

Universitatea Politehnica din Bucuresti

Facultatea de Energetica

Catedra de Electroenergetica



Conducator stiintific :

Prof. dr. ing. Lucia Dumitriu

Prof. dr. ing. Mihai Iordache

As. dr. ing. Dragos Nicolae

Studenti:

Ionut Bogdan Stoenescu

Alexandru Constantin Stoica

Alin Alexandru Stefan

Sarisa Sefora Zarnescu

Anul universitar 2010 – 2011

Bucuresti 2011

Cuprins

1) Inductia electromagnetica

2) Notiunea de Witricity

3) Concepte

4) Cercetari si rezultate legate de Witricity

5) Principile fizice ale Witricity

6) Modalitatile de realizare a celor doua circuite si ecuatiile de stare

7) Rezonanta circuitului RLC

8) Factorul de calitate al circuitului

9) Puterea transferata prin fenomenul Witricity

10) Valori numerice ale factorului de calitate

11) Concluzii

12) Bibliografie

1)Inductia electromagnetica

Se numeste **inductie electromagnetica** fenomenul de generare a unei tensiuni electromotoare într-un circuit strabatut de un flux magnetic variabil în timp. Fenomenul de inductie electromagnetica a fost pus în evidenta experimental de M. Faraday(1831). El a constatat că prin variația unui câmp magnetic se poate produce curent electric.

Fenomenul sta la baza unor aplicatii de mare importanta tehnica precum masinile electrice rotative si transformatorul electric in care energia electrica este transferata din circuitul primar (care produce un camp magnetic variabil in miezul magnetic al transformatorului) in circuitul secundar (campul magnetic variabil din miezul magnetic al transformatorului produce o tensiune electrica in infasurarea secundara).

2)Notiunea de Witricity

Witricity reprezinta o tehnologie folosita pentru a transmite electricitate/putere între surse electrice si receptori fara a folosi fire. Transferul este facut pe o distanta la care campul electromagnetic este suficient de intens pentru a oferi un transfer de putere rezonabil. Acest lucru este posibil daca atat emitatorul cat si receptorul functioneaza la rezonanta.

Termenul Witricity a fost introdus de catre profesorul Marin Soljagic de la MIT care, a abordat subiectul in 2005 impreuna cu echipa sa. Primele lucrari asupra subiectului au fost publicate in 2007. S-a realizat un experiment, in care un bec de 60 de wati a fost alimentat wireless pe o distanta de 2 m cu un randament de 45%. Bobinele au rezonat impreuna la 9,9 Mhz. La inceput tehnologia a fost propusa pentru aplicatii mici ca putere precum incarcarea fara fir a bateriilor laptopurilor si telefoanelor mobile. Lucrarile care au urmat sugereaza implementarea practica a conceptului Witricity in domeniul vehiculelor electrice si in zona medicala ca o modalitate de a reincarca senzorii si dispozitivele implantate. Cuplarea prin rezonanta impune ca sistemele cuplate sa lucreze la aceeasi frecventa de rezonanta. Ulterior energia este transferata între 2 bobine simple care formeaza rezonatori datorita capacitatilor parazite a infasurarii lor. Conceptul este apoi imbunatatit, bobinele fiind conectate cu condensatori, ceea ce a condus la retinerea campului electric in interiorul acelor dispozitive. Cuplajul este facut prin camp magnetic iar campul electric este redus.

3)Concepte

In incercarea de a descrie principiul fizic al Witricity apar concepte precum campuri apropiate si departate. Campul electromagnetic apropiat este radiatia unidirectionala care apare aproape de antena pe o distanta mai mica decat lungimea de unda. Este un tip de radiatie care descreste foarte repede. Campul electromagnetic indepartat este tipul de camp care se propaga incepand cu o distanta egala cu 2 lungimi de unda de la antena pana la infinit. Acest tip de radiatie descreste mult mai incet decat campul apropiat. Puterea emisa descreste cu patrutul distantei. Exista o zona de tranzitie care incepe la o distanta de o lungime de unda de la antena pana la 2 lungimi de unda, in

care apar efecte combinate ale campurilor apropiat si indepartat. Campul indepartat este considerat a fi de tip radiant in timp ce campul apropiat este neradiant.

4) Cercetari si rezultate legate de Witricity

Corporatii precum Intel sau Sony au inceput proiecte proprii pentru a evalua potentialul tehnologiei Witricity.

Abordarea Intel: in lucrarea initiala a celor de la MIT a fost realizat un experiment cu 2 bobine spiralate. Cercetatorii de la MIT au alimentat cu un bec de 60 de wati wireless folosind 2 bobine cu 5 elemente de cupru cu un diametru de 60 cm care se aflau la o distanta de 2 metri, cu un randament de aproximativ 45%. Bobinele au fost facute sa rezoneze impreuna la 9,9 Mhz si au fost orientate de-a lungul aceleasi axe. Una a fost conectata inductiv la o sursa de putere iar cealalta la un bec. Becul a fost alimentat chiar si cand linia directa a radiatiei a fost blocata cu un panou de lemn.

Intel a abordat situatia folosind 2 bobine care se pot integra mai usor in laptopuri si alte dispozitive . Trebuie mentionat faptul ca , compania s-a distantat de termenul de Witricity si denumeste tehnologia „wireles resonant energy link”. Rezultatul obtinut de catre Intel in cazul transferului de energie catre un bec de 60 de wati pe o distanta de un metru are un randament de 78 % .

Abordarea Sony: comapnia Sony a prezentat un sistem prin care un LCD cu diagonala de 22 cm a fost alimenat wireless de la o distanta de 50 cm.

Nici una dintre companii nu a putut sa depaseasca limitarile tehnologiei initiale. In 2008 designerul industrial Thanh Tran de la Universitatea din Brunell a alimentat un bec wireless, cu o eficienta ridicata. In 2010 grupul HIRER a prezentat primul LCD complet wireless la CES 2010, bazat pe cercetarile profesorului Marin Soliaic asupra transferului de energie wireless si interfata digitala wireless pentru casa.

5) Principile fizice ale Witricity

Aceasta tehnologie functioneaza fara circuit magnetic pe o raza foarte scurta. Daca bobinele nu sunt adiacente atunci randamentul este slab. Tehnologia radiatiei antenei nu este potrivita pentru transferul de putere wireless . Principalul motiv ar fi ca puterea radiata este mica, ceea ce face ca aceasta tehnologie sa fie mai eficienta pentru transferul informatiei decat energiei electrice.

Principiul pe care se bazeaza noua metoda este ca obiectele rezonante schimba energia eficient in timp ce obiectele non-rezonante interactioneaza slab.

Sistemul Witricity este compus din doua rezonatoare, sursa si sarcina, primul cuplat inductiv cu bobina conductoare a unui oscilator, care produce energia ce urmeaza a fi transmisa, si cel de-al doilea cuplat inductiv cu bobina de iesire de la sarcina.

Sunt cateva remarci care trebuie facute:

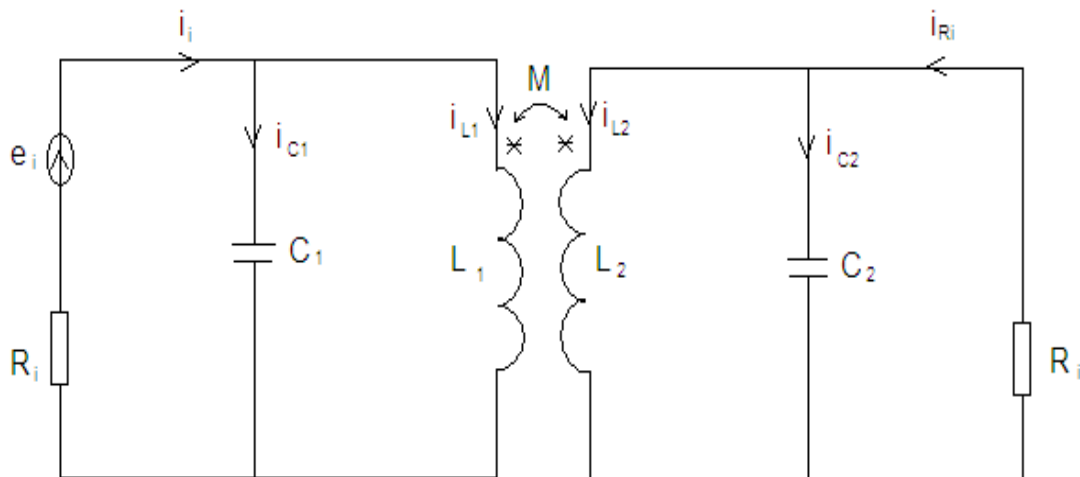
- rezonanta magnetica este atractiva in mod particular pentru aplicatii, deoarece in general, materialele obisnuite nu interactioneaza cu campul magnetic;
- dupa cum arata si experimentele, puterea transferata nu este vizibil afectata cand oameni si/sau diferite obiecte, precum metale, lemn, dispozitive electronice sunt plasate

intre cele doua bobine la mai putin de cativa centimetri, chiar si in cazuri in care acestea obstructioneaza canalul dintre sursa si dispozitiv;

- anumite materiale (foliile de aluminiu) doar schimba frecventa de rezonanta, care in principiu poate fi corectata usor cu un circuit de feedback.

6) Modalitatile de realizare a celor doua circuite si ecuatiile de stare

Rezonatoare in conexiune paralel-paralel



Pentru a afla ecuatiile de stare ale conexiunii vom scrie ecuatiile lui Kirchoff pentru circuitul primar (alimentat de la sursa) si pentru circuitul secundar.

$$\begin{cases} i_i = i_{c1} + i_{L1} = C \frac{du_{c1}}{dt} + i_{L1} \\ R_o i_i + u_{c1} = e_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_o i_i + L \frac{di_{L1}}{dt} + M \frac{di_{L2}}{dt} = e_i \\ u_{c1} = L \frac{di_{L1}}{dt} + M \frac{di_{L2}}{dt} \end{cases}$$

Prelucrând ecuatiile de mai sus obținem:

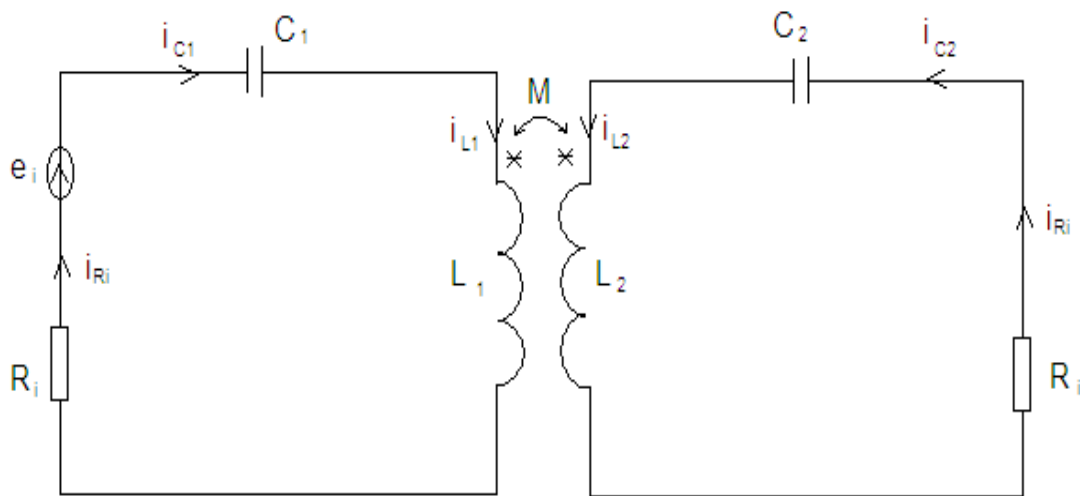
$$\frac{du_{c1}}{dt} = -\frac{1}{R_o C} u_{c1} - \frac{1}{C} i_{L1} + \frac{1}{R_o C} e_i$$

$$\frac{du_{c2}}{dt} = \frac{1}{R_o C} u_{c2} - \frac{1}{C} i_{L2}$$

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C1} - \frac{M}{M^2 - L^2} u_{C2}$$

$$\frac{di_{L2}}{dt} = -\frac{M}{M^2 - L^2} u_{C1} + \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C2}$$

Rezonatoare in conexiune serie - serie



Ecuatiile Kirchhoff corespunzatoare circuitelor sunt:

$$\begin{cases} i_{R0} = i_{C1} = C \frac{du_{C1}}{dt} = i_{L1} \\ R_0 i_{R0} + u_{C1} + u_{L1} + M \frac{di_{L2}}{dt} = e_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{R0} = i_{C2} = C \frac{du_{C2}}{dt} = i_{L2} \\ R_0 i_{R0} + u_{C2} + L \frac{di_{L2}}{dt} + M \frac{di_{L1}}{dt} = 0 \end{cases}$$

Ecuatiile de stare obtinute sunt:

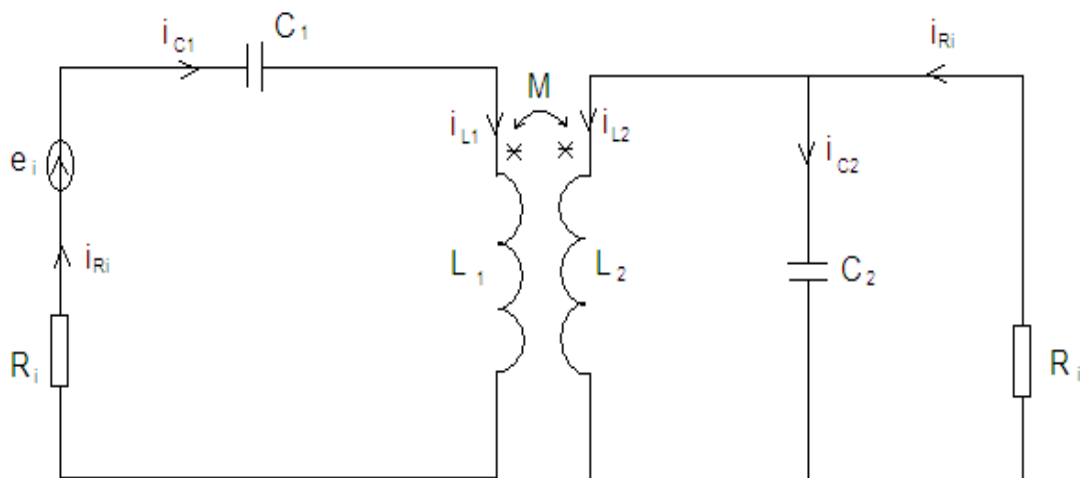
$$\frac{du_{C1}}{dt} = \frac{1}{C} i_{L1}$$

$$\frac{du_{C2}}{dt} = \frac{1}{C} i_{L2}$$

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C1} + \frac{L R_o}{M^2 - L^2} i_{L1} - \frac{M}{M^2 - L^2} u_{C2} - \frac{M R_o}{M^2 - L^2} i_{L2}$$

$$\frac{di_{L2}}{dt} = -\frac{M}{M^2 - L^2} u_{C1} - \frac{M R_o}{M^2 - L^2} i_{L1} + \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C2} + \frac{L R_o}{M^2 - L^2} i_{L2} + \frac{M}{M^2 - L^2} e_i$$

Rezonatoare in conexiune serie – paralel



Ecuatiile Kirchhoff corespunzatoare circuitelor sunt:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{R0} = i_{C1} = C \frac{du_{C1}}{dt} = i_{L1} \\ R_o i_{R0} + u_{C1} + L \frac{di_{L1}}{dt} + M \frac{di_{L2}}{dt} = e_i \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{R0} = i_{C2} + i_{L2} = C \frac{du_{C2}}{dt} + i_{L2} \\ R_o i_{R0} + u_{C2} = 0 \end{array} \right.$$

Prelucrand aceste ecuatii vom obtine ecuatiile de stare:

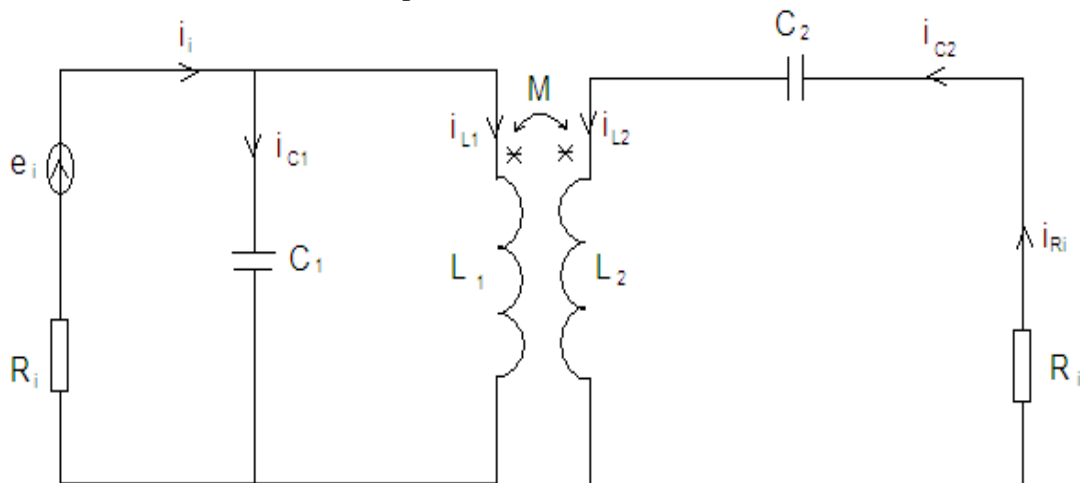
$$\frac{du_{C1}}{dt} = \frac{1}{C} i_{L1}$$

$$\frac{du_{C2}}{dt} = -\frac{1}{R_o C} u_{C2} - \frac{1}{C} i_{L2}$$

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C1} + \frac{LR_o}{M^2 - L^2} i_{L1} + \frac{M}{M^2 - L^2} u_{C2} - \frac{L}{M^2 - L^2} e_1$$

$$\frac{di_{L2}}{dt} = -\frac{M}{M^2 - L^2} u_{C1} - \frac{MR_o}{M^2 - L^2} i_{L1} - \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C2} + \frac{M}{M^2 - L^2} e_1$$

Rezonatoare in conexiune paralel – serie



Vom scrie ecuatiile Kirchhoff corespunzatoare circuitelor:

$$\begin{cases} i_j = i_{C1} + i_{L1} = C \frac{du_{C1}}{dt} + i_{L1} \\ R_o i_j + u_{C1} = e_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{R6} = i_{C2} = C \frac{du_{C2}}{dt} = i_{L2} \\ R_o i_{R6} + u_{C2} + L \frac{di_{L2}}{dt} + M \frac{di_{L1}}{dt} = 0 \end{cases}$$

Vom obtine ecuatiile de stare ale conexiunii paralel – serie:

$$\frac{du_{C1}}{dt} = -\frac{1}{R_0 C} u_{C1} - \frac{1}{C} i_{L1} + \frac{1}{R_0 C} e_i$$

$$\frac{du_{C2}}{dt} = \frac{1}{C} i_{L2}$$

$$\frac{di_{L1}}{dt} = -\frac{L}{M^2 - L^2} u_{C1} - \frac{M}{M^2 - L^2} u_{C2} - \frac{MR_0}{M^2 - L^2} i_{L2}$$

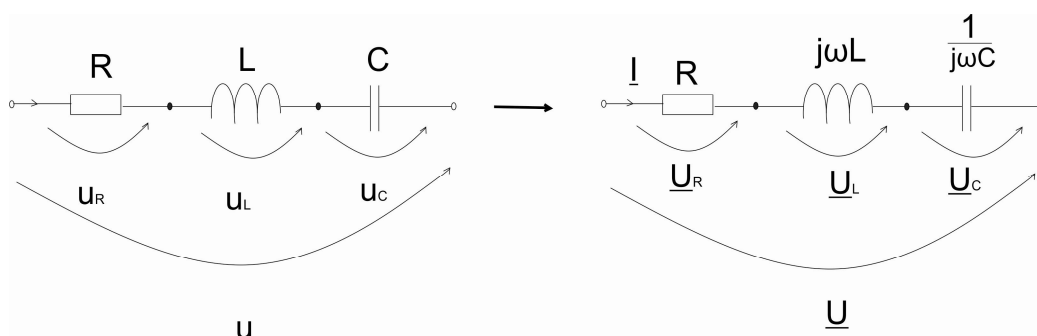
$$\frac{di_{L2}}{dt} = \frac{M}{(M^2 - L^2)} u_{C1} + \frac{L}{M^2 - L^2} u_{C2} + \frac{LR_0}{M^2 - L^2} i_{L2}$$

7) Rezonanta circuitului RLC

Rezonanta unui circuit este acea stare a sistemului, in care intre sursa si retea nu are loc schimb de putere reactiva. Fiind data pulsatia curentului, rezonanta se obtine pentru anumite valori ale parametrilor R, L si C ai circuitului. In campurile electrice ale condensatoarelor, ca si in campurile magnetice ale bobinelor unui circuit este stocata energie. Intre campurile magnetice ale bobinelor si campurile electrice ale condensatoarelor va avea loc un schimb de energie, fara insa a avea loc un schimb de energie cu sursa de tensiune a circuitului.

In fizica, **rezonanta** este tendinta unui sistem de a oscila la amplitudine maxima la o anumita frecventa. Aceasta frecventa este cunoscuta sub denumirea de **frecventa de rezonanta** a sistemului (sau frecventa rezonanta).

a) Rezonanta circuitului RLC serie (Rezonanta de tensiune)



$$u_R = R i$$

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

$$U = U_R + U_L + U_C$$

$$u = R_i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C$$

$$\underline{U}_R = R \underline{I}$$

$$\underline{U}_L = j X_L \underline{I}$$

$$\underline{U}_C = -j X_C \underline{I}$$

Daca $\underline{U}_L + \underline{U}_C = 0$ circuitul se afla la rezonanta

$$\underline{U}_L + \underline{U}_C = 0 \rightarrow j(X_L - X_C) \underline{I} = 0 \rightarrow X_L = X_C \text{ (conditie de rezonanta)}$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ frecventa de rezonanta pentru RLC serie}$$

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C) \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\underline{Z}_0 = R \rightarrow Z_0 = R$$

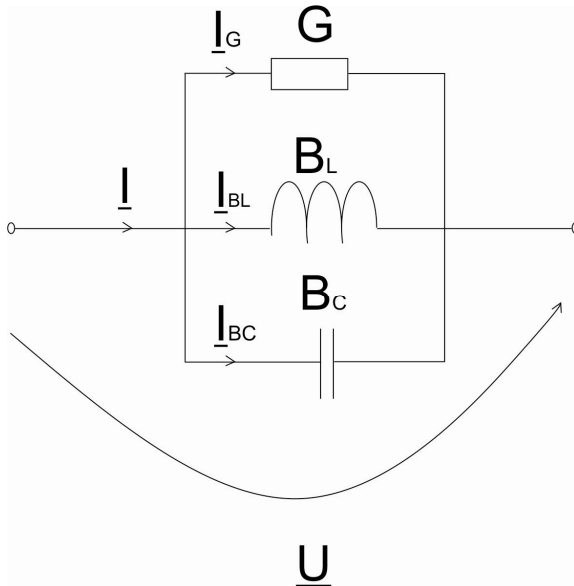
$$\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z} \rightarrow i(t) = I_0 \sqrt{2} \sin(\omega t + \beta)$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

Consecinte:

- Din definitia rezonantei $\rightarrow \underline{U} = \underline{U}_R \rightarrow R \underline{I}$ defazaj 0
- Z_0 minima
- Daca impedanta circuitului Z_0 e minima la rezonanta, curentul la rezonanta I_0 este maxim.
- La rezonanta argumentul impedantei complexe : $\varphi_0 = 0 \rightarrow U$ si I sunt in faza
- Daca $\varphi_0 = 0 \rightarrow Q = UI \sin \varphi$ la rezonanta = 0

b) Rezonanta circuitului RLC paralel (rezonanta de curent)



$$\underline{U}_G = \underline{U}_{BL} = \underline{U}_{BC}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_G + \underline{I}_{BL} + \underline{I}_{BC}$$

$$B_L = 1/X_L$$

$$\underline{I}_G = G\underline{U}$$

$$\underline{I}_{BL} = -jB_L\underline{U}$$

$$\underline{I}_{BC} = jB_C\underline{U}$$

$$\text{Daca } \underline{I}_{BL} + \underline{I}_{BC} = 0 \rightarrow -j(B_L - B_C)\underline{U} = 0 \rightarrow B_L = B_C \text{ (conditia de rezonanta)}$$

$$B_L = \frac{1}{\omega_0 L} = \omega_0 C \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Y = G - j(B_L - B_C)$$

$$\varphi = \arctg \frac{B_L - B_C}{G} \rightarrow Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

$$\underline{Y}_0 = G \text{ -minim}$$

$$\underline{I} = \underline{Y}\underline{U}$$

Consecinte:

- La rezonanta, curentul total se regaseste pe conductanta
- Conform relatiilor $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$ $\underline{Y}_0 = G$ -minim $\rightarrow \underline{I}_0$ -minim
- Curentul conform relatiei $\underline{I} = \underline{Y}\underline{U} \rightarrow \underline{I}_0$ -minim
- Argumentul impedantei complexe din relatia $\varphi = \tan^{-1} \frac{B_L - B_C}{G}$ este 0
 $\rightarrow \varphi = 0$
- $Q = UI \sin \varphi = 0$

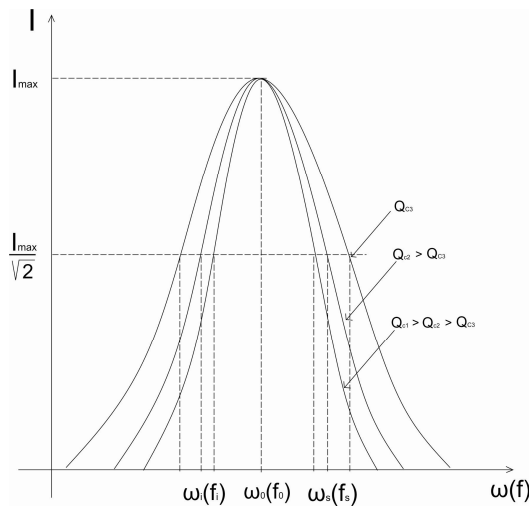
8) Factorul de calitate al circuitului

Factorul de calitate Q este util în determinarea comportării unui sistem din punct de vedere calitativ. Când un sistem este stimulat de un semnal sinusoidal, comportamentul rezonant depinde puternic de Q. Sistemele rezonante raspund mult mai puternic la frecvențe apropiate de frecvența lor de rezonanță decât la alte frecvențe. Un sistem cu un factor Q mare oscilează cu o amplitudine mai mare (la frecvența de rezonanță) decât unul cu Q mic, și răspunsul său scade mult mai rapid pe măsura ce frecvența se îndepărtează de frecvența de rezonanță.

a) *Rezonanța R,L,C – serie*

$$Q_c = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{LI\omega_0}{RI} = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1}{\sqrt{LC}}L = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} = \frac{R_0}{R}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



$$Q_c = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

b) *Rezonanța R,L,C paralel*

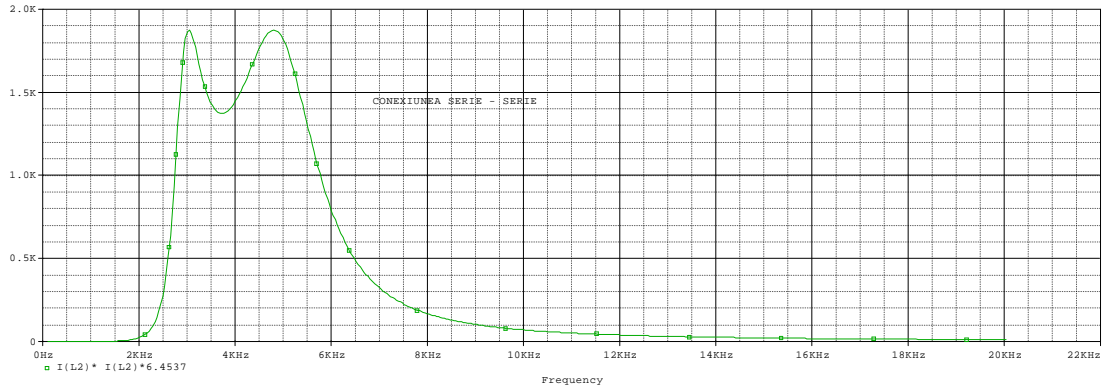
$$Q_c = \frac{I_{L0}}{I} = \frac{I_{C0}}{I} = \frac{1}{\omega_0 L} = \frac{CU\omega_0}{R^{-1}U} = \frac{C\omega_0}{R^{-1}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}CR = \sqrt{\frac{C}{L}}R = \frac{R}{R_0}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

9) Puterea transferata prin fenomenul Witricity

Prin simularea in PSpice a circuitelor am obtinut graficele puterilor active transferate.

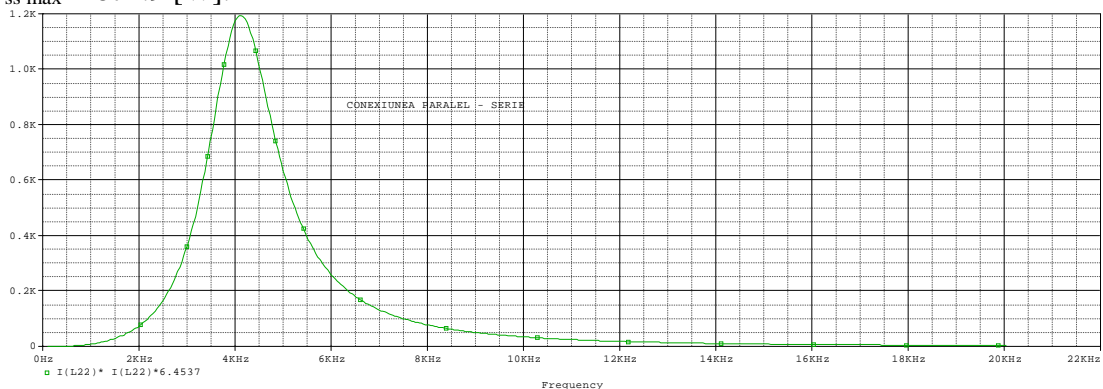
Puterile au fost calculate cu formula $P=I^2R$.



Conexiunea serie - serie

Frecventele pentru care reactanta circuitului echivalent Thevenin este zero sunt $f_1=3043.5189$ [Hz], $f_2=3560.6159$ [Hz], $f_3=4809.8234$ [Hz], unde f_2 este frecventa de rezonanta a fiecarui circuit considerat separat.

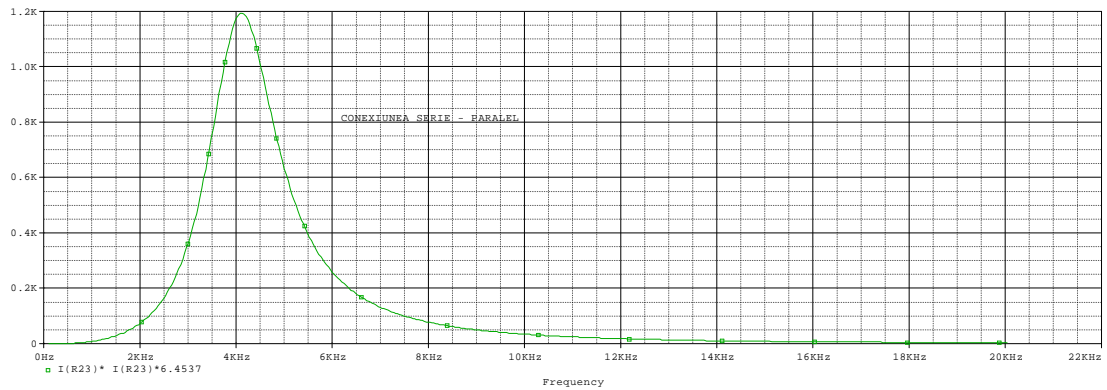
Puterea maxima transferata se obtine pentru frecventele f_1 si f_3 si are valoarea $P_{ss \max}=1874.9$ [W].



Conexiunea paralel - serie

Frecventa pentru care reactanta circuitului echivalent Thevenin este zero este $f=4127.9$ [Hz], frecventa la care puterea disipata este maxima. Se observa ca frecventa de rezonanta a sistemului este diferita de frecventa de rezonanta proprie fiecarui circuit.

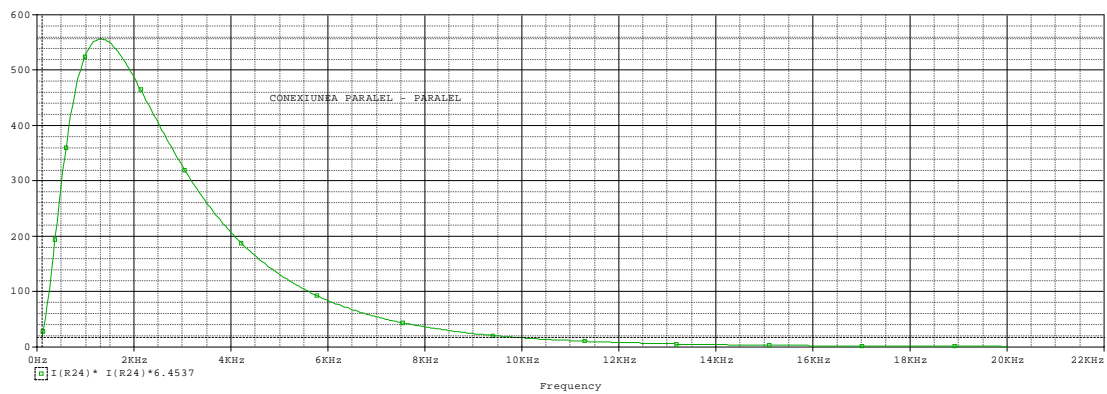
Puterea maxima disipata in montajul paralel serie este $P_{ps \max}=1194.5$ [W].



Conexiunea serie – paralel

Frecventa pentru care reactanta circuitului echivalent Thevenin este zero este $f=4127.9$ [Hz], frecventa la care puterea disipata este maxima.

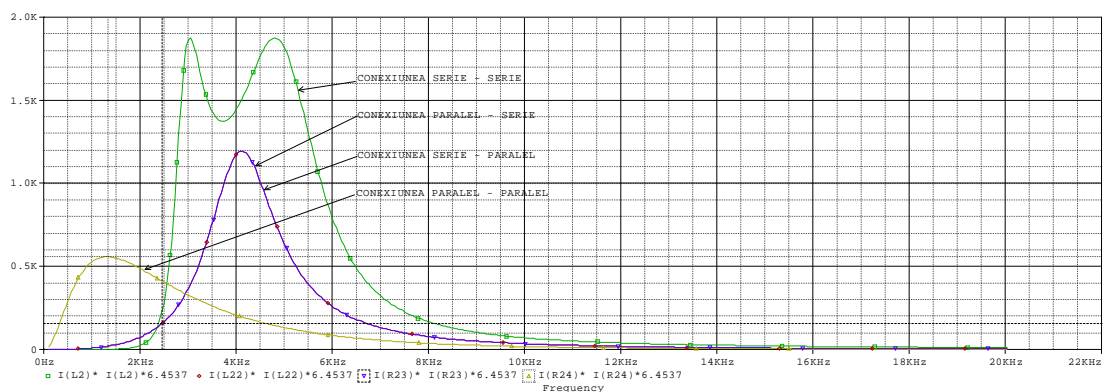
Se observa ca graficele puterilor disipate pentru circuitele serie – paralel si paralel – serie sunt identice, deci puterea maxima disipata in montajul serie - paralel este $P_{sp\ max}=1194.5$ [W].



Conexiunea paralel – paralel

Frecventa pentru care reactanta circuitului echivalent Thevenin este zero este $f=1336.3$ [Hz], frecventa la care puterea disipata este maxima. Se observa ca frecventa de rezonanta a sistemului este diferita de frecventa de rezonanta proprie fiecarui circuit.

Puterea maxima disipata pe circuitul secundar pentru conexiunea paralel - paralel este $P_{pp\ max}=556.45$ [W].



Din reprezentarea puterilor disipate, pe fiecare conexiune, in acelasi grafic se observa ca graficele puterilor disipate pentru circuitele serie – paralel si paralel – serie se suprapun (sunt identice).

Din graficul anterior observam ca eficienta cea mai scazuta o are conexiunea paralel – paralel, in timp ce pentru conexiunea serie – serie se obtine cel mai bun randament.

10) Valori numerice ale factorului de calitate

Tip conexiune	Valori colectate din grafice				
	$f_{\text{rezonanta}}$ [Hz]	P_{max} [W]	$P_{\text{max}}/\sqrt{2}$ [Hz]	Δf [Hz]	Q_c
Serie - Serie	3560.6	1874	1325	2666	1.3691
Paralel - Serie	4127.9	1194.5	844.3	1122	3.6774
Serie - Paralel	4127.9	1194.5	844.3	1122	3.6774
Paralel - Paralel	1336.3	556.45	393.5	1914	0.69817

11) Concluzii

Chiar daca principiul Witricity a fost enuntat de aproape un secol, de catre fizicianul sarb Nikola Tesla, dificultatile de realizare fac imposibile, la momentul actual, aplicarea la scara industriala a acestuia.

Probabil ca in viitor avantajele oferite de Witricity vor depasi dezavantajele legate de realizarea practica ansamblului de circuite.

12) Bibliografie

Bobine de reactanță fără miez feromagnetic, Anoaica Nicolae, Anoaica Paul - Gabriel
http://ro.wikipedia.org/wiki/Legea_induc%C8%9Biei_electromagnetice
<http://www.scribd.com/doc/50029972/30/Induc%C5%A3ia-electromagnetic%C4%83-Legea-Faraday>
http://telecom.etc.tuiasi.ro/telecom/staff/dionescu/discipline%20predate/cem%20referate/5502/nicolaica_mihai.pdf