

Legea Faraday

Cuvinte cheie: bobină , inductanță(L), inducție, sursă de tensiune, tensiune alternativă, linii de câmp magnetic, densitate de flux magnetic, suprafață orientată (\vec{S}), flux magnetic (Φ), produs scalar

Principiu

Un magnet permanent cade printr-o bobină cu diferite viteze, și tensiunea care apare prin inducție va fi măsurată. Scopul acestui experiment este de a arăta că tensiunea electrică totală indusă este o constantă în timpul căderii magnetului, și anume: este independentă de viteza cu care cade magnetul.

Obiective

1. Observați forma de undă a tensiunii electrice induse atunci când un magnet cade printr-o bobină.
2. Observați forma de undă a tensiunii electrice induse pentru diferite orientări ale magnetului.
3. Determinați cum influențează numărul de spire dintr-o bobină tensiunea electrică indusă .
4. Determinați cum este influențată tensiunea electrică indusă dacă magnetul cade de la diferite înălțimi.

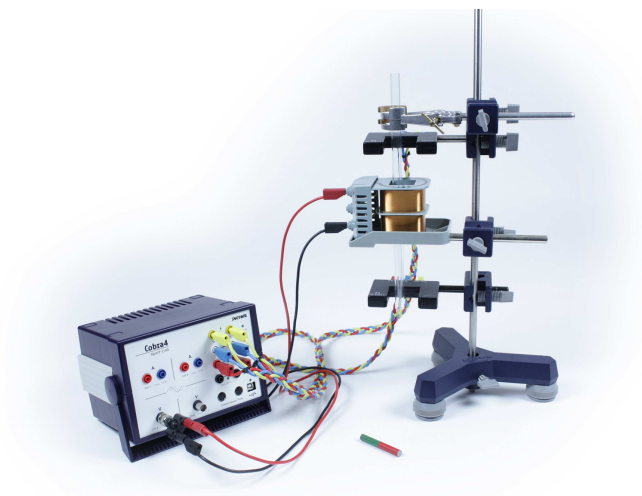


Figura 1: Montaj experimental - Legea Faraday

Echipament

| | |
|--|---|
| Cobra4 Xpert-Link | 1 |
| Bază trepied PHYWE | 1 |
| Cilindru metalic suport, l=500mm | 1 |
| Cleme perpendiculare | 4 |
| Senzori de trecere | 2 |
| Support bobină | 1 |
| Bobină, 3600 spire | 1 |
| Clemă universală | 1 |
| Tub de sticlă, exterior d=12mm, interior d=10mm, l=300mm | 1 |
| Magnet, d=8mm, l=60mm | 1 |
| Adaptor, mufă BNC/ socket 4mm | 1 |
| Cablu de legătură, 32A, 750mm, roșu | 1 |
| Cablu de legătură, 32A, 750mm, negru | 1 |
| Cablu de legătură, 32A, 1000mm, roșu | 2 |
| Cablu de legătură, 32A, 1000mm, galben | 2 |
| Cablu de legătură, 32A, 1000mm, albastru | 2 |

Mod de lucru

Porniți procesul de măsurare în **measureLAB**.

- Pentru a activa aparatul de măsurare, alegeți Xpert-Link din meniul din dreapta și lăsați-l activ.
 - Alegeți domeniul corect de măsurare. Alegeți modul de măsurare Xpert-Link din meniul din dreapta și apăsați simbolul roțiță. Alegeți un domeniu de 10 V pentru canalul "CH3". Validați noile setări.
 - Pentru măsurători automate, alegeți declanșatorul cu intrarea "T1" la marginea unde cade magnetul și alegeți totodată declanșatorul de oprire cu intrarea "T2" la marginea unde iese magnetul. Validați noile setări.
1. Apăsați butonul de pornire a măsurătorii. Măsurătoarea nu va începe instantaneu. Ea trebuie declanșată de senzorul de lumină superior aflat în calea magnetului. Pentru a asigura în mod repetat aceiași înălțime pentru căderea magnetului, țineți cu mâna magnetul de centrul lui, introduceți-l pe jumătate în tubul de sticlă cu partea roșie(polul nord) în jos. Apoi, lăsați-l să cadă liber și prindeți-l la ieșire din bobină. Măsurătoarea va înceta automat când magnetul va trece prin dreptul celui de-al doilea senzor de lumină.
 2. Scopul celei de-a doua măsurători este de a observa influența orientării magnetului. Apăsați din nou butonul de pornire a măsurătorii și lăsați magnetul să cadă prin tubul de sticlă ca mai înainte, dar de data aceasta cu partea verde (polul sud) în jos.
 3. Scopul celei de-a treia măsurători este de observa efectul asupra formei tensiunii electrice atunci când bobina are un număr de spire înjumătățit.
 4. Scopul celei de-a patra măsurători este de a determina efectul asupra formei tensiunii electrice atunci când tubul de sticlă este fixat mai sus, și magnetul cade de la înălțimi mai mari prin bobine.

Observații

Căderea magnetului induce o tensiune electrică semnificativă în bobină, atât pozitivă cât și negativă.

Când magnetul este lăsat să cadă cu celălalt pol în jos, semnul tensiunii electrice se schimbă. Când numărul de spire din bobină este redus la jumătate, tensiunea electrică indusă se reduce de asemenea la jumătate.

Din cauza gravitației, și deci a căderii accelerate a magnetului, prima parte a formei unde tensiunii electrice este mai extinsă și mai joasă, iar cea de-a doua parte a formei unde tensiunii electrice este mai comprimată și mai înaltă.

Teorie și evaluare

Tensiunea electrică care se induce în conductorul bobinei este descrisă de a treia ecuație Maxwell, și mai precis de **Legea inducției Faraday**. Ea spune că un flux magnetic variabil în timp printr-o suprafață Σ_Γ produce un câmp electric rotitor pe curva Γ :

$$\int_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_{\Sigma_\Gamma} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

unde \vec{E} este intensitatea câmpului electric, $d\vec{l}$ este o porțiune infinitesimală din curba Γ , \vec{B} este inducția magnetică și $d\vec{s}$ este o bucată infinitesimală din suprafața Σ_Γ .

Acest lucru înseamnă că intensitatea câmpului electric indus \vec{E} de-a lungul unui conductor $d\vec{l}$ închis sub forma unei bucle Γ este proporțională cu fluxul magnetic $\partial \vec{B}$ a inducției care înțeapă suprafața care Σ_Γ care se sprijină pe bucla Γ .

Când magnetul permanent intră prin suprafața care delimitează bobina, liniile de câmp magnetic ale acestuia, care ies din polul nord și se închid la polul sud, înțeapă suprafața bobinei. Din cauza căderii magnetului, poziția lui relativă față de bobină se schimbă, și deci și câmpul magnetic activ care se manifestă în această zonă se schimbă. În acord cu **Legea inducției**, se manifestă astfel un câmp electric în conductorul bobinei. Rezultă astfel o tensiune electrică indusă între două puncte de pe bucla conductorului:

$$U_{\text{electrică}} = \int_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{\Gamma} \frac{\vec{F}}{q} \cdot d\vec{l} = \frac{L}{q} \quad (2)$$

$$-\frac{d\Phi}{dt} = - \iint_{\Sigma_\Gamma} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

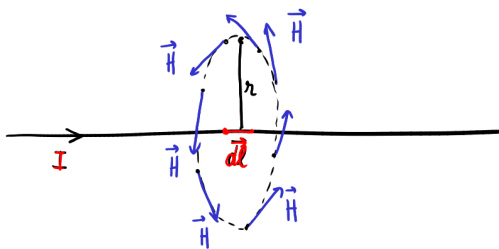
$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

Dacă bobina are N spire atunci:

$$U = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

Tensiunea electrică indusă este direct proporțională cu numărul de spire N și cu variația fluxului magnetic în timp. Pe de altă parte fluxul magnetic este : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$.

$$\Phi = -\frac{1}{N} \int U dt = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad (6)$$

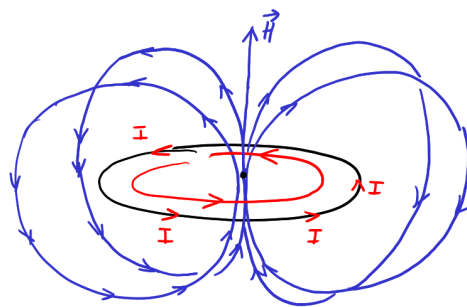


$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

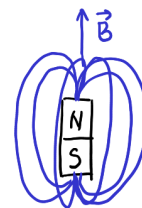
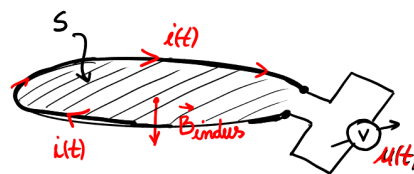
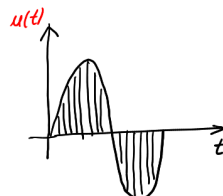
LEGEA BIOT-SAVART
(1821)

În jurul unui conductor liniar parcurs de un curent electric I se manifesta un câmp magnetic \vec{H} rotitor.

ØRSTED (1820) pune în evidență acest câmp magnetic cu ajutorul unei busole adus în apropierea conductorului:



LEGEA INDUCȚIEI (FARADAY)
(1831)

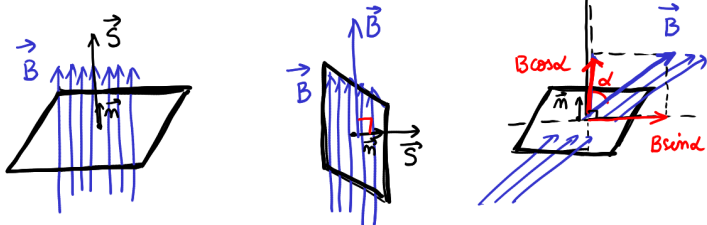
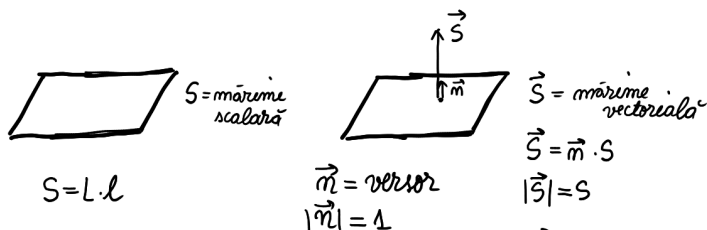


La trecerea unui magnet printre-o spirală se induce în spirală un curent $i(t)$ care generează un câmp magnetic indus \vec{B}_{indus} care se opune trecerii magnetului \vec{B} prin suprafața S a spiralei.

$$u(t) = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

"Eu tensiunea cea indusă $u(t)$ întotdeauna m-am opus sursei care m-a produs $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ "

FLUX MAGNETIC (Φ)



$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad \Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad \Phi = (B \cos \alpha) \cdot S$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ \quad \Phi = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ \quad \Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

$$\Phi = B \cdot S \quad \Phi = 0 \quad \boxed{\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}}$$

flux maxim flux nul flux magnetic prin suprafața \vec{S}

Pe măsură ce magnetul se apropie de spirală tot mai multe linii de câmp magnetic \vec{B} intră în suprafața \vec{S} a spiralei. Rezultă o creștere a fluxului $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$. În cadrul spiralei apare un curent $i(t)$ care se opune creșterii acestui flux. Conform principiului acțiunii și reacțiunii: adevărata cauză a mișcării magnetului prin spirală, reacțiunea este apariția curentului indus $i(t)$ și deci a \vec{B}_{indus} opus lui \vec{B} .

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow \boxed{L = \frac{\Phi}{I}} \Rightarrow \Phi = L \cdot i(t) \Rightarrow u(t) = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta (L \cdot i(t))}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{u(t) = - L \cdot \frac{di}{dt}}$$

tensiunea la bornele spiralei $u(t)$

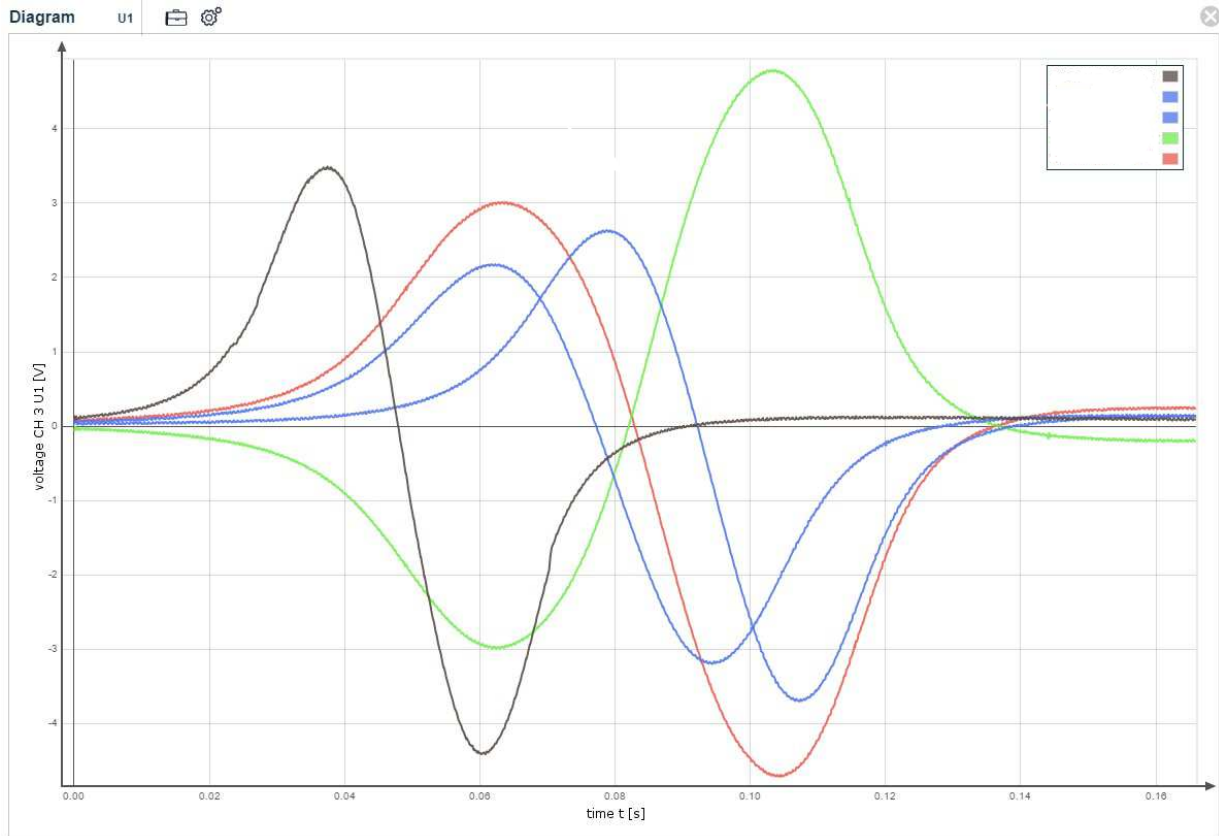


Figura 2: Exemple de măsurători incluzând diferitele orientări ale magnetului în cădere (curba roșie și curba verde), număr redus de spire în bobină (curba albastră), căderi de la înălțime din nou cu număr redus de spire (curba neagră)

1. Comportamentul bobinei la căderea magnetului prin ea

La începutul măsurătorii (vezi curba roșie din Fig.2), poate fi observată o creștere a tensiunii electrice induse. Din cauza apropierii magnetului, un număr mai mare de linii de câmp magnetic înțeapă aria transversală a bobinei, rezultând într-un flux magnetic variabil prin această suprafață, și deci, rezultând o tensiune electrică pe conturul suprafeței.

Odată ce magnetul a intrat complet în bobină, toate liniile de câmp care ies din magnetul în dreptul polului nord și care intră în magnet în dreptul polului sud înțeapă suprafața transversală a bobinei. În această clipă fluxul este maxim, derivata fluxului este nulă, și deci tensiunea electrică este nulă. De aici încolo fluxul magnetic descrește. Astfel că, acum fluxul magnetic descrește pentru că magnetul iese din bobină. Derivata fluxului, cu alte cuvinte variația fluxului, este nenulă și rezultă astfel din nou o tensiune electrică dar de sens opus de data aceasta.

Ca o observație, se poate vedea că valorile maxime ale tensiunii electrice, când magnetul intră și iese din bobină, diferă între ele. Trebuie luat în considerare faptul că atunci când magnetul cade prin bobină, el cade accelerat în câmp gravitațional. Pentru că la ieșirea din bobină magnetul are o viteză mai mare, variația fluxului magnetic este mai mare, și deci și tensiunea electrică indusă este mai mare. În același timp, această variație are loc într-un timp mai scurt, și ariile de sub grafic din cele două părți ale formei tensiunii electrice rămân identice în acord cu legea inducției. Aria din prima parte este mai întinsă și mai aplatizată, în timp ce aria din a doua parte este mai comprimată și mai înaltă.

2. Căderea magnetului cu orientarea schimbată

Dacă magnetul cade prin bobină de la aceeași înălțime dar cu polul sus în jos în loc de polul nord, profilul calitativ al tensiunii electrice induse este identic. Tensiunea, totuși, are un semn opus (curba verde). Din moment ce liniile de câmp ies din polul nord și intră în polul sud, de data asta ele înțeapă suprafața Σ_{Γ} a bobinei în sensul opus. Rezultă astfel un flux magnetic opus, și deci, o tensiune electrică oglindită ca semn.

3. Număr redus de spire în bobină

Cele două curbe albastre, din exemplul de măsurători din Fig.2 au fost înregistrate cu un număr înjumătățit de spire în bobine. Din moment ce tensiunea electrică indusă U este proporțională cu numărul de spire N , aria de sub curbe este de asemenea jumătate ca valoare față de când era numărul întreg de spire.

Decalajul dintre cele două curbe albastre, din punct de vedere al manifestării maximelor de tensiune, poate fi pus din nou pe seama căderii accelerate în câmp gravitațional, ținând cont că în a două jumătate de bobine magnetul cade mai rapid, iar în prima mai lent relativ la prima jumătate.

4. Căderi de la înălțimi diferite

Curba neagră din Fig.2 a fost măsurată lăsând ca magnetul să cadă de la o înălțime mai mare și bobina având numărul de spire înjumătățit (comparat cu curba albastră). Devine evident că tensiunea electrică maximă indusă crește considerabil atunci când viteza magnetului crește în căderea lui. În timpul căderilor magnetului prin bobină, o cantitate rămâne constantă:

$$\int U dt = -N \cdot \Phi = N \cdot |B| \cdot |S| \quad (7)$$

Această integrală, care **verifică cantitativ** de altfel **Legea inducției**, depinde doar de inducția magnetului B , de suprafața transversală a bobinei S și de numărul de spire din bobină.