

OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE

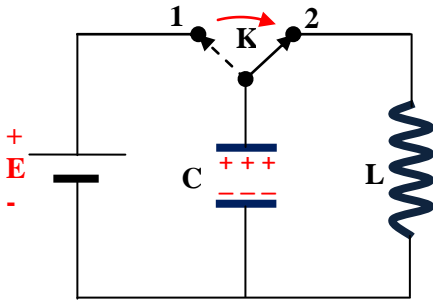


Fig. 1

1. Circuit oscilant. Producerea oscilațiilor electromagnetice libere

Se numește circuit oscilant circuitul închis format dintr-un condensator și o bobină grupate în serie.

Când comutatorul K este în poziția 1 condensatorul C se încarcă de la sursa E, iar când comutatorul K trece în poziția 2, condensatorul se descarcă prin bobina L.

Rezistența activă a circuitului, rezistența totală R_t , este suma dintre rezistența conductorilor de legătură și a conductorului din care este confecționată bobina.

Descărcarea condensatorului prin bobină poate fi:

a) Aperiodică, dacă $R_t \geq 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ (1)

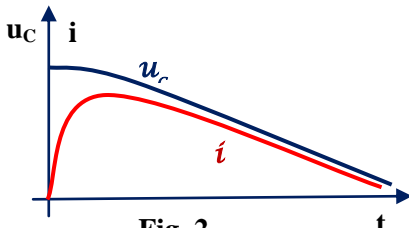


Fig. 2

După cum se vede în Fig. 2, în procesul de descărcare tensiunea u_c scade monoton la zero, în timp ce curentul i crește la o valoare maximă, după care scade și el la zero. În acest interval de timp, în care tensiunea practic se anulează, are loc un proces de transformare a energiei acumulate inițial în câmpul electric al condensatorului în căldură.

T.e.m. de autoinducție, care apare o dată cu descărcarea condensatorului prin bobină nu este suficientă pentru a produce reîncărcarea condensatorului

b) Periodică, dacă $R_t < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ (2)

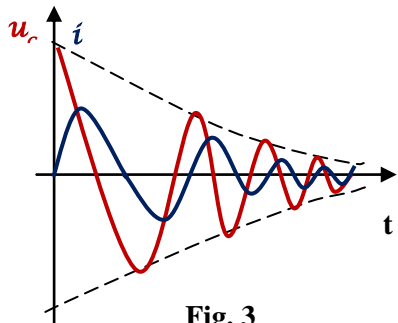


Fig. 3

Descărcarea periodică a condensatorului prin bobină presupune, de fapt, un proces de conversie a energiei câmpului electric dintre armăturile condensatorului în energie a câmpului magnetic din bobină.

Fiind străbătută de un curent variabil, bobina devine sursă de tensiune electromotoare variabilă, ca urmare a fenomenului de autoinducție.

Datorită acestui fapt bobina va reîncărca condensatorul cu sarcină electrică, dar de data aceasta sarcina electrică pe armăturile condensatorului va avea sensul invers. Tensiunea la bornele condensatorului u_c și intensitatea curentului i prin circuit au aspectul unor oscilații armonice amortizate, defazate cu un sfert de perioadă, Fig. 3.

Evident că fiecare proces de reconversie se face cu pierdere de energie sub formă de căldură, ceea ce explică amortizarea oscilațiilor electromagnetice. Amortizarea va fi cu atât mai mare cu cât R_t va fi mai mare.

Energia totală a unui circuit oscilant ideal, la un moment dat, este dată de suma dintre energia câmpului electric dintre armăturilor condensatorului și energia câmpului magnetic din bobină:

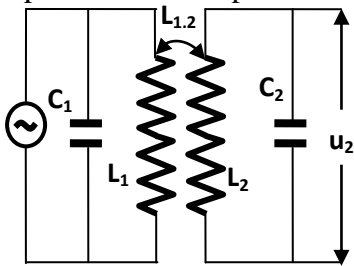
$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = \text{const.} \quad (3)$$

Oscilațiile tensiunii și curentului se produc fără acțiunea vreunei surse de energie din exterior, ci numai datorită excitației inițiale, ca urmare a încărcării condensatorului. Oscilațiile de acest fel se numesc **oscilații electromagnetice libere**.

Perioada oscilațiilor electromagnetice libere este dată de formula lui Thomson:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4)$$

Pentru a forța circuitul să oscileze cu amplitudine constantă este necesar să-i furnizăm, periodic, energia pe care acesta a pierdut-o sub formă de căldură.



Acest lucru s-ar putea face introducând în circuit o sursă de tensiune electromotrice alternativă. Problema este că, în acest caz, circuitul nu va mai oscila cu frecvența proprie, ci cu frecvența, perioada și amplitudinea sursei.

Acest tip de oscilații se numesc **oscilații forțate**.

Pentru a „obliga” circuitul să oscileze cu frecvența proprie, acesta se cuplează, de ex. inductiv, cu un circuit oscilant forțat, Fig. 4. În acest fel, circuitul va primi energia pierdută prin disipare de la circuitul forțat.

Acest tip de circuite se numesc circuite cuplate, iar $L_{1,2}$ se numește

Fig. 4
inductanță mutuală.

Din cele prezentate până acum, se desprinde ideea de bază, că **într-un circuit oscilant există câmp electric variabil și câmp magnetic variabil, care se generează reciproc**.

2. Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Ansamblul de câmp electric variabil și câmp magnetic variabil, care se generează reciproc se numește câmp electromagnetic, (Fig. 5).

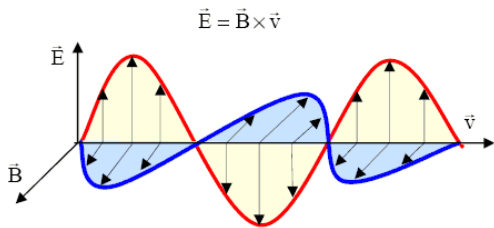


Fig. 5

Legătura dintre câmpul electric și câmpul magnetic a fost observată prima dată în anul 1820 de fizicianul danez [H. C. Ørsted](#), care împreună cu [A. M. Ampère](#), [J. Henry](#) și [M. Faraday](#) au stabilit principiile de bază ale electromagnetismului. În anul 1864 [J. M. Maxwell](#) a fundamentat toate observațiile legate de câmpul electromagnetic enunțând un set de ecuații, care-i poartă numele.

Unda electromagnetică este un câmp electromagnetic care se propagă.

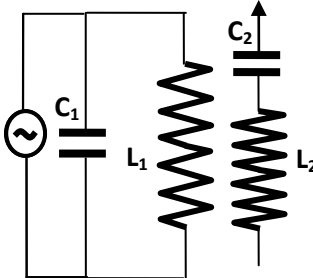


Fig. 6

Un circuit oscilant închis deși produce câmp electromagnetic nu poate emite unde electromagnetice.

Datorită geometriei și dimensiunii circuitului undele produse în laturile paralele se anulează reciproc.

Pentru a scăpa de acest inconvenient se folosește un ansamblu de două circuite oscilante: unul închis și celălalt deschis, cuplate inductiv, Fig. 6. Circuitul oscilant închis va produce unda electromagnetică, pe care o va induce circuitului oscilant deschis pentru a fi emisă într-un mediu oarecare, cel mai adesea aerul.

Circuitul oscilant deschis se numește **dipol**.

3. Antena

Antena este un dipol folosit pentru emisia sau recepția undelor electromagnetice. Cea mai simplă antenă

este un fir conductor izolat de pământ, de lungime: $l = \frac{\lambda_0}{2}$ (5)

O asemenea antenă se numește **dipol semiundă**.

Dacă antena se leagă la pământ atunci: $l = \frac{\lambda_0}{4}$ (5')

Orice antenă are capacitatea și inductanța uniform distribuite uniform pe toată lungimea. *O antenă are aprox. o capacitate de 5 pF și o inductanță de 2 μH pe fiecare metru de lungime.*

Din cele prezentate mai sus, deducem că o antenă poate emite sau recepționa o singură frecvență, lungime de undă. Pentru a putea emite sau recepționa mai multe frecvențe cu aceeași antenă este necesar să modificăm lungimea acestei antenei.

Nu este vorba de o modificare geometrică a antenei. „Lungimea” antenei se modifică prin inserarea în circuitul antenei a unei bobine și a unui condensator variabil. Bobina are rolul de a face antena să emită sau recepționeze lungimi de undă mai mari decât $2l$ (respectiv $4l$, în cazul legării la Pământ), iar condensatorul lungimi de undă mai mici.

OBSEVAȚIE: Același antenă poate fi folosită atât pentru emisia undei electromagnetice, cât și pentru recepția aceleiași unde.

4. Clasificarea undelor electromagnetice

Undele (radiațiile) electromagnetice pot fi grupate după fenomenul care stă la baza producerii lor. Astfel, radiațiile numite *hertziene* se datoresc oscilației electronilor în circuitele oscilante *LC* sau în circuitele electronice speciale.

Prin transformarea energiei interne a oricărui corp în energie electromagnetică rezultă *radiațiile termice*. Radiațiile electromagnetice, numite *radiațiile de frânare*, apar la frânarea bruscă a electronilor în câmpul nucleului atomic. *Radiațiile sincrotron* (denumirea se datorează faptului că acest fenomen a fost pus în evidență la o instalație de accelerare a electronilor în câmp magnetic, numit sincrotron) și au originea în mișcarea electronilor într-un câmp magnetic.

Acestor grupe de radiații le corespund anumite domenii de frecvențe.

Cea mai uzuală împărțire a radiațiilor electromagnetice se face însă după frecvența și lungimea sa de undă în vid.

Aceasta cuprinde următoarele grupe:

1) **Undele radio.** Domeniul de frecvență a acestor unde este cuprins între zeci de hertzi până la un gigahertz ($1\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$), adică au lungimea de undă cuprinsă între câțiva km până la 30cm. Se utilizează în special în transmisiile radio și TV. După lungimea de undă se subîmpart în unde lungi (2 km-600 m), unde medii (600-10 m), unde scurte (100-10 m) și unde ultrascurte (10 m-1cm).

2) **Microundele.** Sunt generate ca și undele radio de instalații electronice. Lungimea de undă este cuprinsă între 30cm și 1mm. În mod corespunzător frecvența variază între $10^9 - 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$. Se folosesc în sistemele de telecomunicații, în radar și în cercetarea științifică la studiul proprietăților atomilor, moleculelor și gazelor ionizate. Se subîmpart în unde decimetrice, centimetrice și milimetrice. Se mai folosesc și în domeniu casnic, cuptoarele cu microunde.

3) **Radiația infraroșie.** Cuprinde domeniul de lungimi de undă situată între 10^{-3} și $7,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ($3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$). În general sunt produse de corpurile încălzite. În ultimul timp s-au realizat instalații electronice care emit unde infraroșii cu lungimi de undă submilimetrice.

4) **Radiația vizibilă.** Este radiația cu lungimea de undă cuprinsă între aproximativ $7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ și $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

5) **Radiația ultravioletă.** Lungimea de undă a acestei radiații este cuprinsă în domeniul $3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ și $6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Este generată de către moleculele și atomii dintr-o descărcare electrică în gaze. Soarele este o sursă puternică de radiații ultraviolete.

6) **Radiația X** (sau Röntgen). Aceste radiații au fost descoperite în 1895 de fizicianul german [W.C.Röntgen](#). Ele sunt produse în tuburi speciale în care un fascicul de electroni accelerat cu ajutorul unei tensiuni electrice de ordinul zecilor de mii de volți, bombardează un electrod.

7) **Radiația γ .** Constituie regiunea superioară ($3 \cdot 10^{18} - 3 \cdot 10^{22} \text{ Hz}$) în clasificarea undelor electromagnetice în raport cu frecvența lor. Sunt produse de către nucleele atomilor.

5. Aplicații ale undelor electromagnetice

a) **Radiocomunicația** – este procesul de transmitere a informației la mare distanță, folosind câmpul electromagnetic.

În ce privește câmpul electromagnetic, trebuie să remarcăm un aspect foarte interesant că atât câmpul electric, cât și câmpul magnetic sunt câmpuri care se propagă pe distanțe scurte. Împreună, formând ansamblul numit câmp electromagnetic, se propagă pe distanțe foarte mari, de miliarde, de miliarde de kilometri.

Pornind de la această observație, oamenii au înțeles că acest nou tip de câmp poate fi folosit pentru transmiterea de informație la mare distanță.

Transmiterea de informații la mare distanță nu a fost o noutate pentru oamenii sec. al XIX-lea. Această activitate a fost un deziderat al oamenilor din cele mai vechi timpuri. Pentru a putea governa, șefii de state aveau nevoie să trimită ordine în toate colțurile statului și să primească rapoarte din cele mai îndepărtate locuri. În acest scop au inventat și construit drumurile, au îmblânzit animale, au inventat roata, au organizat poștele, etc. Dar toate aceste activități au pâlit în fața câmpului electromagnetic, care s-a dovedit un concurent redutabil în domeniul comunicațiilor la mare distanță, datorită eficienței, fiabilității și siguranței. Dezvoltarea unor tehnologii în domeniul telecomunicațiilor, utilizând câmpul electromagnetic, începute la

sfârșitul secolului al XIX-lea și continuate cu succes până în zilele noastre, demonstrează că studiul câmpului electromagnetic are o importanță deosebită pentru omul modern și a însemnat un salt calitativ și cantitativ de o amploare ne mai cunoscută până acum pe scara evoluției sociale...și când spun aceste lucruri nu trebuie să mă gândesc decât la internet, radio-televiziune, telefonie celulară...

Aplicarea acestor tehnologii este posibilă datorită undelor electromagnetice.

Transmiterea de informație la mare distanță, utilizând undele electromagnetice a deschis un drum nou în ce privește transmisia de informație la mare distanță.

Problema care trebuia rezolvată consta în faptul că de exemplu: undele sonore (sunetele) au o frecvență, așa cum am văzut, cuprinsă între 80 Hz și $20 \cdot 10^3$ Hz, dar aceste frecvențe se pot transmite doar pe distanțe foarte mici. Pe de altă parte undele electromagnetice se pot transmite pe distanțe foarte mari, dar nu pot fi recepționate (de ex. auzite) direct de om.

Problema a fost rezolvată prin suprapunerea celor două tipuri de unde: unda de joasă frecvență, care conține informația și poate fi auzită, peste unda de înaltă frecvență, care este suportul și se poate propaga pe distanțe mari. Unda electromagnetică, nou obținută se numește undă modulată.

Acest fenomen se numește modulație și se realizează cu ajutorul unui circuit electronic numit **modulator**. Evident că la celălalt capăt trebuie să existe un aparat asemănător care să conțină un alt circuit electronic, care să realizeze fenomenul invers, de separare a undei care conține informația de unda purtătoare. **Acest fenomen se numește demodulație**, iar circuitul electronic care realizează acest fenomen se numește **demodulator**.

Procedeele de modulație cele mai utilizate sunt:

- modulația în amplitudine, AM - asigură o calitate sonoră mai slabă, dar este mai simplu și mai ieftin de implementat. Unda modulată în amplitudine poate fi transmisă pe distanțe foarte mari. Folosește o lățime de bandă mai mică, și de aceea pot funcționa mai multe posturi radio într-o lățime de bandă anume. De exemplu posturile de radio transmise în banda de unde lungi, medii sau scurte. Radio AM funcționează în benzile 535 -1705 kHz
- modulația în frecvență, FM - este mult mai susceptibilă la interferențe decât AM. Semnalele FM sunt impactate mai mult de către barierele fizice (clădiri, etc.), dar asigură o calitate audio mai bună datorită lățimii de bandă mai mari folosite. Transmițătoarele și receptoarele FM sunt mai costisitoare și mai greu de implementat. De exemplu Europa FM, Kiss FM, etc. Radio FM funcționează în benzile 88-108 MHz.

Aparatul care conține modulatorul se numește emițător, iar cel care conține demodulatorul se numește receptor.

Un sistem de radio comunicație este alcătuit dintr-un emițător, un receptor, un sistem de antene și mediul de propagare. În sistemele moderne de comunicație, sistemul conține ambele aparate, emițătorul și receptorul.

b) RADIOLOCAȚIA

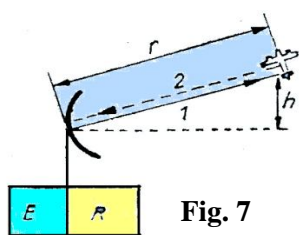


Fig. 7

Radiolocația reprezintă procesul de determinare a existenței și poziției a unui obiect în spațiu. Instalația de radiolocație se compune, în esență, dintr-un emițător, un receptor și un sistem de antene, Fig. 7. Un astfel de sistem se numește **radiolocator**. Pentru a se putea stabili coordonatele unghiulare ale poziției obiectului, undele radio trebuie emise sub forma unor fascicule mai înguste. Pentru aceasta, antena radiolocatorului se așează în focarul unei oglinzi metalice concave, care reflectă undele într-o singură direcție. Emițătorul emite trenuri de unde separate prin pauze, funcționând prin impulsuri. În timpul pauzelor de emisie, prin intermediu receptorului antena recepționează undele reflectate. Recepționarea semnalului se măsoară cu oscilografu catodic, Fig. 8.

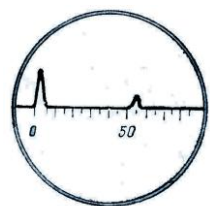


Fig. 8

Utilizări: În navigație, avioanele și vapoarele sunt dotate cu radiolocatoare, ca și aeroporturile care sunt prevăzute cu acest echipament pentru a dirija traficul aerian, respectiv aterizările și decolările avioanelor.

În natură: Orientarea liliecilor, spre exemplu, se bazează pe faptul că aceștia emit semnale în domeniul de frecvență al undelor ultrascurte, de frecvențe între 30 – 60 kHz. Liliacul, în zbor, emite în medie cca. 30 semnale pe secundă. O parte din acestea sunt recepționate de

urechile mari ale liliacului sub formă de semnale ecou, după un timp cu atât mai scurt cu cât obstacolul este mai aproape. Pe măsura apropierii de obstacol liliacul emite din ce în ce mai multe semnale într-o secundă ajungând ca de exemplu la un metru de obstacol să emită până la 60 semnale pe secundă. Aceasta permite liliacului să „simtă” precis poziția sa față de obstacole.

ACTIVITĂȚI DE FIXARE A CUNOȘTINȚELOR ȘI EVALUARE.

A. Răspunde la următoarele întrebări:

1. Ce este un circuit oscilant?
2. Ce este fenomenul de autoinducție?
3. Ce sunt oscilațiile forțate?
4. Ce sunt circuitele cuplate?
5. Ce este câmpul electromagnetic?
6. Ce este un dipol?
7. Ce este o antenă?
8. Ce este o antenă semiundă?
9. Ce sunt undele radio?
10. Ce sunt microundele?
11. Ce sunt undele infraroșii?
12. Ce este radiocomunicația?
13. Care sunt părțile unui sistem de radiocomunicație?
14. Ce este modulația?
15. Precizați în 2-3 propoziții principiul modulației în amplitudine, AM.
16. Precizați în 2-3 propoziții principiul modulației în frecvență, FM.
17. Precizați în 2-3 propoziții avantajele și dezavantajele celor două tipuri de modulație.
18. Ce este radiolocația?
19. Explicați în 2-3 propoziții funcționarea unui sistem de radiolocație.
20. Prezentați în 2-3 propoziții modul de orientare al liliacilor.

B. Utilizând formulele prezentate în textul de mai sus, rezolvă următoarele probleme:

1. Ce inductanță trebuie să aibă un circuit oscilant care conține un condensator cu capacitatea $C=2 \mu\text{F}$, pentru a produce oscilații cu frecvența $\nu=10^3 \text{ Hz}$? Se neglijează rezistența circuitului.
R: $L=12,7 \cdot 10^{-3} \text{ H}$.
2. Cum se schimbă perioada și frecvența oscilațiilor electromagnetice libere într-un circuit oscilant, dacă mărim capacitatea de 9 ori și micșorăm inductanța de 4 ori?
R: $T = \frac{3}{2}T_0$; $\nu = \frac{2}{3}\nu_0$.
3. Într-un circuit oscilant cu capacitatea $C=10^{-6} \text{ F}$ și inductanța $L=2 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ se produc oscilații electromagnetice libere, neamortizate. Cunoscând valoarea tensiunii maxime pe condensator $U_m=10 \text{ V}$ să se determine curentul maxim în circuit.
R: $I_m=2,23 \text{ A}$.
4. Intensitatea curentului într-un circuit oscilant variază cu timpul după legea: $i=0,01 \cdot \cos 1000t$. Determinați inductanța circuitului, știind că valoarea capacității condensatorului este $C=2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$.
R: $L=0,05 \text{ H}$.
5. Viteza de propagare a unei unde electromagnetice printr-un mediu oarecare este $v=0,9c$. Știind că frecvența undei este $\nu=10^{12} \text{ Hz}$, să se calculeze: a) perioada și lungimea de undă a undei; b) spațiul parcurs de undă în timpul $t=3 \mu\text{s}$.
R: a) $T=10^{-12} \text{ s}$, $\lambda=2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$; b) $s=810 \text{ m}$.
6. Pentru ce lungime de undă este adaptat un radioreceptor al cărui circuit oscilant are capacitatea $C=8 \text{ nF}$ și inductanța proprie $L=2 \text{ mH}$?
R: $\lambda=7356 \text{ m}$
7. Durata impulsului unui semnal radar este $t_r=0,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}$, iar frecvența de repetiție a semnalului este $\nu=1500 \text{ impulsuri/s}$. Să se calculeze distanțele între care operează radiolocatorul.
R: $l_{\min}=90 \text{ m}$, $l_{\max}=100 \text{ km}$.

8. O antenă legată la pământ recepționează unde electromagnetice cu frecvența $\nu=0,95$ MHz. Să se calculeze: a) lungimea de undă a undelor respective; b) lungimea proprie a antenei.
R: a) $\lambda=314$ m; b) $l=78,5$ m.
9. Lungimea unei antene este $l=200$ m. Să se determine: a) frecvența undelor emise de antenă; b) inductanța circuitului oscilant de recepție a acestor unde știind capacitatea condensatorului $C=1,5$ pF.
R: a) $\nu=0,75$ MHz; b) $L=29,6$ mH.
10. Se dau două circuite oscilante în care $L_1=4,5 \cdot 10^{-3}$ H, $C_1=2 \cdot 10^{-9}$ F și $L_2=3 \cdot 10^{-3}$ H, dintre care primul este excitator, iar al doilea rezonator. Să se calculeze: a) capacitatea celui de al doilea circuit oscilant, dacă cele două circuite sunt la rezonanță; b) frecvența de acordare a celor două circuite.
R: a) $C_2=3 \cdot 10^{-19}$ F; b) $\nu=53$ kHz

BIBLIOGRAFIE:

1. Vlăducă Gh. ș.a – Probleme de fizică, pentru clasele XI-XII, Editura Didactică și Pedagogică, București 1983.
2. Cone G, Stanciu Gh. – Probleme de fizică pentru liceu, vol. 2, Editura Academiei, 1988
3. Enescu G. – FIZICĂ, Manual pentru clasa a XI-a, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994.
4. <http://ro.wikipedia.org/wiki>.
5. <http://www.scritube.com/stiinta/fizica>.
6. <http://www.walter-fendt.de/ph14ro>
OBSERVAȚIE: Cuvintele de culoare albastră, subliniate conțin hyperlink-uri. Accesându-le obțineți informații suplimentare.