

Gheorghe MIHAI

Carmen POPESCU

ÎNDRUMAR DE LABORATOR
PROPAGAREA ENERGIEI ELECTROMAGNETICE
ȘI CHESTIUNI SPECIALE DE ELECTROTEHNICĂ

**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ**

Gheorghe MIHAI

Carmen POPESCU

ÎNDRUMAR DE LABORATOR

**PROPAGAREA ENERGIEI ELECTROMAGNETICE
ȘI
CHESTIUNI SPECIALE DE ELECTROTEHNICĂ**



**Editura UNIVERSITARIA
CRAIOVA, 2014**

Referenți științifici:

Prof.dr.ing. Lucian **MANDACHE**

Conf.dr.ing. Iustinian **NEACĂ**

Copyright © 2014 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

GHEORGHE, MIHAI

Îndrumar de laborator : Propagarea energiei electromagnetice și chestiuni speciale de electrotehnică / Mihai Gheorghe, Carmen Popescu. - Craiova :

Universitaria, 2014

Bibliogr.

ISBN 978-606-14-0847-4

I. Popescu, Carmen

62

Tehnoredactor: **Ing. Carmen POPESCU**

Grafică copertă: **Ing. Carmen POPESCU**

Prefață

Aprofundarea fenomenelor prezentate la cursul de „**Propagarea energiei electromagnetice**” și a cursului de „**Chestiuni speciale de electrotehnică**” nu poate fi făcută decât îmbinând teoria cu practica. Pentru a obține îndemânarea practică, studenții vor trebui să depună eforturi susținute pentru însușirea temeinică atât a cunoștințelor teoretice cât și a montajelor experimentale, care trebuie să redea cu o precizie cât mai mare rezultatele teoretice. Confruntarea predicțiilor teoretice cu rezultatele experimentale conduc la concluzia că aceasta este singura cale prin care se justifică corectitudinea ideilor exprimate la curs. În general la curs, fenomenele sunt prezentate atât în formă generală, cât și în formă simplificată. În cazul verificărilor experimentale se urmărește scoaterea în evidență a fenomenelor esențiale, dar nu trebuie eliminate din calcul și fenomenele fizice secundare, care de multe ori datorită schemelor de montaj greșit alese, pot să devină fenomene dominante. Practica inginerească arată că „**fenomen fizic principal**” și „**fenomen fizic secundar**” sunt două noțiuni relative, în funcție de scopul propus. Experimentatorul este acela care prin montajul experimental conceput, face diferența dintre ele.

Autorii sunt recunoscători tuturor colegilor și studenților, care prin observații critice pertinente pot contribui la îmbunătățirea conținutului lucrărilor sau a tehnicilor de lucru, în același timp ne exprimăm recunoștința și respectul pentru profesorii **Marian Badea** și **Ioan Fetitșă**, ale căror idei stau la baza lucrărilor de laborator L4 și L10, ce au fost modificate în vederea evidențierii de noi fenomene fizice.

Conf.dr.ing.mat. Gheorghe MIHAI

Ing. Carmen POPESCU

L1

DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A VECTORULUI LUI POYNTING



1. Chestiuni teoretice

În lucrare ne propunem să studiem modul de propagare a energiei electromagnetice, în circuitele electrice parcurse de curenți. Variația în timp a curenților electrici poate fi o funcție oarecare. Cele două legi ale lui Maxwell sunt:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \varepsilon \frac{d\vec{E}}{dt} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

Înmulțim la stânga cele două relații cu \vec{E} respectiv \vec{H} și le scădem:

$$-\vec{E} \operatorname{rot} \vec{H} + \vec{H} \operatorname{rot} \vec{E} = -j\vec{E} - \varepsilon \vec{E} \frac{d\vec{E}}{dt} - \vec{H} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3)$$

Din analiza vectorială este cunoscut faptul că:

$$\operatorname{div}(\vec{E} \times \vec{H}) = \vec{H} \operatorname{rot} \vec{E} - \vec{E} \operatorname{rot} \vec{H} \quad (4)$$

astfel că relația (3) devine:

$$\operatorname{div}(\vec{E} \times \vec{H}) + j\vec{E} + \frac{d}{dt} \left(\frac{\varepsilon \vec{E}^2}{2} + \mu \frac{\vec{H}^2}{2} \right) = 0 \quad (5)$$

relația de mai sus reprezintă bilanțul energetic dintr-un punct din interiorul unui conductor parcurs de curent electric. Se observă că pe lângă energiile electrice, magnetice și termice, apare un termen nou, $\vec{E} \times \vec{H} = \vec{S}$, care se numește vectorul lui Poynting.

Divergența acestui termen este egală și de semn contrar cu suma dintre puterea dezvoltată prin efect Joule-Lentz și derivata în raport cu timpul a sumei dintre energia electrică și magnetică.

$$\operatorname{div} \bar{S} = -P_j - P_{el.m} \quad (6)$$

$$P_j = \bar{j} \bar{E} \quad (7)$$

$$P_{el.m} = \frac{d}{dt} (W_e + W_m) \quad (8)$$

2. Studiul vectorului lui Poynting pentru un condensator plan

Considerăm un condensator plan cu armăturile circulare, de rază R_0 și distanța h dintre armături, figura 1.

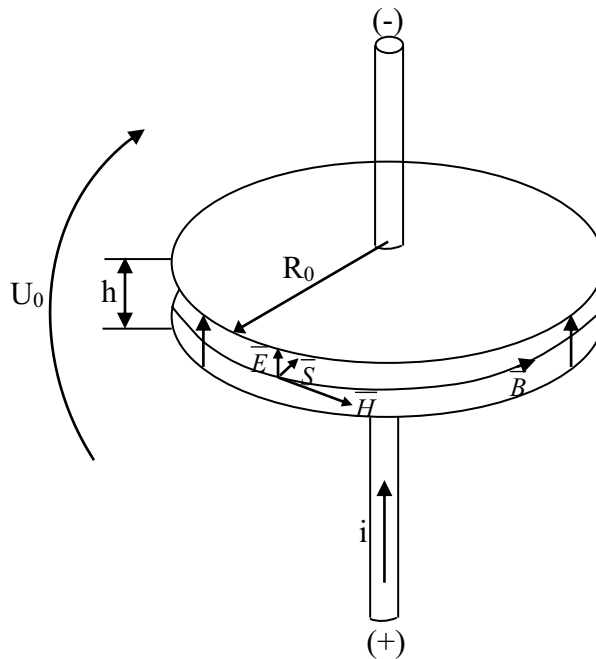


Figura 1

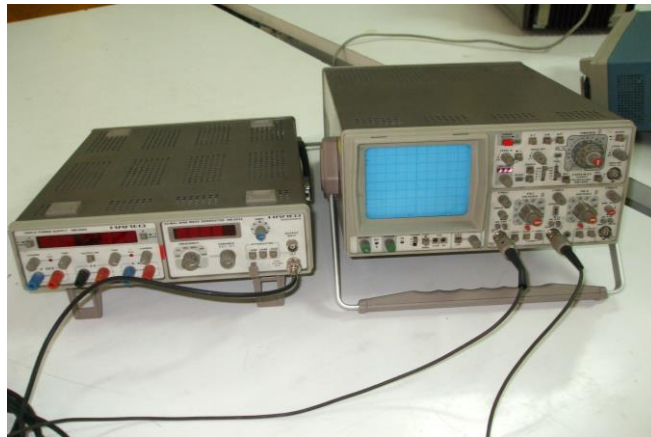
Pentru început, condensatorul este descărcat. Se conectează la o sursă de tensiune, de valoare: $u_0(t) = U_0 \sin(\omega t)$



Figura 2. Condensator plan

Energia electrică totală dintre plăcile condensatorului este:

$$W_e = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \bar{E}^2 (\pi R_0^2 h) \quad (9)$$



**Figura 3. Generator de frecvență
Osciloscop Tektronix**

Se introduce expresia câmpului electric dintre armăturile condensatorului $E = \frac{U_0}{h}$ și se obține:

$$W_e = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \pi \cdot R_0^2 \frac{U_0^2}{h} \quad (10)$$

Pentru un punct situat la distanța r de axa condensatorului (figura 1), intensitatea câmpului magnetic se obține: (aplicând legea circuitului magnetic pentru cercul de rază r)

$$2\pi \cdot rH = \varepsilon \frac{d\bar{E}}{dt} \pi \cdot r^2$$

de unde:

$$H = \varepsilon \frac{d\bar{E}}{dt} \frac{r}{2} = \frac{\varepsilon \cdot r}{2} \frac{1}{h} \frac{dU_0}{dt} \quad (11)$$

Fluxul vectorului \bar{S} prin suprafața cilindrică laterală de rază R_0 , este:

$$2\pi R_0 h (E \cdot H) = \varepsilon_0 \pi R_0^2 \frac{U_0}{h} \frac{dU_0}{dt}$$

$$S = \frac{\varepsilon_0 R_0 \omega U_0^2}{2h^2} \quad (12)$$

Prin derivarea relației (10) se obține același rezultat.

În concluzie, energia electrostatică "intră" între plăcile condensatorului, nu venind prin firele de legătură, ci prin suprafața laterală radial, după direcția data de vectorul lui Poynting.

$$R_0 = 0,15m, \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9}$$

$$h = 5 \cdot 10^{-3} m$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

3. Chestiuni de studiat

1. Se calculează intensitatea câmpului electric, \bar{E} , cu formula $E = \frac{U_0}{h}$.
2. Se calculează intensitatea câmpului magnetic, \bar{H} , cu formula (11).
3. Se calculează fluxul vectorului S cu formula (12).
4. Se măsoară inductivitatea și capacitatea antenei cu ajutorul punții electronice "LRC Meter".
5. Se determină frecvența de rezonanță a antenei cu formula $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.
6. Se determină factorul de calitate al antenei cu formula $Q = \frac{U_{\max \text{ antena}}}{U_{\text{emisie}}}$.
7. Se ridică experimental curba U_{antena} prin reglarea frecvenței între 1 MHz și 33 MHz.
8. Se compară curba teoretică cu cea experimentală.

4. Mod de lucru

1. Se execută montajul din figura 2, în care a,b reprezintă bornele cordonului Rogowsky, iar A, B, bornele de alimentare ale condensatorului.
 2. Se pune generatorul de semnal de frecvență variabilă (G.F.) pe domeniul "megahertz".
 3. Se vizualizează semnalul la osciloscop.
 4. Se reglează frecvența până când semnalul pe osciloscop devine maxim. Se determină frecvența de rezonanță a cordonului, care funcționează ca o antenă.
- Montajul lucrării de laborator se realizează astfel:

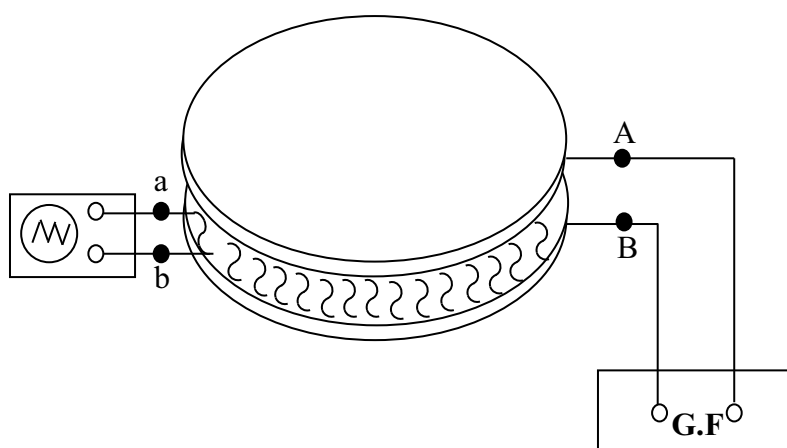


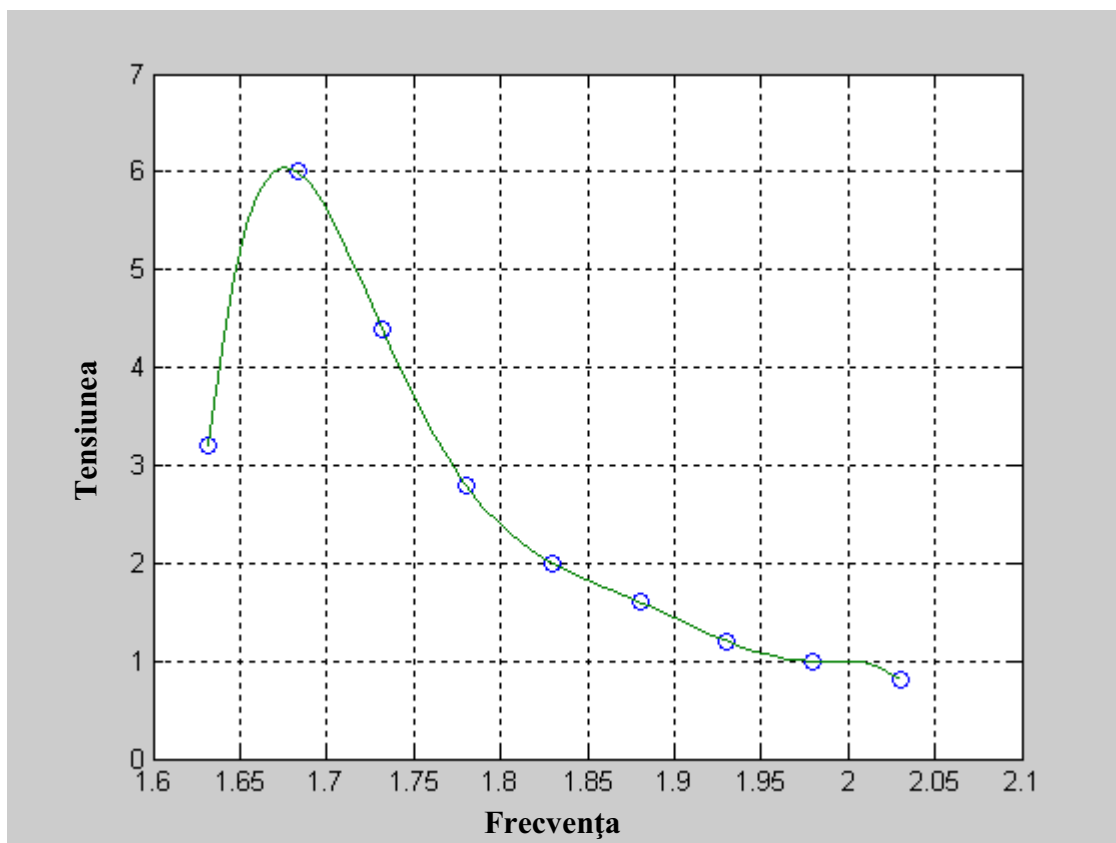
Figura 2

Tabel de date:

Frecvența	$U_{\text{recepție}}$	U_{emisie}

Datele experimentale vor fi prelucrate cu ajutorul programelor de specialitate MATLAB.

Folosind programul matematic MATLAB se va obține un grafic de forma (în funcție de datele citite):



Note și Observații