireless energy transfer and its integration in electrical devices.

4.3.2. Block diagram of the WPT system

The block diagram of the realized system presented in Figure 100 shows the totality of the component modules: WPT 760308EMP system, batteries, MIRO robot, DC-DC voltage lowering source, Arduino development board, electrical circuits.

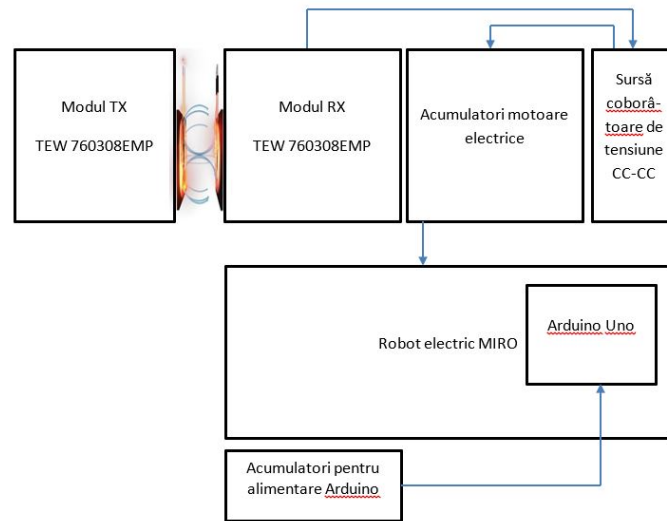


Fig. 100 Block diagram of the WPT system

4.3.3. The stages of building the WPT system

For the realization of the WPT system we analyzed a series of products and materials available according to the requirements set out above regarding the concept of wireless energy transfer in construction.

Essential and described analysis in chapter 3 we considered the identification of the optimal wireless power transfer solution for the proposed project.

The WPT 760308EMP system in Figure 101 was the system chosen due primarily to the availability of power supplied without conductors.



Fig. 101 WPT 760308EMP

The system is a development kit and as previously presented is suitable for a number of low and medium power WPT applications.

The development kit is also scalable so that systems up to 1kW can be developed based on specifications the system presented.

For the BEF / PEF example we further chose a device capable of perform tasks like robotic vacuum cleaners, robotic lawn mowers or even electric vehicles. The MIRO robot, by being able to be programmable to perform various mobility tasks, represents the way in which the presented devices perform the operations for which they were performed.

To exemplify battery charging, I chose to use Ni-Cd batteries for the power delivered as well as for ease of use.

Because the WPT System 760308EMP delivers an output power of about 150W (19V and about 8A) I chose a DC-DC voltage lowering source with display (5A, input voltage: 6.5 - 36V, output voltage: 1.2 - 32V) for optimal charging batteries (4 x 1.2V, 2000mAh).

4.3.4. Realization of the operating algorithm of the device that integrates the WPT receiver

To test the concept of wireless power transfer for various devices, after building the MIRO robot, using the MIXLY application we designed the programming code of the Arduino Uno board.

In designing the code, we considered two directions in using the device:

- a program (V1) for traversing a route by following a line so as to simulate the activity carried out by autonomous appliances in a certain perimeter (electric lawnmower, vacuum cleaner, scarifier, etc.) with the charging of batteries when their voltage drops below a certain preset value;
- a combined route (V2) program for recording the temperature and humidity data in which the device uses all the integrated sensors so that it can avoid obstacles, illuminate the LEDs when the photodiode indicates a low brightness value and tracking of the line for charging batteries when their voltage drops below a certain preset value.

Variables have been declared for writing the code and functions to run depending on the program used.

Programming in MIXLY is intuitive and uses blocks that are automatically transposed into lines of code being accessible to the understanding of the basic programming language even for young school children (grades II-IV) but can also be used to create complex programs based on Arduino or Raspberry Pi boards.

The written algorithm for controlling the Arduino module for both variants can be found in the annexes as follows: Variant 1 - ANNEX 16, Variant 2 - ANNEX 17.

4.3.5. Description of the operation of the WPT system

In Figure 117 you can see the WPT system mounted on the MIRO robot and in Figure 118 you can see the entire practical project made with all components mounted and ready for testing.

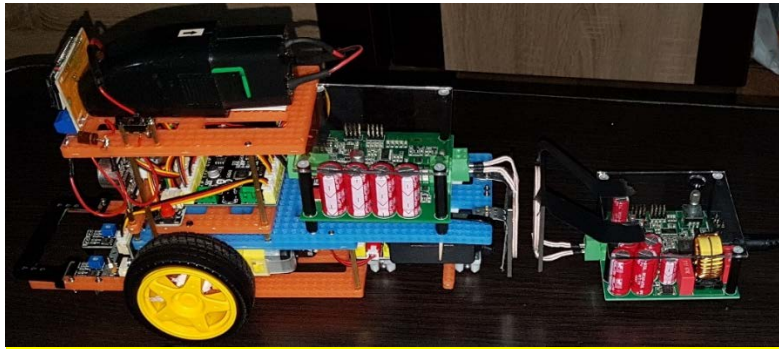


Fig. 117 WPT system mounted on the MIRO robot

S



Fig. 118 The practical project in testing

The first stage of operation of the WPT system is represented by performing the assembly according to the block diagram shown in Figure 100.

When all the systems are arranged according to the assembly, connect the power supply to the socket J4 of the Tx module and start by pressing contactor S1, the Tx module.

The Arduino system of the MIRO robot starts and the power supply of the driver for the robot's motors is started. The robot runs the loaded code so that, after checking the functionality, it starts on the marked route following its line. When the robot approaches the Tx module, it orients with the Rx coil towards the Tx coil and approaches at a distance between 0-1cm between them.

Upon notification of the receiver, the transmitter will start the wireless power supply, an operation indicated on the panel of the low voltage source that displays the charging process of the batteries.

At the end of the charging process, the robot will start on the marked route and will travel it until a new charge is required, when it will return to the BEF / PEF wireless charging station.

The voltage values for which the robot will search for the charging station and leaving it are integrated in the code registered in its flash memory.

The entire procedure explained can be found on the Youtube platform and can be accessed by clicking the link: >>>[**WPT 2020 project**](#)<<<.

The system will be switched off in the reverse order of start-up, i.e. by switching off the robot (switching off the motors and the Arduino board) and then by switching on the S1 contactor, the WPT system is also switched off.

Also, as can be seen in the footage on Youtube and in Figure 119, the wireless power transfer can be transferred directly to serve the energy demand without batteries. Thus, a drilling and screwdriver can be used in the field of operation of the Tx module being equipped with the Rx module and the example can be extrapolated to other electrical devices.



Fig. 119 WPT system for direct use

The measurements performed after the practical work are in accordance with those presented in Chapter III in which the compared WPT systems were tested.

Thus, the WPT 760308EMP system chosen for use in the practical work demonstrated, following the tests, the technical characteristics provided in the data sheet. The system is a viable solution for use in various WPT applications.

The description of the operation and the success of the project proves the previously stated concepts of wireless energy use for powering autonomous devices that serve human purposes at the level of construction or adjacent perimeter.

CHAPTER V

CONCLUSIONS

5.1. Original contributions

Following the research of wireless energy transfer techniques, the current state of achievements in this field, the operating principles and the prediction of future trends were studied. High operating frequencies and high-quality factors are the main reasons why RPCM can transfer energy with high efficiency over long distances. Additional adjustment frequencies in different system architectures are beneficial for optimizing system transfer characteristics. The overall optimization design and control methods by considering the factors with multiple effects are also valuable for its engineering applications. The basic principles of RPCM and TPI are identical, despite some distinctions between them, so that mutual study and assimilation between RPCM and TPI are beneficial for both fields. In practice, a certain rated power is required, but this resonant MHz frequency can pose a major challenge to some electronic components, such as the rectifier or MOSFET transistors.

Through research and experiments we have identified a modern wireless power transfer solution that encompasses all modern system design solutions for use in a variety of applications.

Thus, the applicability of the system presented for a wide range of powers also proves the implementation of a rigorous protection system for the user and system, as well as the integration of data communications necessary both to optimize the transfer and to comply with these safety rules.

Wireless power transfer systems can be easily integrated into modern electrical appliances because there are various design solutions as well as reliable materials in their construction.

The tests performed demonstrated the reliability, efficiency and ergonomics of the use of WPT systems which, together with management and control solutions, can lead to the autonomy of the systems in which they are integrated. WPT systems can also be easily integrated with renewable energy production systems to expand the growing need for energy in remote locations and with poorly developed energy transport infrastructure.

The aim of the research was to identify a WPT solution for designing an innovative system for use in construction but also in electrical appliances whose range is limited using conductors.

The original contribution is represented by the solutions for integrating the WPT system at the construction level, namely BEF (Brick Energy Free) and PEF (Pillar Energy Free).

It is also an original look how we integrated the WPT system into a standalone device that can perform scheduled operations by charging the batteries whenever necessary without user intervention or for the instantaneous use of electricity in various electrical and electronic devices.

The operating algorithm of the autonomous system is made in a programming environment also as an original solution in the development of the concept of wireless energy transfer for various autonomous devices or electric vehicles.

Practical study can be an example to be perfected and created to scale for various other similar applications.

5.2. Research and further development directions

Future research will be based on the completion of the development and integration of the tested WPT system, within the personally designed solutions, as well as the demonstration of their usefulness.

System design, including the selection of system parameters, impedance adjustment, control strategy design, cost-benefit evaluation, is in fact a global optimization process, in order to meet practical requirements in engineering and improve transfer characteristics. Determining how to overcome the negative effects on transfer characteristics caused by the sensitivity of system parameters or surrounding objects is also worth further study.

Thus, I will continue testing both solutions presented in order to develop patented products so that all the research undertaken since the Diploma Project and the Dissertation that followed the same line with the Doctoral Thesis to complete the direction of modernism from a technological point of view of today's society.

Important directions will be represented by the connection of the WPT system to the other modern technological solutions, namely, the interconnection for control with mobile systems (smartphone, tablet, etc.) as well as the WEB interface and control via the Internet, projects started at the moment.

Articole ISI:

1. Cosmin Cobianu, Stan Mihail-Florin, Iulian Bancuta, FIDEL NICOLAE, Investigation of Ni-Cu thin films magnetic sensors deposited on SiO₂ substrates by sputtering, Journal of Science and Arts, Year 19, No. 4(49), pp. 1055-1066, eISSN: 2068-3049, 2019;

2. **FIDEL NICOLAE**, Mihail-Florin Stan, Ramona CHIRESCU, Position control system for maximum WPT efficiency, Proceedings of the 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, March 28-30, **2019**, Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-7281-0102-6, DOI: 10.1109/ATEE.2019.8724934;

3. Ionut CRAIU, Florian Ion, **FIDEL NICOLAE**, Ramona CHIRESCU, Mihail-Florin STAN, Measuring and maintaining the water level in a tank for efficient use in irrigation, Proceedings of The 11th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2019, June 27 - 29, **2019**, Pitești, Romania;

4. Mihail-Florin Stan, Ionuț Mina, FIDEL NICOLAE, Cobianu Cosmin, Increasing the reliability of an industrial cold production system using Fault Tree Analysis (FTA), Proceedings of The 10th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2018, June 28 - 30, 2018, Iași, Romania;

5. Mihail-Florin Stan, FIDEL NICOLAE, Ionuț Mina, Adela-Gabriela Husu, Improvement of Wireless Power Transfer Efficiency for Home Electronics and Appliances with the Use of SMD Components, Proceedings of The 10th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2018, June 28 - 30, 2018, Iași, Romania;

6. Mihail-Florin Stan, Husu Adela-Gabriela, Ionuț Mina, FIDEL NICOLAE, Cobianu Cosmin, Design and implementation of an HVAC System for converting a decommissioned hangar in a conference room with a capacity of 800 seats, Proceedings of the 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, March 23-25, 2017, Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-4673-5979-5, DOI: 10.1109/ATEE.2017.7905037;

7. Mihail-Florin Stan, Cobianu Cosmin, FIDEL NICOLAE, Husu Adela-Gabriela, A Variant of a Synchronous Motor With Two Stators and High-Energy Permanent Magnets Disposed on the Both Rotor Peripheries, Proceedings of The 7th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2015, June 25 - 27, 2015, Bucharest, Romania, vol. 7 – No. 3/2015, ISSN: 1843-2115; ISBN: 978-1-4673-6646-5; IEEE Catalog Number: CFP1527U-PRT, WOS:000370971100099;

8. Cosmin Cobianu, Mihail-Florin Stan, Adela Gabriela Husu, FIDEL NICOLAE, Elena Otilia Virjoghe, Magnetic Sensors Thin Layer Cu and Co Deposited on Silicon Oxide. Construction, Characteristics and Applications, Proceedings of The 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, Oradea, 11-12 June 2015, Romania, pp. 261-265, ISBN: 978-1-4799-7649-2; IEEE Catalog Number: CFP15A89-PRT, WOS:000363815100064;

9. Adela Gabriela Husu, Mihail-Florin Stan, Cosmin Cobianu, FIDEL NICOLAE, Otilia Nedelcu, An Inedited Solution to Increase the Energy Efficiency of Photovoltaic Panels for Regions with Snow, Proceedings of The 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, Oradea, 11-12 June 2015, Romania, pp. 257-261, ISBN: 978-1-4799-7649-2; IEEE Catalog Number: CFP15A89-PRT, WOS:000363815100063;

10. Cosmin Cobianu; Mihail-Florin Stan; Adela-Gabriela Husu; FIDEL NICOLAE, Analysis Of Magnetic Sensors Multi-films Obtained From Cu/Co Deposited On Sital By PLD, Proceedings of THE 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electrical Engineering, MAY 7-9, 2015 Bucharest, Romania, ISSN: 2068-7966; Print ISBN: 978-1-4673-5979-5, WOS:000368159800088;

Article BDI:

1. FIDEL NICOLAE, Assessment and Testing of WPT System for the Design of Modern Wireless Energy Transfer Solutions, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 19 No.2 (62–67) / 2019, Online ISSN 2286-2455, DOI: <https://doi.org/10.1515/sbeef-2019-0023>, Publisher DE GRUYTER OPEN;

2. N. Vasile, Bogdan Tene, Andrei Nedelschi, FIDEL NICOLAE, Ionuț Craiu, Autonomy of electrical systems. Technical solutions based on storage of electric energy, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 18 No.1 (38)/ 2017, Online ISSN 2286-2455, DOI: 10.1515/SBEEF-2017-0023, Publisher DE GRUYTER OPEN;

3. N. Vasile, Floarea Vasile, Ramona Chirescu, FIDEL NICOLAE, Constructal Analysis of Thermal Flows in Electrical Machines, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 15 No.1 / 2016, Online ISSN 2286-2455, DOI: 10.1515/SBEEF-2016-0009, Publisher DE GRUYTER OPEN;

4. Cobianu Cosmin, Mihail-Florin Stan, FIDEL NICOLAE, Husu Adela-Gabriela, Case Study Concerning to the Radiation Levels Emitted by Mobile Phones on the Human Body, Proceedings of The 8th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2016, June 30– July 02, 2016, Ploiesti, Romania,

5. Husu Adela-Gabriela, Mihail-Florin Stan, FIDEL NICOLAE, Cobianu Cosmin, Horia Andrei, Analysis of Economic and Energy Efficiency for the Grid-Connected PV Systems,

Proceedings of The 8th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2016, June 30– July 02, 2016, Ploiesti, Romania,

6. Mihail-Florin Stan, FIDEL NICOLAE, I. Ilea, I. Mina, System design for wireless power transfer in order to integrate in buildings, Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, Year 15 No.3 (31) / 2015, Bibliotheca Publishing House, Târgoviște, pp. 16-26, p-ISSN 1843-6188, e-ISSN 2286-2455;

7. Vîrjoghe Elena Otilia, Mihail-Florin Stan, Enescu Diana, Coandă George Henri, Husu Adela Gabriela, Cobianu Cosmin, Nedelcu Otilia, FIDEL NICOLAE, Numerical Determination of Magnetic Field Around a High Voltage Electrical Overhead Line, Proceedings of The 7th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRONICS, COMPUTERS and ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ECAI 2015, June 25- 27, 2015, Bucharest, Romania, vol. 7 – No. 3/2015, ISSN: 1843-2115; ISBN: 978-1-4673-6646-5, IEEE Catalog Number: CFP1527U-PRT;

8. Cosmin Cobianu, Mihail-Florin Stan, Elena-Otilia Virjoghe, FIDEL NICOLAE, Characterization of the magnetic thin multi-layers with vibrating sample magnetometer, Journal of Science and Arts, Year 12, No. 4(21), pp. 451-458, ISSN: 1844 – 9581, 2012;

Cărți:

1. Mihail-Florin STAN, FIDEL NICOLAE, Transmiterea wireless a energiei. Un concept pentru viitorul trilemei energetice, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 424 pagini, ISBN: 978-606-772-421-9, Ed. Cartdidact, Chișinău, 424 pg., ISBN: 978-9975-3354-2-3, 2019;

2. FIDEL NICOLAE, Mihail-Florin STAN, Transmiterea energiei wireless - Interfața Sistemismului în Teoria Constructală, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 106 pagini, ISBN: 978-606-772-383-0, 2019;

3. FIDEL NICOLAE, Mihail-Florin Stan - Alimentarea wireless cu energie electromagnetică a diferitelor categorii de consumatori, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 204 pagini, ISBN: 978-606-772-367-0, 2019;

4. Horia ANDREI, Nicolae OLARIU, Mihail-Florin STAN, Elena-Otilia VÎRJOGHE, Adela-Gabriela HUSU, Iulian BĂNCUȚĂ, Mihaela-Eugenia IVAN, FIDEL NICOLAE, Bazele Electrotehnicii Îndrumar de Laborator, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 214 pagini, ISBN: 978-606-772-352-6, 2019;

5. FIDEL NICOLAE, Transmiterea energiei wireless pentru alimentarea diferitelor tipuri de consumatori, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 210 pg., ISBN: 978-606-772-070-9, 2015;

6. FIDEL NICOLAE, Metode interactive pentru didactica școlară utilizând TIC, Ed. Bibliotheca, Târgoviște, 120 pg., ISBN: 978-973-712-971-0, 2014.

BIBLIOGRAFIE

- ¹ DESIGN NATURAL CU TEORIA CONSTRUCTALĂ Principiile fundamentale dau formele naturale; ele pot, de asemenea, ghida inginerul, Termotehnica, 2/2009, AGIR buletin 663
- ² <https://www.natgeo.ro/dezbateri-globale/omul-si-viata/9186-natura-e-constructal>
- ³ Wu, R.; Li, W.; Luo, H.; Sin, J.K.; Yue, C.P. Design and characterization of wireless power links for brain-machine interface applications. *IEEE Trans. Power Electron.* 2014, 29, 5462–5471.
- ⁴ RamRakhyani, A.K.; Mirabbasi, S.; Chiao, M. Design and optimization of resonance-based efficient wireless power delivery systems for biomedical implants. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 2011, 5, 48–63.
- ⁵ Liu, C.; Chau, K.T.; Zhang, Z.; Qiu, C.; Li, W.; Ching, T. Wireless power transfer and fault diagnosis of high-voltage power line via robotic bird. *J. Appl. Phys.* 2015, 117, 17D521.
- ⁶ Han, W.; Chau, K.T.; Zhang, Z. Flexible induction heating using magnetic resonant coupling. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2016, 64, 1982–1992.
- ⁷ Wang, Z.; Wei, X.; Dai, H. Design and control of a 3 kW wireless power transfer system for electric vehicles. *Energies* 2016, 9, 10.
- ⁸ Choi, S.Y.; Gu, B.W.; Jeong, S.Y.; Rim, C.T. Advances in wireless power transfer systems for roadway-powered electric vehicles. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 2015, 3, 18–36.
- ⁹ Sato, M.; Yamamoto, G.; Gunji, D.; Imura, T.; Fujimoto, H. Development of wireless in-wheel motor using magnetic resonance coupling. *IEEE Trans. Power Electron.* 2016, 31, 5270–5278.
- ¹⁰ K. Nagatani, S. Kiribayashi, Y. Okada, K. Otake, K. Yoshida, S. Tadokoro, T. Nishimura, T. Yoshida, E. Koyanagi, M. Fukushima, and S. Kawatsuma, “Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima daiichi nuclear power plants using mobile rescue robots,” *J. Field Robot.*, vol. 30, pag. 44–63, Jan. 2013.
- ¹¹ Covic, G.A.; Boys, J.T. Inductive power transfer. *Proc. IEEE* 2013, 101, 1276–1289.
- ¹² Li, Y.; Mai, R.; Lin, T.; Sun, H.; He, Z. A novel WPT system based on dual transmitters and dual receivers for high power applications: Analysis, design and implementation. *Energies* 2017, 10, 174
- ¹³ Jang, Y.J.; Jeong, S.; Lee, M.S. Initial energy logistics cost analysis for stationary, quasi-dynamic, and dynamic wireless charging public transportation systems. *Energies* 2016, 9, 783.
- ¹⁴ https://www.semtech.com/uploads/documents/LinkCharge_40_-_EVB_UG_v1.4.pdf
- ¹⁵ Tomar, A.; Gupta, S. Wireless power transmission: Applications and components. *Int. J. Eng.* 2012, 1, 1–8.
- ¹⁶ Shinohara, N. History, Present and Future of WPT, in *Wireless Power Transfer Via Radiowaves*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2013.
- ¹⁷ Cichon, D.J.; Wiesbeck, W. The Heinrich Hertz wireless experiments at Karlsruhe in the view of modern communication. In *Proceedings of the 1995 International Conference on 100 Years of Radio*, London, UK, 5–7 September 1995; pp. 1–6.
- ¹⁸ Shadid, R.; Noghanian, S.; Nejadpak, A. A literature survey of wireless power transfer. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, Grand Forks, ND, USA, 19–21 May 2016; pp. 782–787.
- ¹⁹ Brown, W. Experiments in the Transportation of Energy by Microwave Beam. In *Proceedings of the IRE International Convention Record*, New York, NY, USA, 21–25 March 1966; pp. 8–17.
- ²⁰ Brown, W.C. Status of the microwave power transmission components for the solar power satellite (SPS). *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 1981, 29, 1319–1327.
- ²¹ Kesler, M. Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance; Witricity Corp.: Watertown, MA, USA, 2013; pp. 1–32.
- ²² Kurs, A.; Karalis, A.; Moffatt, R.; Joannopoulos, J.D.; Fisher, P.; Soljacic, M. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science* 2007, 317, 83–86.
- ²³ Miller, J.M.; Jones, P.T.; Li, J.-M.; Onar, O.C. ORNL experience and challenges facing dynamic wireless power charging of EV's. *IEEE Circuits Syst. Mag.* 2015, 15, 40–53.
- ²⁴ Olivares-Galvan, J.C.; Campero-Littlewood, E.; Magdaleno-Adame, S.; Maximov, S.; Xu, W. Wireless power transfer: Literature survey. In *Proceedings of the 2013 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Mexico City, Mexico, 13–15 November 2013; pp. 1–7.
- ²⁵ Zhao, Z.; Zhang, Y.; Chen, K. New progress of magnetically-coupled resonant wireless power transfer technology. *Proc. CSEE* 2013, 33, 2–13.
- ²⁶ Marian, V.; Allard, B.; Vollaie, C.; Verdier, J. Strategy for microwave energy harvesting from ambient field or a feeding source. *IEEE Trans. Power Electron.* 2012, 27, 4481–4491.
- ²⁷ Lin, J.C. A new IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency radiation. *IEEE Antennas Propag. Mag.* 2006, 48, 157–159.
- ²⁸ Garnica, J.; Chinga, R.A.; Lin, J. Wireless power transmission: From far field to near field. *Proc. IEEE* 2013, 101, 1321–1331.
- ²⁹ Jiang, C.; Chau, K.T.; Ching, T.W.; Liu, C.; Han, W. Time-division multiplexing wireless power transfer for separately excited DC motor drives. *IEEE Trans. Magn.* 2017.

- ³⁰ Sample, A.P.; Meyer, D.T.; Smith, J.R. Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2011, 58, 544–554.
- ³¹ Zhang, H.; Lu, F.; Hofmann, H.; Liu, W.; Mi, C.C. A four-plate compact capacitive coupler design and LCL-compensated topology for capacitive power transfer in electric vehicle charging application. *IEEE Trans. Power Electron.* 2016, 31, 8541–8551.
- ³² Zhang, Y.; Zhao, Z.; Chen, K. Frequency-splitting analysis of four-coil resonant wireless power transfer. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2014, 50, 2436–2445.
- ³³ Zhang, W.; White, J.C.; Abraham, A.M.; Mi, C.C. Loosely coupled transformer structure and interoperability study for ev wireless charging systems. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 6356–6367.
- ³⁴ Sun, T.; Xie, X.; Wang, Z. *Wireless Power Transfer for Medical Microsystems*; Springer: New York, NY, USA, 2013; p. 183.
- ³⁵ Aqeel Mahmood Jawad, Rosdiadee Nordin, Sadik Kamel Gharghan, Haider Mahmood Jawad and Mahamod Ismail. Opportunities and Challenges for Near-Field Wireless. *Energies* 2017, 10, 1022 Power Transfer: A Review
- ³⁶ Vilathgamuwa, D.M.; Sampath, J.P.K. Wireless power transfer (WPT) for electric vehicles (EVs)—Present and future trends. In *Plug in Electric Vehicles in Smart Grids: Integration Techniques*; Rajakaruna, S., Shahnian, F., Ghosh, A., Eds.; Springer: Singapore, 2015; pp. 33–60.
- ³⁷ Christ, A.; Douglas, M.; Nadakuduti, J.; Kuster, N. Assessing human exposure to electromagnetic fields from wireless power transmission systems. *Proc. IEEE* 2013, 101, 1482–1493.
- ³⁸ Imura, T.; Hori, Y. Maximizing air gap and efficiency of magnetic resonant coupling for wireless power transfer using equivalent circuit and neumann formula. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2011, 58, 4746–4752.
- ³⁹ Worgan, P.; Knibbe, J.; Fraser, M.; Martinez Plasencia, D. Powershake: Power transfer interactions for mobile devices. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Santa Clara, CA, USA, 7–12 May 2016; pp. 4734–4745.
- ⁴⁰ Ieee. C95.1-2005—IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 KHz to 300 GHz. Available online: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/c95.1-2005.html>
- ⁴¹ Wireless Power Consortium. System Description. *Wireless Power Transfer Volume I: Low Power Part 1: Interface Definition*. Version 1.1.2. June 2013. Available online: <http://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>
- ⁴² Mittleider, A.; Griffin, B.; Detweiler, C. Experimental analysis of a uav-based wireless power transfer localization system. In *Experimental Robotics: The 14th International Symposium on Experimental Robotics*; Hsieh, M.A., Khatib, O., Kumar, V., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 357–371.
- ⁴³ Dai, J.; Ludois, D.C. A survey of wireless power transfer and a critical comparison of inductive and capacitive coupling for small gap applications. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 6017–6029.
- ⁴⁴ https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No_0060.pdf
- ⁴⁵ Antônio Dâmaso, Davi Freitas, Nelson Rosa, Bruno Silva, Paulo Maciel. „Evaluating the Power Consumption of Wireless Sensor Network Applications Using Models”. *Sensors* 2013, 13, 3473–3500; doi:10.3390/s130303473
- ⁴⁶ Haus, H.; Huang, W.P. Coupled-mode theory. *Proc. IEEE* 1991, 79, 1505–1518.
- ⁴⁷ Sandrolini, L.; Reggiani, U.; Puccetti, G.; Neau, Y. Equivalent circuit characterization of resonant magnetic coupling for wireless transmission of electrical energy. *Int. J. Circuit Theory Appl.* 2013, 41, 753–771.
- ⁴⁸ Xun, L.; Ng, W.M.; Lee, C.K.; Hui, S.Y.R. Optimal Operation of Contactless Transformers with Resonance in Secondary Circuits. In *Proceedings of the Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2008)*, Austin, TX, USA, 24–28 February 2008; pp. 645–650.
- ⁴⁹ <https://www.semtech.com/products/wireless-charging/linkcharge-high-power-evms/lkch-txrx40w-evb>
- ⁵⁰ <https://www.semtech.com/company>
- ⁵¹ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/semtech-corporation/TSDMRX-19V-20W-EVM/TSDMRX-19V-20W-EVM-ND/6569371>
- ⁵² <https://www.digikey.com/product-detail/en/760308MP/732-10324-ND/6012406/?itemSeq=291505416>
- ⁵³ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/adafruit-industries-llc/2162/1528-1977-ND/6827104>
- ⁵⁴ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/stmicroelectronics/EVALSTWBC-EP/497-19486-ND/10231580>
- ⁵⁵ <https://www.wirelesschargingcoil.com/about-us/>
- ⁵⁶ <https://www.rrc-ps.com/en/accessories/wireless-power/>
- ⁵⁷ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/texas-instruments/BQ500210EVM-689/296-30296-ND/2749359>
- ⁵⁸ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/seeed-technology-co-ltd/114990025/1597-1233-ND/5487775>
- ⁵⁹ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/rohm-semiconductor/ROHM-760308MP-EVK-001/ROHM-760308MP-EVK-001-ND/6618306>
- ⁶⁰ <https://www.digikey.ro/product-detail/en/nxp-usa-inc/NXQ1TXH5DB1401UL/568-12925-ND/5970308>
- ⁶¹ <https://www.idt.com/products/power-management/wireless-power/wireless-power-receivers/p9221-r-evk-wireless-power-receiver-reference-solution>
- ⁶² https://www.we-online.com/web/en/index.php/show/media/07_electronic_components/produkte_3/wireless_power/Manual_200W_Kit.pdf
- ⁶³ <https://www.electronica-azi.ro/2012/05/31/redresarea-sincrona-ridica-performantele-surselor-de-alimentare/>
- ⁶⁴ https://www.we-online.com/web/en/electronic_components/produkte_pb/demoboards/wireless_power/design_kit_200_w/wirelessl_power_explorer_board_2.php
- ⁶⁵ Dragoș Niculae, Marilena Stănculescu, Mihai Iordache, Maria-Lavinia Bobaru - An Analysis on Efficiency of Wireless Transfer Energy Due to a Misalignment of Two Coils. *Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series*, No. 42, Issue 1, 2018; ISSN 1842-4805
- ⁶⁶ Dragoș Niculae, Mihai Iordache, Marilena Stănculescu, Lavinia Iordache - The influence of the alignment between receiver and transmitter coils on efficiency of wireless transfer energy. 2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)



Curriculum vitae Europass

Personal Information



Name surname **FIDEL NICOLAE**

Address Str. Vasile Florescu, Nr. 6, pp. 20, sc. B, Ap. 24, postal code: 130036, Târgoviște, Dâmbovița, Romania

Phone Mobile: 0723197105

E-mails) fidelnicolae@yahoo.com
nicolae.fidel@valahia.ro
fidelnicolae@scoalaraciu.ro

Nationality Romanian

Date of birth 04/11/1977

Sex M

Professional experience

Period 01.09.1997-present

Occupation or position held Primary school teacher

Main activities and responsibilities Responsibilities within the School with PJ RACIU:

1. METHODOICAL COMMISSION OF TEACHERS (responsible)
2. CEAC (coordinator)
3. BOARD OF DIRECTORS (member 2000-present)
4. PROCUREMENT AND MATERIAL BASIS ADMINISTRATION (administrator)
5. NEW HORIZONS ASSOCIATION (Vice President)
6. SCHOOL IMAGE COMMITTEE (responsible)

Editor-in-chief of the school magazine "HELYOS" Creation and administration of the institution's websites:

- a www.scoalaraciu.ro
- a www.asociatiaorizonturinoi.wordpress.com or www.scoalaaltfelraciu.wordpress.com
- a www.furnicutele.wordpress.com
- a www.furnicutele2013.wordpress.com or www.orarscoalaraciu.wordpress.com

Name and address of employer RACIU GYMNASIUM SCHOOL

Type of business or sector EDUCATION

Education and Training

Period 01.10.2017-present
PhD

Name and type of educational institution / training provider Valahia University of Târgoviște / Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Information Technology

Level in national or international classification Cycle III - Doctoral university studies

Period 1.10.2015-31.07.2017

Qualification / diploma obtained Master in Electrical Engineering

Name and type of educational institution / training provider Valahia University of Târgoviște / Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Information Technology

Level in national or international classification	Cycle II - Master's degree studies
Period	1.10.2011-31.07.2015
Qualification / diploma obtained	Electrical engineer
Name and type of educational institution / training provider	Valahia University of Târgoviște / Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Information Technology
Level in national or international classification	Cycle I - Undergraduate studies
Period	1.09.1992-31.07.1997
Qualification / diploma obtained	Teacher / Educator
Name and type of educational institution / training provider	Târgoviște Normal School
Level in national or international classification	Upper Secondary Education (pedagogical)
Period	24.02-08.07.2020
Qualification / diploma obtained	COURSE "DOCENDO DISCIMUS - Postmodern Pedagogy" accredited by OMEN no. 3706 / 21.05.2018
Period	15-27.02.2020
Qualification / diploma obtained	COURSE "Inclusive Education - identification and intervention strategies" accredited by OMEN no. 3706 / 21.05.2018
Period	07-19.02.2020
Qualification / diploma obtained	COURSE "Management of educational projects" accredited by OMEN no. 3904 / 06.05.2018
Period	20.10.2018 - 15.12.2018
Qualification / diploma obtained	"Informatics and ICT for high school, fifth grade" accredited by OMEN no. 4586 / 09.08.2017
Period	10/04/2017
Qualification / diploma obtained	CERTIFICATE OF LINGUISTIC COMPETENCE no. 6630 / 4.10.2017 issued by the Faculty of Political Science, Letters and Communication - Department of Letters attesting the level of knowledge of English (B2)
Period	6-13.09.2016
Qualification / diploma obtained	COURSE "Curricular empowerment of primary school teachers for the preparatory class "
Period	1.05.2014 - 31.10.2015
Qualification / diploma obtained	COURSE "Continuing education network of teachers to use multimedia, instrumentation virtual and web 2.0 in the curricular area Mathematics and natural sciences (ProWeb) "POS DRU / 157 / 1.3 / S / 141587
Period	17-19.10.2014
Qualification / diploma obtained	COURSE "Quality education in rural schools" POSDRU ID 133316
Period	26-28.04.2013

Qualification / diploma obtained	COURSE "Electronic registration of self - assessment", within the project "Support for school units in the implementation of the manual for internal evaluation of the quality of education "POSDRU ID 55668, beneficiary ARACIP
Period	02-30.04.2011
Qualification / diploma obtained	COURSE "Schools and communities In action to prevent early school leaving" component Institutional development, activity A.2.5
Period	01-31.10.2010
Qualification / diploma obtained	Training of counselors and support assistants for the implementation of the decentralization strategy of pre-university education Cf. Certificate no. 252 / 31.10.2010
Period	2008-2009
Qualification / diploma obtained	Professional development program based on one's own activity carried out in school Cf. Certificate of continuous training no. 3514 / 27.10.2009
Period	2011-2013
Qualification / diploma obtained	Granting the first degree in education cf. Certificate no. 23 / 30.01.2014
Period	August 2004
Qualification / diploma obtained	Awarding the second degree in education cf. Certificate no. 318 / 13.01.2005
Period	March 2002
Qualification / diploma obtained	The program «Methods and techniques of using the personal computer» cf. Certificate no.9 / 18.03.2002
Period	August 2000
Qualification / diploma obtained	Granting the finalization in education cf. Certificate no. 103 / 14.03.2001

Personal skills and competences

Language (s) default (s) Romanian

Known foreign language (s)

Self-assessment <i>European level (*)</i>	Understanding				Speaking				Writing	
	Obedience		Reading		Join the conversation		Oral speech		written expression	
Language	B2	English	B2	English	B2	English	B2	English	B2	English
Language	B2	Italian	B2	Italian	B1	Italian	B1	Italian	B1	Italian
Language	A2	French	B1	French	A2	French	A2	French	A2	French

(*) Level of the Common European Framework of Reference for Languages

Social skills and competences - good communication skills acquired from my experience as a school board manager;
- excellent interaction skills within a group, acquired through training activities.

Organisational skills and competences - leadership;
- Good organizational skills acquired as Coordinator of the Evaluation Committee and Quality Assurance in Education and responsible for the Methodical Commission of Teachers.
- a good knowledge of quality control processes;
- good mentor (as head of the methodical commission, I was responsible for the training and education of new employees).

Computer skills and competences

- a good command of the Office package (word processor, spreadsheet, presentation software);
- Corel Draw - intermediate level;
- Ansoft - intermediate level;
- Arduino-average level of use
- good use of communication programs (Skype Zoom Google Meets, etc.);
- good knowledge of photo and video editing.

Driving license (s) B