

Universitatea Politehnica din Bucuresti

Facultatea de Energetica

Transferul de putere prin tehnologia WIRELESS

Coodonatori: Prof. dr. ing. Lucia Dumitriu

Prof. dr. ing. Mihai Iordache

As. dr. ing. Lucian Petrescu

Studenti: Son Adnana-Elena

Doban Nicolae

Vlasceanu Claudiu

Cuprins

1.Introducere

2.Studiul transferului wireless de putere in cazul rezonatoarelor in conexiune serie-serie

2.1Teorema transferului maxim de putere activa in curent alternative

2.2Generatorul echivalent de tensiune Thévenin

2.3Prezentarea rezultatelor obtinute prin Simulare Spice

3.Concluzii

4.Bibliografie

1. Introducere

Transferul wireless de energie reprezinta o tehnologie potentiala pentru transferul electricitatii/puterii intre surse electrice si receptori fara a folosi fire. Transmisia se face pe o distanta la care campul electromagnetic este suficient de puternic pentru a oferi un transfer de putere rezonabil. Acest lucru este posibil daca atat emitatorul cat si receptorul lucreaza la rezonanta. Transmiterea wireless este utila in cazurile in care energia instantanee sau continua este necesara, dar legaturile prin fire sunt imposibile.

Transmiterea wireless a energiei este diferita de transmiterea wireless a datelor atat in privinta nivelului de putere cat si al randamentului. In transferul de energie wireless randamentul este cel mai important parametru.

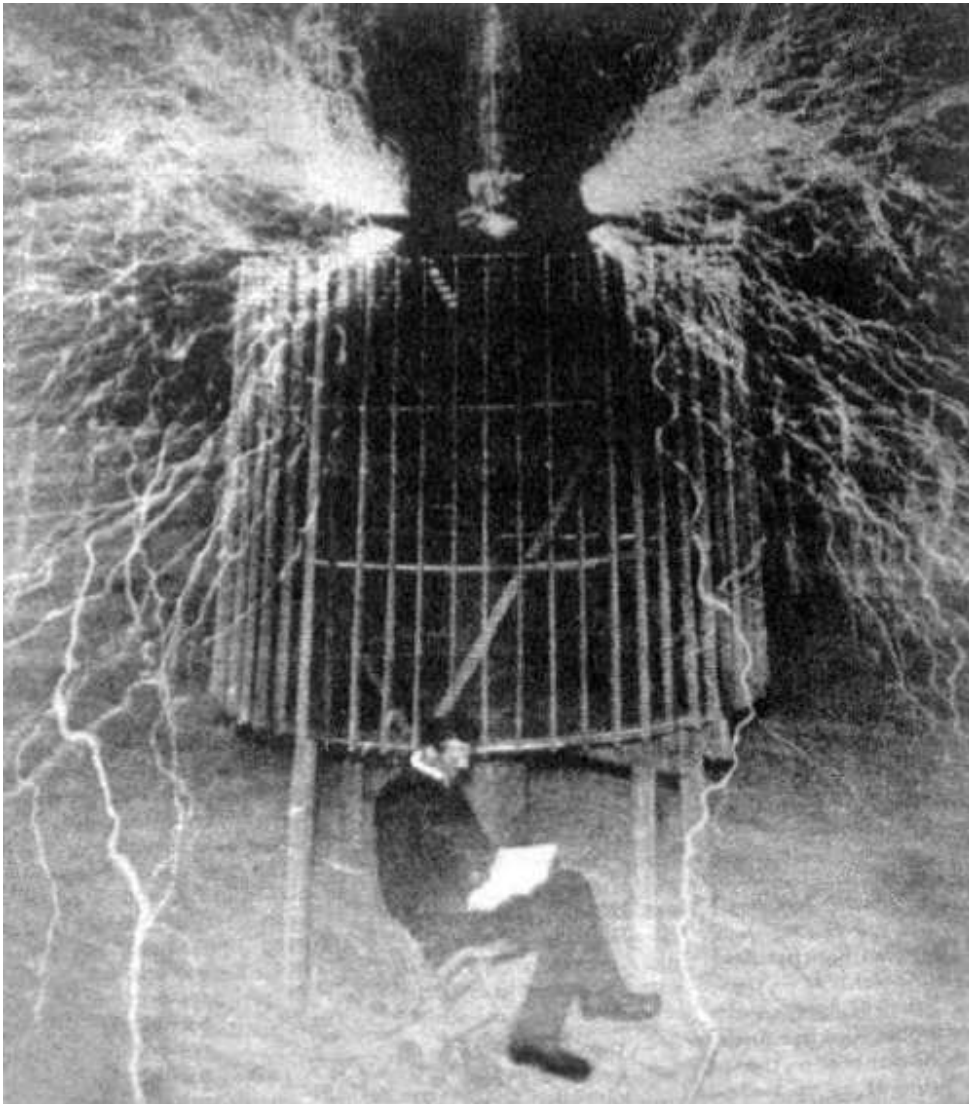
Eficienta redusa a transmiterii si problemele de siguranta au sabotat incercarile transferului de energie wireless, inasa cateva initiative - intre care, unele, semnate de nume mari, precum Sony si Intel - propun o noua abordare pentru a face lucrurile sa mearga. Ultimii cativa ani au adus in atentie demonstratii promitatoare cu telefoane mobile, laptopuri si televizoare alimentate wireless.



Ideea transferului de energie fara fire este aproape la fel de veche ca insasi producerea de electricitate.

La inceputul secolului XX, Nikola Tesla a propus folosirea unor bobine uriase pentru a transmite electricitate prin troposfera si a alimenta casele oamenilor. Genialul om

de stiinta a inceput chiar demersurile pentru construirea Turnului Wardenclyffe din Long Island, New York, un enorm turn de telecomunicatii, ce avea sa testeze si ideea de transfer, fara cabluri, a energiei electrice. Povestea spune ca finantatorii lui Tesla (J.P.Morgan) si-au retras fondurile atunci cand au inteles ca nu ar exista o modalitate eficienta prin care sa se asigure ca oamenii vor plati pentru electricitatea folosita, iar centralele electrice prin cabluri au fost alese in schimb.



Transmiterea wireless a revenit in atentie in anii '60 ai secolului trecut, printr-o demonstratie a unui elicopter miniatural alimentat prin microunde emise de la sol. Unii au sugerat chiar ca, intr-o zi, s-ar putea sa alimentam navele spatiale prin directionarea catre ele a unor raze laser purtatoare de energie. Mergand pe aceeasi idee, multe teorii au

fost emise si in explorarea posibilitatii de a transmite energie la sol de catre satelittii orbitali, ce ar putea stoca energia solara. Tranferul de energie sol-sol, pe distante mari, ar solicita infrastructuri costisitoare, iar grijile privitoare la siguranta transmiterii energiei prin microunde de mare putere au nascut skepticism fata de aceasta modalitate de alimentare. Desi nu vom asista prea curand la construirea unei centrale electrice wireless, ideea electricitatii transmisa prin fascicole la o scara mai mica incepe sa castige teren.

Iar acest lucru se intampla deoarece, odata cu tehnologiile wireless, precum Wi-Fi si Bluetooth, si cu circuitele tot mai reduse ca dimensiuni, cablurile de alimentare raman singurele care pun cu adevarat o limita ideii de mobilitate si portabilitate. Evolutia in aceasta directie pare una inevitabila, din momentului nasterii comunicatiilor wireless, este de parere David Graham, cofondator al companiei PowerBeam din San Jose, California.

Compania Powercast, din Pittsburgh, Pennsylvania, a utilizat recent tehnologia wireless pentru a transmite microwatti si miliwatii de putere la cel putin 15 metri distanta, catre niste senzori industriali. In viitor aceasta tehnologie poate fi folosita pentru a realimenta dispozitive mici, precum telecomenzile, ceasurile cu alarma si chiar telefoanele mobile.

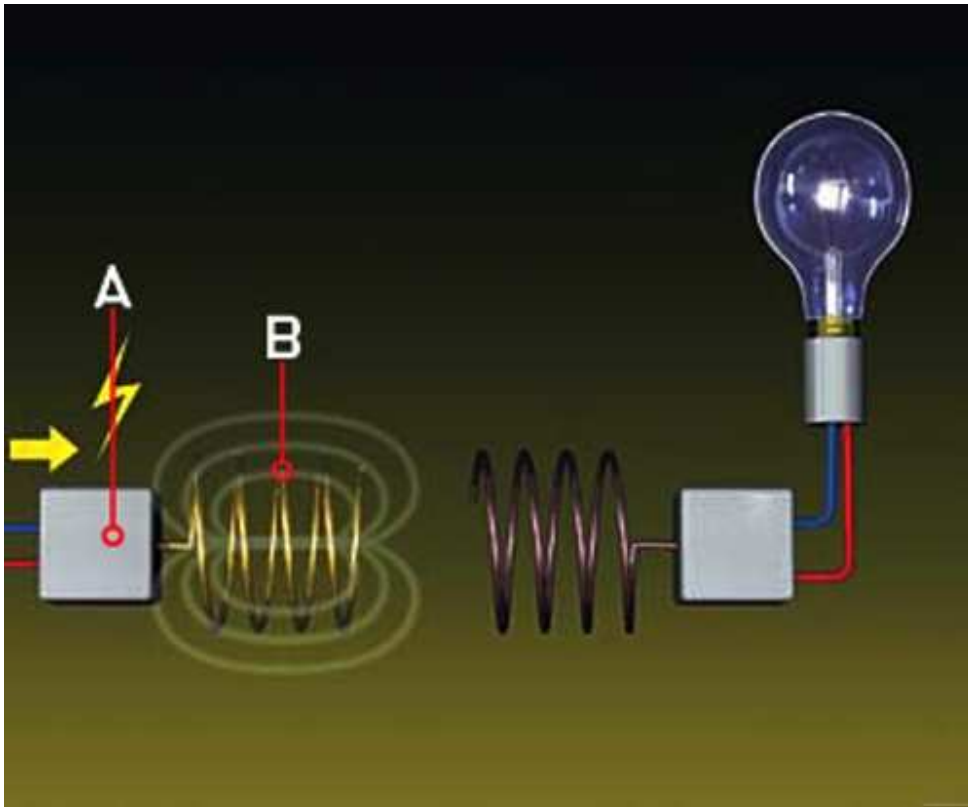
O alta problema ar fi aceea ca este necesara o raza diferita pentru fiecare dispozitiv ce trebuie alimentat, ceea ce reprezinta o provocare inginereasca, crede Aristeidis Karalis, de la Institutul de Tehnologie Massachusetts, dezvoltatorul unui sistem alternativ de transfer energetic wireless.

O posibilitate pentru alimentarea cu energie fara cabluri este inductia magnetica, cea mai tentanta alternativa pentru aplicatiile domestice. Un camp magnetic fluctuant emanand dintr-o bobina poate induce un curent electric intr-o alta bobina apropiata. Este si modalitatea prin care multe dispozitive, precum periutele de dinti electrice si chiar unele telefoane mobile isi reincarca bateriile golite .

Problema este, insa, aceea ca, desi randamentul transferului este bun aproape, el poate scadea la zero atunci cand distanta fata de transmitator creste fie si numai la cativa milimetri. Se stie de multa vreme ca un asemenea transfer mecanic de energie este enorm imbunatatit daca doua obiecte au aceeasi frecventa de rezonanta. Karalis s-a intrebat daca nu cumva aceeasi idee ar putea imbunatati si eficienta inductiei magnetice la distante mai mari.

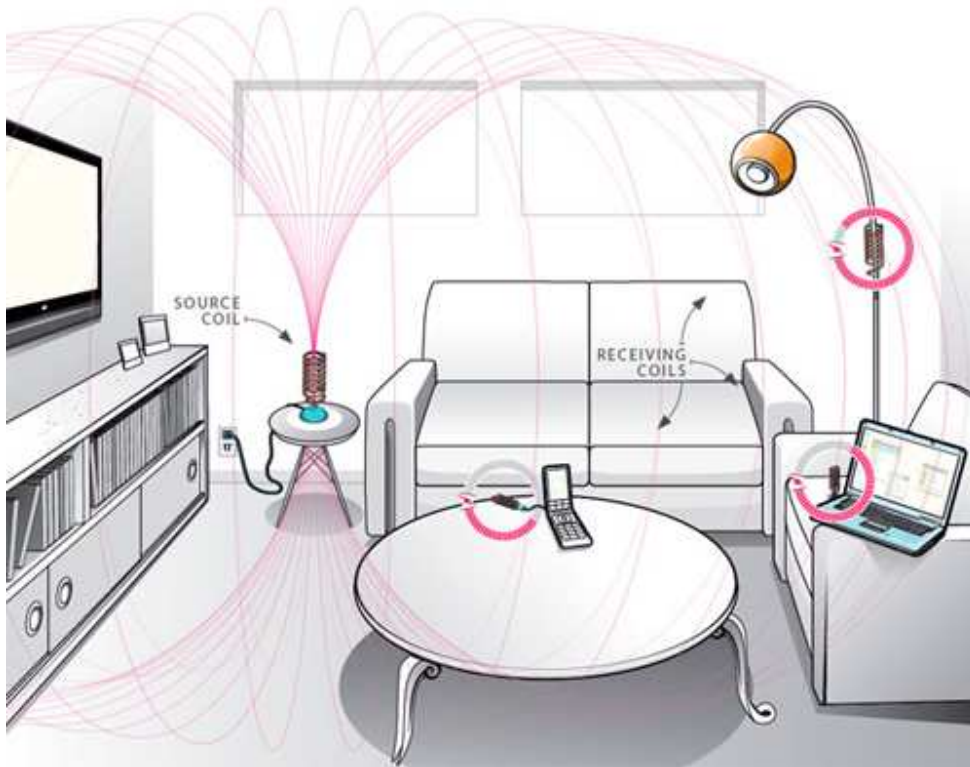
Proiectul echipei sale consta intr-un circuit format dintr-o bobina conectata la un condensator. Energia acestui circuit oscileaza rapid intre un camp electric din condensator si un camp magnetic din bobina. Frecventa acestei oscilatii este controlata de abilitatea condensatorului de a stoca incarcatura si abilitatea bobinei de a produce un camp magnetic. Daca frecventa din circuitul transmitatorului de energie difera de cea a circuitului din receptor, atunci ele sunt non-rezonante.

Rezultatul este ca energia eliberata de transmitator nu va fi in faza cu energia existenta deja in receptor, ceea ce ar putea conduce la anularea reciproca a celor doua, limitand o acumulare pertinenta de energie inauintrul receptorului. Dar daca transmitatorul si receptorul sunt rezonante, este de parere echipa, campurile oscilante ale celor doua bobinaje vor fi permanent sincronizate, deci interfata va fi constructiva, iar cantitatea de energie transferata va creste.



Aceasta teorie a fost experminentata in 2007, cu mare succes, transmitand o putere de 60 de watti la o distanta de doi metri, cu un randament de 40%. Echipa a fondat, de atunci, o companie denumita WiTricity, pentru a dezvolta ideea. Apoi firma a folosit doua bobine cubice, cu diametrul de 30 centimetri, una pentru receptor si una pentru

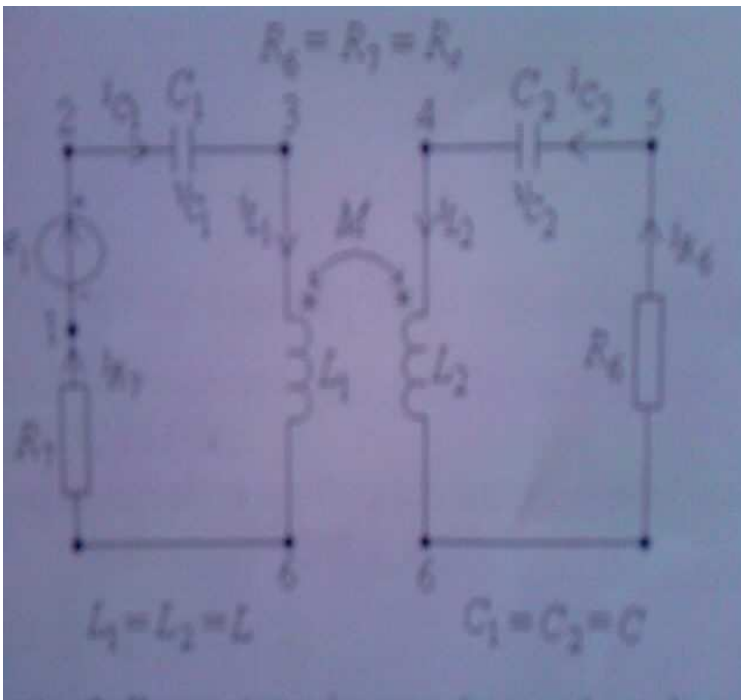
generator, pentru a alimenta un televizor de 50 watti, aflat la 0,5 metri distanta de sursa de putere, cu un impresionant randament de 70%. Spre deosebire de transferul de energie prin tehnologie laser, un camp magnetic nu este concentrat intr-un punct si, de aceea, poate depasi obstacolele de orice fel dintre transmitator si receptor.



Companiile producatoare de aparatura electronica puternic consumatoare se arata dispuse sa investeasca in transferul wireless de energie. Sony, spre exemplu, a facut deja demonstratia unui televizor wireless, iar Intel investigheaza aceasta tehnologie pentru a o aplica unei intregi game de dispozitive. Randamentul transferului de energie fluctueaza independent de cantitatea de curent necesara, astfel incat aceeaasi eficienta poate fi obtinuta pentru laptopuri, aparate electronice mari consumatoare precum tv-urile si aparate portabile mai mici, precum celularele.

2. Studiul transferului wireless de putere in cazul rezonatoarelor in conexiune serie-serie

In aceasta lucrare am realizat studiul transferului de putere wireless intr-un circuit format din rezonatoare in conexiune serie-serie.



Rezonatoare in conexiune serie-serie

Pentru acest circuit am scris ecuatiile de stare $\overset{\circ}{x} = f(x, t)$

$$x = \left[u_{C_1}, u_{C_2}, i_{L_1}, i_{L_2} \right]^t$$

Teorema Kirchhoff I $\Rightarrow i_{R_0} = i_{C_1} = i_{L_1} = \frac{du_{C_1}}{dt} \Rightarrow \frac{du_{C_1}}{dt} = \frac{1}{L} i_{L_1}$ (1)

Teorema Kirchhoff II

\Rightarrow
 $R_0 * i_{R_0} + U_{C_1} + U_{L_1} + M \frac{di_{L_2}}{dt} = e_t \Rightarrow R_0 * i_{L_1} + U_{C_1} + L \frac{di_{L_1}}{dt} + M \frac{di_{L_1}}{dt} = e_t \Rightarrow R_0 * i_{L_1} + U_{C_1} + L \frac{di_{L_1}}{dt} + M \frac{di_{L_2}}{dt} = e_t$

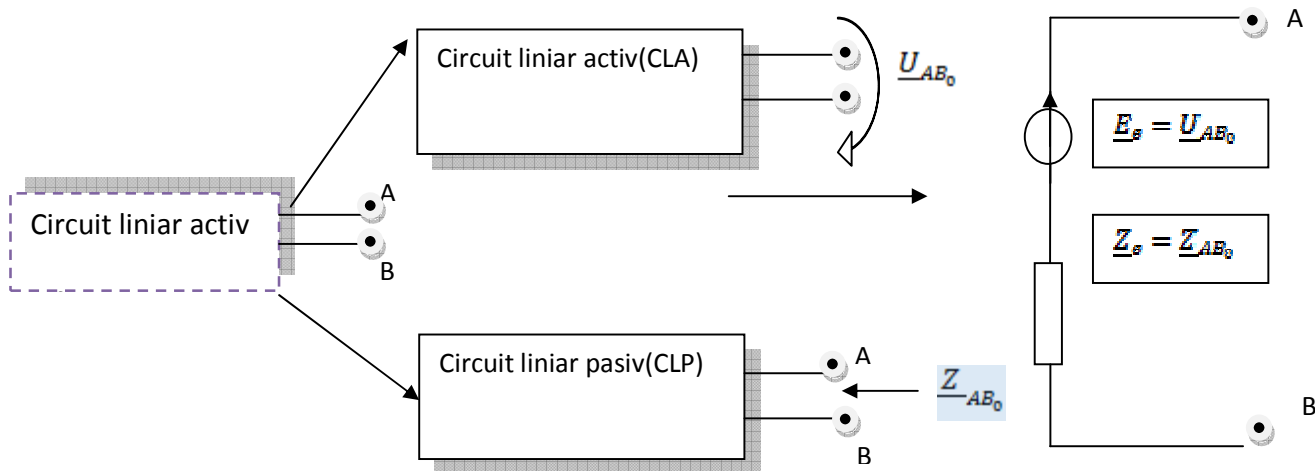
$i_{R_1} = i_{C_2} = i_{C_2} = C \frac{du_{C_2}}{dt} \Rightarrow \frac{du_{C_2}}{dt} = \frac{1}{C} i_{L_2}$ (2)

(1),(2)

$\Rightarrow \frac{di_{L_2}}{dt} = \frac{M}{M^2 - L^2} \left(e_t - R_0 * i_{L_1} - U_{C_1} + \frac{L * R_0}{M} i_{L_2} + \frac{L}{M} U_{C_2} \right) \Rightarrow$ (3)

$\Rightarrow \frac{di_{L_1}}{dt} = \frac{L * R_0}{M^2 - L^2} i_{L_1} + \frac{L}{M^2 - L^2} U_{C_1} - \left(\frac{R_0}{M} + \frac{L^2 * R_0}{M^2 - L^2} \right) i_{L_2} - \left(\frac{1}{M} + \frac{L^2}{M^2 - L^2} \right) U_{C_2} - \frac{L}{M^2 - L^2} e_t$ (4)

2.1 Teorema transferului maxim de putere activă



Circuit echivalent Thévenin

Parametrii echivalenti ai unui generator de tensiune Thévenin sunt:

$$E_s = U_{AB0} = \frac{U_{AB}}{I_{AB=0}} \cdot CLP;$$

$$Z_s = Z_{AB0} = \frac{U_{AB0}}{I_{ABSC}} \cdot CLP$$

Unde I_{ABSC} - curentul care strabate circuitul între nodurile A și B.

Orice structură de două sau mai multe rezonatoare cuplate magnetic au un circuit Thévenin echivalent. Pentru a modela sursa de tensiune în legătură cu nodurile 0'-0'' ale circuitului sarcina impedanței Z_s este înlocuită cu o sursă de curent I_0 , astfel încât parametrii generatorului echivalent de tensiune sunt:

$$E_s = U_0 / I_0$$

$$Z_s = \frac{U_0}{I_0} / E_s = 0$$

Unde U_0 este exprimată în raport cu parametrii circuitului E_s și I_0

Teorema transferului maxim de putere impune ca o structura existenta de rezonatoare cuplate magnetic sa primeasca putere activa maxima, daca, urmatoarele relatii sunt satisfacuate:

$$\underline{Z}_s = \underline{Z}_s^* \Leftrightarrow \begin{cases} R_l = R_s \\ X_l = -X_s \end{cases}$$

Puterea activa maxima transferata este $P_{l,max} = \frac{E_s^2}{4R_s}$

Frecventa de rezonanta a circuitului se calculeaza prin rezolvarea ecuatiei $X_l = -X_s = 0$

$X_l, -X_s$ sunt functii de toti parametrii circuitului si de frecventa.

Observatii

1. Daca sarcina este pur rezistiva, puterea maxima transferata impune ca sistemul la stanga nodurilor A si B, sa fie rezonant, asta inseamna ca $\text{Im}\{\underline{Z}_s = \underline{Z}_{AB} = 0\}$
2. Daca sarcina are si rezistenta si reactanta atunci conditia de rezonanta se aplica intregului sistem incluzand sarcina.

Frecventa de rezonanta am determinat-o pe baza relatiei:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

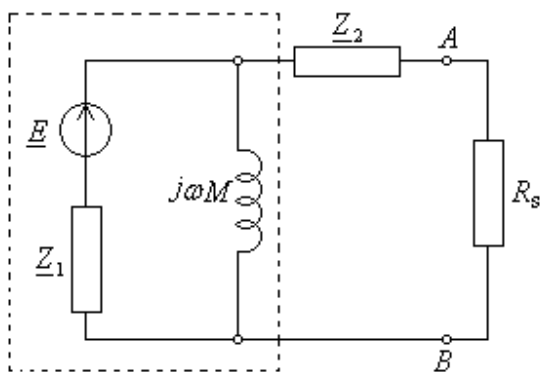
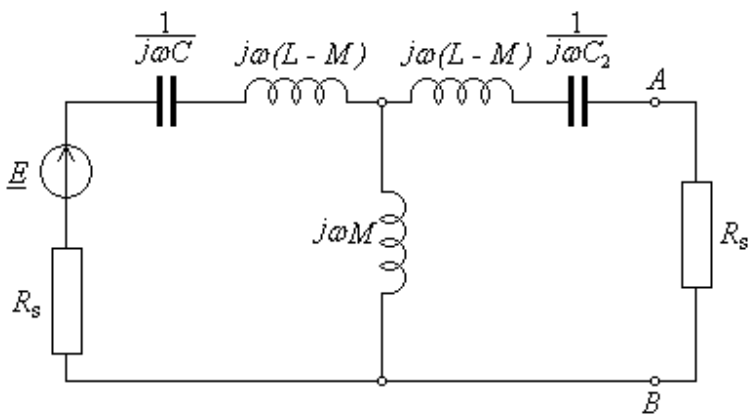
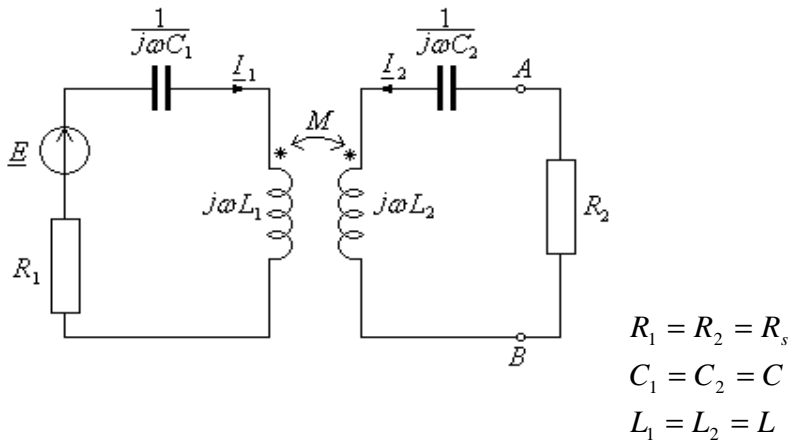
C-capacitatea condensatorului $C=2.0002022 \mu\text{F}$

L-inductivitatea bobinei $L=0.0009999 \text{ H}$

=>frecventa de rezonata : $f=3560.6160 \text{ Hz}=3.56 \text{ kHz}$

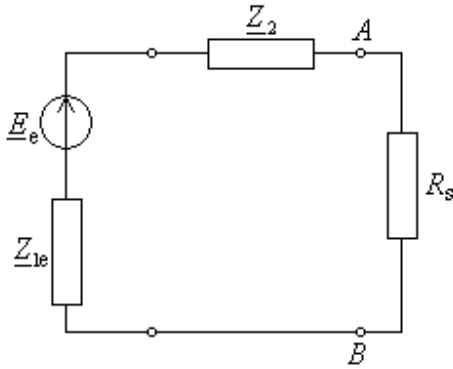
Conditia de rezonanta am determinat-o prin echivalarea circuitului de rezonatoare in conexiune Serie-Serie cu generatorul echivalent Thévenin.

2.2 Generatorul echivalent de tensiune Thévenin

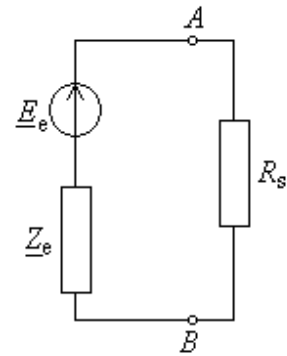


$$\underline{Z}_1 = j\omega L - j\omega M - j\frac{1}{\omega C} + R_s \quad (1)$$

$$\underline{Z}_2 = j\omega L - j\omega M - j\frac{1}{\omega C} + R_s$$



=>



$$\underline{E}_e = \frac{\underline{E}_e \frac{1}{\underline{Z}_2}}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{j\omega M}} = \underline{E} \frac{j\omega M}{R_s + j\omega L - \frac{j}{\omega C}}$$

$$\underline{Z}_e = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{j\omega M}} + j\omega L - j\omega M - j\frac{1}{\omega C} = \frac{j\omega M \underline{Z}_1}{R_s + j\omega L - \frac{j}{\omega C}} + j\omega L - j\omega M - \frac{j}{\omega C} \quad (1)$$

$$\underline{Z}_e = \frac{j\omega M \left(j\omega L - j\omega M - j\frac{1}{\omega C} + R_s \right)}{R_s + j\omega L - \frac{j}{\omega C}} + j\omega L - j\omega M - \frac{j}{\omega C}$$

$$\underline{Z}_e = R_e + jX_e$$

Conditia de rezonanta: $X_e=0$;

$$X_e = \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) \left[R_1^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_2} \right)^2 \right] - (\omega M)^2 \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) = 0$$

Aceasta este o ecuatie de gradul 3 care are ca solutii urmatoarele frecvente:

$f_1=3.1843$ kHz, $f_2=4.3358$ kHz si $f_3=3.560$ kHz;

2.3Prezentarea rezultatelor obtinute prin Simulare Spice

La circuitul initial format din rezonatoare in conexiune serie-serie am pastrat nodul „0” iar apoi pana la nodul „25” am adaugat elemente noi de circuit(bobine, condensatoare, rezistoare) pentru a obtine noi coeficienti de cuplaj.

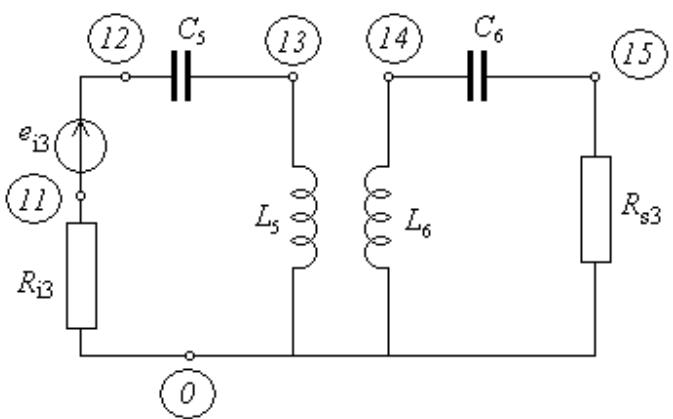
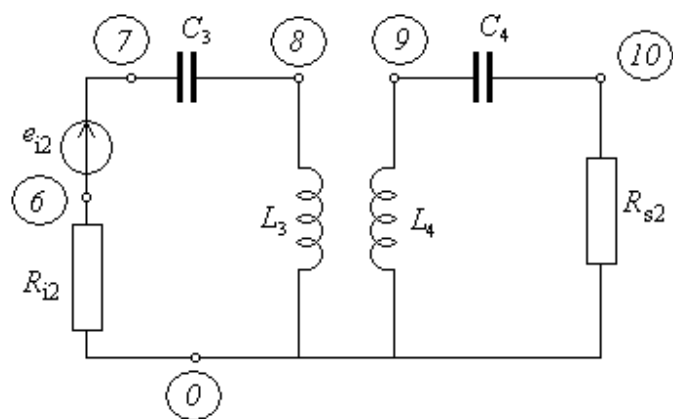
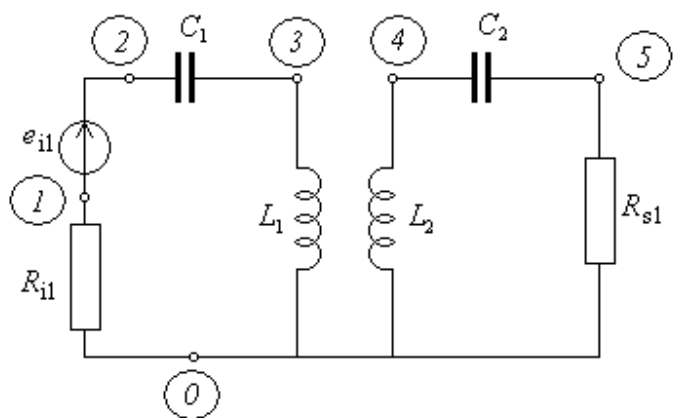
Coeficientul de cuplaj k se defineste ca fiind raportul:

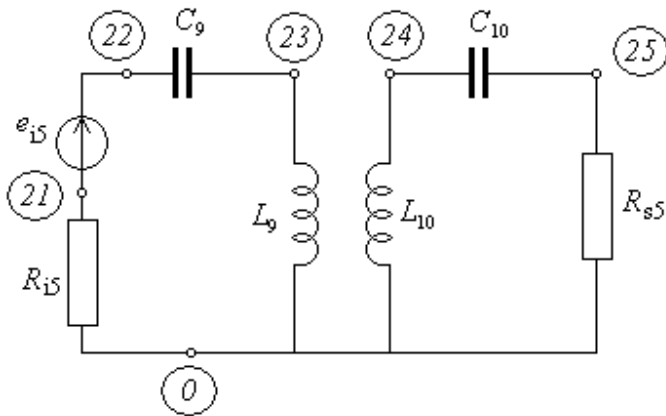
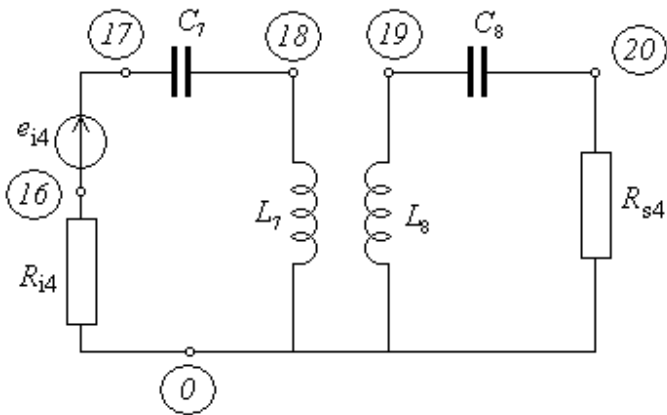
$$k = \frac{M}{L};$$

M-inductivitatea mutuala a bobinei

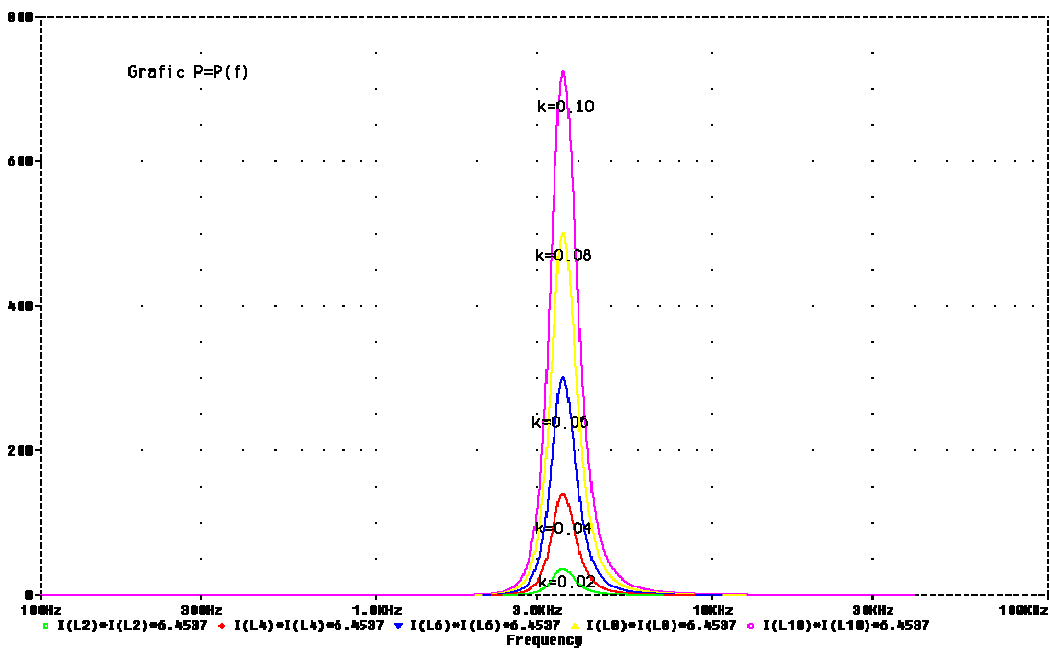
L-inductivitatea bobinei

Am realizat simularea Spice a circuitelor urmatoare, realizand graficele: putere si randament functie de frecventa pentru diferiti coeficienti de cuplaj.

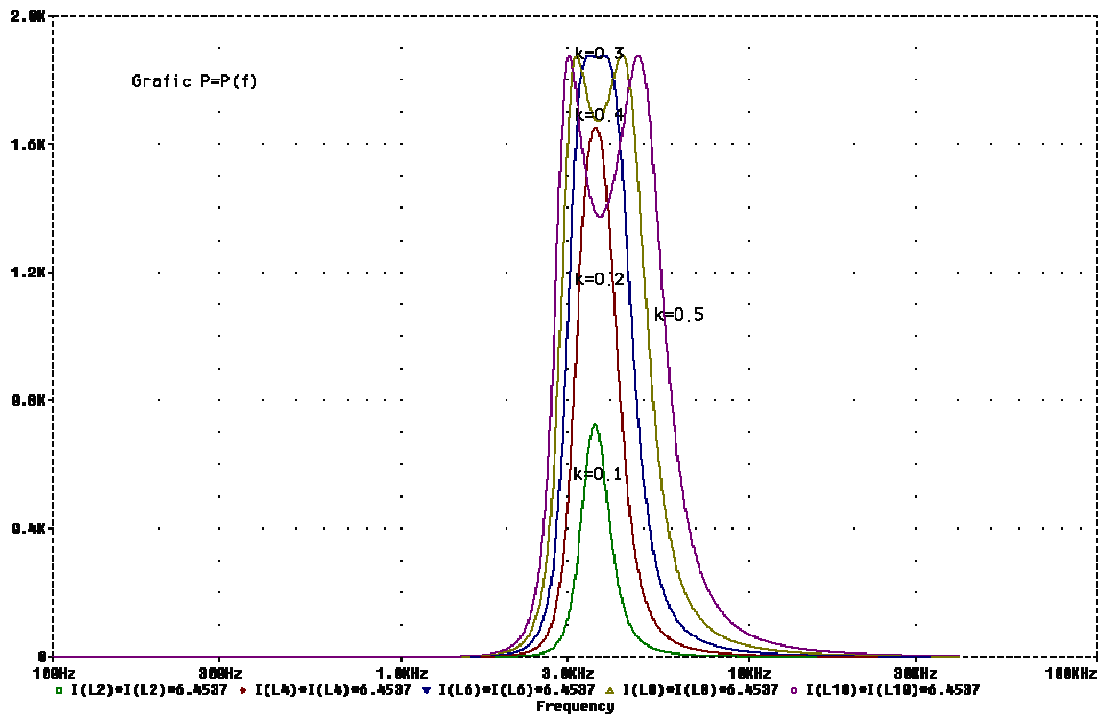




Initial pentru coeficienti de cuplaj mici (ex.: $k=0.02$, $k=0.04$, $k=0.06$, $k=0.08$, $k=0.1$), prin simulare Spice am obtinut urmatorul grafic putere functie de frecventa. Am obtinut frecventa de rezonanta $f=3.560$ kHz



Pentru coeficienti de cuplaj mai mari(ex.: $k=0.1$, $k=0.2$, $k=0.3$, $k=0.4$, $k=0.5$) am obtinut urmatorul grafic putere functie de frecventa.



Pe baza graficului se observa ca, pentru coeficientii

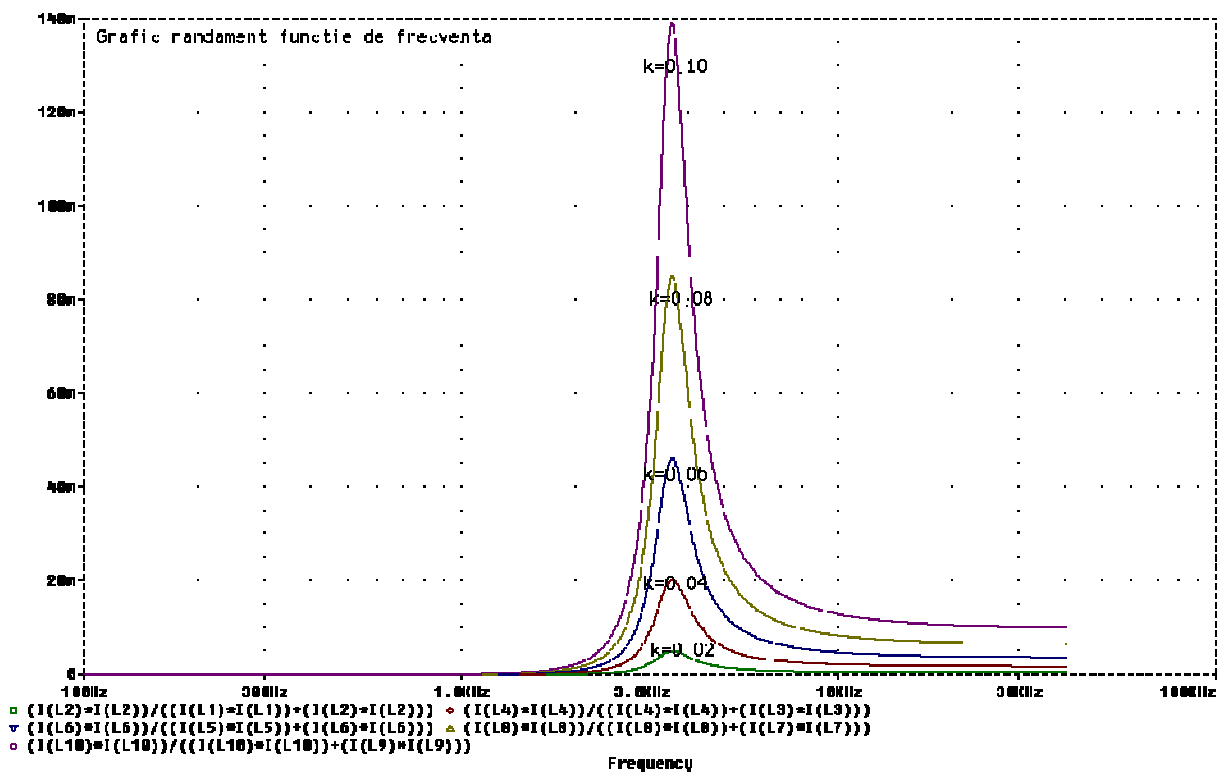
- $k=0.1$, 0.2 graficul inregistreaza un maxim la frecventa de rezonanta $f=3.560$ kHz
- $k=0.3; 0.4$ si 0.5 graficul se imparte inregistrand 2 maxime cu frecventele de rezonanta: $f_1=3.1843$ kHz, $f_2=4.3358$ kHz si un minim la $f_3=3.560$ kHz

Calculul si reprezentarea variatiei randamentului functie de frecventa

Randamentul, η , se calculeaza ca raport dintre putere utila si putere consumata :

$$\eta = \frac{P_u}{P_c} = \frac{RI_{L_2}^2}{RI_{L_1}^2 + RI_{L_2}^2} = \frac{I_{L_2}^2}{I_{L_1}^2 + I_{L_2}^2}$$

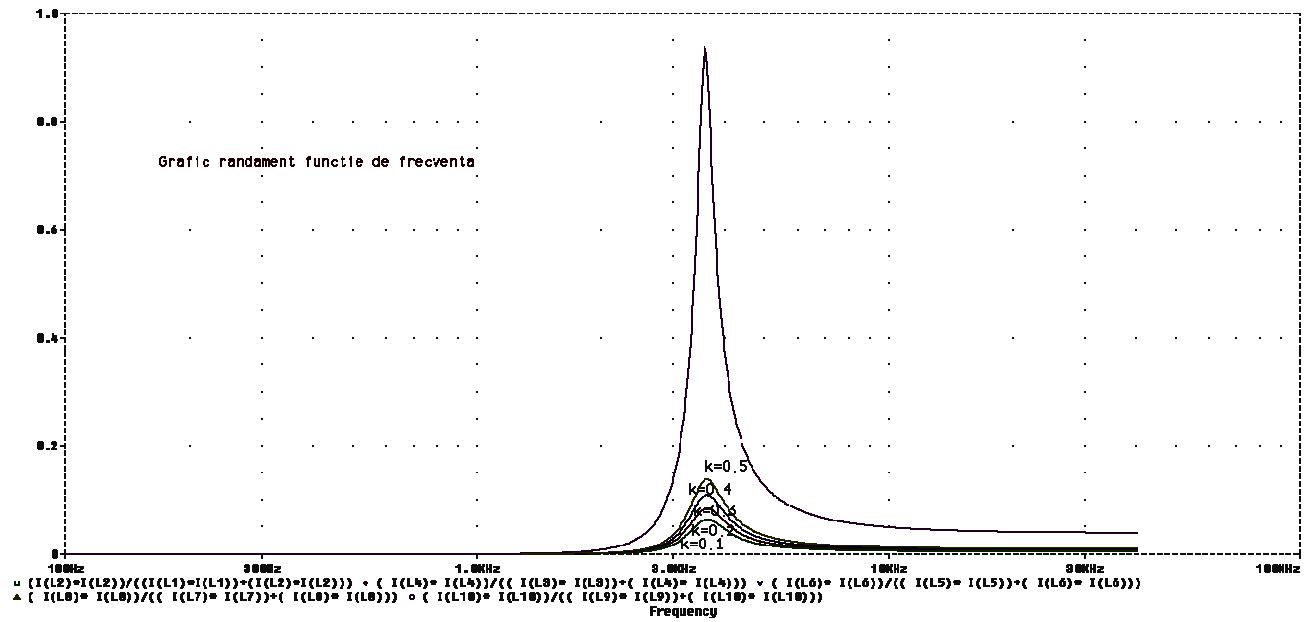
Pentru coeficienti de cuplaj mici($k=0.01$; $k=0.02$ etc) am obtinut urmatorul grafic randament functie de frecventa:



Am observant pe baza graficului ca pentru acesti coeficienti randamentul este mic aproximativ 14% pentru $k=0,01$.

De aceea, am realizat o noua simulare in programul Spice pentru coeficientii de

cuplaj mai mari: $k \in \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5\}$ si am obtinut urmatorul grafic:



Pentru acesti coeficienti de cuplaj, observam, pe baza graficului, ca se obtin randamente mai mari de 90%.

3. Concluzii

- Transferul wireless de energie reprezinta o tehnologie experimentală folosită pentru a transmite electricitate/putere între surse electrice și receptori fără a folosi fire.
- Această modalitate de transmisie este utilă pentru a satisface necesitățile de energie acolo unde legăturile prin fire sunt imposibile.
- Este o formă de transfer de putere care se bazează pe proprietățile câmpului magnetic care nu afectează sănătatea persoanelor din jur.

4. Bibliografie

Dumitriu, Lucia. - "Curs Bazele Electrotehnicii".

Valone, T. (2002)- " Harnessing the wheelwork of nature: Tesla's science of energy. Kempton, Ill: Adventure Unlimited Press".

Hu, A. P. (2009). -"Wireless/Contactless power supply: Inductively coupled resonant converter solution".

Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. (2011). -"Fundamentals of physics".