

GENERALITES SUR LES MACHINES A COURANT

CONTINU

CHAPITRE : 04

Contenu :

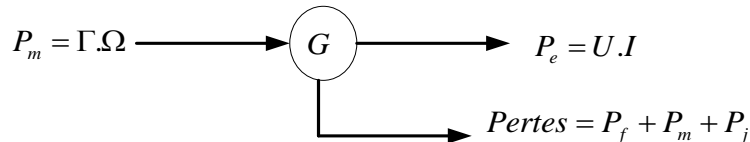
1°-Principe.....	53
1°.1-Production d'une force électromotrice.....	53
1°.2-Redressement mécanique.....	55
2°-Réalisation industrielle.....	55
2°.1-Constitution.....	55
2°.2-L'inducteur.....	56
2°.3-l'induit.....	59
3°-Expression de la f.e.m.....	60
3°.1-f.e.m moyenne dans un brin actif.....	60
3.2-F.e.m moyenne aux bornes de l'induit.....	60
4°-Expression du couple électromagnétique.....	61
5°-Etude de l'induit en charge.....	62
5°.1-Réaction magnétique de l'induit(R.M.I).....	62
5°.2-Répartition du flux magnétique en charge.....	63
5°.3-Compensation de la réaction magnétique de l'induit.....	64
5°.4-Problème de commutation.....	65

Généralités sur les machines à courant continu

1°-Principe

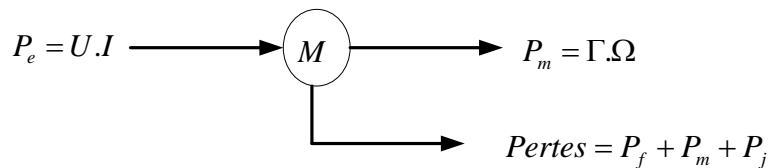
C'est une machine tournante, elle est basée sur les lois de l'induction électromagnétique (Lenz et Faraday). Par conséquent, elle est réversible et elle peut fonctionner soit en :

- Génératrice :



P_f : Pertes fer ; P_m : pertes mécaniques et P_j : pertes joule

- Moteur



1°1-Production d'une force électromotrice

Le conducteur (AB) est en rotation dans un champ magnétique uniforme, il s'y produit un f.e.m : $e_1 = B \cdot l \cdot V \cdot \sin(\alpha)$ avec $\alpha = (\vec{B}, \vec{V}) = \Omega \cdot t$; l : longueur d'un conducteur actif et $V = R \cdot \Omega$: vitesse de déplacement linéaire et R : rayon de l'induit

$e_1(t)$ est alternative, elle change de sens chaque fois que le conducteur coupe l'axe (X,X') dit ligne neutre. Si l'on considère une spire réalisée par l'association de deux conducteurs actifs (A,B) et (A',B'). Les deux f.e.m $e_1(t)$ et $e_2(t)$ sont de même sens à l'intérieur de la spire et $e(t) = e_1(t) + e_2(t)$ est alternative

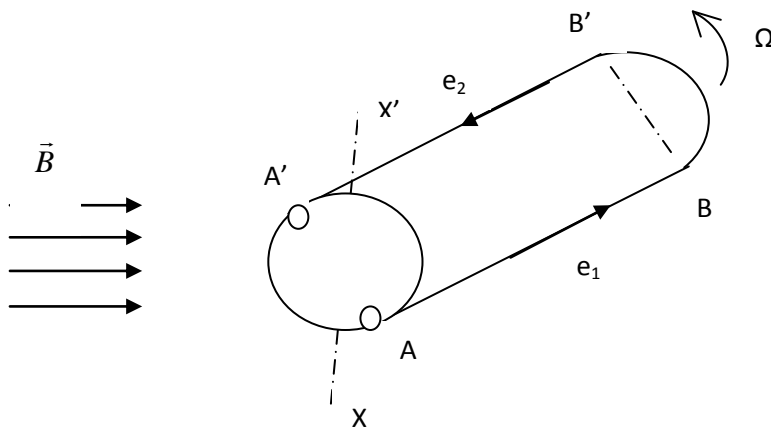


Figure 4.1 : production d'une f.e.m

1°.2-Redressement mécanique

La spire est reliée aux lames tournants qui frottent sur deux balais fixes diamétralement opposés. Pendant la rotation de la spire, le balais bas est relié à (A') (polarité +) et le balai haut à (A) (polarité -). Une fois (A') franchit la ligne neutre, sa lame entre en contact avec le balai haut en même temps que sa polarité s'inverse. En définitif les balais gardent leurs polarités en bas (+) et en haut (-) et à la sortie la tension sera redressée.

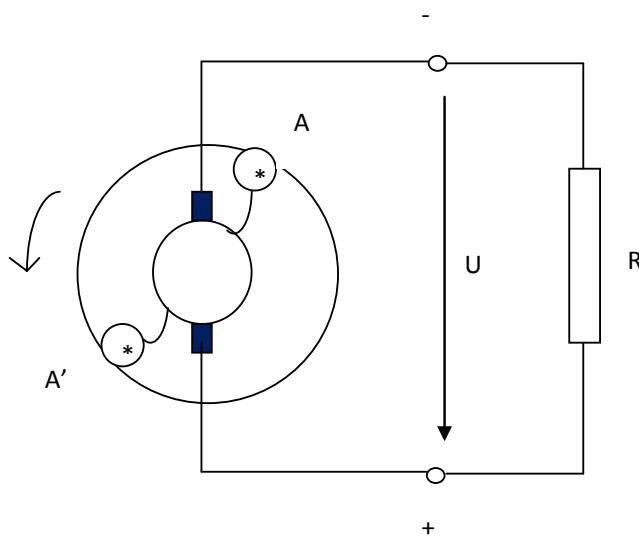


Figure 4.2 : Redressement mécanique

Pour augmenter la f.e.m, on augmente le nombre de conducteurs actifs, et par une disposition régulière des conducteurs sur la périphérie de l'induit on diminue l'ondulation de la tension entre balais

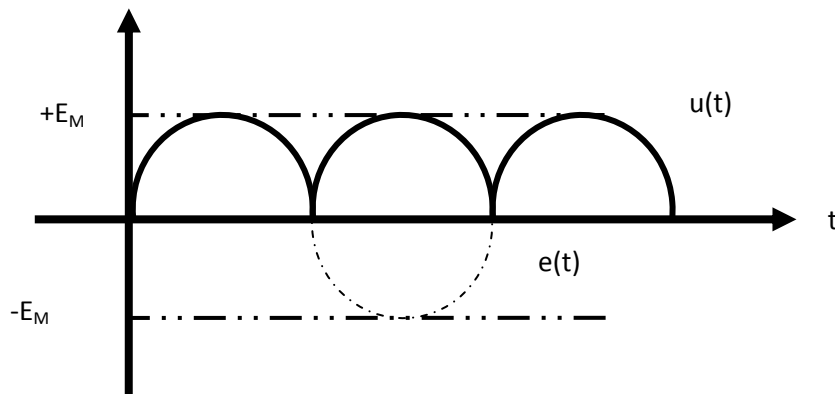


Figure 4.3 : Allure de la f.e.m entre balais

2°-Réalisation industrielle

2°.1-Constitution

la figure suivante précise les éléments qui constituent une machine à courant continu.

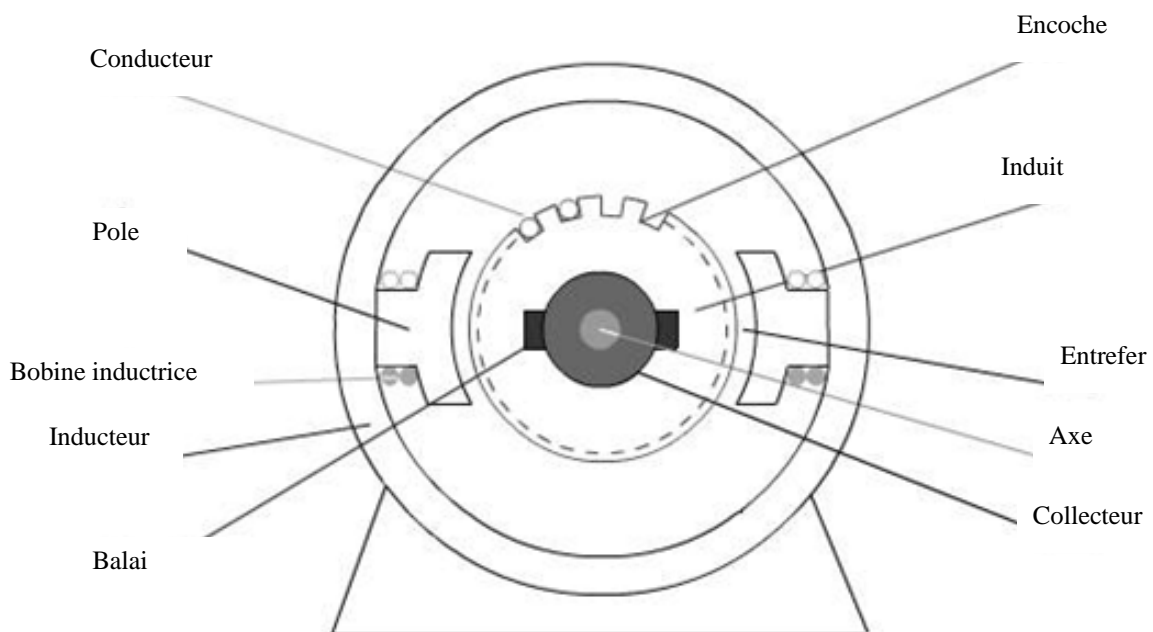


Figure 4.4 : Constitution d'une machine à courant continu

- L'induit, partie tournante siège de la f.e.m induite
- L'inducteur, partie fixe produisant le flux
- Les balais et le collecteur jouant le rôle de redresseur

2°-2-L'inducteur

C'est l'ensemble producteur de flux magnétique .Il comporte de $2 \cdot P$ pôles :

- $P=1$: machine bipolaire(2 pôles)
- $P=2$: machine tetrapolaire(4 pôles)
- $P=3$: machine hexapolaire(6 pôles)
- $P=4$: machine octopolaire(8 pôles)

Ces pôles sont dits pôles principaux , constitués de noyaux massifs en acier doux, ils sont terminés par des épanouissements(ou cornes) polaires feuilletés pour réduire les pertes fer.

Les bobines inductrices produisent les ampères-tours qui magnétisent les pôles sur lesquels sont montées(et par la suite la machine) ; elles sont identiques et disposées de sorte que lorsqu'elles sont parcourues par le courant d'excitation elles donnent des pôles alternés :Nord-Sud-Nord-Sud

✓ Machine à excitation indépendante

La figure suivante donne l'exemple d'une machine à excitation indépendante. On dispose d'une source U_d de faible puissance laquelle est placé en série avec R_h appelé rhéostat de champ ou d'excitation.

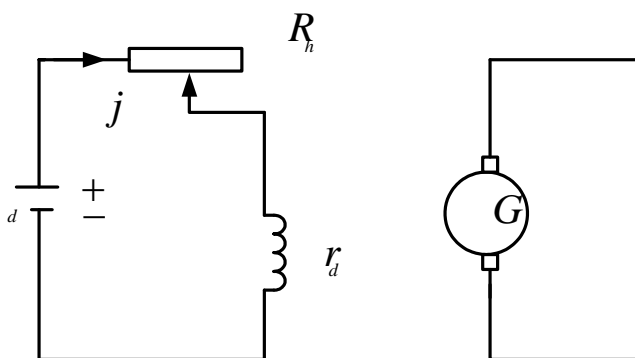


Figure 4.5: Génératrice séparée

Dans ce cas on constate que le courant j dépend uniquement de U_d

$$j = \frac{U_d}{R_h + r_d}$$

✓ Génératrices auto excitées

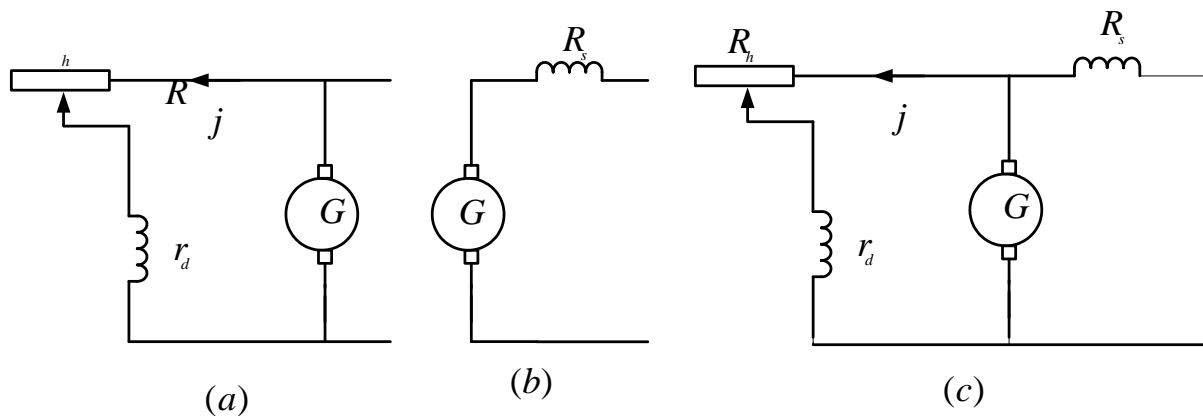


Figure 4.6: Génératrice auto excitée (a) : shunt ;(b) : serie et (c) : composée

- Le courant d'excitation n'existe que si la tension de l'induit est importante (excitation shunt et composée) ou si la machine est en charge (excitation série).
- Pour ces génératrices, il apparaît le problème d'amorçage. En effet une génératrice est dite amorcée, ce lorsqu'elle délivre une tension utilisable (de l'ordre de la tension nominale indiquée sur la plaque signalétique) à vitesse de rotation nominale.
- Pour amorcer une génératrice, il est nécessaire de réunir 3 conditions :
 - Existence de flux rémanent ϕ_r
 - Le sens de j dans l'inducteur crée un flux ϕ_j de même sens que ϕ_r , si non on inverse les connections entre induit et inducteur.
 - Vitesse de rotation suffisamment élevée et résistance du circuit inducteur suffisamment faible.

2°.3-L'induit

C'est le rotor, la disposition actuelle est dite induit en tambour, il comprend :

2°.3.1-Un noyau cylindrique

- Disques découpés dans des tôles au silicium empilés et isolés entre eux.
- Sa surface extérieure comporte des encoches ou rainures pour recevoir le bobinage de l'induit.

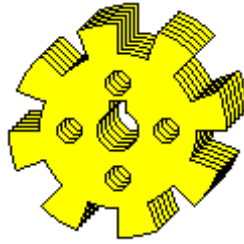


Figure 4.7: Induit d'une machine à courant continu

2°.3.2-Enroulement

Il réalise le couplage des conducteurs actifs en un circuit fermé.

- L'enroulement induit est logé dans les encoches.
- Deux encoches séparés d'une distance polaire ($\alpha_p = \frac{\pi}{P}$) reçoivent les

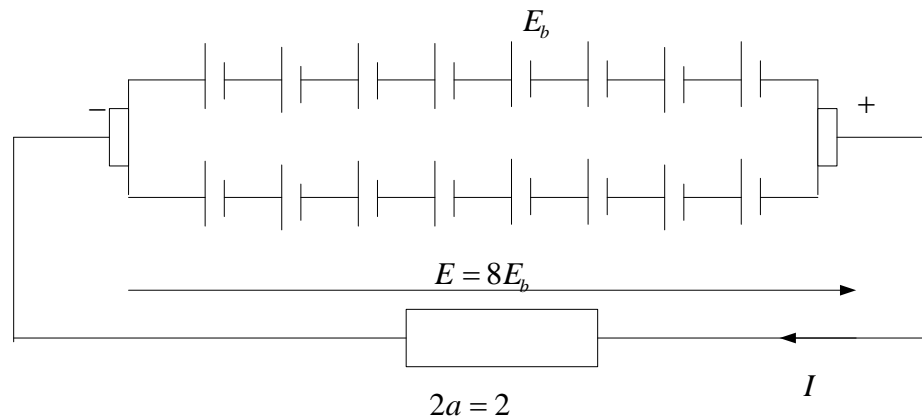
Conducteurs actifs(AB) et (CD) reliés par deux conducteurs inactifs pour former une spire. En répétant plusieurs fois ce circuit dans les deux mêmes encoches on réalise une section, les cotés de la section sont appelés faisceaux de conducteurs.

2°.3.3-Le collecteur

- Le collecteur appartient au rotor, il est tournant, cependant, les balais qui frottent sur le collecteur sont fixes.
- Placé en bout d'arbre, il est constitué de lames de cuivre isolées électriquement entre elles et isolées par rapport à l'arbre.
- Sur chacune des lames se trouve la soudure entre deux faisceaux de conducteurs d'induit.
- Il y'a autant de lames que de sections.
- Chaque paire de balais sépare l'induit en deux voies d'enroulement.

2°.3.4-Voies d'enroulement

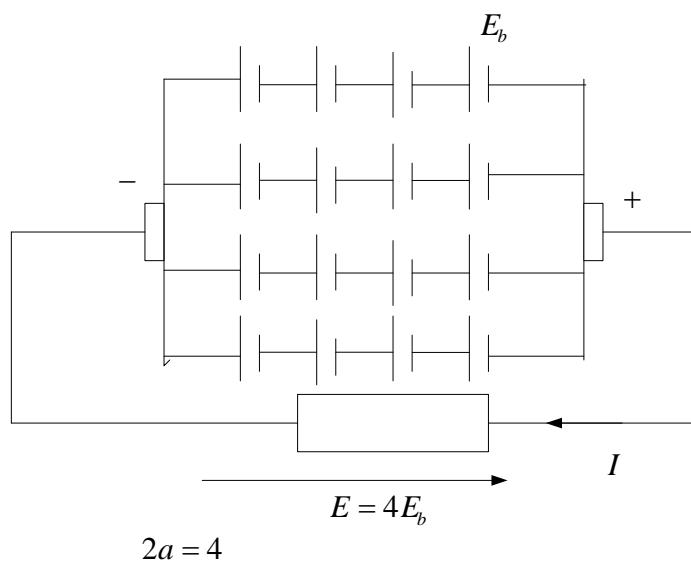
- les balais divise l'induit en $2a$ voies d'enroulement, chaque voie d'enroulement comporte donc $N/2a$ conducteurs actifs(N :nombre total de conducteurs d'induit) .
- Les voies d'enroulement sont à considérer comme deux générateurs identiques montés en parallèle (même f.e.m et même courant= $(1/2a)$ courant dans la charge)
- ✓ Exemple 1 : $2a = 2$



N : nombre total de conducteurs d'induit ; E_f : f.e.m par faisceau ; E_b : f.e.m par brin actif de l'induit ; $2a$: nombre de voies d'enroulement. E : f.e.m aux bornes d'induit

$$E = \frac{N}{2a} \cdot E_b \text{ or } 2a = 2 ; E = \frac{N}{2} \cdot E_b$$

Exemple 2 : $2a = 4$



$$E = \frac{N}{4} \cdot E_b$$

☒ Remarque :

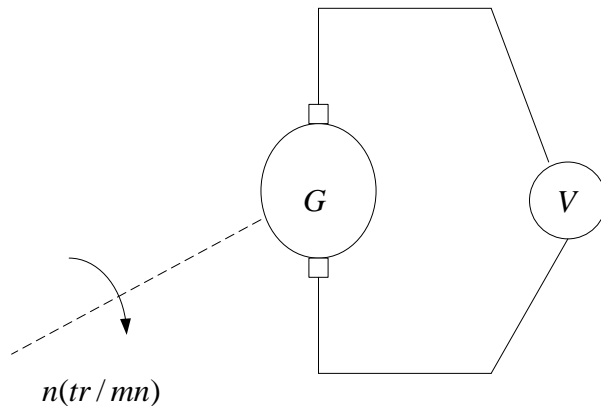
D'après ce qu'a été vu, on conclut que :

- Pour augmenter le courant débité par une génératrice, on doit augmenter le nombre de voies d'enroulement

- Pour avoir la f.e.m, la plus grande. On minimise le nombre de voies d'enroulements(on prend $2a = 2$ et on augmente le nombre de conducteurs actifs).

3°-Expression de la f.e.m

Pour commencer, rappelons que la f.e.m à vide peut être mesurée à l'aide d'un voltmètre aux bornes de la génératrice à vide.



E_v peut être exprimée en fonction des paramètres de la machine.

3°.1-F.e.m moyenne dans un brin actif :

Supposons qu'un conducteur actif de l'induit se déplace d'un pas polaire α_p

$$\alpha_p = \frac{\pi}{p}, \text{ il va donc couper un flux } \Delta\phi = \phi \text{ ceci en un temps } \Delta t = \frac{\alpha_p}{\Omega}$$

Avec $\Omega(rd/s)$: vitesse angulaire de l'induit

D'après la loi de Faraday, la f.e.m moyenne dans ce conducteur sera donnée par :

$$E_b = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\phi}{\pi} \cdot p \cdot \Omega$$

3°.2-F.e.m aux bornes de l'induit

Comme déjà vu, l'induit est reparti sur $2a$ voies d'enroulement identiques. Chaque voie comporte $N/2a$ conducteurs actifs, par conséquent la f.e.m à la sortie de la génératrice sera celle produite par voie d'enroulement.

$$E = \frac{N}{2a} \cdot E_b = \frac{N \cdot \phi}{2a \cdot \pi} \cdot p \cdot \Omega$$

Généralement la vitesse de rotation est exprimée en(tr/mn).soit n cette vitesse. On peut écrire la relation suivante entre Ω et n : $\Omega = \frac{2.\pi.n}{60}$

En remplaçant Ω dans la relation donnant la f.e.m, on aura

$$E = \frac{P}{a} . N . \frac{n}{60} . \phi$$

Avec P :nombre de paires de pôles, a :nombre de paires de voies d'enroulement, N :nombre total de conducteurs actifs de l'induit, ϕ :flux utile par pole en[Wb], $n(tr/mn)$:vitesse de rotation de l'induit et $E(V)$:f.e.m moyenne aux bornes de l'induit.

☒ Remarque

A vide on écrit $E_v = \frac{P}{a} . N . \frac{n}{60} . \phi_v$

Si la vitesse est constante, on aura $E_v = f(\phi_v) = K.\phi_v$

Sachant que ϕ_v est créée par le courant d'excitation j , d'où l'allure de

$$E_v = f(j) \text{ à } n = cte$$

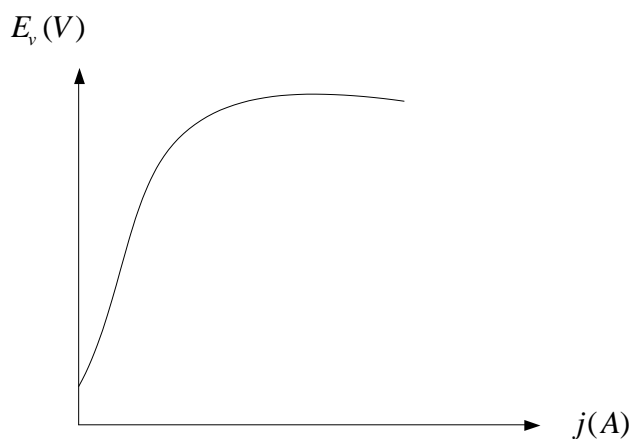


Figure 4.8: Caractéristique à vide

4°.Expression du couple électromagnétique

La puissance électromagnétique est donnée par :

$P_{em} = E_{ch} \cdot I_a$ avec : $E_{ch}(V)$: f.e.m en charge, $I_a(A)$: courant induit et $P_{em}(W)$: puissance électromagnétique.

Et le couple électromagnétique sera donné par :

$$\Gamma = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E_{ch}}{\Omega} \cdot I_a = \frac{\frac{P}{a} \cdot N \cdot \frac{n}{60} \cdot \phi_{ch} \cdot I_a}{2\pi \frac{n}{60}} = K_M \cdot \phi_{ch} \cdot I_a$$

Avec $K_M = \frac{P}{a} \cdot \frac{N}{2\pi}$

Donc à flux constant, l'allure de $\Gamma_e = f(I_a)$ est une droite

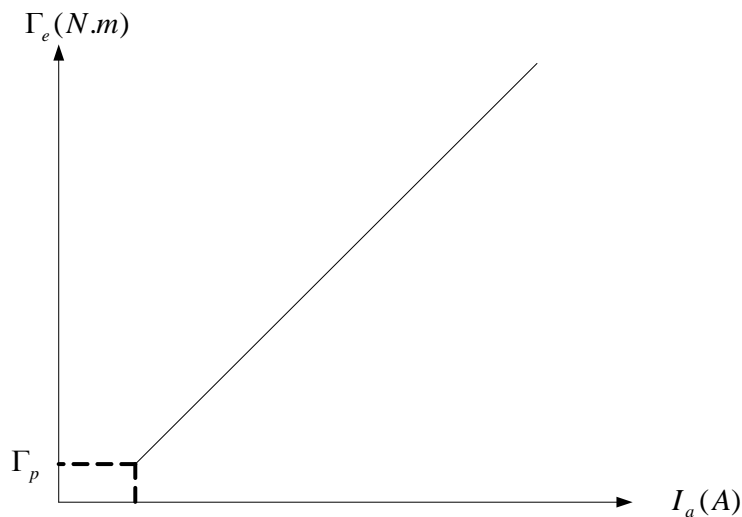


Figure 4.9: Caractéristique du couple

5°-Etude de l'induit en charge

5°.1-Réaction magnétique de l'induit

On rappelle que l'induit est le siège :

- E : f.e.m : dans le cas d'une génératrice
- E : f.c.e.m : dans le cas d'un moteur

Dans les deux cas chaque conducteur actif de l'induit sera traversé par un courant $\frac{I}{2a}$. ces courants créent un flux magnétique d'induit dit de réaction magnétique de l'induit (R.M.I) qui d'après (LENZ) s'oppose au flux à vide. On aura ainsi :

$$\phi_{ch} < \phi_v \Rightarrow E_{ch} < E_v \text{ (Malgré qu'on maintient l'excitation constante)}$$

Les modèles équivalents de l'induit lors d'un fonctionnement générateur ou moteur sont données par les schémas suivants ;

On note $\varepsilon(I) = E_v - E_{ch}$: chute de tension provoquée par la réaction magnétique de l'induit.

$R_a(\Omega)$: Résistance mesurée entre bornes de l'induit.

Par conséquent, en charge, la loi des mailles appliquée à l'induit donne ;

$$U = E_{ch} - R_a \cdot I_a = E_v - \varepsilon(I) - R_a \cdot I_a \text{ dans le cas d'une génératrice}$$

$$U = E_{ch} + R_a \cdot I_a = E_v - \varepsilon(I) + R_a \cdot I_a \text{ dans le cas d'un moteur}$$

La réaction magnétique de l'induit croit avec la charge

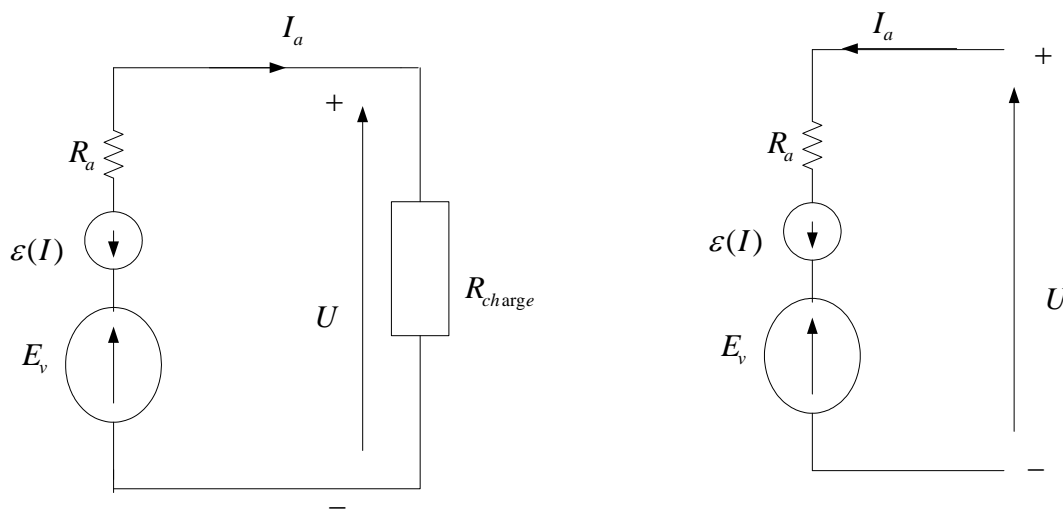


Figure 4.10: Schéma équivalent de l'induit

5°.2-répartition du flux magnétique en charge

La réaction magnétique de l'induit distorde les lignes de champ de telle sorte que la ligne neutre magnétique sera décalée :

- Dans le sens de rotation pour une génératrice

- Dans le sens contraire pour un moteur

Ce décalage est d'autant plus important que la charge est plus intense. Il en résulte que les balais placés sur l'axe interpolaire ne collectent plus une f.e.m maximale car une partie des conducteurs auront de f.e.m opposées au reste de conducteurs.

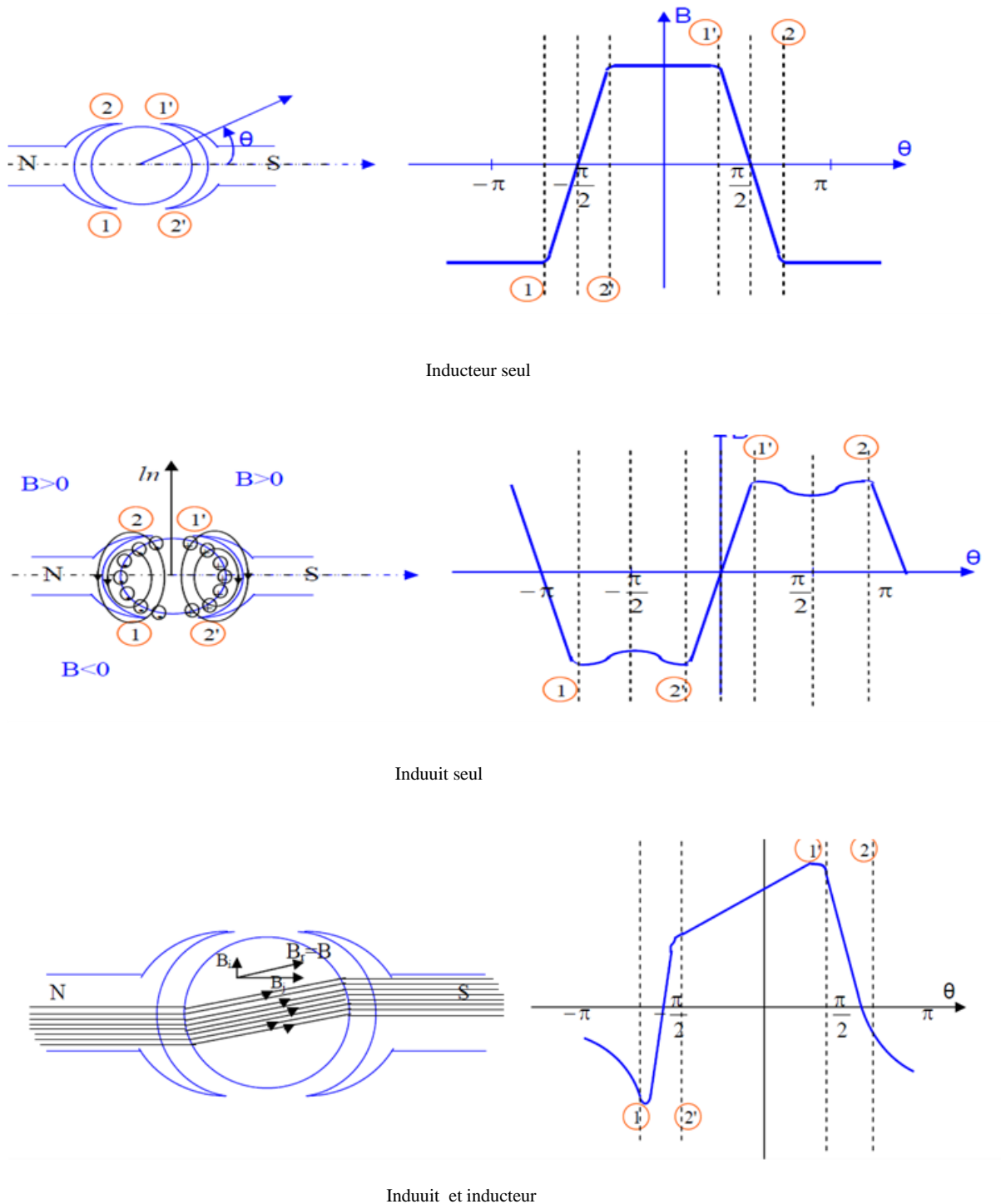


Figure 4.11 : Répartition de champ

5°.3-Compensation de la réaction magnétique de l'induit :

Pour remédier aux problèmes causés par la R.M.I ,qui :

- En génératrice , la diminution du flux provoque une chute de tension
- En moteur, la diminution du flux peut entrainer l'emballement de vitesse.

On peut :

- Soit décaler les balais et augmenter l'entrefer à la corne de la sortie.Cette solution est valable pour les machines de faible puissance et ayant un seul sens de rotation.
- Soit utiliser un enroulement de compensation, placés dans des encoches pratiquées sur les pièces polaires, qui traversé par le courant induit produira une force magnétomotrice qui s'oppose aux ampère-tour de l'induit.

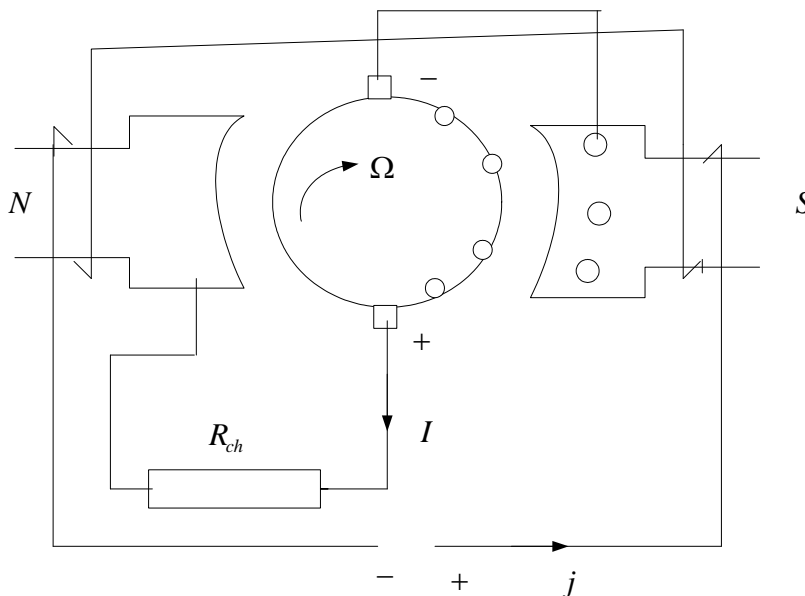


Figure 4.12: Enroulement de compensation

5°.4-Problème de commutation

On rappelle qu'entre deux lames consécutives, il y'a toujours une section.la commutation est l'inversion du courant dans une section. Lorsque la génératrice tourne , les lames se déplacent selon de la flèche en pointillé .cette inversion entrainent des petits arcs, qui peuvent détériorer les lames et les balais.

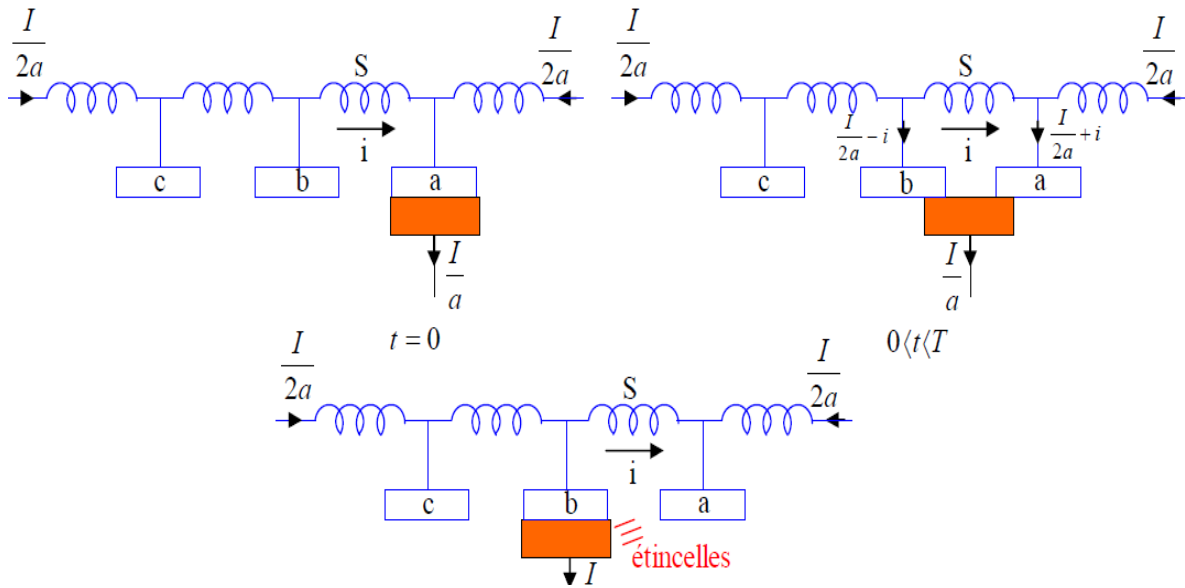


Figure 4.13 : Phénomène de commutation

Pour remédier contre cet inconvénient, on utilise des pôles auxiliaires de commutation (P.C), placés sur les lignes neutres théoriques (axes interpolaires), ayant des noyaux de faible largeur, leurs enroulements sont traversés par le courant induit et produisant des pôles ayant le même nom que le pôle principal suivant dans le sens de rotation. Ces pôles engendrent dans la section en commutation une f.e.m de renversement croissante avec la charge et qui s'oppose à la f.e.m d'auto-induction et aide le courant à s'inverser sans arcs.

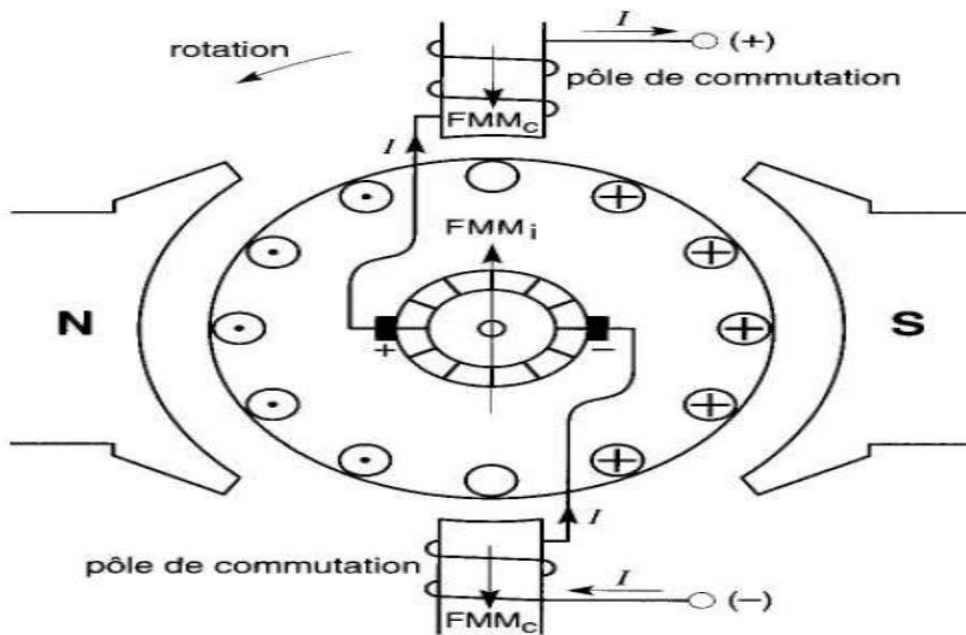


Figure 4.14: Branchement des pôles de commutation