

Noțiunea de câmp învârtitor

Tematica: *Mașini electrice*

→ **Capitol:** *Mașini electrice cu câmp învârtitor*

→ **Secțiunea:** *Principii*

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

Această expunere arată cum este posibil, ca având bobinaje care asigură o repartiție sinusoidală a câmpului din întrefier, să se obțină un câmp învârtitor.

- cunoștințe anterioare necesare:
- nivel: ciclul 2
- resurse ajutătoare:
- durata estimată:
- autor: [Damien Grenier](#)
- realizare: Sophie Labrique
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

1. Înfășurare ce asigură o repartiție sinusoidală a câmpului în întrefier

Se consideră o mașină cu poli înecați, ce are o înfășurare cu o pereche de poli, care asigură o repartiție a câmpului din întrefier ce este sinusoidală, sau se consideră a fi sinusoidală, neținându-se cont decât de prima amonică (fundamentală).

În figura de mai jos se reprezintă această înfășurare printr-o singură spirală, plasată astfel încât axa sa magnetică coincide cu cea a înfășurării. Curentul i_a ce parcurge înfășurarea, se consideră pozitiv, dacă el circulă prin conductorul din dreapta înspre planul de secționare (marcat cu o cruce) și deci, prin conductorul din stânga, va circula dinspre planul de secționare (marcat cu un punct). Dacă acest curent i_a este continuu, înfășurarea va produce, în orice punct M din întrefier (poziționat prin coordonata sa unghiulară θ , figura 1), un câmp radial a cărui valoare $B_{e,a}$ este:

$$B_{e,a} = K \cdot i_a \cdot \cos(\theta - \theta_a),$$

în care θ_a corespunde poziției axei magnetice a înfășurării, aici egală cu 0, iar K este un coeficient care depinde de modul în care înfășurarea este realizată (vom vedea într-un laborator virtual un exemplu de calcul al acestui coeficient) "[Realizarea unui bobinaj sinusoidal](#)".

Inducția $B_{e,a}$ are valori pozitive în cazul în care câmpul este orientat dinspre rotor spre stator și negative, dacă este orientat dinspre stator spre rotor.

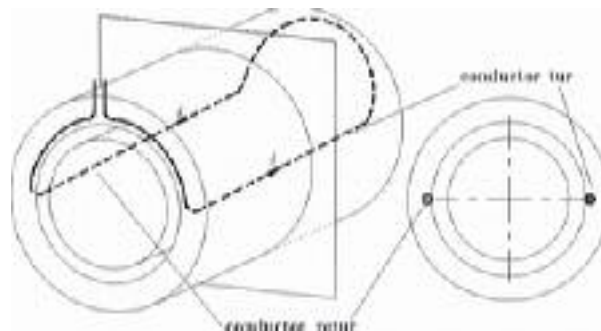


Figura 1: Reprezentare schematică a unei înfășurări cu o pereche de poli ce asigură o repartiție sinusoidală a câmpului din întrefier

Ipoteze

Ipotezele care conduc la această repartiție sunt expuse în capitolul 2, § 2A.1.3 al cărții "[Electromécanique: convertisseurs d'énergie et actionneurs](#)".

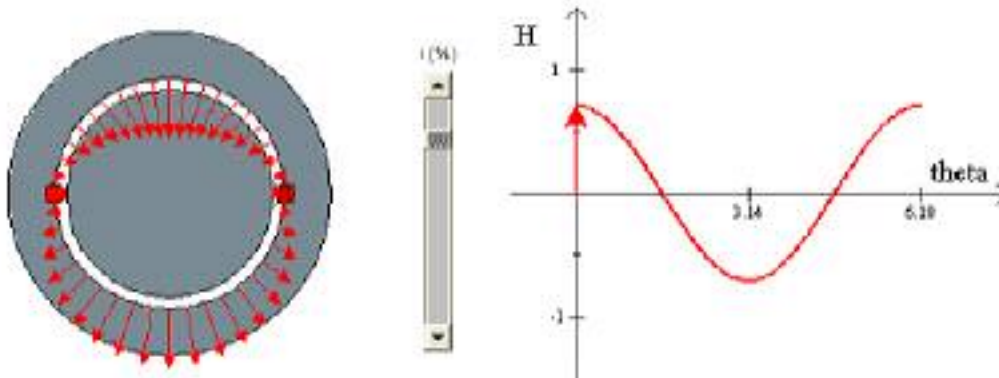
Ele constau în a considera că:

- permeabilitatea materialelor magnetice este suficient de mare astfel încât să se poată considera infinită, ceea ce înseamnă că intensitatea câmpului H în aceste materiale este suficient de mică pentru a putea fi considerată nulă;
- întrefierul este suficient de mic, astfel încât, câmpul, ce este radial la suprafața de separație dintre coroana statorică și întrefier, rămâne radial și în întrefier și are o valoare constantă de-a lungul tuturor liniilor de câmp.

2. Câmp în întrefier creat în funcție de curentul ce străbate înfășurarea

Întrebări:

- Care este alura curbei ce reprezintă valoarea inducției $B_{e,a}$ a câmpului din întrefier, în funcție de unghiul θ ?
- Cum evoluează această curbă în funcție de valoarea curentului?



3. Variația sinusoidală a curentilor în funcție de timp

În cazul în care curentul are o variație sinusoidală:

$$i_a = I_{max} \cdot \cos(\omega t)$$

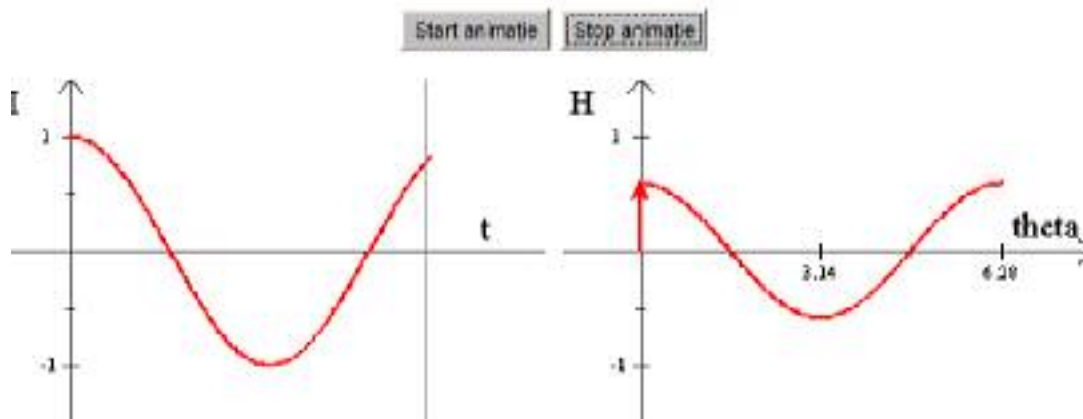
rezultă:

$$B_{e,a} = K \cdot I_{max} \cdot \cos(\theta - \theta_a) \cdot \cos(\omega t)$$



Întrebare:

- Cum evoluează în timp curba ce reprezintă $B_{e,a}$ în funcție de θ ?



Se observă că inducția $B_{e,a}$ este un **câmp pulsatoriu**, echivalent unei **unde staționare**. Amplitudinea ei variază în toate punctele întrefierului, dar

- pozițiile la care amplitudinea este maximă (în valori absolute) sunt invariante. Este vorba de unghiurile $\theta = k\pi$ (k întreg), ce corespund ventrelor undei staționare.
- pozițiile pentru care amplitudinea este nulă sunt, de asemenea, invariante. Este vorba de unghiurile $\theta = (2k+1)\pi/2$ (k întreg), ce corespund nodurilor undei staționare.

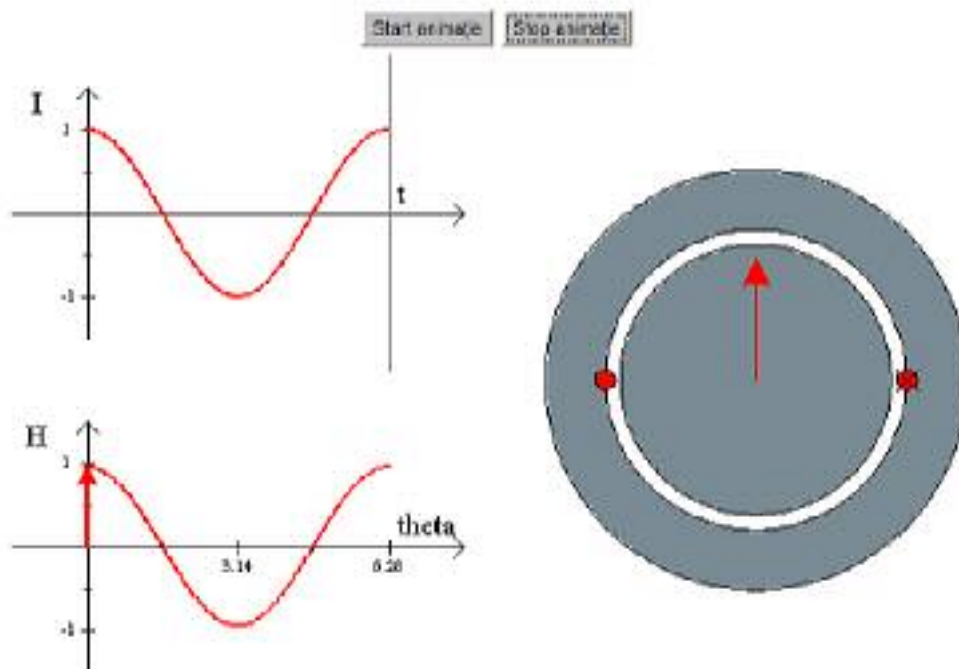
4. Reprezentarea a câmpului pulsatoriu printr-un vector

Într-un plan de secționare a mașinii, câmpul pulsatoriu $B_{e,a}$ poate fi reprezentat printr-un vector:

- originea vectorului este în centrul planului de secționare,
- direcția lui indică poziția θ a maximumului inducției $B_{e,a}$,
- lungimea este proporțională cu valoarea maximă a inducției $B_{e,a}$.

Cum ventrele undelor staționare care reprezintă forma inducției $B_{e,a}$, sunt situate mereu la $\theta = k\pi$, se obține vectorul reprezentativ al inducției $B_{e,a}$ pe direcția axei, având originea în centrul planului de secționare, direcția este $\theta = \theta_a = 0$, iar lungimea este:

$$B_{e,a}(\theta_a) = K \cdot I_{max} \cdot \cos(\omega t)$$



5. Cazul a trei înfășurări decalate spațial la câte 120°

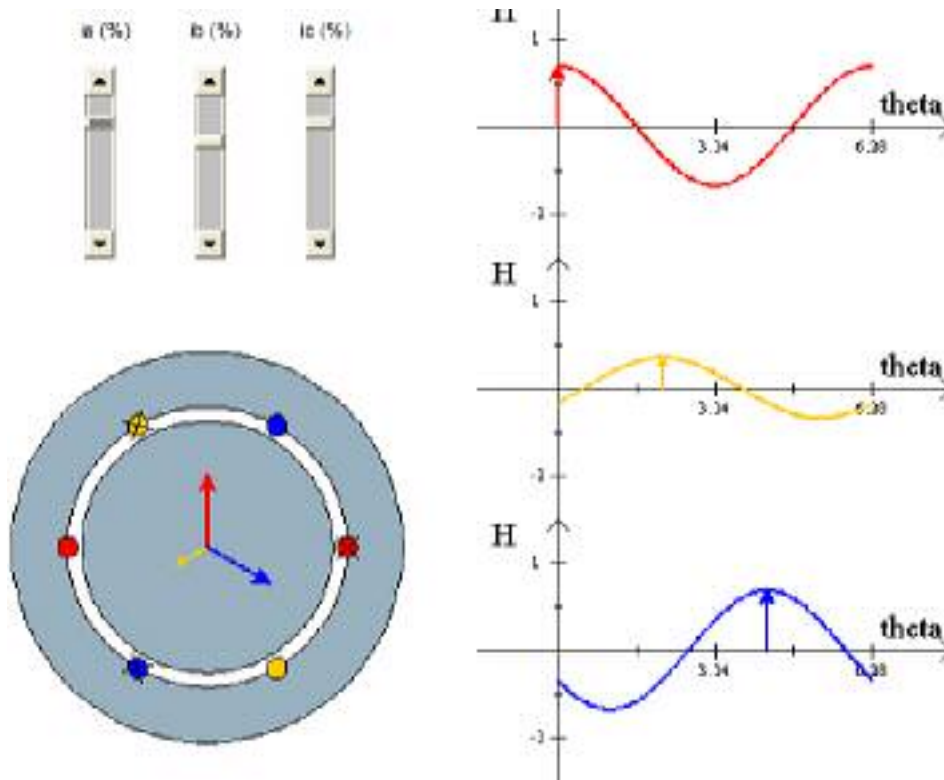
Se vor considera acum trei astfel de înfășurări a, b, c, defazate **spațial** cu câte 120° una față de alta. Va rezulta:

$$\begin{aligned} B_{e,a} &= K \cdot i_a \cdot \cos \theta & (\theta_a = 0) \\ B_{e,b} &= K \cdot i_b \cdot \cos(\theta - 2\pi/3) & (\theta_b = 2\pi/3) \\ B_{e,c} &= K \cdot i_c \cdot \cos(\theta - 4\pi/3) & (\theta_c = 4\pi/3) \end{aligned}$$



Întrebări:

- Care va fi alura curbelor ce reprezintă $B_{e,a}$, $B_{e,b}$ și $B_{e,c}$ în funcție de θ ?
- Cum evoluează aceste curbe în funcție de valorile curenților din cele trei înfășurări?
- Care vor fi direcțiile și amplitudinile vectorilor reprezentativi ale acestor câmpuri?



6. Alimentarea cu curenți sinusoidali defazați temporal cu câte 120°

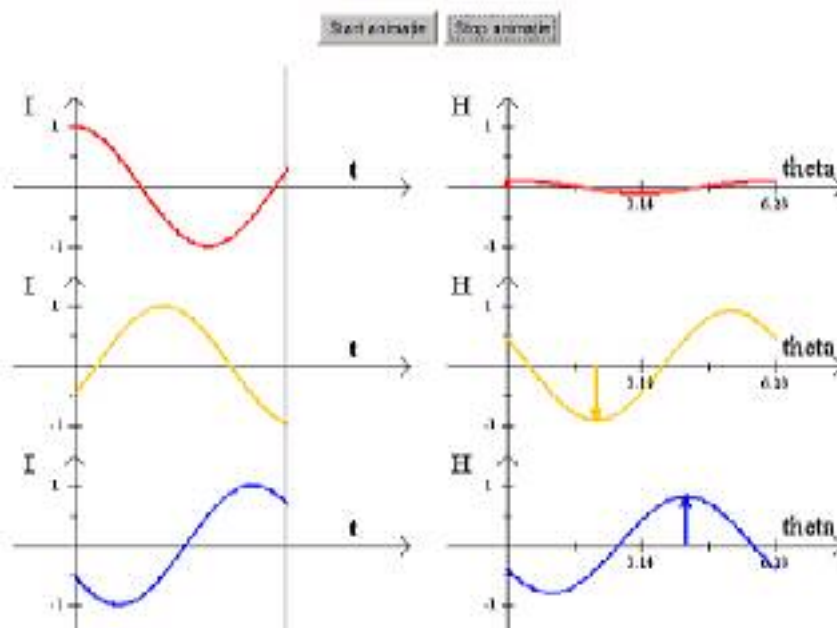
Se vor alimenta aceste trei înfășurări cu curenți sinusoidali, de aceeași amplitudine I_{max} , de aceeași pulsație ω (aceeași frecvență) și defazați **temporal** între ei cu câte 120°:

$$\begin{aligned}
 i_a &= I_{max} \cdot \cos(\omega t) \\
 i_b &= I_{max} \cdot \cos(\omega t - 2\pi/3) \\
 i_c &= I_{max} \cdot \cos(\omega t - 4\pi/3)
 \end{aligned}$$



Întrebare:

Cum evoluează în timp, curbele ce reprezintă $B_{e,a}$, $B_{e,b}$ și $B_{e,c}$ în funcție de θ ?



Cele trei câmpuri $B_{e,a}$, $B_{e,b}$ și $B_{e,c}$ sunt câmpuri pulsatorii.

7. Expresia câmpului rezultat total din întrefier

În orice punct din întrefier, valoarea B_e a câmpului rezultat total din întrefier, generat de cele trei înfășurări este:

$$\begin{aligned} B_e &= B_{e,a} + B_{e,b} + B_{e,c} \\ &= K \cdot I_{max} [\cos \theta \cdot \cos \omega t + \cos(\theta - 2\pi/3) \cdot \cos(\omega t - 2\pi/3) + \cos(\theta - 4\pi/3) \cdot \cos(\omega t - 4\pi/3)] \end{aligned}$$

Cum pentru $\forall x, \forall y,$

$$2\cos x \cdot \cos y = \cos(x-y) + \cos(x+y),$$

rezultă că B_e va fi dat de suma a șase termeni:

- 3 termeni în $\cos(\theta - \omega t)$, de aceeași amplitudine $K \cdot I_{max}$, a căror sumă va fi triplul fiecăruia din termeni,
- 3 termeni de aceeași amplitudine $K \cdot I_{max}$ în $\cos(\theta + \omega t)$, $\cos(\theta + \omega t - 4\pi/3)$, respectiv $\cos(\theta + \omega t - 8\pi/3)$, a căror sumă este nulă, $\forall \theta, \forall \omega, \forall t$

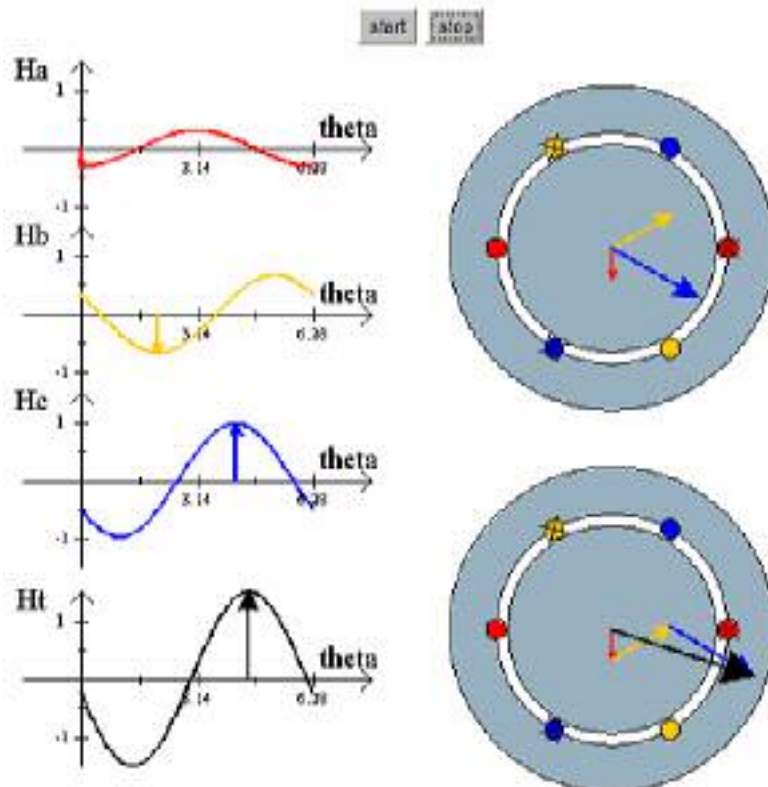
Rezultă în final:

$$B_e = \frac{3K \cdot I_{max}}{2} \cos(\theta - \omega t)$$

8. Reprezentarea câmpului rezultat total din întrefier

 **Întrebări:**

- Cum evoluează în timp curba ce reprezintă B_e în funcție de θ ?
- Cum evoluează în timp vectorul reprezentativ al amplitudinii maxime?



Se observă că pentru $\forall t$, valoarea maximă a inducției B_e este constantă, fiind egală cu $\frac{3k \cdot I_{max}}{2}$, dar poziția în care B_e atinge valoarea maximă este variabilă, fiind egală cu $\theta = \omega t$. Acest câmp corespunde unei unde **progresive**, care se rotește în întrefier cu viteza ω . Este deci, un câmp **învârtitor**.

Vectorul reprezentativ al câmpului rezultat total din întrefier este, deci, de amplitudine constantă, dar de orientare variabilă¹. Se va arăta că el poate fi construit ca sumă a vectorilor reprezentativi ai câmpurilor create de fiecare din cele trei înfășurări.

Notă:

¹ deși vectorii reprezentativi ai câmpurilor create de fiecare din cele trei înfășurări care constituie bobinajul, sunt colineari cu axele magnetice ale înfășurărilor.

9. Câmp învârtitor

Câmpul total din întrefier este creat de trei înfășurări decalate spațial între ele cu 120° și alimentate cu curenți sinusoidali cu pulsații egale, cu aceeași amplitudine și defazați temporal între ei cu 120° , rezultând un **câmp învârtitor**, echivalent unei unde progresive. El poate fi asimilat câmpului produs de o înfășurare care asigură o distribuție sinusoidală a câmpului în întrefier, alimentată cu un curent continuu de valoare $\frac{3 \cdot I_{max}}{2}$ și care se rotește cu viteza ω .

start stop

