

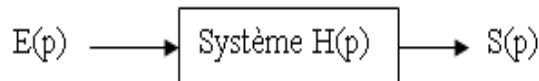
Chapitre I : Notions de Bases – MCC et leurs Commandes

3^{ème} partie

III : Régulation de la vitesse des machines a courant continu:

1. Introduction :

L’association du convertisseur à la machine à courant continu permet le réglage de la vitesse ou la position. Lorsque le système de commande n’a pas d’information sur l’évolution et le comportement du système commandé, on ne sait pas si notre système commandé converge vers la solution souhaitée ou non. Ici, on parle alors de la commande en Boucle Ouverte (BO), comme schématisé dans la figure (1).



Figure(1) : schématisation d’un système en BO

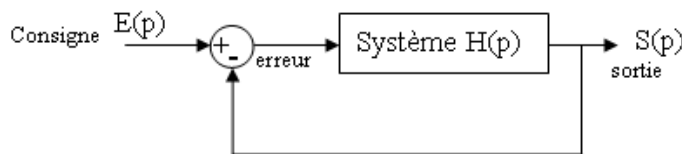
$E(p)$: signal d’entrée. $S(p)$: signal de sortie.

$H(p)=S(p)/E(p)$: fonction de transfert en BO.

Par contre la commande en boucle fermée (BF) est capable :

- * de recevoir des observations (mesures) et donc de connaître l’état du système commandé.
- * de comparer le comportement observé avec le comportement désiré.
- * de corriger en conséquence la commande pour réduire les écarts.

Donc on aura des informations complètes sur le système commandé, figure(2).



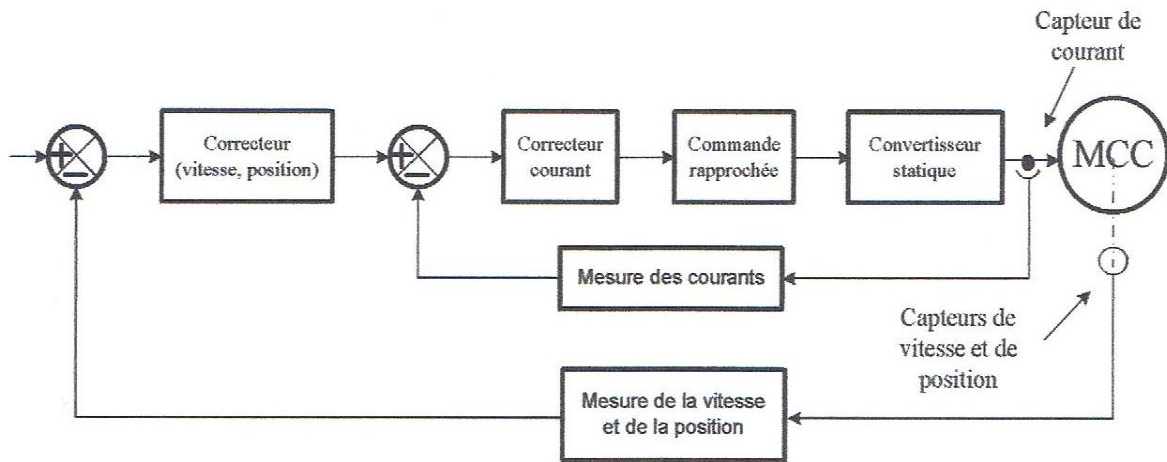
Figure(2) : schématisation d’un système en BF

La fonction de transfert en BF est : $G(p) = \frac{H(p)}{1+H(p)}$

Erreur = $S(p) - E(p)$

2. régulation de vitesse pour un moteur à courant continu

La régulation est faite en générale par deux boucles fermées en cascades (courant et vitesse) telle qu’il est montrée sur la figure (3).



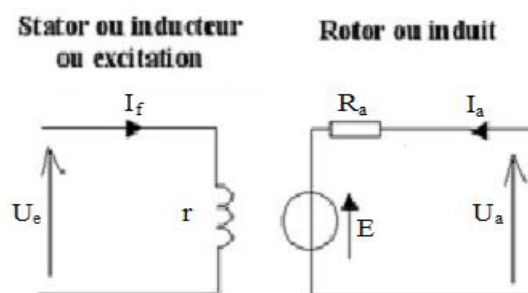
Figure(3) : schématisation de la régulation d'un moteur à courant continu

On y distingue les deux organes de puissance (le moteur et le convertisseur statique avec son électronique de commande), les deux capteurs (courant et vitesse) et les deux régulateurs (de courant et de vitesse).

Dans cette structure, la tension de sortie du régulateur de vitesse (correcteur vitesse et position) sert de référence au régulateur de courant. C'est l'image du courant (donc du couple) désiré.

3. Modélisation d'un moteur à courant continu : (schéma fonctionnel)

La modélisation c'est la description mathématique d'un processus physique à étudier. C'est une étape très importante de l'étude préliminaire, elle consiste à établir les relations entre les grandeurs d'entrée et de sortie. Dans le cas du moteur à courant continu, l'établissement du modèle passe par l'écriture des équations électriques, magnétiques et mécaniques. Et cela permet de décrire les différentes parties du système par des fonctions de transfert.



Figure(4) : MCC à excitation indépendante (séparée)

L'équation de l'induit peut être écrite sous forme d'une différentielle du premier ordre comme suit :

$$U_a = R_a I_a + E + L \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

Avec : $E=K\Omega$ et $K=k\Phi$

L'équation du mouvement est : $Ce - Cr = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (2)$

Et : $Ce=kI_a$

Par passage au plan de Laplace :

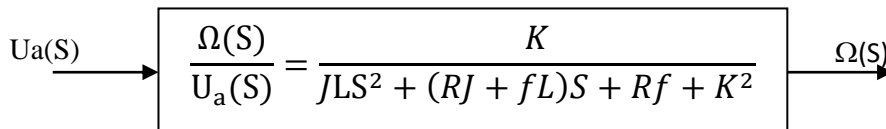
(1) devient : $U_a = R_a I_a + E + L I_a \cdot S \Rightarrow U_a - E = (R_a + L \cdot S) I_a \Rightarrow I_a = \frac{U_a - E}{R_a + L \cdot S} \quad (3)$

(2) devient : $Ce - Cr = J \Omega \cdot S + f \Omega \Rightarrow Ce - Cr = (J \cdot S + f) \Omega \Rightarrow \Omega = \frac{Ce - Cr}{J \cdot S + f} \quad (4)$

De (3) et (4) on peut écrire la fonction de transfert :

$$\frac{\Omega(S)}{U_a(S)} = \frac{K}{JLS^2 + (RJ + fL)S + Rf + K^2}$$

Où on peut donner le schéma bloc de cette fonction de transfert sur la figure (4), ci-dessous où la vitesse $\Omega(S)$ peut être obtenue par la tension d'entrée U_a .



On peut établir le modèle mathématique de la réponse en vitesse du moteur électrique qui est donné par la figure (4):

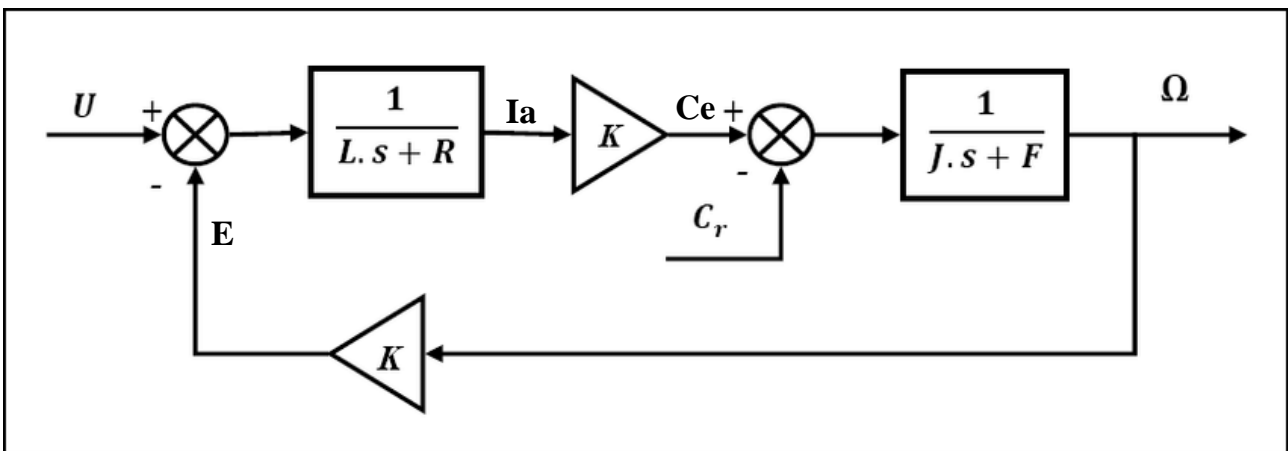


Figure (5) : Schéma fonctionnel du moteur à courant continu

On note : $\tau_e=L/R_a$: constante de temps électrique.

$\tau_m = J/f$: constante de temps électrique.

Avec : $\tau_e < \tau_m$.

4. Régulation par asservissement de vitesse ou position :

La régulation se fait en boucle fermée à retour unitaire. Les boucles de courant et vitesse sont en cascade.

La boucle du courant c'est la boucle interne du schéma de régulation présenté par la figure (6), et celle de vitesse à l'externe.

Deux correcteurs de types (PID, PI, PD..) sont implémentés afin d'avoir la régulation souhaitée.

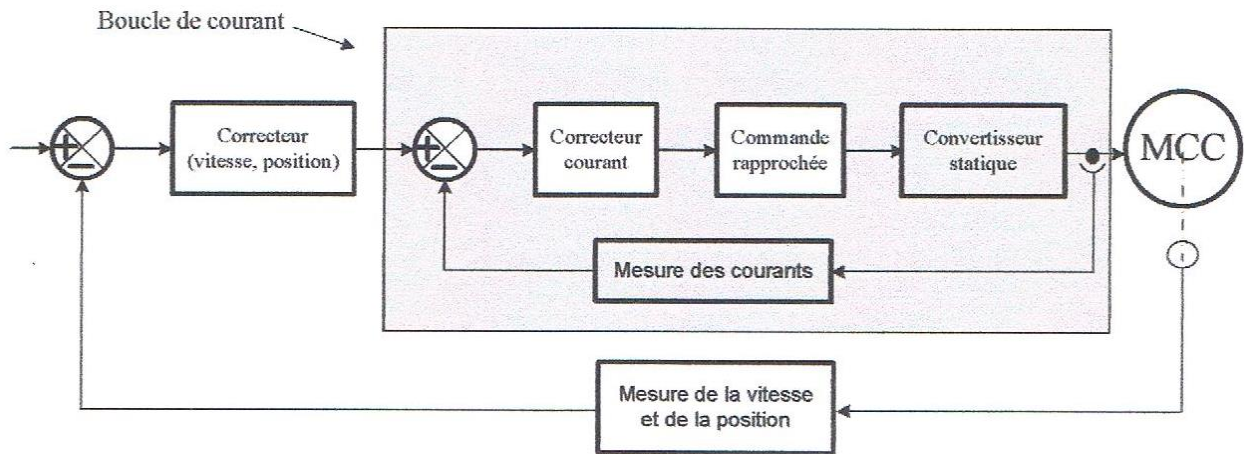


Figure (6) : boucle de réglage courant et vitesse\position d'une MCC

5. Régulateurs

Le régulateur est un élément de l'équipement de régulation. Placé dans la chaîne d'action ou dans une chaîne de réaction auxiliaire, il permet d'assurer plusieurs fonctions :

- Comparaison du signal de sortie au signal de référence ;
- Amplification ;
- Correction.

Les principaux types d'actions des régulateurs sont :

Action Proportionnelle : Ce régulateur produit un signal de commande proportionnel au signal d'erreur. $S(t) = k_p \cdot \varepsilon(t)$. il est spécifié par sa constante de proportionnalité k_p .

Action Intégrale : Elle crée un signal de commande qui est l'intégrale du signal d'erreur.

$$S(t) = ki \int_0^t \varepsilon(t) dt$$

$$S(s) = \frac{ki}{s} \varepsilon(s) = \frac{1}{\frac{1}{ki}s} \varepsilon(s) = \frac{1}{Ti.s} \varepsilon(s),$$

Avec, ki : gain intégral

Ti=1/ki : constante de temps d'intégration.

Action Dérivée : L'action(D) crée un signal de commande qui est la dérivée du signal d'erreur.

$$S(t) = kd \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

$$S(s) = kd.s.\varepsilon(s) = Td.s.\varepsilon(s)$$

kd : Gain dérivé ;

Td : Constante de temps de dérivation.

Les actions précédentes peuvent être utilisées seules (P, I, D) ou combinés deux à deux (Pi, PD, DI) ou regroupées les trois (PID) selon la nécessité de l'application.

Pour un PID son équation dans le domaine temporel est :

$$S(t) = kp.\varepsilon(t) + ki \int_0^t \varepsilon(t) dt + kd \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

Dans le plan de Laplace :

$$S(s) = kp.\varepsilon(s) + \frac{ki}{s} \varepsilon(s) + kd.s\varepsilon(s)$$

Le réglage d'un PID consiste à déterminer les coefficients (kp,ki,kd), afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. Les objectifs sont d'être robustes, rapide et précis.

6. Les caractéristiques des contrôleurs P, I et D

Le contrôleur (P) a pour effet de réduire le temps de montée et de minimiser l'erreur statique (ne pourra jamais l'éliminer).

Le contrôleur (I) a pour effet d'éliminer l'erreur statique mais son temps de montée est mauvais.

Le contrôleur (D) a pour effet d'augmenter la stabilité du système, réduire le dépassement et améliorer le temps de réponse transitoire.

Les effets de ces contrôleurs sont résumés dans le tableau ci-dessous.

contrôleur	Temps de montée	Dépassement	Temps de réponse	Erreur statique
P	Diminuer	Augmenter	Petit changement	Diminuer
I	Diminuer	Augmenter	Augmenter	éliminer
D	Petit changement	Diminuer	Diminuer	Petit changement

Il est à noter que ces corrélations ne sont pas précises, car les contrôleurs dépendent l'un de l'autre. En réalité, le changement d'un entraîne le changement de l'autre c'est pour cette raison que le tableau est donné pour être utilisé comme référence lors de la détermination de ces paramètres. La figure (7) donne les principales caractéristiques d'une réponse à un échelon pour une équation différentielle du premier ordre.

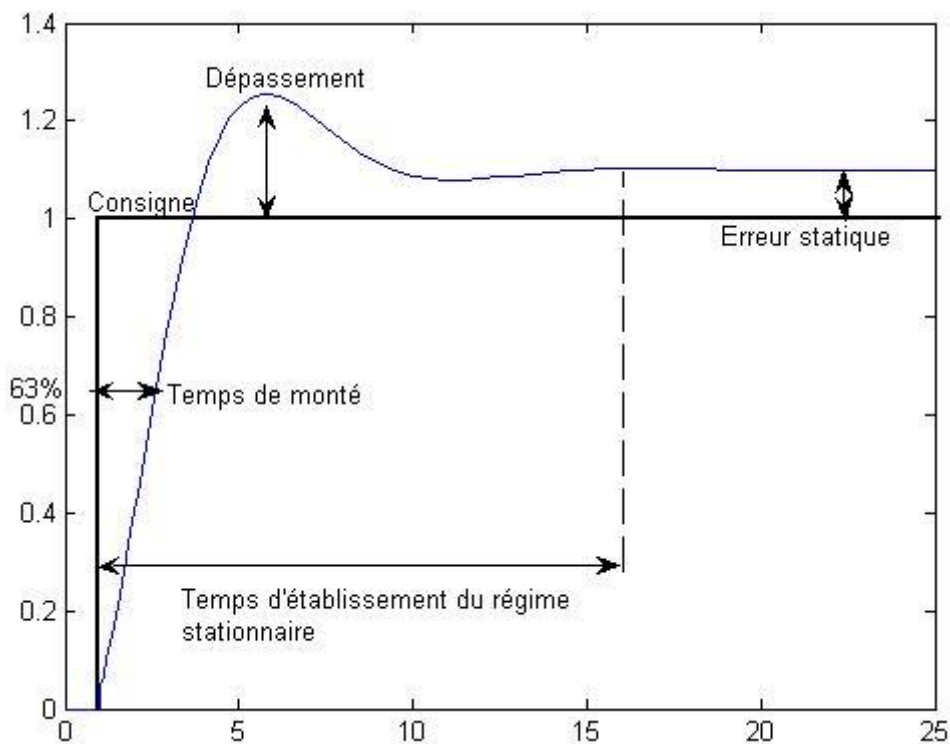


Figure (7) : principales caractéristiques d'une réponse à une consigne

