

LES MOTEURS A COURANT CONTINU

CHAPITRE : 06

Contenu

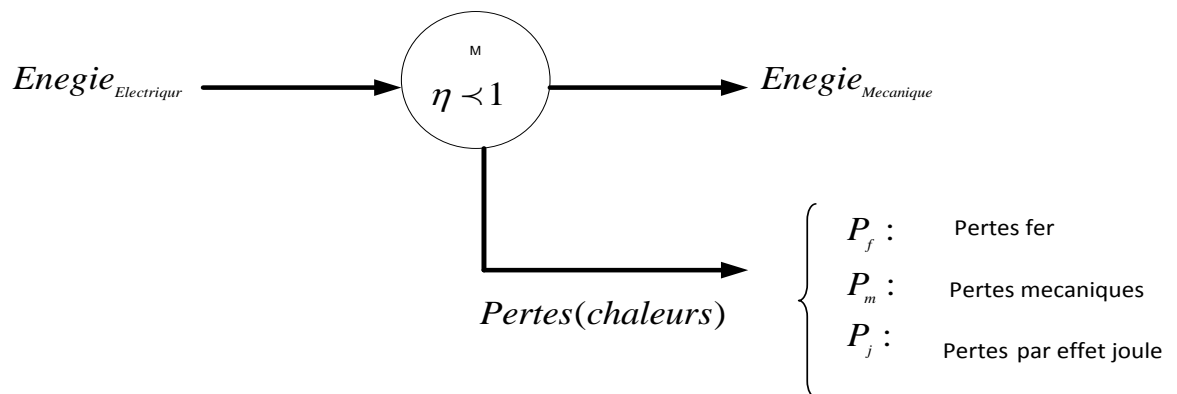
1°.Principe de fonctionnement.....	83
2°.Hypothèse.....	83
3°-Moteur shunt.....	84
3°.1-Fonctionnement sous tension d'induit cte et excitation cte.....	85
3°.2-Fonctionnement sous tension d'induit variable et excitation cte.....	89
3°.3-Rendement.....	90
4°- Moteur à excitation série.....	91
4°.1-Characteristique de vitesse.....	91
4°.2-Characteristique de couple.....	92
4°.3-Characteristique mécanique.....	93
4°.4-Problème de démarrage.....	94
4°.5-Rendement.....	94
5°-Comparaison entre moteur série et shunt et applications.....	94
TD N°4 : Moteurs à courant continu.....	96

Les moteurs à courant continu

L'utilisation en moteur de la machine à courant continu est très répandue surtout pour le fonctionnement à vitesse réglable, pour les asservissements et en traction électrique

1°-Principe de fonctionnement

Au chapitre 4 on a déjà établi la réversibilité de la machine électrique



☒ Remarque :

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu, on doit inverser :

- Soit le courant dans l'induit
- Soit le courant dans l'inducteur

2°-Hypothèse

Pour simplifier l'étude théorique, nous allons supposer que notre moteur est parfaitement compensé, par conséquent la réaction magnétique de l'induit sera négligée ($\varepsilon(I) = 0$). Il en découle : $\phi_{ch} = \phi_v = \phi$ (flux à vide = flux en charge)

Et $E_{ch} = E_v = E$ (f.e.m ou f.c.e.m en charge = f.e.m à vide)

Avec E s'exprime toujours de la même manière quelque soit le fonctionnement

$$E = \frac{P}{a} N.n.\phi \quad (1)$$

Avec : P : nombre de paires de pôles ; a : nombre de paires de voies d'enroulement ; N : nombre de conducteurs actifs de l'induit ; n : vitesse de rotation (rd/s) et ϕ : flux utile par pôle (Wb).

$$\text{Or } \frac{P}{a} . N = K_E = cte \Rightarrow E = K_E . n . \phi \quad (1')$$

Le modèle de l'induit se simplifie pour devenir :

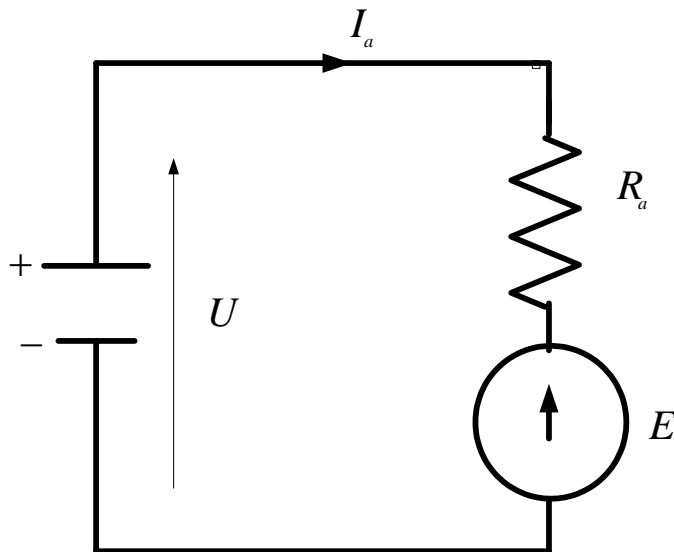


Figure 6.2: modèle équivalent de l'induit

$$E = U - R_a I_a \quad (2)$$

☒ Remarque

En régime permanent $n = cte \Rightarrow \Gamma_u = \Gamma_r$ (puisque l'accélération est nulle)

3°-Moteur shunt

L'induit et l'inducteur sont alimentés par la même tension

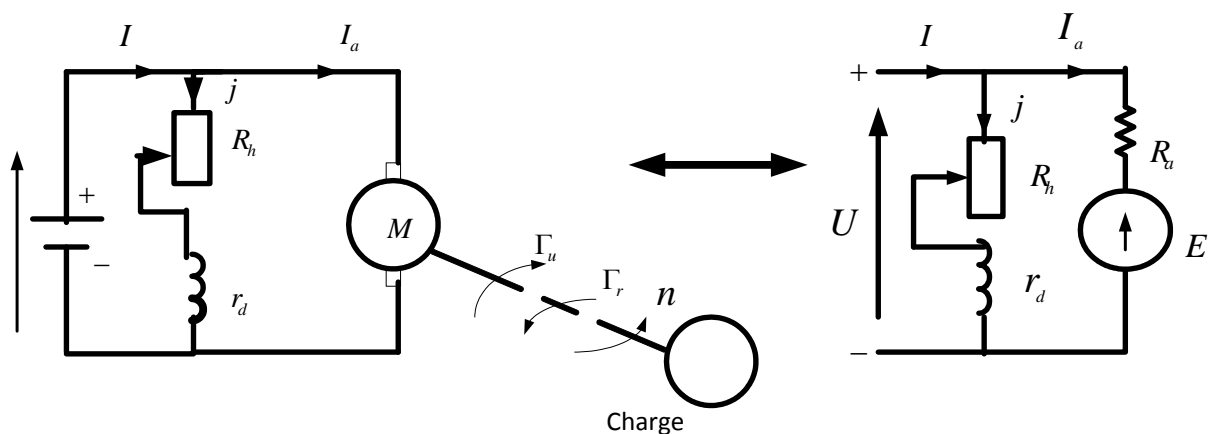


Figure 6.3: schéma équivalent d'un moteur shunt

U : La tension d'alimentation imposée par l'utilisateur

La loi des mailles appliquée aux différentes mailles nous donne :

$$j = \frac{U}{R_h + r_a} \quad (3) \text{ et } E = U - R_a \cdot I_a$$

3°.1-Fonctionnement sous tension d'induit constante et excitation cte

3°.1.1-Caractéristique de vitesse :à $U = cte$ et $j = cte$

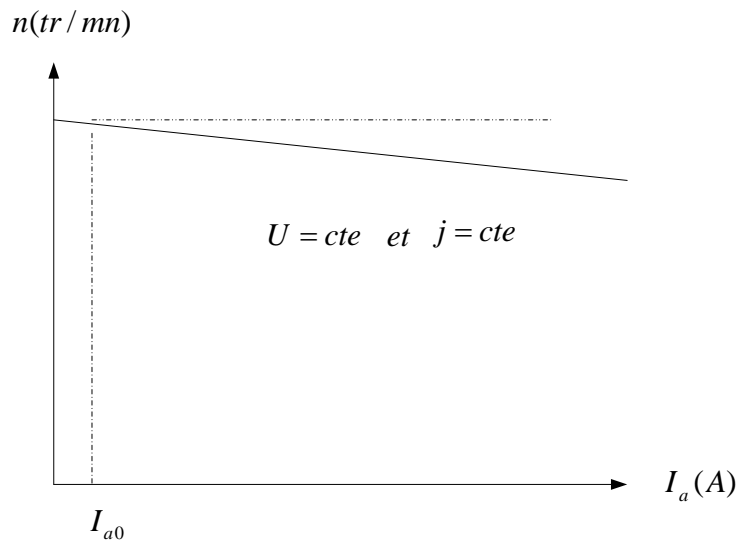


Figure 6 .4 : caractéristique de vitesse

On a vu que $E = U - R_a \cdot I_a = K_E \cdot n \cdot \phi \Leftrightarrow n = \frac{E}{K_E \cdot \phi} = \frac{U - R_a \cdot I_a}{K_E \cdot \phi} = \frac{U}{K_E \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot I_a}{K_E \cdot \phi}$

$$n = n_{00} - A \cdot I_a \quad (4), \text{ c'est une droite à pente négative très faible}$$

☒ Remarque :

- A vide le moteur absorbe un courant I_{a0} (très faible) et sa vitesse donnée par (4) est $n_0 < n_{00}$
- En charge lorsque $I_a \nearrow \Rightarrow n \searrow$ (diminue)

En conclusion, à tension d'induit constante et excitation constante la vitesse d'un moteur shunt (ou à excitation séparée) reste presque constante

3°.1.2-Caractéristique de couple $\Gamma_e = f(I_a)$ à $U = cte$ et $j = cte$

On a déjà établi (voir chapitre 4) que le moment du couple électromagnétique est donné par :

$$\Gamma_e = K_M \cdot \phi \cdot I_a \text{ avec } K_m = \frac{K_E}{2\pi}$$

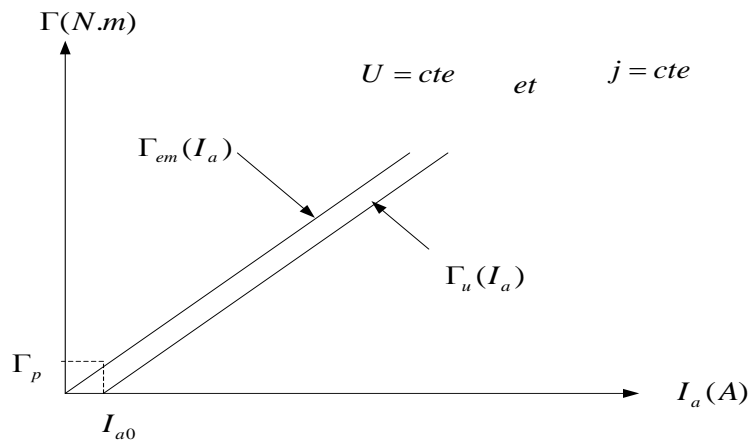


Figure 6 .5 : caractéristique de couple

Or $j = cte \Rightarrow \phi = cte \Rightarrow \Gamma_e = K_m' \cdot I_a$ (5)

Avec $K_m' = K_m \cdot \phi$

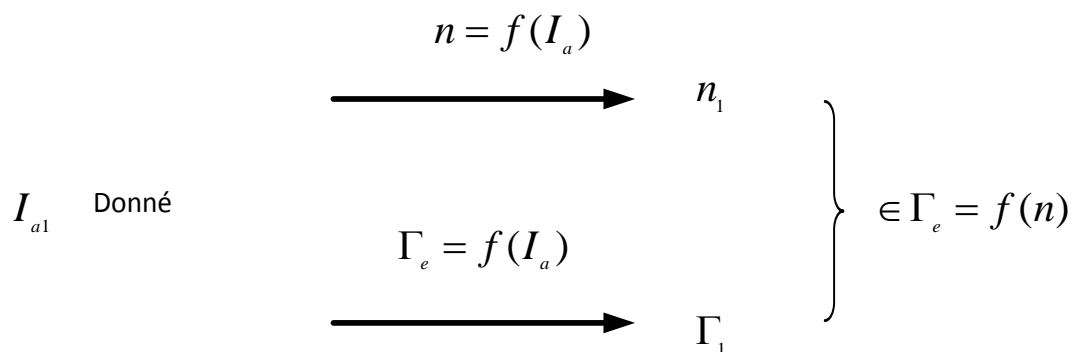
☒ Remarque

- (5) est une droite qui passe par l'origine
- A vide $I_a = I_{a0}$ très faible et $\Gamma_e = \Gamma_p$ (couple de pertes constantes)
- $\Gamma_u = \Gamma_e - \Gamma_p, \Gamma_u = f(I_a)$ est une droite // à $\Gamma_e = f(I_a)$ qui sort de I_{a0} , puisque à vide le couple utile est nulle.

3°.1.3-Caractéristique mécanique $\Gamma_e = f(n)$ à $U = cte$ et $j = cte$

On peut la déterminer à partir des deux caractéristiques précédentes soit :

➤ Graphiquement



➤ Algébriquement :

Entre les relations (4) et (5) on élimine le courant et on tire l'expression de $\Gamma_e = f(n)$

$$(4) \Rightarrow I_a = \frac{n_{00} - n}{A} \quad \text{et} \quad (5) \Rightarrow \Gamma_e = K_m \cdot \frac{n_{00} - n}{A} = (K_E \cdot \phi)^2 \cdot \frac{n_{00} - n}{2\pi \cdot R_a} \quad (6)$$

(6) est l'équation d'une droite à pente négative très proche de verticale

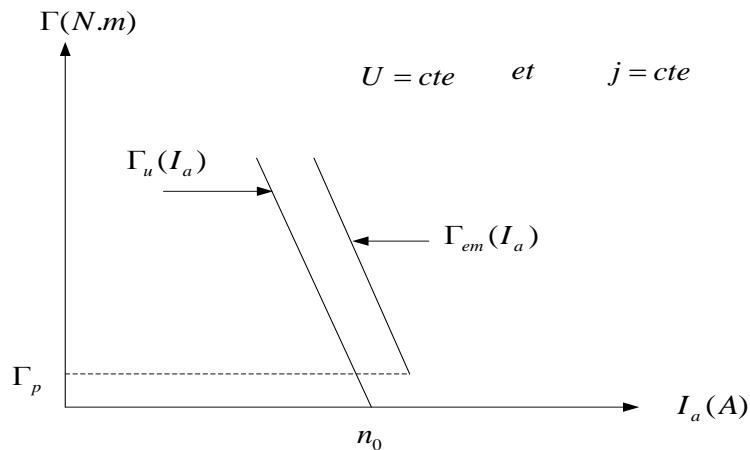


Figure 6.6 : caractéristique mécanique

☒ Remarque ;(Point de fonctionnement)

Le point de fonctionnement est donné par l'intersection de $\Gamma_r = f(n)$ et $\Gamma_u = f(n)$ car en régime permanent, on a égalité entre ces deux couples.

- La caractéristique mécanique de la charge $\Gamma_r = f(n)$ est une donnée et elle ne dépend que de la charge..

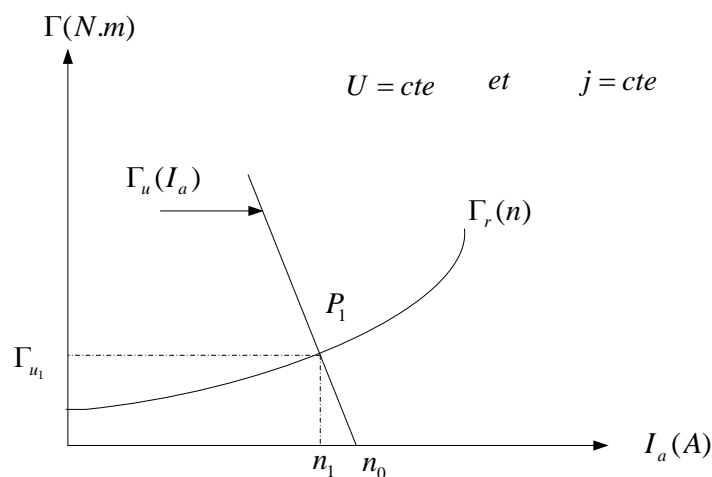


Figure 6.7: Détermination de point de fonctionnement

- Sur la figure précédente, on vous donne un exemple : $P_1(n_1; \Gamma_{ul})$ est le point de fonctionnement dans ce cas.

3°.1.4-Problème de démarrage :

Au moment du démarrage $n = 0 \text{tr} / \text{mn} \Rightarrow E = 0 \text{V} \Rightarrow$ le courant de démarrage direct I_{dd} ne sera limité que par la résistance de l'induit R_a

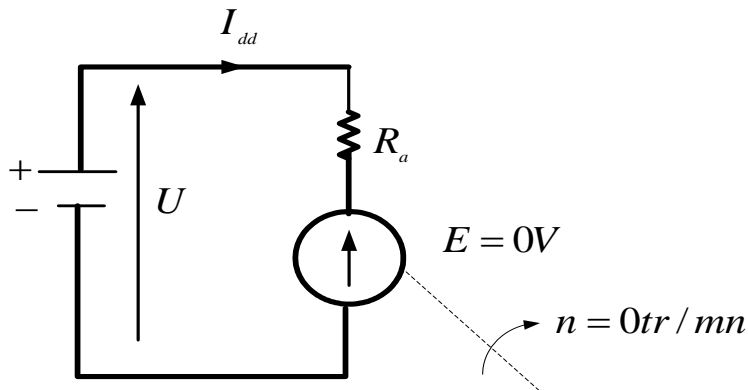


Figure 6 .8: schéma équivalent au démarrage

Pour limiter le courant de démarrage I_d à des valeurs acceptables (généralement on choisit $1.5.I_n \leq I_d \leq 2.5.I_n$), on doit insérer au moment de démarrage un rhéostat R_{HD} en série avec l'induit tel que :

$$R_{HD} = \frac{U}{I_d} - R_a \quad (8)$$

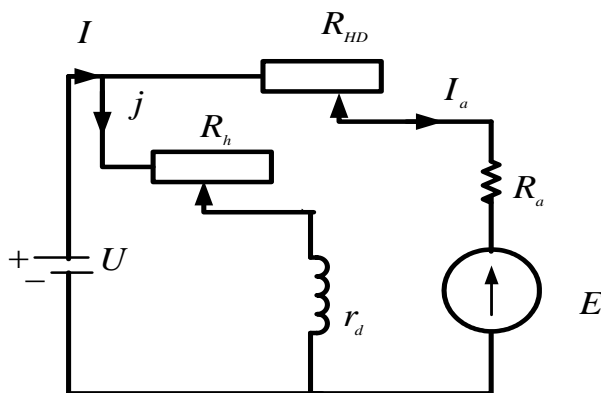


Figure 6 .9: Insertion du rhéostat de démarrage

☒ Remarque : (opération de démarrage)

On démarre avec R_{HD} maximale, puis au fur et à mesure que la vitesse augmente, on diminue R_{HD} . A la fin de démarrage R_{HD} sera court-circuitée.

☒ Remarque : (couple de démarrage Γ_d)

On a déjà établi que Γ et I sont proportionnels $\Rightarrow \Gamma_d$ et I_d sont aussi proportionnels et par

conséquent $\Gamma_d = \Gamma_n \cdot \frac{I_d}{I_n}$ (9), d'où l'intérêt de démarrer avec $I_d > I_n$ pour garantir le

décollage de la machine. En effet la machine ne peut pas démarrer que si $\Gamma_d > \Gamma_{rd}$ (couple résistant de décollage).

3°.2-Fonctionnement sous tension d'induit réglable et $j = cte$

3°.2.1-Caractéristique de vitesse $n = f(I_a)$ à $j = cte$ et $U = cte$

D'après (3), lorsqu'on fait diminuer la tension d'alimentation c'est la valeur n_{00} qui va changer (diminue) et la pente reste la même, donc on peut déduire les caractéristiques de vitesse pour différentes valeurs d'alimentation à partir de l'une d'entre elles qu' a été tracée, et ceci par translation.

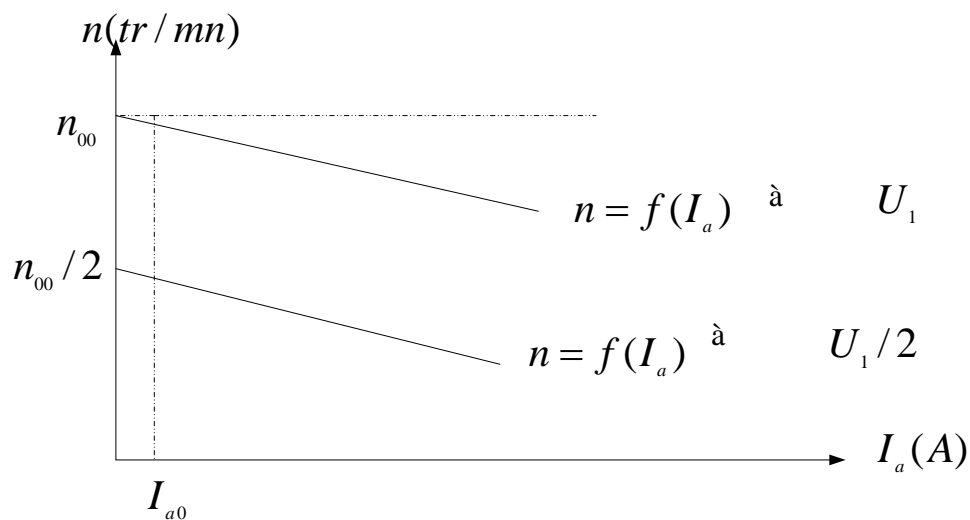


Figure 6.10 : caractéristique de vitesse

3°.2.2-Caractéristique mécanique : $\Gamma = f(n)$ à $j = cte$ et $U = cte$

De la même manière que précédemment, on peut déduire la caractéristique mécanique pour différentes valeurs de la tension d'alimentation.

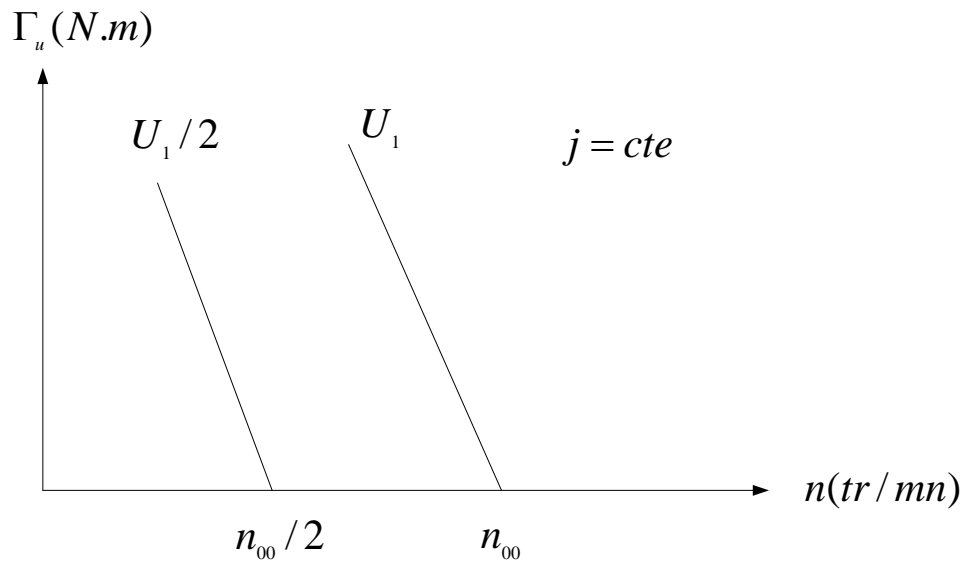


Figure 6.11 : caractéristique mécanique

3°3-Rendement

➤ Bilan des puissances

- Puissance absorbée : P_a
- Puissance utile : P_u
- Puissance électromagnétique : P_{em}
- Pertes
 - Pertes par effet joule dans l'inducteur P_{jd}
 - Pertes par effet joule dans l'induit P_{ja}
 - Pertes fer+perles mécaniques dites pertes constantes : $P_c = P_0 - R_a \cdot I_{a0}^2$ et $P_0 = U \cdot I_{a0}$

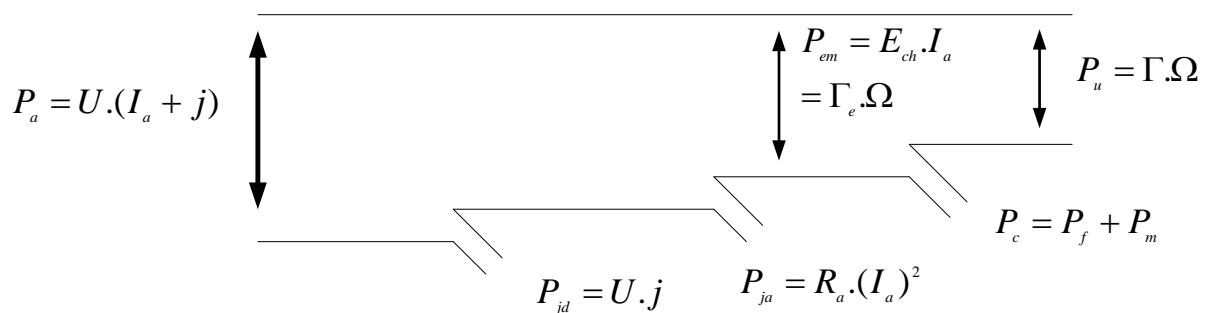


Figure 6.12 : Bilan de puissance d'un moteur shunt

➤ Rendement :

$$\eta\% = \frac{P_u}{P_a} \cdot 100 = \frac{P_a - \sum \text{Pertes}}{P_a} \cdot 100 = \frac{U \cdot I_a - R_a \cdot I_a^2 - P_c}{U \cdot (I_a + j)} \cdot 100$$

4°-Moteur à excitation série

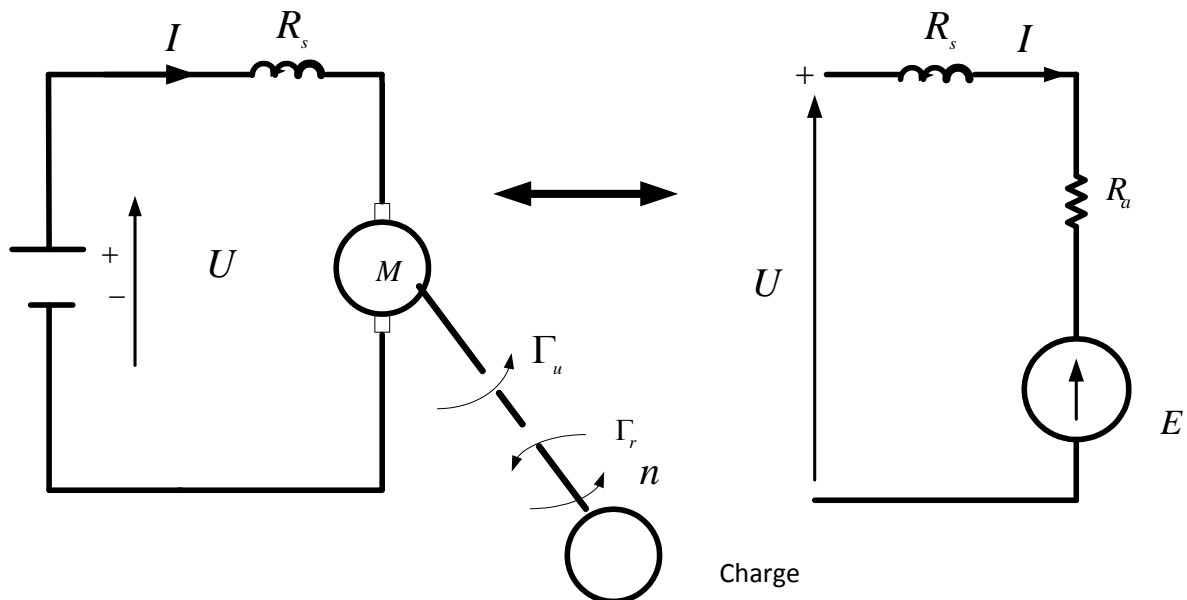


Figure 6.13: Schéma équivalent d'un moteur série

La loi des mailles appliquée au modèle de la machine donne : $U = E + (R_a + R_s) \cdot I$ (10)

4°.1-Caractéristique de vitesse $n = f(I_a)$ à $U = cte$

Pour démontrer l'allure de $n = f(I_a)$ à $U = cte$. On suppose que le circuit magnétique n'est pas saturé : $\Rightarrow \phi = \alpha \cdot I_a$.

Or $E = \frac{P}{a} \cdot N \cdot n \cdot \phi$ est égale aussi à : $E = U - (R_a + R_s) \cdot I_a$, donc, en remplaçant ϕ par sa valeur : $E = K_E \cdot n \cdot \alpha \cdot I_a$.

Et $n = \frac{E}{K_E \cdot \alpha \cdot I_a} = \frac{U - (R_a + R_s) \cdot I_a}{K_E \cdot \alpha \cdot I_a}$ en négligeant $(R_a + R_s) \cdot I_a$ devant U , on aura :

$n \cong \frac{U}{K_E \cdot \alpha \cdot I_a}$ c'est l'équation d'une hyperbole.

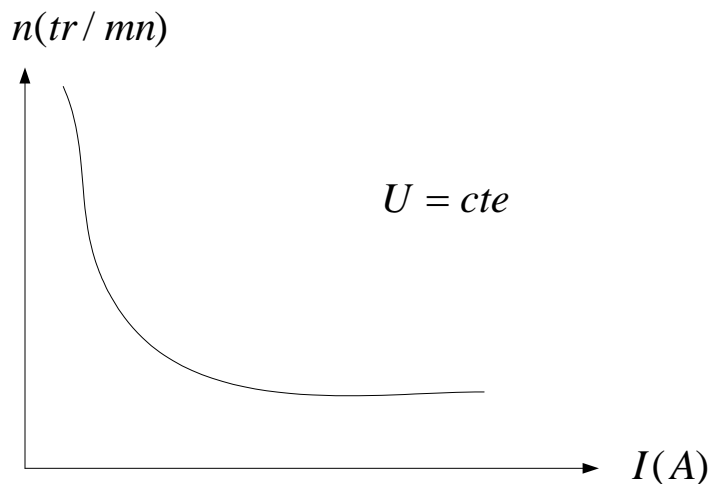


Figure 6.14: Caractéristique de vitesse d'un moteur

☒ Remarque : (emballement à vide)

La relation (10) , nous montre que qu'a faible charge, la vitesse du moteur série est excessive. Le moteur série doit toujours démarrer à pleine charge. Il convient bien pour la traction électrique.

4°.2-caractéristique de couple $\Gamma_e = f(I_a)$ à $U = cte$

Pour démontrer l'allure de $\Gamma_e = f(I_a)$ à $U = cte$.On va prendre la même hypothèse que précédemment $\Rightarrow \phi = \alpha.I_a$.

On sait que le couple électromagnétique est donné par la relation suivante : $\Gamma_e = K_m \cdot \phi \cdot I_a$ avec

$$K_M = \frac{K_E}{2\pi} = \frac{P.N}{2\pi.a}, \text{ or } \phi = \alpha.I_a \Rightarrow \Gamma_e = K_M'' \cdot I_a^2 \quad (11)$$

Avec $K_M'' = K_M \cdot \alpha$

L'équation (11) est celle d'une parabole qui passe par l'origine.

La caractéristique $\Gamma_u = f(I_a)$ est obtenue par translation verticale de $\Gamma_e = f(I_a)$ de $-\Gamma_p$ (moment du couple des pertes constantes).

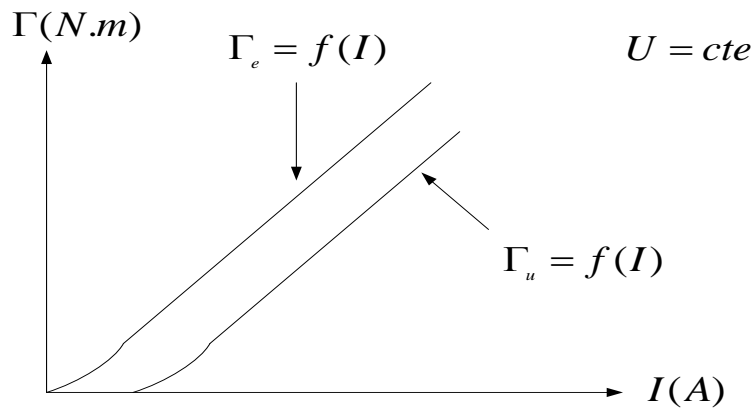


Figure 6.15: Caractéristique de couple d'un moteur série

4°.3-caractéristique mécanique $\Gamma_e = f(n)$ à $U = cte$

Cette courbe peut être obtenue par élimination graphique du courant entre les deux caractéristiques précédentes (même marche à suivre qu'avec le moteur shunt). Toutefois on peut adapter la même hypothèse que précédemment $\phi = \alpha \cdot I_a$ et donner l'allure approximatif.

On a déjà établi que :

$$n \cong \frac{U}{K_E \cdot I_a} \Leftrightarrow I = \frac{U}{K_E \cdot n}$$

$$\Gamma_e = K_M' \cdot I_a^2 \Leftrightarrow \Gamma_e = K_M' \cdot \left(\frac{U}{K_E}\right) \cdot \frac{1}{n^2}$$

Le couple varie en raison inverse du carré de la vitesse.

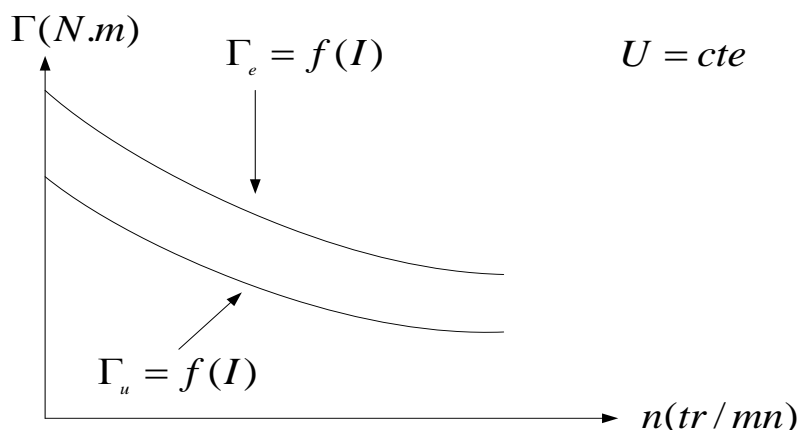


Figure 6.16 : Caractéristique mécanique d'un moteur série

4° .4-Problème de démarrage

Pratiquement , c'est la même marche à suivre que pour le moteur shunt. Le démarrage doit se faire à l'aide d'un rhéostat de démarrage, qui est calculé avec les mêmes relations vues précédemment .Cependant, on doit préciser que les détails des calculs concernant la division de ce rhéostat en plusieurs portions n'ont pas été traités avec le moteur shunt.

4° .5-Rendement

➤ Bilan de puissance

- Puissance absorbée : P_a
- Puissance utile : P_u
- Puissance électromagnétique : P_{em}
- Pertes
 - Pertes par effet joule dans l'inducteur P_{jd}
 - Pertes par effet joule dans l'induit P_{ja}
 - Pertes fer+perles mécaniques dites pertes constantes : P_c

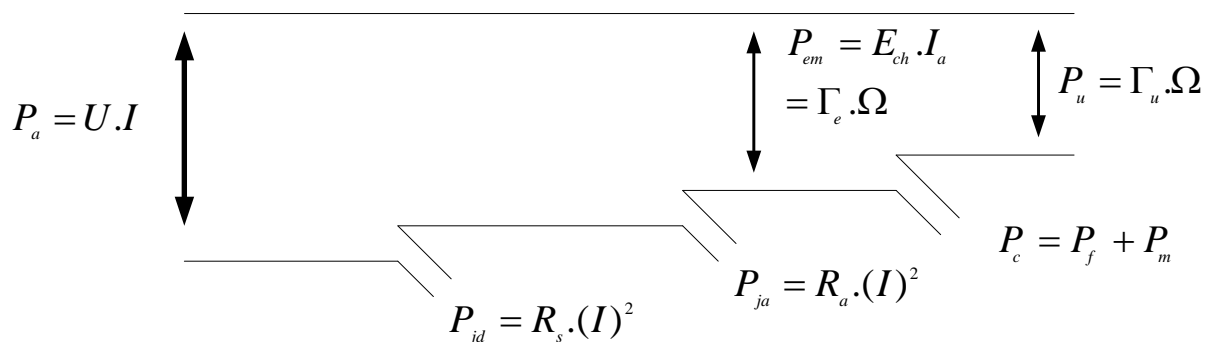


Figure 6.17 : bilan de puissance d'un moteur série

➤ Rendement :

$$\eta\% = \frac{P_u}{P_a} \cdot 100 = \frac{P_a - \sum \text{Pertes}}{P_a} \cdot 100 = \frac{U.I_a - (R_a + R_s).I_a^2 - P_c}{U.I_a} \cdot 100$$

5°-Comparaison des moteurs série et shunt et applications :

- Le moteur série supporte bien les surcharges que le moteur shunt. En effet, pour un même accroissement de couple, l'appel de courant qu'il provoque est moindre que dans un moteur shunt.

- Le couple du moteur série ne dépend pas de la tension d'alimentation ; contrairement au moteur shunt (son excitation dépend de la tension d'alimentation).c'est un avantage en traction ou, en bout de ligne un moteur peut être alimenté à tension assez faible (à cause de la forte chute en ligne).Le moteur série permet de monter une cote, tandis que le moteur shunt absorbant un courant excessif peut être détruit.
- L'emballement du moteur série à vide est un inconvénient sérieux qui en limite son emploi.

Applications

- Le moteur série est surtout utilisé en traction électrique ou l'on apprécie sa robustesse(enroulement inducteur gros fil ne risque pas la rupture) et surtout son autorégulation de puissance qui lui permet de ralentir en cote et de monter sans échauffement exagéré. On l'emploie également dans les entraînements des appareils pour lesquels le couple résistant croît rapidement avec la vitesse(ventilateurs, compresseurs pompes centrifuges,
- Le moteur shunt est un autorégulateur de vitesse, il convient dans les entraînements des machines dont la vitesse doit rester sensiblement constante. On l'emploie également dans les entraînements des appareils de levage ou la charge peut être supprimée brusquement et ou avec moteur série, il y'a risque d'emballement.