

Chapitre I. GENERALITES SUR LES MACHINES ELECTRIQUES

I-1. Classification des machines électriques

Les machines électriques peuvent être classées en 3 catégories :

- 1) **Générateurs** : qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique
- 2) **Moteurs** : qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique
- 3) **Convertisseurs statiques** : qui transforment l'énergie électrique en énergie électrique

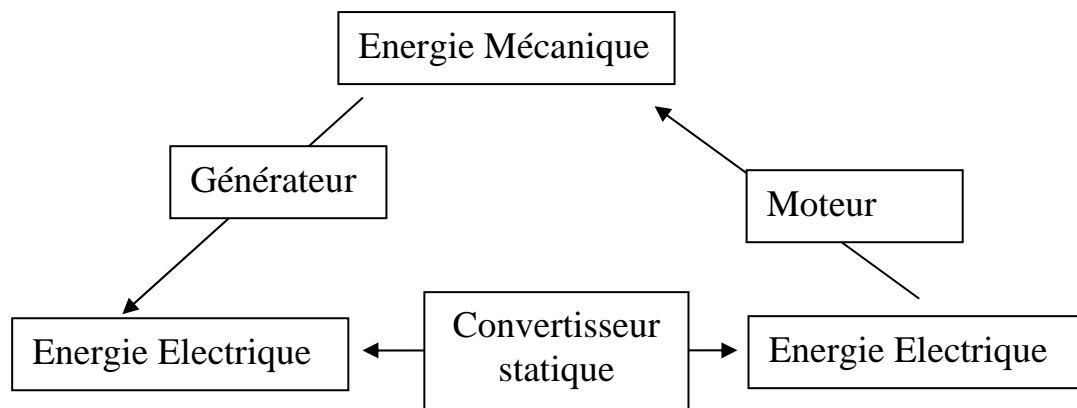


Fig. I-1

I-2. Constitution d'une machine électrique

a) Mécaniquement, un générateur ou un moteur est constitué par une partie fixe appelée stator et une partie mobile appelée rotor qui tourne à l'intérieur du stator. Entre ces 2 parties est aménagé un petit intervalle d'air appelé entrefer.

b) Du point de vue électromagnétique : une machine électrique comporte un circuit magnétique et souvent 2 circuits électriques. Entre le flux (dans le circuit magnétique) et les courants (dans les circuits électriques) s'exerce une action réciproque des principes de l'électromagnétisme déjà connus.

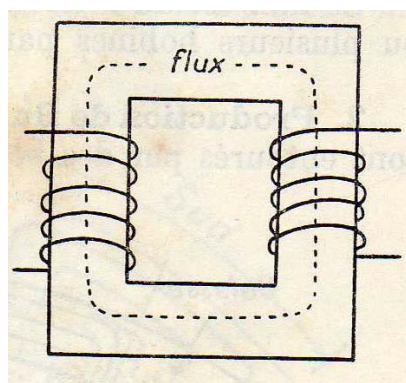


Fig I-2

I-3. Circulation du flux d'induction

I-3-1. Définition

Un circuit magnétique d'une machine électrique est l'ensemble d'éléments de nature ferromagnétique dont le rôle est de canaliser le flux d'induction qui est due à une FMM créée par un courant électrique.

I-3-2. Production du flux par les pôles saillants

Les pôles saillants sont entourés par des bobines parcourues par un courant électrique. Ces pôles peuvent être fixes c'est-à-dire portés par le stator ; ou bien mobiles c'est-à-dire portés par le rotor.

Dans tous les cas, les pôles voisins sont de noms contraires et leur nombre est toujours pair puisque le flux sortant du pôle nord doit rentrer à travers le pôle sud.

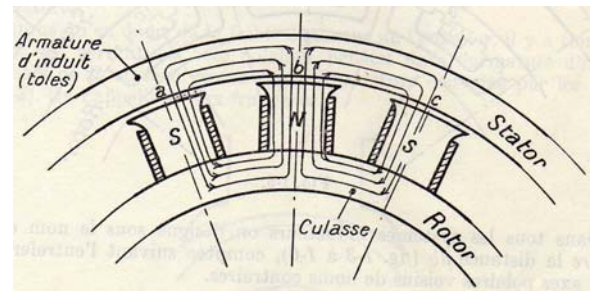
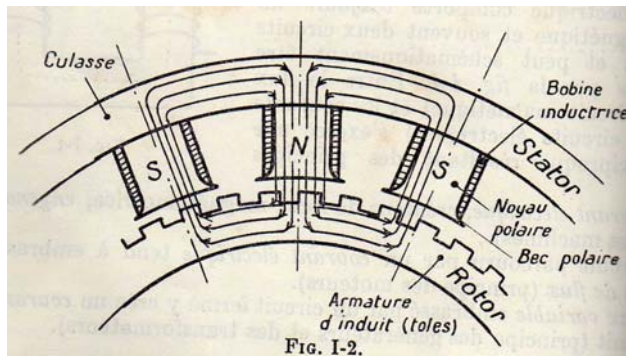


Fig I-3

I-3-3. Production du flux par les pôles lisses

On peut constituer des pôles en disposant convenablement les bobines inductrices dans les rainures (encoche) dans le stator ou dans le rotor. L'entrefer est constant dans ce cas.

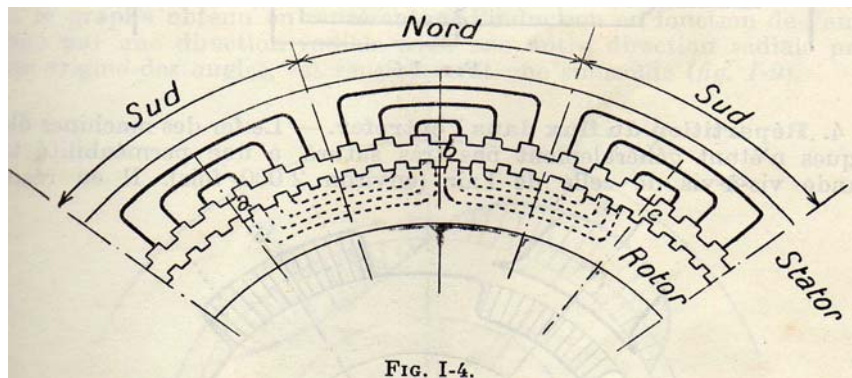


FIG. I-4.

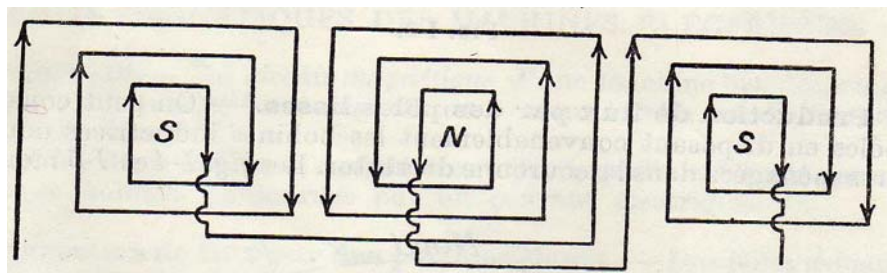


Fig I-4

I-3-4. Répartition du flux dans l'entrefer

Le fer des machines électriques a une perméabilité très grande vis-à-vis de l'air ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$) ; il en résulte que les lignes d'induction dans l'air sont sensiblement perpendiculaires au fer (radiales). On a 2 cas à envisager :

- pour les machines à courant continu : la densité du flux est presque uniforme (Fig. I-5)
- Pour les machines à courant alternatif : l'induction a une forme presque sinusoïdale en fonction de l'angle (Fig. I-6).

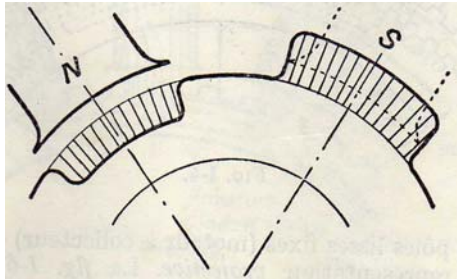


Fig I-5

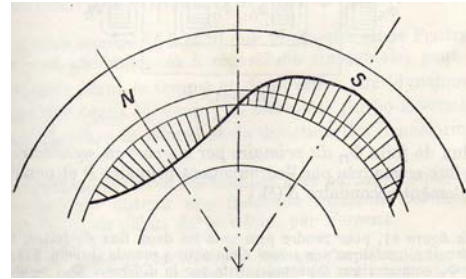


Fig I-6

I-3-5. Fuites magnétiques

Le flux total engendré par l'enroulement inducteur est

$$\Phi_t = \Phi_u + \Phi_f$$

Φ_u : le flux utile embrassé par l'enroulement induit

Φ_f : le flux de fuites ou de dispersion

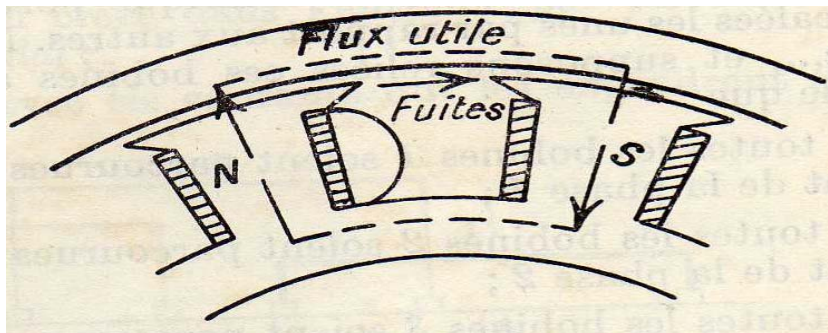
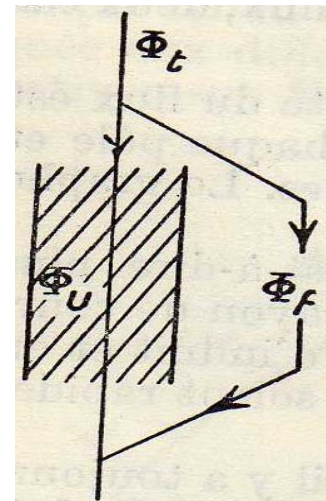


Fig I-7



I-4. Induction dans l'entrefer

I-4-1. Nombre de pôles d'un enroulement à courant alternatif

Supposons l'enroulement triphasé de la figure I-8.

Désignons par double intervalle polaire l'angle θ formé par les axes des bobines identiques (1) et (1') de la même phase. Si ce double intervalle polaire se répète « p » fois dans la circonférence, on dit que l'enroulement a « p » paire de pôles. Ce double intervalle polaire est donc l'angle $2\pi/p$; par définition, on dit qu'il correspond à l'angle électrique 2π électrique.

Donc on définit l'angle électrique par la relation suivante :

$$\theta_e = p \cdot \theta$$

Tel que θ_e : l'angle électrique, θ : l'angle géométrique (ou mécanique) et p : le nombre de paire de pôles.

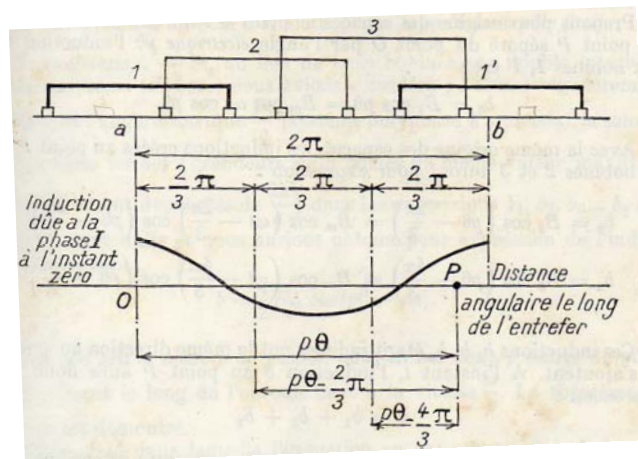


Fig I-8

Exemple :

$2p=4$ (tétrapolaire)

$2p=2$ (bipolaire)

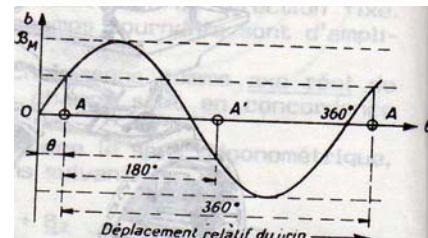
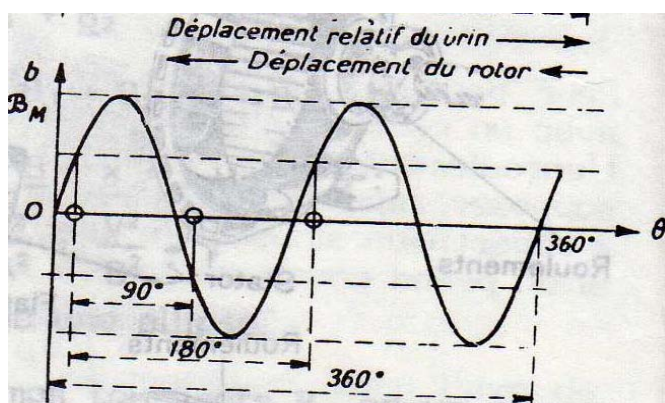
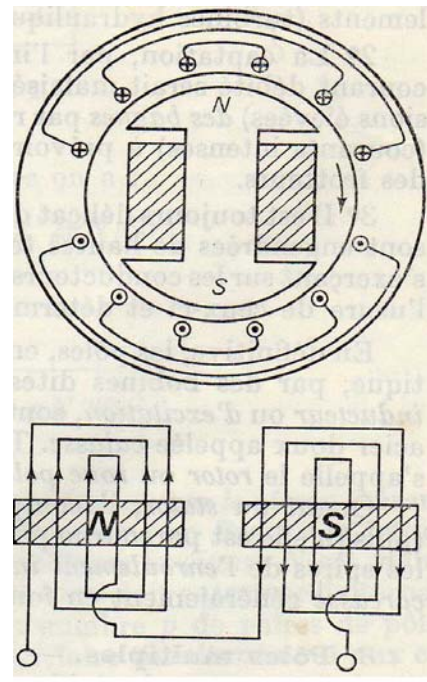
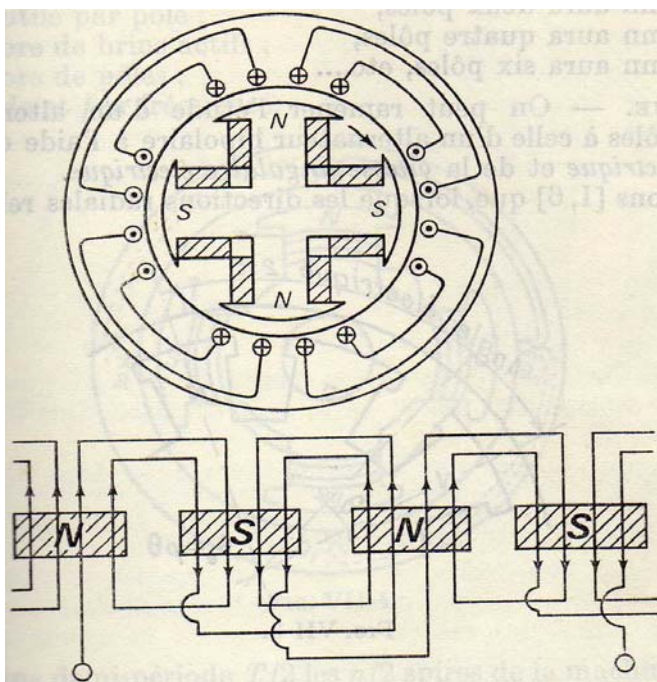


Fig I-9

I-4-2. Forme de l'induction dans l'entrefer

Supposons le système de courant triphasé équilibré suivant :

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \cos \omega t \\ i_2 &= I_m \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= I_m \cos \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Ces courants créent suivant l'axe de chacune des bobines les inductions suivantes :

$$\begin{aligned} B_1 &= B_m \cos \omega t \\ B_2 &= B_m \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ B_3 &= B_m \cos \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Supposons aussi que les inductions des 3 bobines sont à répartition sinusoïdale.

Prenons comme origine des espaces le point O sur l'axe de la bobine (1) (Fig I-8).

Au point P séparé du point O par l'angle électrique : $\theta_e = p\theta$, l'induction due aux bobines 1, 1' (c'est-à-dire due à la première phase) est :

$$b_1 = B_1 \cos p\theta = B_m \cos \omega t \cos p\theta$$

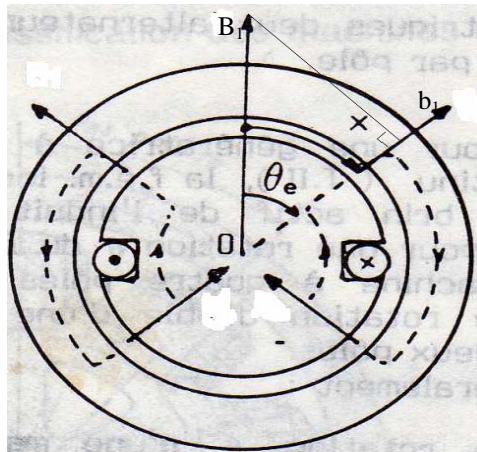


Fig I-10

Avec la même origine des espaces, les inductions créées au point P (Fig I-8) par les bobines 2 et 3 auront pour expressions :

$$\begin{aligned} b_2 &= B_2 \cos \left(p\theta - \frac{2\pi}{3} \right) = B_m \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(p\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ b_3 &= B_3 \cos \left(p\theta - \frac{4\pi}{3} \right) = B_m \cos \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \cos \left(p\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Ces inductions b_1 , b_2 , b_3 , étant radiales ont la même direction au point P et s'ajoutent. A l'instant t , l'induction b au point P aura donc pour expression :

$$b = b_1 + b_2 + b_3$$

Soit en transformant les produits de cosinus en sommes de cosinus :

$$b = \frac{1}{2} B_m [\cos(p\theta + \omega t) + \cos(p\theta - \omega t)] \\ + \frac{1}{2} B_m \left[\cos\left(p\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \cos(p\theta - \omega t) \right] \\ + \frac{1}{2} B_m \left[\cos\left(p\theta + \omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \cos(p\theta - \omega t) \right]$$

Les 3 premiers termes représentent des grandeurs sinusoïdales ayant la même valeur maximale, mais régulièrement déphasées de $2\pi/3$, leur somme est nulle. On a donc :

$$b = \frac{3}{2} B_m \cos(p\theta - \omega t).$$

Cette expression montre que l'induction ayant pour valeur $+3B_m/2$.

A l'instant ($t=0$) à l'origine des espaces ($\theta=0$), aura la même valeur au point P à l'instant t_1 tel que :

$$p\theta - \omega t_1 = 0$$

Ce qui donne :

$$t_1 = \frac{\theta}{\omega/p} = \frac{\text{angle dont a tourné l'induction maximale,}}{\text{vitesse angulaire de l'induction maximale}}$$

On appelle ω/p : vitesse angulaire de l'induction ou champ.

I-4-3. Théorème de Maurice Leblanc

Supposons qu'on a un système monophasé (Fig. I-9), c'est-à-dire une seule bobine alimentée par un courant alternatif, l'induction à un point quelconque P (Fig I-8) dans l'entrefer a pour expression :

$$b = B_m \cos \omega t \cos p\theta$$

Que l'on peut écrire :

$$b = \frac{1}{2} B_m \cos(p\theta + \omega t) + \frac{1}{2} B_m \cos(p\theta - \omega t)$$

Expression montre que l'induction au point P (Fig. I-8) est la somme des inductions dues à 2 ensembles de p paires de pôles d'induction maximale $B_m/2$, à répartition sinusoïdale tournant en sens inverse, l'un glissant à la vitesse angulaire $+\omega/p$ l'autre à la vitesse $-\omega/p$.

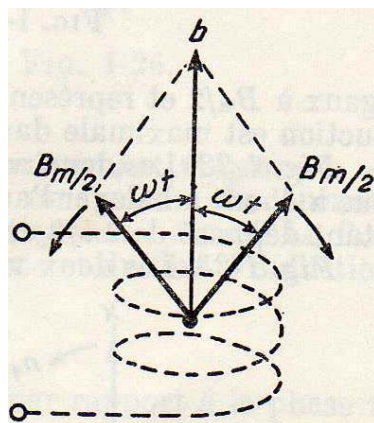


Fig. I-11.

I-4-4. Flux tournant circulaire

Soit le système triphasé équilibré suivant :

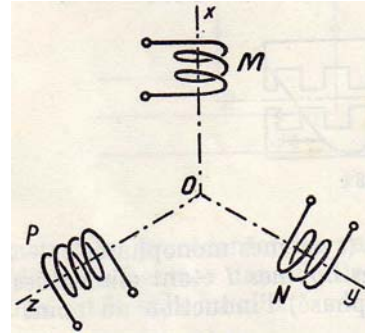


Fig. I-12.

D'après le théorème de Maurice Leblanc, représentons les 2 vecteurs $m_1 = m_2 = B_m/2$ à l'instant où l'induction est maximale (induction est maximale suivant l'axe ox dans la bobine M).

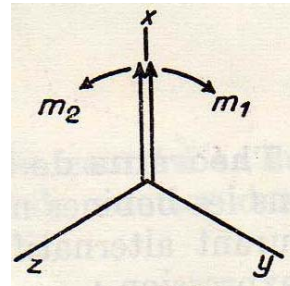


Fig. I-13

De la même façon, on peut représenter $n_1 = n_2 = B_m/2$ dues à l'enroulement N, ces 2 vecteurs ont à balayer $2/3\pi$ pour arriver à l'axe oy et $p_1 = p_2 = B_m/2$ dues à l'enroulement P ces 2 vecteurs ont à balayer $4/3\pi$ pour arriver à l'axe oz.

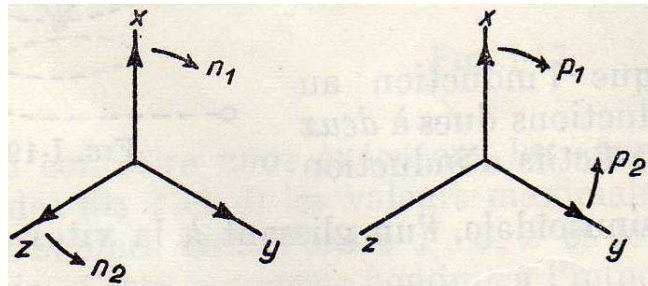


Fig. I-14

Représentons les inductions dues aux 3 enroulements sur un seul système d'axe :

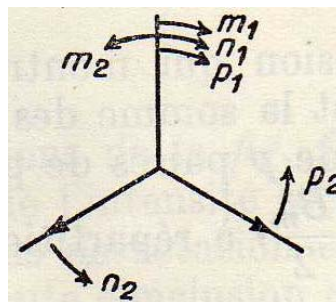


Fig. I-15

En analysant cette figure, on peut dire que $m_2 + n_2 + p_2 = 0$ et $m_1 + n_1 + p_1 = 3 \cdot B_m/2$.
Donc, on peut dire que l'induction résultante est circulaire de valeur maximale $3 \cdot B_m/2$ (c'est le même résultat trouvé précédemment).

I-5. Flux utile en fonction de la FMM

Exemple :

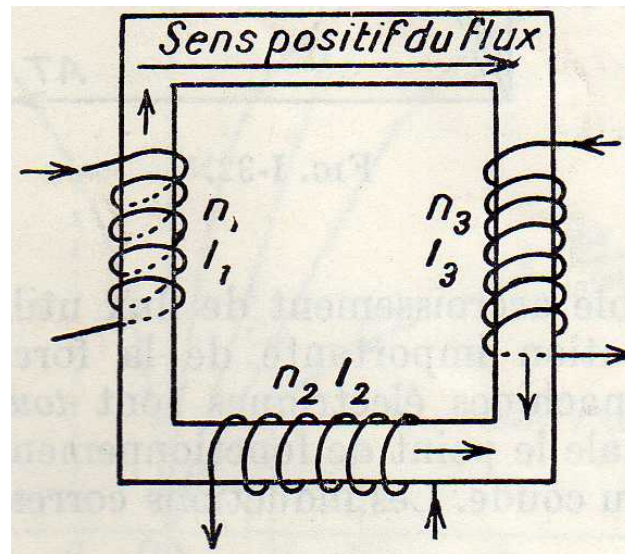


Fig I-16

I-5-1. Cas des FMM continues

D'après la figure précédente, la FMM résultante F a pour expression :

$$F_r = F_1 + F_3 - F_2$$

I-5-1. Cas des FMM alternatives

La FMM résultante est la somme géométrique (vectorielle) de toutes les FMM donc elle est caractérisée par son module et sa phase.

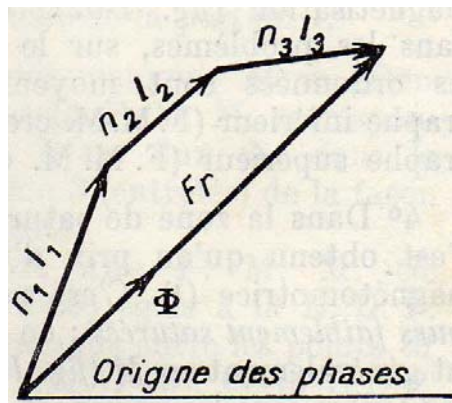


Fig I-14