

La Fig. (6.26) illustre l'effet d'un rhéostat de démarrage à quatre plots sur la caractéristique: $n = f(I)$. En effet pour une machine compensée ($b_m \neq 0$), avec un rhéostat de démarrage en série avec l'induit l'expression de la vitesse en fonction du courant d'induit est donnée par :

$$n = \frac{U_a}{K'} - \frac{r_a + R_D}{K'} I_a \quad (6.9)$$

dans laquelle on remplace « I_a » par « $I_{dém}$ ». En général, en shunt on considère que: « $I_a \approx I$ », vu que: $J \ll I_a$ et I .

6.2.1.5 Phase de freinage

La machine à courant continu en fonctionnement moteur acquiert une certaine énergie qui est due aux masses tournantes. Lorsqu'on coupe l'alimentation d'un moteur celui-ci ne s'arrête pas instantanément à cause de l'inertie de l'induit et de la masse en mouvement du système entraîné.

Dans certaines applications le freinage est une phase très importante du fonctionnement du système qui doit être souple ou brusque (i.e.: freinage lent ou rapide), autant que la phase de démarrage du système. Cela est aussi une phase transitoire ou le facteur temps est très important.

Divers procédés de freinage sont utilisés et ceci selon les applications voulues. Dans ce qui suit on présentera trois procédés qui sont les plus utilisés, le freinage par récupération, le freinage rhéostatique et le freinage à contre courant.

(1) Le freinage par récupération

L'intérêt de ce procédé est la récupération d'une partie de la puissance, en utilisant l'inertie du système entraîné, comme source d'énergie mécanique de la machine à courant continu, qui fonctionne maintenant comme génératrice en renvoyant de la puissance à la source d'alimentation.

Comme illustré sur la Fig. (6.27), à tension d'alimentation constante « U_a » et courant d'excitation « J » donné, les différentes phases de la transition sont:

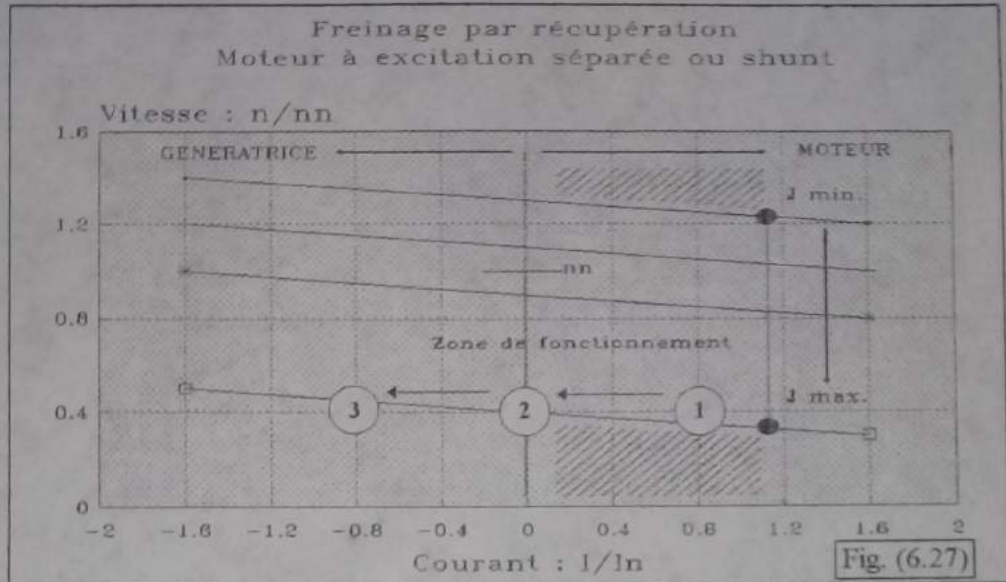
Phase (1): Lors du fonctionnement moteur avant le freinage, on a :
 $C_e > 0$, ce qui implique que: $I_a > 0$, alors: $E' = U - r_a I_a$.

Phase (2): Lors du passage du fonctionnement moteur en générateur, on a :
 $C_e = 0$, ce qui implique que: $I_a = 0$, alors: $E = U$.

Phase (3): Lors de la phase de freinage (fonctionnement générateur) on a :
 $C_e < 0$, ce qui implique que: $I_a < 0$, alors: $E = U + r_a I_a$.

En effet, durant cette dernière phase la machine fonctionne en génératrice renvoyant de la puissance au réseau. Comme indiqué sur la Fig. (6.27), pour le freinage par récupération, on opère à vitesse sensiblement constante.

En général, lorsqu'on veut amorcer la phase de freinage, on commence par augmenter « J » jusqu'à « $J_{\max}$ », (i.e.) qu'on augmente le couple de freinage en diminuant progressivement « U », car si « J » augmente $\Rightarrow$ que: « n » diminue.



Ce type de freinage est le plus économique car une partie de l'énergie est restituée au système d'alimentation. Ce type de freinage trouve son application surtout en traction électrique ferroviaire où les puissances mises en jeu sont très importantes.

(2) Freinage rhéostatique

Pour ce type de freinage, on coupe l'alimentation du moteur et on branche une résistance « R_F » ou (rhéostat de freinage) aux bornes du moteur qui fonctionne maintenant en générateur entraîné par la masse tournante en mouvement qui produit l'énergie mécanique nécessaire. En effet, dans cette phase de fonctionnement la machine fonctionne en générateur, où l'énergie cinétique acquise sera dissipée dans le rhéostat « R_F », comme illustré sur le schéma de principe de la Fig. (6.28).

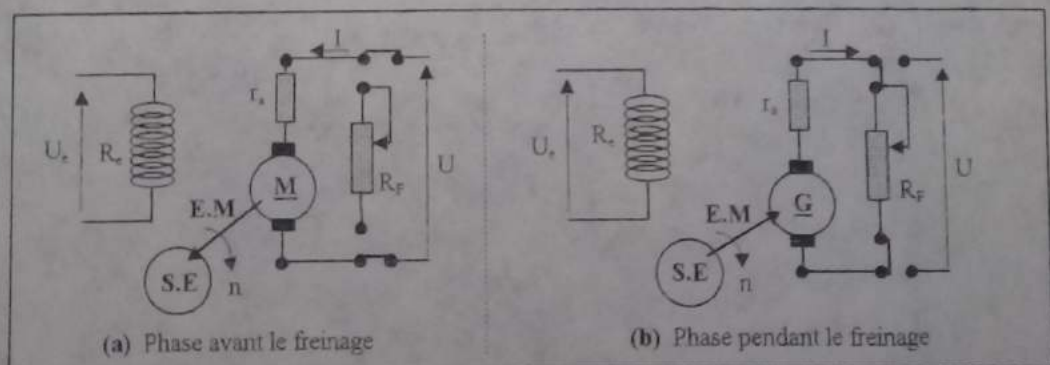


Fig. (6.28) Schéma de principe du freinage rhéostatique

Cette opération est complémentaire à la première on l'utilise en général aux basses vitesses. Pour un courant d'excitation « I_G », donné on a, pour $h_m \neq 0$:

$$E = K n \phi = (r_a + R_f) I_G \quad (6.10)$$

On déduit :

$$n = \frac{1}{K \phi} (r_a + R_f) I_G \quad \text{où} \quad I_G = \frac{n K \phi}{(r_a + R_f)} \quad (6.11)$$

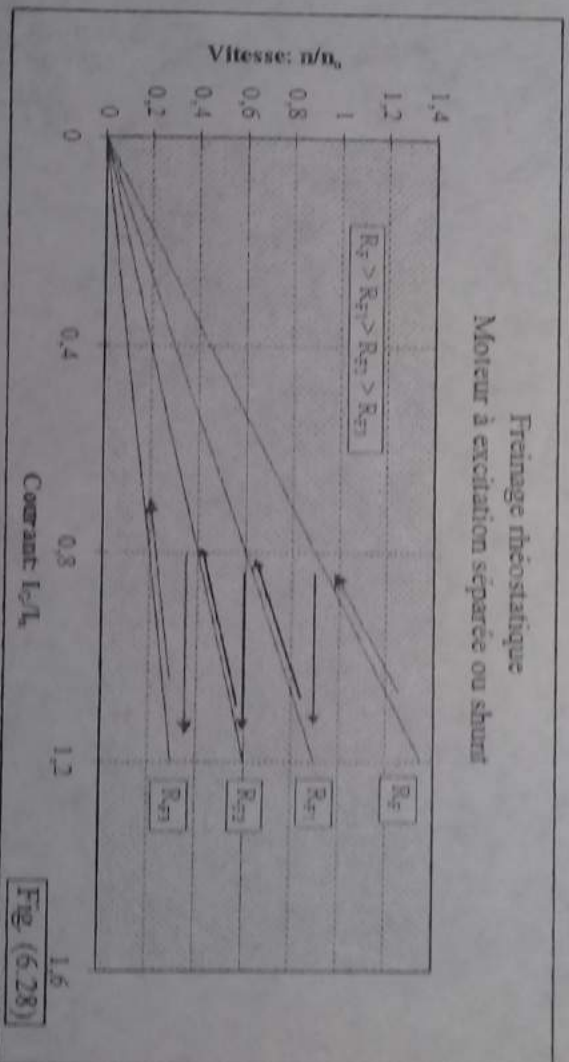
Les grandeurs « I_G » et « n » sont des grandeurs transitoires, donc dépendant du temps. On remarque que « I_G », est d'autant plus grand que la vitesse « n », est forte et « R_f » plus faible.

Le couple électromagnétique de freinage est proportionnel à « I_G », et son expression est donnée par:

$$C_f = \frac{E I_G}{2\pi n} = K \phi I_G$$

Par ailleurs, l'équation régissant la relation (6.11), est une droite passant par l'origine, dont la pente est fonction de la résistance de freinage « R_f ».

Alors comme illustré sur la Fig. (6.28), on commence le freinage en introduisant une forte résistance « R_{f1} », ensuite on diminue celle-ci au fur et à mesure que la vitesse « n » décroît. Aux très faibles vitesses, l'induit est mis directement en court-circuit.



Ce type de freinage est utilisé pour les applications à freinage lent, ou bien en complément du freinage par récupération aux basses vitesses.

Mais présente l'inconvénient majeur de ne pas être économique, car la puissance emmagasinée est transformée en pertes par effet Joule dans la résistance de freinage.

(3) Freinage à contre courant

A l'inverse du freinage rhéostatique, le freinage à contre courant est souvent utilisé pour les applications nécessitant un arrêt brutal (i.e.: un freinage très rapide). Dans ce freinage on inverse brusquement le sens du courant dans l'induit à l'aide d'un commutateur (inverseur), tout en gardant le sens du courant dans l'inducteur, comme illustré sur la Fig. (6.30).

En pratique, un tel mode de fonctionnement ne peut se faire qu'avec l'adjonction d'une résistance variable, car le f.e.m s'ajoutera à la tension d'alimentation. L'énergie totale fournie sera dissipée à travers cette résistance. L'équation des tensions devient:

$$U + E_G = (r_a + R_F) I_G \Rightarrow I_G = (U + E_G) / (r_a + R_F), \text{ avec: } C_F = K \cdot \phi \cdot I_G.$$

Comme on le constate, le couple de freinage peut être réglé en variant « I_G », qui est modifié en agissant sur la valeur de « R_F ».

Ce freinage est souple mais présente l'inconvénient d'être moins économique, car l'énergie de freinage n'est pas récupérée. Par ailleurs, on doit s'assurer de couper l'alimentation dès que le moteur s'arrête, sinon il redémarre en sens inverse.

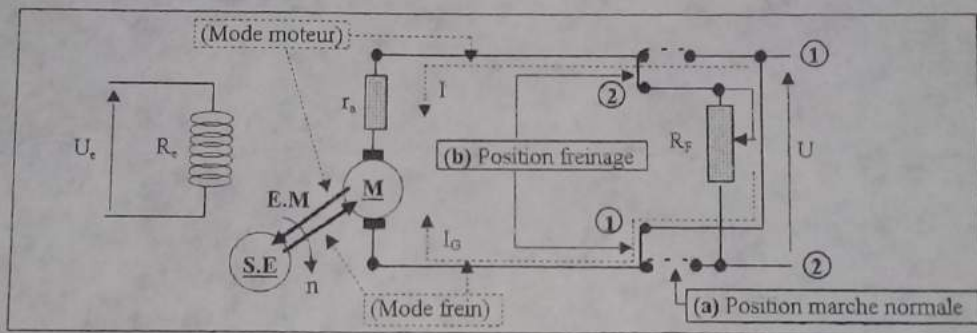


Fig. (6.30) Schéma de principe du freinage à contre courant

6.2.1.6. Caractéristique $n = f(U)$ à: « $J = \text{Cte}$ ».

La Fig. (6.31) illustre le réseau de courbes $n=f(U)$ pour différentes valeurs de « J », ainsi que les zones limites de fonctionnement de la machine.

* A vide, on a pour: « $J = \text{Cte}$ » :

$$n \approx \frac{U}{K \cdot \phi} \quad (6.12)$$

La vitesse « n » est proportionnelle à la tension d'alimentation « U », ceci est l'équation d'une droite passant par l'origine.

* En charge, on a pour: « $J = \text{Cte}$ » :

$$n = \frac{U - r_a \cdot I_a}{K \cdot \phi} \quad (6.13)$$