

Chapitre III Machines à Courant continu

III.1.Introduction

Les machines électriques assurant la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique sont appelées générateurs, les machines électriques destinées pour la transformation inverse la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique sont appelées moteurs.

La machine à courant continu est réversible elle présente deux modes de fonctionnement (Fig 3.1):

- Fonctionnement génératrice
- Fonctionnement moteur



Fig.3.1 Modes de fonctionnement d'une machine à courant continu

III.2. Constitution d'une Machine à courant continu

Une machine à courant continu est constituée d'une partie fixe appelée stator et d'une partie mobile appelée rotor. L'espace qui sépare les deux parties est l'entrefer (**Fig.3.1**).

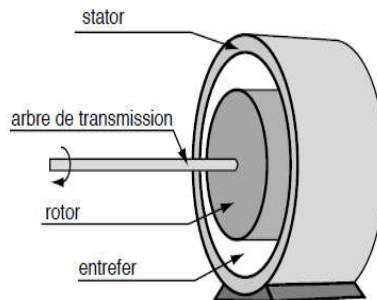


Fig.3.1 Constitution d'une machine à courant continu [1]

Le circuit magnétique est ainsi formé par le stator le rotor séparé par un entrefer.

De point de vue électrique, La MCC est constituée (Fig3.3) :

1-Circuit électrique **inducteur** (ou excitation) (dans le stator) qui produit le flux magnétique dans la machine

2-Circuit électrique **induit** qui subit les effets de ce champ magnétique et ce développe une tension induite appeler f_{em} (cas d'une génératrice).

3-Le **collecteur** et les **balais** (également appelé **charbons**) permettent d'accéder au circuit électrique (bobinage) rotorique.

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivres isolées disposée sur l'extrémité du rotor, les balais frottent sur le collecteur.

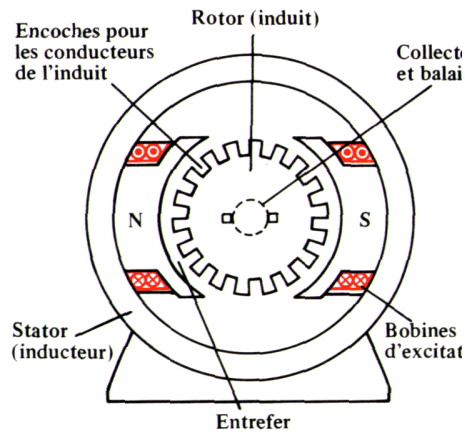


Fig.3.3 Circuit électrique inducteur induit d'une machine à courant continu [2]

III.3. Principe de fonctionnement d'une Génératrice à courant continu

Pour l'obtention de la puissance électrique (mode de fonctionnement en génératrice), il faut deux conditions :

- La machine doit être entraînée à une vitesse de rotation n (par exemple à l'aide d'un moteur auxiliaire) c'est-à-dire lui fournir de la puissance mécanique.
- l'inducteur doit être alimenté par une tension continue (sauf les cas des aimants permanents). Pour la création d'un champ magnétique dans la machine.

III.4. La force électromotrice (f.e.m) E

Une bobine en rotation dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday.

la force électromotrice f.e.m résultante de l'ensemble de ces N spires de l'enroulement de l'induit est liée à la vitesse et à l'excitation du moteur (le flux) par la relation suivante :

$$E = k. \varphi. \Omega$$

Où,

k = constante propre à la machine (dépendant du nombre de conducteurs de l'induit ; nombre de paires de pôle ;...).

Ω = la vitesse angulaire de l'induit [rad/s].

Φ = le flux de l'inducteur [weber].

Remarque : on voit, qu'à excitation constante (flux constant), la force contre-électromotrice E est proportionnelle à la vitesse de rotation.

III.5. Modèle équivalent d'une machine à courant continu

Fonctionnement génératrice

Le modèle équivalent d'une génératrice est représenté dans la figure ci-dessous (Fig3.4) :

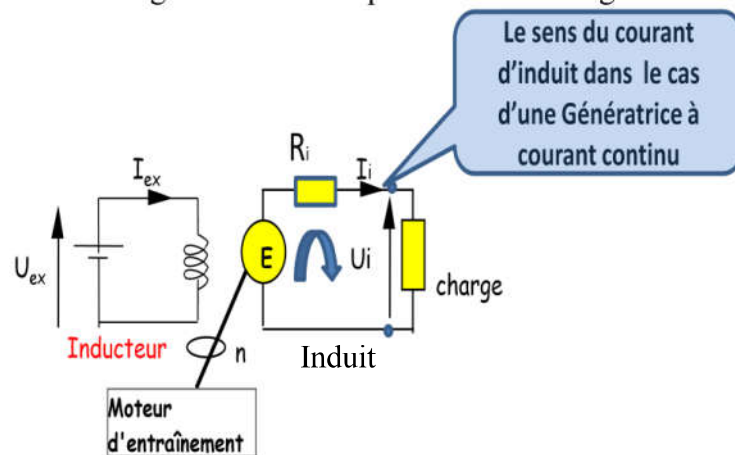


Fig. 3.4. Modèle équivalent de l'induit et de l'inducteur d'une Génératrice à CC

Le rotor de la machine est entraîné par une source extérieure (moteur auxiliaire) à la vitesse de rotation n (tours/min).

Ou :

R_i est la résistance de l'enroulement (bobinage) de l'induit

R_{ex} est la résistance de l'enroulement (bobinage) de l'inducteur (excitation).

U_i la tension au bornes de l'induit.

I_i le courant de l'induit.

En appliquant la loi des mailles au circuit d'induit on obtient :

$$E = U_i + R_i I_i$$

Au niveau du circuit inducteur (excitation) on a :

$$U_{ex} = R_{ex} I_{ex}$$

U_{ex} La tension d'alimentation du circuit inducteur.

I_{ex} Le courant inducteur.

III.6. Caractéristiques de la génératrice à courant continu:

III.6.1. Caractéristique à vide de la génératrice à courant continu

La génératrice fonctionne à vide lorsqu'elle ne débite aucun courant : $I_i = 0$ (la génératrice n'alimente aucune charge).

La génératrice est entraînée par un moteur auxiliaire à une vitesse constante $\Omega = c^{te}$

La tension U_0 mesurée directement sur l'induit de la génératrice est exactement égale à la f.e.m E_0 de la machine car l'intensité du courant est nulle, il n'y a donc pas de chute de tension due à la résistance de l'induit : $U_0 = E_0$

En variant le courant inducteur (le flux) tout en prélevant la tension U_0 (c.à.d. E_0) mesurée à l'aide d'un voltmètre en gardant la vitesse de rotation constante on obtient la caractéristique interne d'une génératrice à CC comme elle est indiquée dans la figure 3.5.

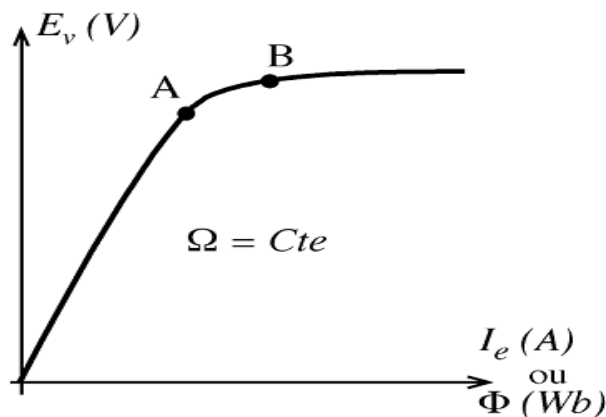


Fig. 3.4. Caractéristique à vide $E(I_{ex})$ de la génératrice à courant continu

On constate que dans le graphe $E(I_{ex})$:

Du point O au point A la caractéristique est linéaire :

$$E = k' \varphi \text{ avec } k' = k \Omega$$

Du point A au point B le matériau ferromagnétique du circuit magnétique de la machine à CC commence à se saturer..

Au delà du point B le matériau est saturé ainsi la fem n'augmente pas.

III.6.2. Caractéristique à vitesse constante de la génératrice à courant continu

On fixe la valeur du courant inducteur (excitation) $I_i = C^{st}$: fonctionnement à flux constant ($\varphi = C^{st}$)

$$E = k'' \Omega \quad \text{avec } k'' = k \varphi$$

La caractéristique $E(\Omega)$ est linéaire

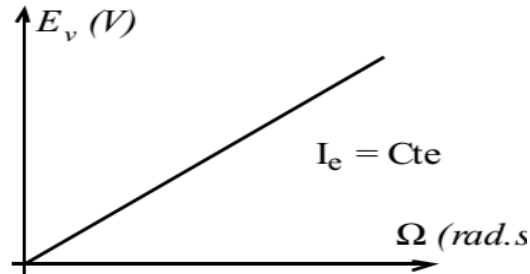


Fig. 3.5. Caractéristique $E(\Omega)$ de la génératrice à courant continu

III.6.3. Caractéristique en charge de la génératrice à courant continu

La génératrice est entraînée par un moteur auxiliaire, elle débite un courant d'intensité I dans un rhéostat de charge.

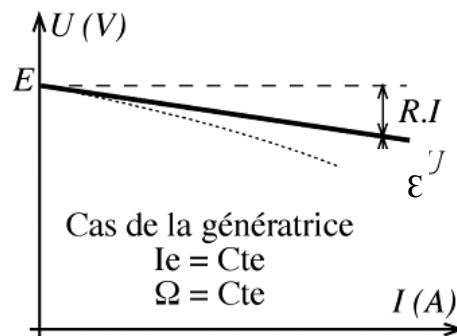


Fig. 3.6. Caractéristique en charge $U(I)$ de la génératrice à courant continu

$$U_i = E - R_i I_i - \varepsilon_i$$

La résistance de l'enroulement R_i d'induit provoque une chute de tension dans le circuit d'induit.

III.6.3.1. La réaction magnétique de l'induit

La circulation du courant d'induit dans le bobinage de l'induit crée un flux qui va diminuer le flux produit à vide : ce qui conduit à l'apparition d'une chute de tension ε_i du à la **réaction magnétique de l'induit**.

Afin d'annuler l'effet de cette réaction magnétique la machine à cc dispose d'un enroulement de compensation parcouru par le courant d'induit.

III.7. Le bilan de puissance d'une génératrice à courant continu

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine mécanique jusqu'à la puissance utile de nature électrique.

La génératrice reçoit une puissance P_a (puissance mécanique), un couple mécanique provenant d'un système (moteur) auxiliaire l'entraînant à la vitesse angulaire Ω .

Le bilan, peut être résumé à l'aide schéma suivant :

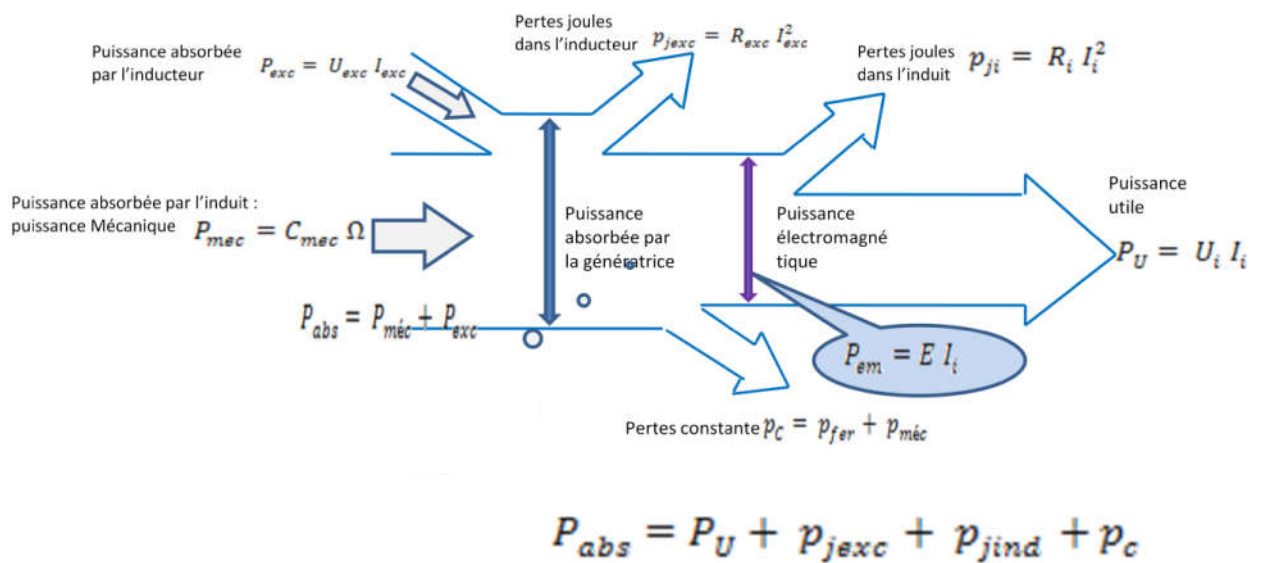


Fig. 3.7. Le bilan de puissance de la génératrice à courant continu

Les puissances mises en jeu dans ce bilan peuvent être déterminé en utilisant Les relations suivantes :

La puissance absorbée P_{abs} :

$$P_{abs} = P_{Mec} + P_{exc} = P_u + \sum pertes$$

La puissance utile est une puissance électrique dans le mode de fonctionnement génératrice : c'est la puissance électrique fournit à la charge.

$$P_u = U_i I_i$$

La somme ($\sum pertes$) des pertes regroupe :

Les pertes joules dans l'inducteur $p_{jexc} = R_{exc} I_{exc}^2$

Ou R_{exc} est la résistance de l'enroulement inducteur

Les pertes joules dans l'induit

$$p_{ji} = R_i I_i^2$$

Où R_i est la résistance de l'enroulement induit

Les pertes fer dans le circuit magnétique : p_{fer}

Les pertes mécaniques p_{mec}

A partir de ce bilan on peut déduire que La puissance électromagnétique

$$P_{em} = E \cdot I_{ind} = P_u + p_{ji}$$

Remarques

1-Toute puissance absorbée au niveau du circuit inducteur est dissipée par effet joule. Ainsi on peut omettre l'inducteur dans le bilan de puissance.

$$P_{exc} = U_{exc} I_{exc} = R_{exc} I_{exc}^2$$

2-La somme des pertes fer et pertes mécanique (sont des pertes indissociables) sont appelées pertes collectives ou pertes constantes.

$$p_c = p_{fer} + p_{méc}$$

3- Si la Machines à courant continu est à aimants permanents (absence d'enroulement inducteur) : alors U_{exc} ; I_{exc} ; et p_{jexc} n'existent pas.

III.8. Le Rendement d'une génératrice

Le rendement est le rapport entre la puissance utile (puissance utile) et la puissance absorbée

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}}$$

Le rendement de la génératrice complète tient compte de la puissance absorbée par l'inducteur, P_{exc} , dans la mesure où celui-ci est alimenté électriquement.

$$\eta = \frac{P_u}{P_{Mec} + P_{exc}}$$