

Chap 4 : MOTEUR A COURANT CONTINU

4.1 Introduction :

Malgré le cout élevé d'un moteur à courant continu et son entretien qui est obligatoire, ce moteur est très utilisé au niveau des entraînements à vitesse variable.

4.2 Point de fonctionnement d'un ensemble Moteur – Charge :

Lorsqu'un moteur donné entraîne entraîne une charge donnée, la vitesse obtenue en régime permanent correspond à l'égalité des couples moteur (C_m) et couple résistant (C_r) que la charge oppose au moteur.

$$C_m - C_r = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Avec Ω : vitesse angulaire ou vitesse de rotation (rd/s). $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot n$; n(tr/s)

J : Inertie (moment) de la partie tournante du groupe (ce moment peut être supposé constant.

Ω : la solution de l'équation mécanique.

- Le fonctionnement est stable si tout écart accidentel de vitesse crée une différence de couple qui l'annule.
- On appelle partie stable de la caractéristique d'un moteur, la portion de celle-ci où la vitesse diminue quand le couple augmente.

4.3- Expression des couples :

Le couple électromagnétique :

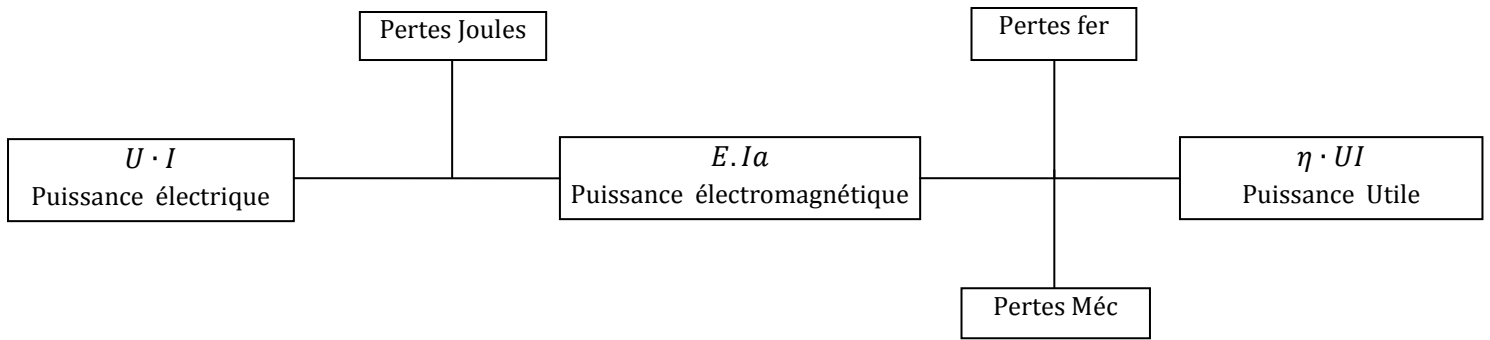
$$C_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi \cdot I_a$$

Le couple utile :

$$C_u = C_e - C_p = C_e - \frac{P_{méc} + P_f}{\Omega}$$

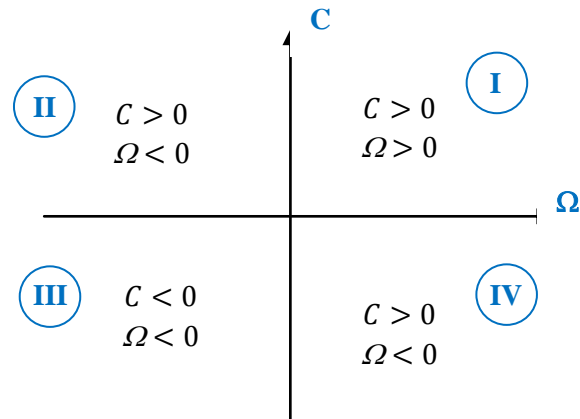
$$P_u = C_u \cdot \Omega = \eta \cdot P_{abs} \text{ avec : } \eta = \frac{P_u}{P_{abs}}$$

P_{abs} : Puissance absorbée, puissance fournie par la source au moteur.



La puissance mécanique sur l'arbre de la machine s'exprime par : $P_m = C \cdot \Omega$

Fonctionnement à 4 cadrans :



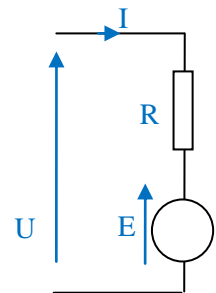
$$U = E_{ch} + RI + \Delta U_b$$

R : Résistance totale d'induit

$$E_{ch} = U - RI - \Delta U_b$$

$$E_v - \varepsilon(I) = U - RI - \Delta U_b$$

$$E_v = U - RI - \Delta U_b + \varepsilon(I)$$



Comme dans le cas des génératrices à CC, on retrouve les mêmes modes d'excitation et les mêmes types de montages :

4.4- Moteur à Excitation Shunt - (Excitation Indépendante) :

Sil le moteur est alimenté sous une tension constante, il n'ya pas à séparer les caractéristiques en excitation indépendante de celle en excitation shunt. L'inducteur étant les deux cas alimenté par une tension indépendante.

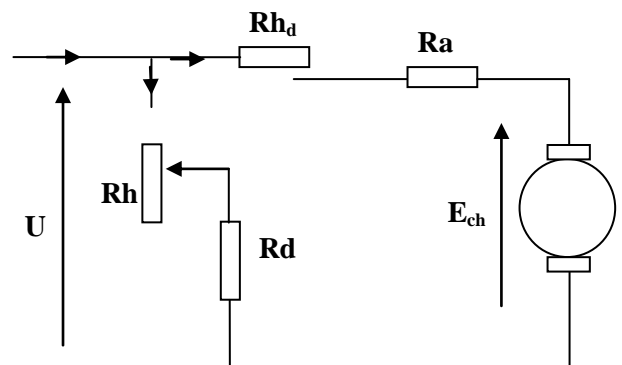
Rhd : Résistance du rhéostat de démarrage.

Rh : Résistance du rhéostat d'excitation (Rhéostat de champ).

R : Résistance totale d'induit.

Rd et Rh : traversées par J .

Rhd et Ra : traversées par I ; courant d'induit.



4.4.a- Caractéristique électromécanique du couple : $C_e(I)$ et $C_u(I)$

$$P_e = P_u + \sum \text{pertes} \quad \text{donc :} \quad P_e = P_u + P_{Mec} + P_{fer} + P_J$$

A vide : ($P_u = 0$)

$$U \cdot I_v = P_{Mec} + P_{fer} + R \cdot I_v^2 + \Delta U_b(I_v) \cdot I_v$$

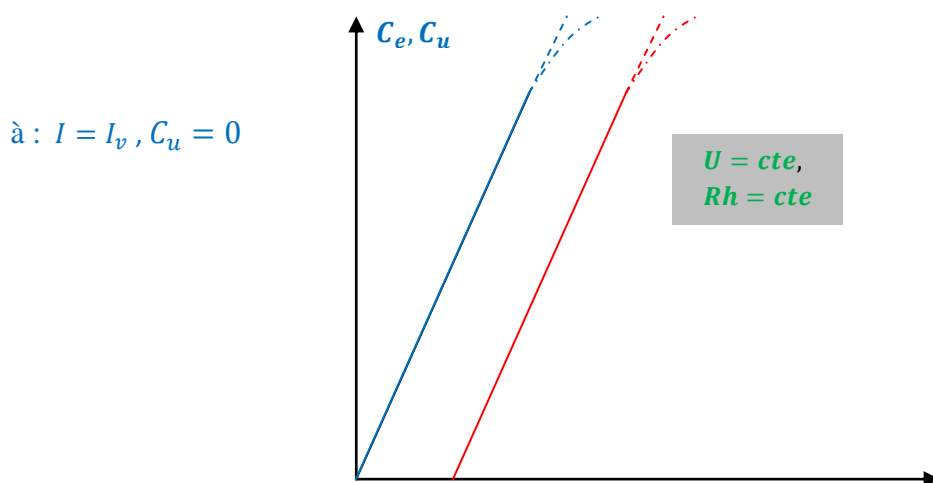
$$R \cdot I_v^2 + \Delta U_b(I_v) \cdot I_v \ll \Rightarrow U \cdot I_v = P_{Mec} + P_{fer}$$

En charge :

$$C_e \cdot \Omega = C_u \cdot \Omega + P_{Mec} + P_{fer}$$

$$C_u = C_e - \frac{P_{Mec} + P_{fer}}{\Omega} = \frac{E \cdot I - U \cdot I_v}{\Omega} = \frac{E \cdot (I - I_v)}{\Omega}$$

$$C_u = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot (\Phi_v - \Delta\Phi) \cdot (I - I_v)$$



- Les courbes avec la zone saturée correspondent à une machine saturée (b) [courbe linéaire (a) si on néglige la saturation].
- Quand un moteur est alimenté et qu'il tourne à une vitesse n donnée, le courant d'induit I à vide ne peut pas être nul pour vaincre le couple des pertes (le moteur absorbe une puissance à vide).

4.4.b- Caractéristique électromécanique de couple $\Omega(I)$:

$$E_v = U - RI - \Delta U_b + \varepsilon(I)$$

$$\varepsilon(I) = E_v - E_{ch} = k \cdot \Omega \cdot (\Phi_v - \Phi_{ch}) = k \cdot \Omega \cdot \Delta\Phi$$

$$U - RI - \Delta U_b = E_{ch} = k \cdot \Omega \cdot \Phi_v \cdot \left(1 - \frac{\Delta\Phi}{\Phi_v}\right)$$

$$\Omega = \frac{U}{k \cdot \Phi_v} \cdot \frac{1 - \frac{RI + \Delta U_b}{U}}{1 - \frac{\Delta \Phi}{\Phi_v}} = \Omega_v \cdot \frac{1 - \frac{RI + \Delta U_b}{U}}{1 - \frac{\Delta \Phi}{\Phi_v}}$$

A vide, sous une tension $U = \text{constante}$, la vitesse est exprimée pratiquement par : $\Omega_v \cong \frac{U}{k \cdot \Phi_v}$

donc ; il est nécessaire d'avoir un flux assez élevé (un courant inducteur J suffisant) pour éviter un emballement du moteur et en particulier au démarrage.

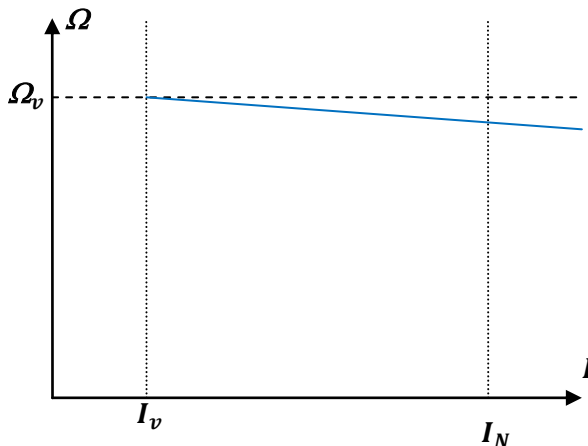
Un moteur à courant continu, quelque soit son mode d'excitation doit toujours démarrer à champ fort c-à-d un courant inducteur proche du courant nominale ($J \approx J_n$).

Pour $U = \text{cte}$:

$$\Omega = \Omega_v \cdot \frac{1 - \frac{RI + \Delta U_b}{U}}{1 - \frac{\Delta \Phi}{\Phi_v}}$$

Lorsque : $I \uparrow$, la quantité $(RI + \Delta U_b)$ augmente plus que l'augmentation de $(\frac{\Delta \Phi}{\Phi_v})$ donc $(1 - \frac{RI + \Delta U_b}{U})$ diminue plus que $(1 - \frac{\Delta \Phi}{\Phi_v})$

A : $I = I_v \rightarrow \Omega = \Omega_v$



$$\Omega = \Omega_v \cdot \alpha_1 \text{ à } I = I_1 \quad I_2 > I_1$$

$$\Omega = \Omega_v \cdot \alpha_2 \text{ à } I = I_2 \quad \alpha_2 < \alpha_1$$

4.5- Rhéostat de démarrage :

Le démarrage des moteurs CC ne doit pas se faire en appliquant directement la tension aux bornes. En effet, le courant instantanément consommé serait alors considérable, et le courant traversant l'induit de l'ordre de $(\frac{U}{R_a})$ en shunt et $(\frac{U}{(R_a + R_s)})$ en série, risquerait de le détériorer.

On a 3 possibilités pour réduire le courant au démarrage :

- a) Si on dispose d'une tension continue réglable, démarrer sous une tension réduite, et le faire croître ensuite progressivement.

- b) Utiliser un rhéostat de démarrage, c-à-d, insérer en série avec l'induit des résistances qui seront ensuite successivement court-circuitées manuellement lorsque le moteur prendra de la vitesse.
- c) Utiliser une boîte automatique qui réalise la même fonction qu'un rhéostat de démarrage mais automatiquement.

Soit I_{init} le courant au démarrage, le couple a pour valeur :

$$C_{dém} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi \cdot I_{init}$$

Pour qu'il soit fort on admet que : $I_{init} \geq (1.5 \text{ à } 2.5) \cdot I_{Nom}$

Φ soit maximum $\rightarrow R_h \rightarrow 0$; rhéostat de champ en court-circuit.

Donc, on démarre toujours à flux maximum. Au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse, la f.c.e.m apparaît et le courant diminue :

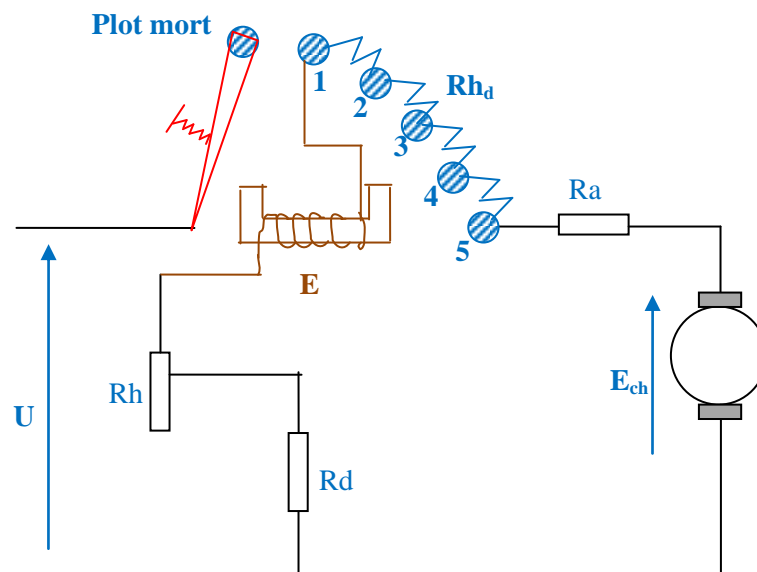
$$U = E_{ch} + (R + Rh_d)I - \varepsilon(I) \quad \Delta U_b \ll$$

$$I = \frac{U - E_{ch} + \varepsilon(I)}{R + Rh_d} = \frac{U - k.n.\phi + \varepsilon(I)}{R + Rh_d}$$

Si I diminue, le couple décroît aussi et la montée en vitesse se ralentit, il faut éliminer progressivement le rhéostat de démarrage au fur et à mesure que la vitesse augmente.

Division du rhéostat de démarrage :

On cherche, par une division convenable de la résistance totale Rh_t , à maintenir le courant entre un maximum I_M et un minimum I_m .



La plupart des rhéostats de démarrage sont munis d'une « **Rupture à minimum de tension** », un électro-aimant E parcouru par le courant J maintient en fin de démarrage la manette sur le dernier plot malgré l'action du ressort de rappel.

Si la tension U diminue trop, le courant J devient insuffisant pour que E retienne la manette, le ressort de rappel la ramène sur le plot mort. Cette protection évite qu'après une coupure de l'alimentation son établissement trouve le moteur avec rhéostat de démarrage éliminé.

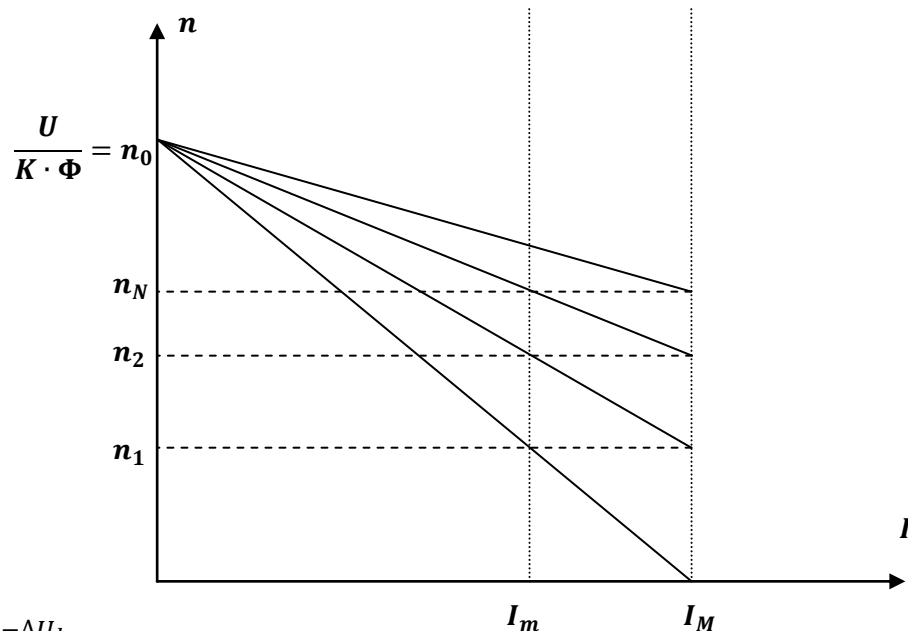
Si k est le nombre de portions des valeurs Rh_1, Rh_2, \dots, Rh_k , le rhéostat aura $(n + 1)$ bornes ou plots actifs.

Si on néglige les variations de Φ et de $\Delta U_b(I)$ lorsque I varie entre I_M et I_m , l'équation des tensions :

$$U = \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot n \cdot \Phi + (R + Rh_d) \cdot I + \Delta U_b(I)$$

$$n = \frac{U - \Delta U_b}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi} - \frac{(R + Rh_d) \cdot I}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi}$$

Cette équation montre que $n(I)$ est une droite de pente : $\left[- \frac{(R+Rh_d)}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi} \right]$



$$A = 0, n = \frac{U - \Delta U_b}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi} = n_0$$

La droite qui correspond à $(R + Rh_t)$ doit être de telle sorte que à $n=0$, $I = I_M$.

Quand la vitesse atteint $n = n_1 \rightarrow I = I_m$, on élimine alors Rh_1 , $I \rightarrow I_M$, la droite à une pente $\left(- \frac{(R+Rh_d-Rh_1)}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi} \right)$

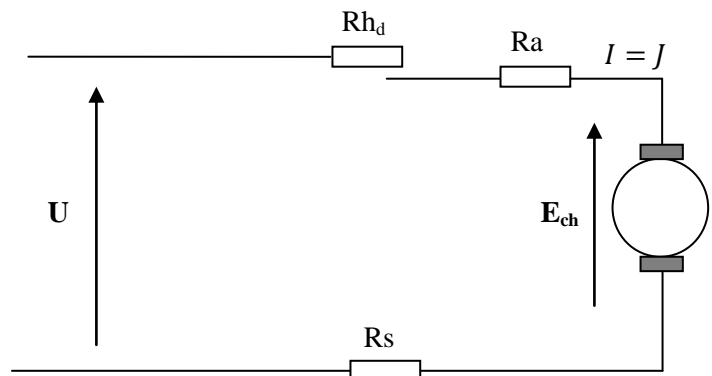
Quand la vitesse atteint $n = n_2 \rightarrow I = I_m$, on élimine alors Rh_2 , $I \rightarrow I_M$, la droite à une pente $\left(- \frac{(R+Rh_d-Rh_1-Rh_2)}{\frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi} \right)$

Quand la vitesse atteint $n = n_2 \rightarrow I = I_m$, on élimine alors Rh_3 , $I \rightarrow I_M, \dots$

A la vitesse n_n , l'élimination de la dernière portion Rh_n du rhéostat doit ramener le courant de I_m à I_M .

4.6 Moteur à excitation série :

Au niveau de ce moteur, l'inducteur de résistance $R_s < R$ de peu de spires composée de fil inducteur de forte section, est connectée en série avec l'induit.



$$U = E_{ch} + (R + R_s + Rh_d) \cdot I + \Delta U_b$$

$$U = k \cdot \Omega \cdot \Phi + (R + R_s + Rh_d) \cdot I + \Delta U_b$$

$$\Omega = [U - (R + R_s + Rh_d) \cdot I - \Delta U_b] / k \cdot \Omega \cdot \Phi$$

A vide $I = J = I_v$ (Flux inducteur négligeable) → la moteur aura tendance à s'emballer ($n \uparrow$).

Le moteur série présente un couple de démarrage très important et nécessite donc un rhéostat de démarrage Rh_d quand il n'est pas démarré sous tension réduite à partir d'une tension réglable.

Caractéristiques du moteur série :

a) Caractéristique électromécanique du couple $C(I)$ sous $U=cste$:

$$C_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot \Phi_{ch} \cdot I = k' \cdot \Phi_{ch} \cdot I$$

La caractéristique magnétique de la machine :

Zone I : Zone linéaire

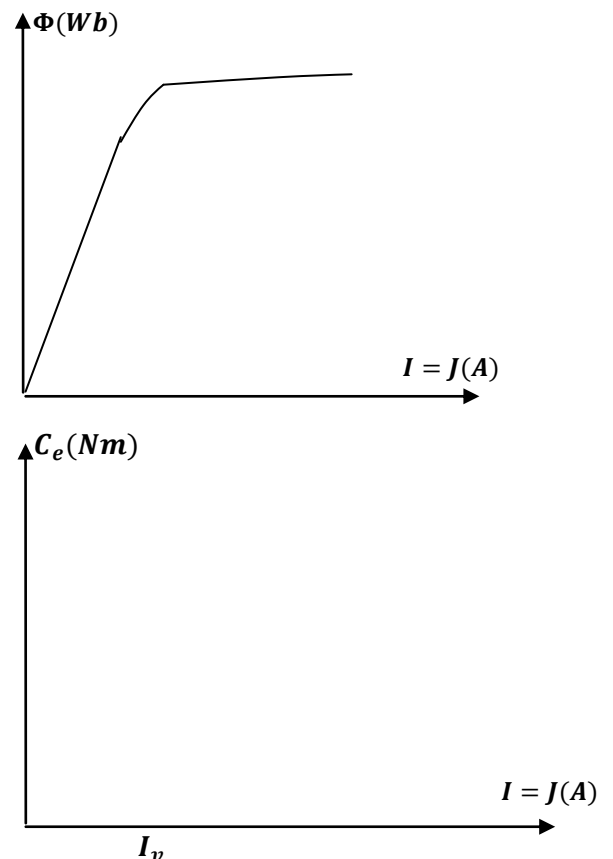
Φ_{ch} est pratiquement proportionnel

au courant inducteur I ($I = J$) :

$$\Phi_{ch} = k_1 \Rightarrow C_e = k \cdot I^2$$

Zone II : Coude de saturation

Zone III : Saturation



b) Caractéristique électromécanique de vitesse $\Omega(I)$ à $U = cte$:

$$\Omega = \frac{U}{k \cdot \Phi(I = J)}$$

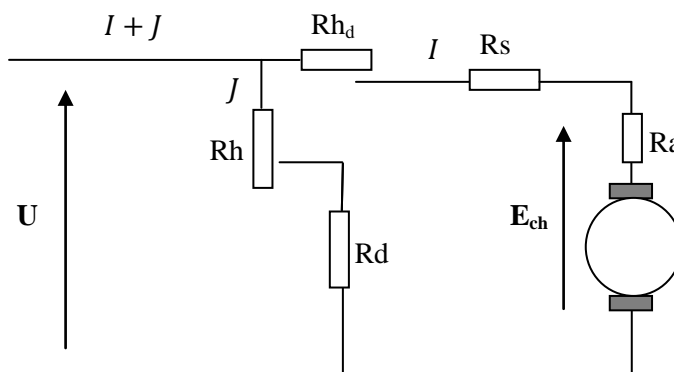
Au niveau de la zone (1), le flux est proportionnel à $(I = J)$, on obtient pratiquement une variation ayant une forme d'hyperbole.

$$\Omega = \frac{U}{k' \cdot I} = \frac{k''}{I}, U = cte$$

Au niveau de la zone (2) et (3), le flux augmente moins vite que le courant I .

4.7- Moteur à excitation compound (composée) :

Le moteur le plus utilisé est le moteur compound à flux additif (longue dérivation).



$$E = k \cdot n \cdot (\Phi_s + \Phi_d)$$

$$U = E + (R_a + R_s + Rh_d)I = k \cdot n \cdot (\Phi_s + \Phi_d) + (R_a + R_s + Rh_d)I$$

$$n = \frac{U}{k \cdot (\Phi_s + \Phi_d)} - \frac{(R_a + R_s + Rh_d)}{k \cdot (\Phi_s + \Phi_d)} I$$

$$n = \frac{U}{k \cdot \Phi_d} - \frac{R_a + Rh_d}{k \cdot \Phi_d} I$$

$$C_{ush} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} \cdot N_c \cdot (\Phi_v - \Delta\Phi) \cdot (I - I_v)$$

