

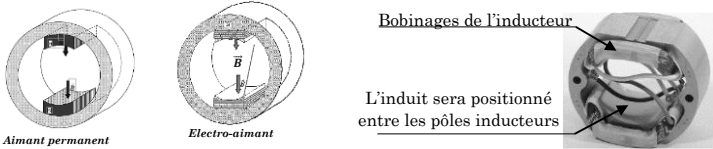
La machine à courant continu, malgré les progrès des machines à courant alternatif et de l'électronique de puissance, reste compétitive dans certains domaines. On la retrouve dans les jouets, les équipements automobiles (démarrateur, essuie-glace) et les entraînements à vitesse variable, où elle demeure une solution économique et adaptée.

La machine à courant continu convertit l'énergie électrique en mécanique (moteur) ou mécanique en électrique (génératrice). Réversible, elle assure ces deux fonctions selon l'application souhaitée.

Constitutions de la machine à courant continu

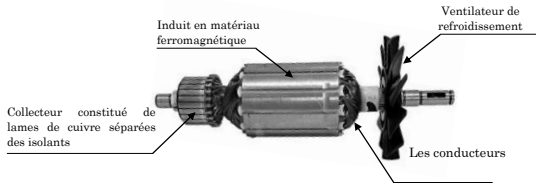
1 - Le stator (Inducteur)

C'est la partie fixe avec des aimants ou des électroaimants, génère un champ d'induction B (Pour cette raison, on l'appelle l'inducteur).



2 - Le rotor (Induit)

C'est la partie tournante subit à l'induction, possède un bobinage complexe dans un cylindre ferromagnétique feuilleté propre aux machines à courant continu.



3 - Liaison balais-collecteurs

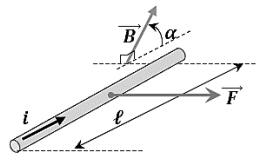
Les balais et le collecteur assurent la transmission du courant entre le circuit externe (partie fixe) et l'induit (partie tournante)



Le principe de fonctionnement de la MCC

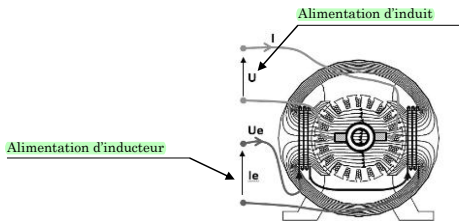
1 - Loi de Laplace

La machine à courant continu est basée sur la loi de Laplace : Un conducteur de longueur ℓ , placé dans un champ d'induction uniforme \vec{B} , et parcouru par un courant i est soumis à une force \vec{F} telle que : $\vec{F} = i \cdot (\vec{\ell} \wedge \vec{B})$



2 - Étape de fonctionnement

- o L'inducteur crée un champ \vec{B} (lorsqu'il est alimenté)
- o Les conducteurs de l'induit subissent une force \vec{F} (loi de Laplace).
- o Ces forces génèrent un couple C_{em} , entraînant la rotation de l'induit.

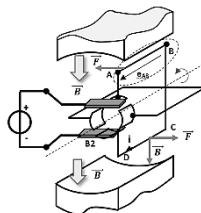


Etude quantitative de la machine à courant continu

1 - La force électromotrice E

La f.e.m. (E) résulte des f.e.m. induites dans les conducteurs actifs de l'induit en mouvement dans le champ magnétique (B), maintenue quasi constante par les balais et collecteur, tel que : $E = K \Phi \Omega$

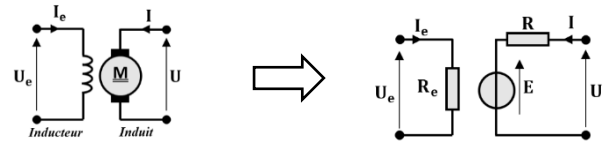
- Avec :
- K : constante dépend des caractéristique interne de la MCC
 - Φ : le flux magnétique créée par l'inducteur.



- Ω : la vitesse angulaire du rotor.

Si le flux crée par l'inducteur constant, f.e.m devient : $E = K_c \Omega$

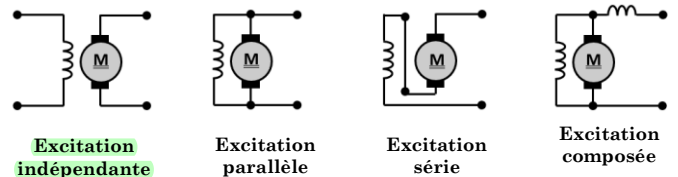
2 - Modèle électrique de la MCC en régime permanent



Avec :

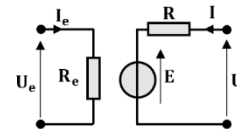
- U_e : la tension d'inducteur
- U : tension d'induit
- I_e : le courant d'inducteur
- I : le courant d'induit
- E : la force électromotrice
- R_e : la résistance d'inducteur
- R : la résistance d'induit

3 - Modes d'excitation de la machine à courant continu



Remarque : Nous aborderons uniquement l'excitation séparée.

4 - Moteur à courant continu en excitation séparée



- o La tension aux bornes de l'induit : $U = R \cdot I + E$
- o La puissance absorbée par l'inducteur P_{ex} : $P_{ex} = U_e \cdot I_e = R_e I_e^2 = \frac{U_e^2}{R_e}$
- o Les pertes joule dans l'induit P_{ji} : $P_{ji} = R I^2$
- o La puissance électromagnétique P_{em} transmise à l'induit : $P_{em} = E I$

5 - Couple électromagnétique C_{em}

Le couple électromagnétique est donné par : $C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E I}{\Omega} = \frac{K \Phi \Omega}{\Omega} = K \Phi I$

Si le flux Φ est constant, alors : $C_{em} = K_c I$

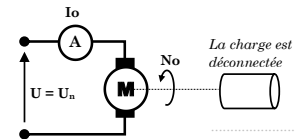
Remarque : Le couple est proportionnel au courant et au flux magnétique induit dans la machine.

6 - Couple des pertes C_p

C_p représente le couple des pertes est dû :

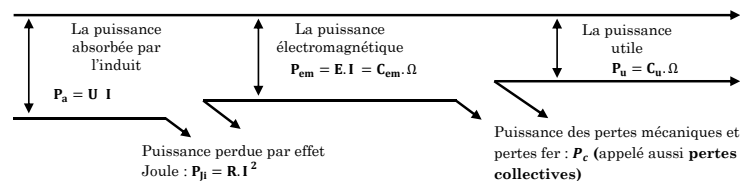
- o Aux pertes ferromagnétiques (hystérésis et courant de Foucault).
- o Aux pertes mécaniques : frottements, ventilation.

Les pertes collectives sont mesurées à vide (sans charge), avec la machine alimentée par sa tension nominale. La puissance des pertes est calculée par : $P_c \approx U_n I_0 - R I_0^2$



On peut l'exprimer aussi par : $C_p = K_c I_0$ (à flux constant)

7 - Bilan de puissance de la MCC.



8- le couple utile

Le couple utile s'exprime alors par : $C_u = C_{em} - C_p$

Comme : $C_{em} = K_c I$ et $C_p = K_c I_0$, donc : $C_u = K_c (I - I_0)$

9 - le rendement

Le rendement est défini par : $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{ji} + P_c}$

Caractéristiques électromécaniques et mécanique

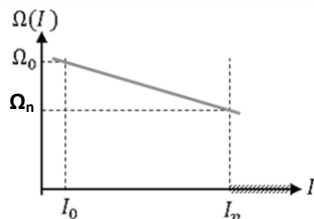
1 - Caractéristique de la vitesse en fonction du courant : $\Omega(I)$

L'expression entre la vitesse de rotation s'exprime par : $\Omega = \Omega_0 - \frac{R I}{K_e}$

Avec $\Omega_0 = \frac{U}{K_e}$, donc la caractéristique devient :

Remarques :

- ✓ Ne pas dépasser le courant nominal pour protéger le bobinage.
- ✓ Ne pas interrompre le flux inducteur pour éviter l'emballement.

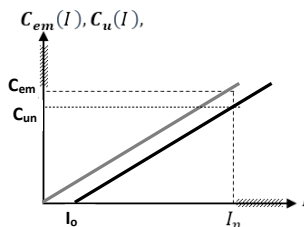


2 - Caractéristiques électromagnétiques : $C_{em}(I)$ et $C_u(I)$

Le couple électromagnétique : $C_{em} = K_c I$

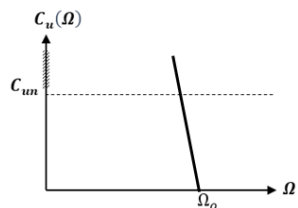
Le couple utile : $C_u = K_c (I - I_0)$

- ✓ C_{em} et C_u augmentent avec I .
- ✓ Ne pas dépasser I_n pour protéger la machine.
- ✓ Assurer une correspondance stable entre C_{em} et C_u .



3 - Caractéristique mécanique : $C_u(\Omega)$

C'est la principale caractéristique de fonctionnement d'un moteur à courant continu. La relation existe entre le couple utile et la vitesse angulaire s'exprime par : $C_u = \frac{K_e K_c}{R} (\Omega_0 - \Omega)$



Variation de vitesse pour la MCC

1 - Procédés de variation de vitesse de la MCC

La variation de vitesse des machines à courant continu repose sur l'équation :

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I}{K \Phi}$$

Elle peut être réalisée par :

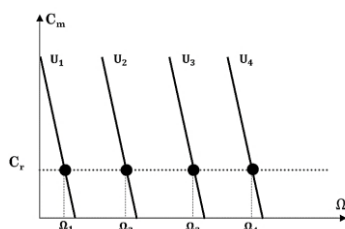
- **Variation de la résistance d'induit** (réglage rhéostatique) : *Pertes joule supplémentaires !!! - courte plage de variation vitesse !!!*
- **Variation du flux dans l'inducteur** : *risque d'avoir l'emballement de la MCC !!! - courte plage de variation (non linéaire) !!!*
- **Variation de la tension de l'induit** (méthode industrielle privilégiée pour ses performances).

L'électronique de puissance, via des dispositifs tels que les hacheurs (source continue) ou les redresseurs commandés (source alternative), permet un réglage précis de la tension moyenne appliquée à la machine.

2 - La caractéristique couple-vitesse pour variation de tension

En posant $E = k \cdot \Phi \cdot \Omega$ et $C_m = k \cdot \Phi \cdot I$, on démontre que :

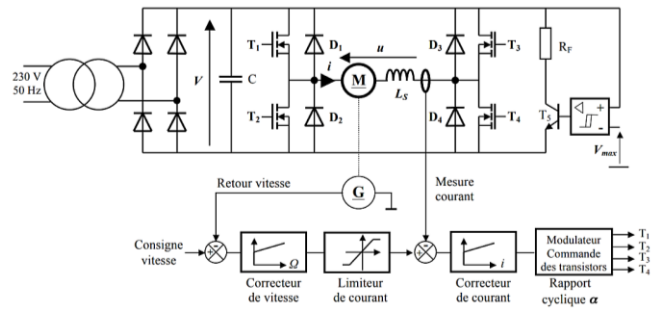
$$C_m = \frac{k \cdot \Phi}{R} U - \frac{(k \cdot \Phi)^2}{R} \Omega$$



Cela garantit :

- Déplacement parallèle des caractéristiques.
- Stabilité conservée.
- Maintien du couple sans pertes supplémentaires.

Le schéma suivant représente un variateur de vitesse pour une machine à courant continu alimentée par un réseau alternatif monophasé.



Récapitulatif final :

- Force électromotrice (f.e.m) : $E = K \Phi \Omega$
- Si le flux crée par l'inducteur constant, f.e.m devient : $E = K_e \Omega$
- Tension aux bornes de l'induit : $U = R \cdot I + E$
- Puissance absorbée par l'inducteur $P_{ex} = U_e \cdot I_e = R_e I_e^2 = \frac{U_e^2}{R_e}$
- Pertes joule dans l'induit $P_{ji} = R I^2$
- Puissance électromagnétique P_{em} transmise à l'induit : $P_{em} = E I$
- Puissance des pertes est calculée par : $P_c \approx U_n I_0 - R I_0^2$
- Puissance utile : $P_u = P_{em} - P_c$
- Rendement : $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{ji} + P_c}$
- Couple électromécanique : $C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E I}{\Omega} = \frac{K \Phi \Omega}{\Omega} = K \Phi I$
- Si le flux Φ est constant, alors : $C_{em} = K_c I$
- Couple de pertes : $C_p = K_c I_0$
- Couple utile : $C_u = C_{em} - C_p$, ce qui donne $C_u = K_c (I - I_0)$
- Relation entre N (tr/min) et Ω (rad/s) : $\Omega = \frac{2\pi N}{60}$