

Chapitre 3 : La conversion électromécanique.

III.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, on s'intéresse à autre forme de conversion d'énergie, c'est la conversion électromécanique. On premier lieu, on va voir la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique cas de moteur et en deuxième lieu la conversion inverse c.-à-d la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique cas de générateur.

III.2 Généralités

La machine à courant continu est un **convertisseur d'énergie**, totalement **réversible**, elle peut fonctionner comme moteur, convertissant l'énergie électrique en énergie mécanique, ou comme génératrice, convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique. Deux régimes de fonctionnement d'une machine à courant continu peuvent exister comme noté sur la Figure 3.1.

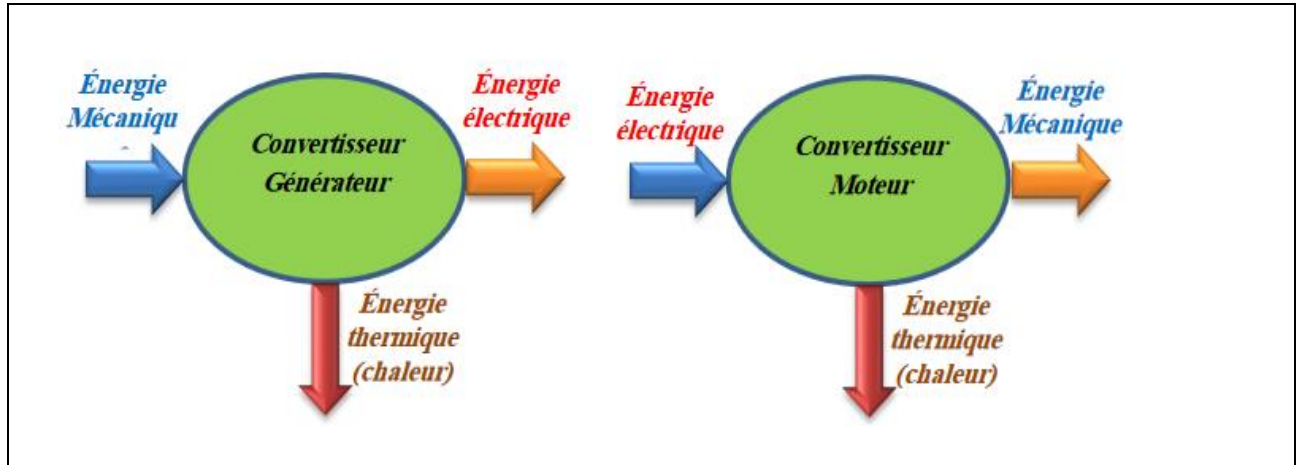


Figure 3.1 : Les modes de fonctionnement d'un convertisseur électrique.

La machine à courant continu est constituée des parties suivantes :

- Une **partie fixe** appelée **STATOR** qui aura le rôle **d'inducteur**.
- Une **partie mobile** appelée **ROTOR** qui aura le rôle **d'induit**.
- Une **liaison rotor - éléments extérieurs** à la machine appelée **collecteur**.

L'**inducteur** est formé soit d'aimants permanents en ferrite soit de bobines placées autour des noyaux polaires. Lorsque les bobines sont parcourues par un courant continu, elles créent un champ magnétique dans le circuit magnétique de la machine notamment dans l'entrefer,

espace séparant la partie fixe et la partie mobile, où se situent les conducteurs. Ce flux et ce champ sont orientés du pôle Nord vers le pôle Sud.

L'induit Le noyau d'induit est en fer pour canaliser les lignes de champ, les conducteurs sont logés dans des encoches sur le rotor, deux conducteurs forment une spire.

Le modèle électrique d'une machine à courant continu est illustré sur la Figure 3.2

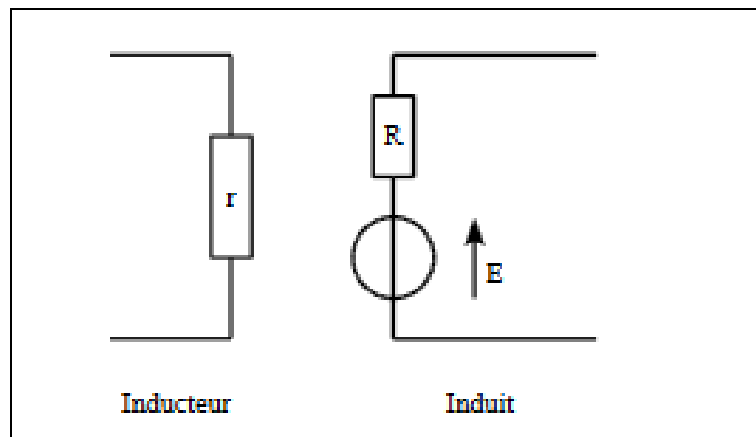


Figure 3.2 : Le modèle électrique d'une machine à courant continu.

La force électromotrice (f.e.m.) E:

Si une bobine est en mouvement dans un champ magnétique, il apparaît à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday: Sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. E :

L'inducteur crée le flux magnétique Φ en Weber [Wb].

Le rotor est composé de N conducteurs et tourne à la vitesse angulaire Ω en [rad/s].

On montre que l'expression de la f.e.m. E est $E = N \Phi \Omega / 2\pi$

Si on pose $K = N / 2\pi$ (constante sans dimension) alors, $E = K \Phi \Omega$

Avec :

E f.e.m induite en [V]

Φ en [Web]

Ω en [rad/s]

Couple électromagnétique :

Lorsque une intensité I circule dans l'induit, la puissance électromagnétique est $P_E = E \cdot I$. Le rotor tournant à la vitesse Ω il existe un couple électromagnétique T_{EM} tel que $P_E = T_{EM} \cdot \Omega$. On montre alors que l'expression du couple électromagnétique est : $T_{EM} = K \Phi I$

Fonctionnement "moteur" :

Dans ce cas, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique comme illustré sur la Figure 3.2. On rappelle qu'en régime continu, l'énergie W est égale à la puissance P multipliée par le temps t ($W = P \cdot t$) avec $1\text{kW.h} = 1\text{kW} \cdot 1\text{h}$ ou $1\text{Joule} = 1\text{W} \cdot 1\text{s}$.

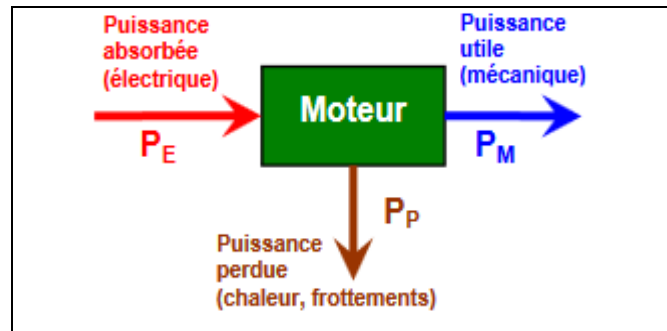
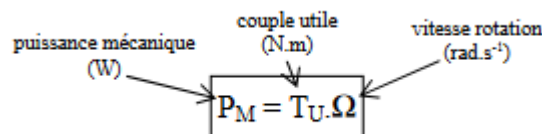


Figure 3.2 : Bilan énergétique d'un moteur.

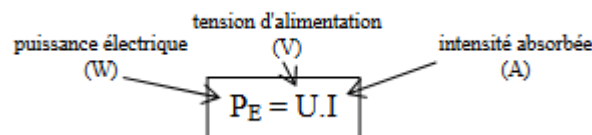
Le rendement du moteur est donné par la rapport entre la puissance utile (mécanique) et la puissance absorbée (électrique) :

$$\eta = \frac{P_M}{P_E} = \frac{P_M}{P_M + P_p} \quad (3.1)$$

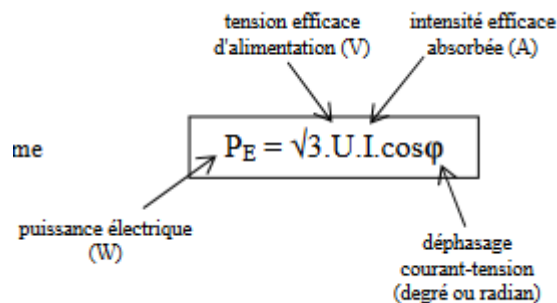
- **La puissance mécanique** s'exprime comme le produit du couple utile par la vitesse de rotation :



- **La puissance électrique en régime continu** s'exprime comme le produit du couple utile par la vitesse de rotation :



- **La puissance électrique en régime alternatif sinusoïdal** s'exprime comme suit :



Fonctionnement "génératrice" :

Dans ce cas, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique comme indiqué sur la Figure 3.3:

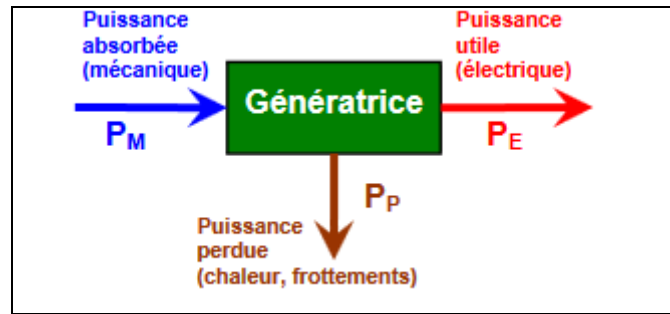


Figure 3.3 : Bilan énergétique d'une génératrice.

Et le rendement d'une génératrice est donné par la rapport entre la puissance utile (électrique) et la puissance absorbée (mécanique) :

$$\eta = \frac{P_E}{P_M} = \frac{P_E}{P_M + P_p} \quad (3.2)$$

3.2 Les différents modes d'excitation d'une machine à courant continu

Suivant le couplage de l'inducteur par rapport à l'induit on peut avoir 4 modes d'excitation :

1. Excitation indépendante (ou séparée) : le circuit inducteur n'a aucun point commun avec l'induit.
2. Excitation en dérivation (ou shunt) : le circuit inducteur est en parallèle avec l'induit.
3. Excitation série : l'enroulement inducteur est en série avec l'induit.
4. Excitation composée (ou compound) : C'est la combinaison des deux modes d'excitation shunt et série. Dans ce cas il existe deux types de montage :
 - a. Montage longue dérivation
 - b. Montage courte dérivation

3.3 Fonctionnement en moteur de la machine à courant continu :

3.3.1 Le moteur à excitation indépendante :

A. Modèle électrique :

L'inducteur est alimenté par une tension continue U et est traversé par le courant continu i (si l'inducteur n'est pas à aimants permanents). L'induit est alimenté par une tension continue U et est traversé par une intensité I . Modèle électrique du moteur à excitation indépendante :

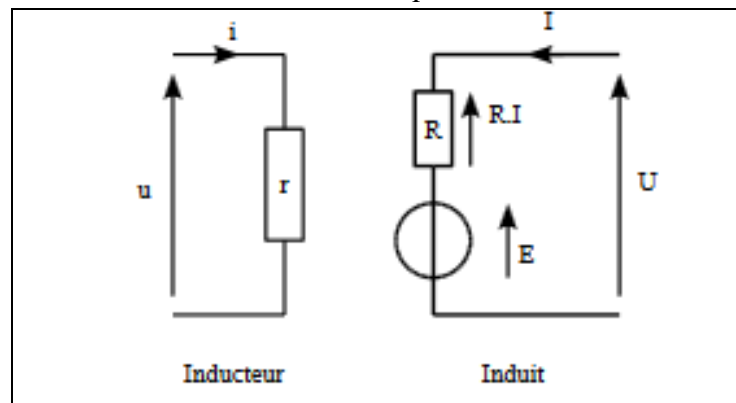


Figure 3.4 : Modèle électrique d'un moteur à excitation indépendante.

Équation de fonctionnement pour l'induit :

$$U = E + R \cdot I \text{ donc } E = U - R \cdot I$$

B. Bilan énergétique et rendement:

Le moteur absorbe la **puissance électrique** P_A :

$$P_A = u \cdot i + U \cdot I \quad (3.1)$$

Au niveau de l'inducteur (l'excitation), il se crée des **pertes par effet de Joule inducteur** :

$$P_{JE} = r \cdot i^2 \quad (3.2)$$

De même au niveau de l'induit, il se crée **les pertes de Joule induit**:

$$P_{JI} = R \cdot I^2 \quad (3.3)$$

La **puissance électromagnétique** produite est égale à :

$$P_{EM} = P_A - P_{JE} - P_{JI} = EI = T_{em} \Omega \quad (3.4)$$

On peut définir **les pertes collectives** P_c par la somme des pertes magnétiques ou pertes fer (dues aux matériaux ferromagnétiques) P_F et les pertes mécaniques (frottement, vibrations, ventilation) P_M :

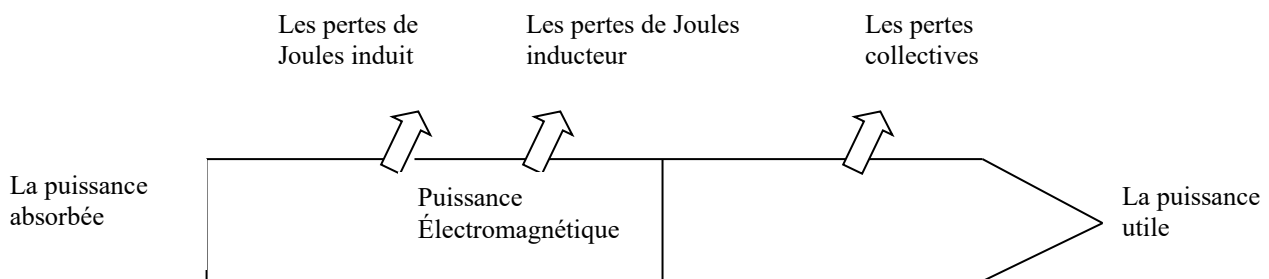
$$P_c = P_F + P_M = P_{em} - P_{utile} \quad (3.5)$$

La **puissance utile** (comme illustré sur le schéma en bas) est donnée par :

$$P_u = P_A - P_{JE} - P_{JI} - P_c = T_u \Omega \quad (3.6)$$

On définit le couple de pertes par :

$$T_p = T_{EM} - T_v = \frac{P_u}{\Omega}$$



Le rendement du moteur à courant continu :

$$\eta = \frac{P_u}{P_A} = \frac{P_u}{P_u + P_c + r \cdot i^2 + R \cdot I^2} \quad (3.7)$$

3.3.2 Le moteur à excitation série:

A. Modèle électrique :

L'inducteur est placé en série avec l'induit. L'inducteur et l'induit sont donc traversés par la même intensité I . Modèle électrique du moteur à excitation série est illustré sur la Figure 3.5. Nous avons :

$$U = E + (R + r) \cdot I \quad (3.8)$$

B. Bilan énergétique et rendement:

Le moteur absorbe la puissance électrique

$$P_A = U \cdot I \quad (3.9)$$

Au niveau de l'inducteur (l'excitation), il se crée **des pertes par effet de Joule inducteur**

$$P_{JE} = r \cdot I^2 \quad (3.10)$$

De même au niveau de l'induit, il se crée **les pertes de Joule induit** :

$$P_{JI} = R \cdot I^2 \quad (3.11)$$

La puissance électromagnétique produite est égale à :

$$P_{EM} = P_A - P_{JE} - P_{JI} = EI = T_{em} \Omega \quad (3.12)$$

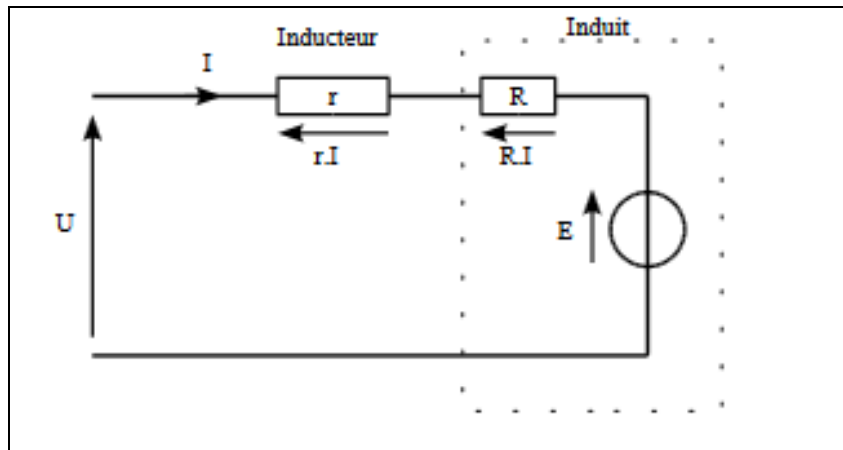


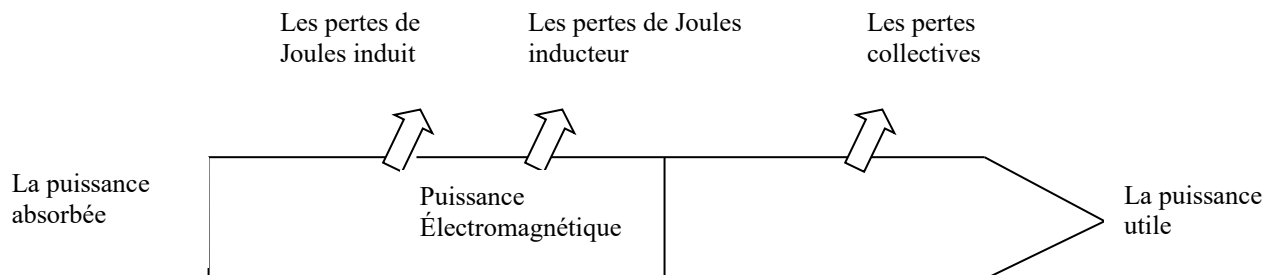
Figure 3.5 : Modèle électrique d'un moteur à excitation série.

On peut définir les **pertes collectives** P_c par la somme des pertes magnétiques ou pertes fer P_F et les pertes mécaniques P_M :

$$P_c = P_F + P_M = P_{em} - P_{utile} \quad (3.13)$$

La **puissance utile** (comme illustré sur le schéma en bas) est donnée par :

$$P_u = P_A - P_{JE} - P_{JI} - P_c = T_u \Omega \quad (3.14)$$



Le rendement du moteur à courant continu :

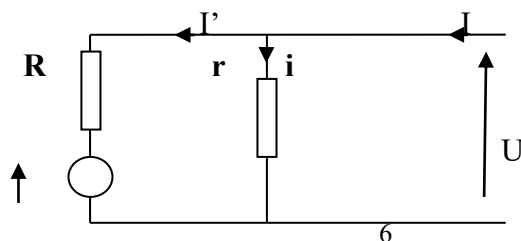
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{U \cdot I} \quad (3.15)$$

3.4.3 Le moteur à excitation Shunt :

A. Modèle électrique :

Le schéma électrique est illustré sur la Figure 3.6.

L'équation de fonctionnement pour l'induit : $U = E - R \cdot I$ (3.16)



E

Figure 3.6 : Modèle électrique d'un moteur à excitation Shunt.

Nous avons :

$$U = E + R \cdot I' \quad \text{Donc, la force électromagnétique est donnée par :}$$

$$E = U - R I' \quad (3.8)$$

La puissance absorbée : $P_A = U \cdot I$

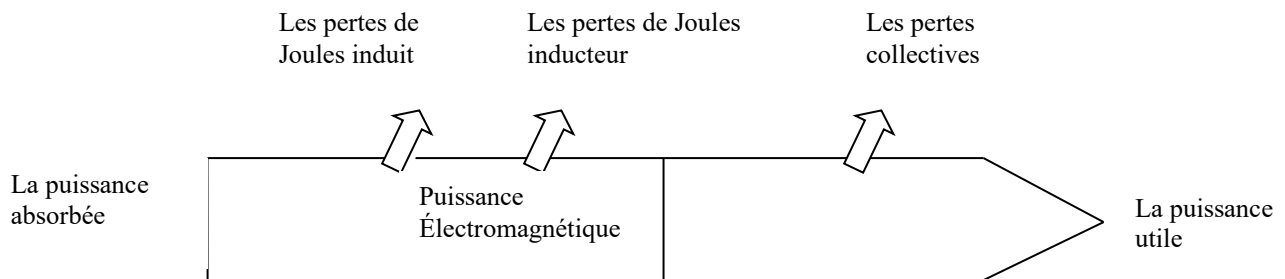
Puissances Joules induit : $P_{JE} = R \cdot I'^2$

Puissance Joules inducteur : $P_{Ji} = r \cdot i^2$

Puissance électromagnétique : $P_{EM} = P_A - P_{JE} - P_{Ji} = EI = T_{em} \Omega$

Pertes collectives : $P_c = P_F + P_M = P_{em} - P_{utile}$

Puissance utile : $P_u = P_A - P_{JE} - P_{Ji} - P_c = T_u \Omega$



3.4.4 Le moteur à excitation composée :

A. Modèle électrique :

Le moteur à excitation composée comporte un inducteur série et un inducteur shunt. Ce genre de moteur peut être branché à longue dérivation ou à courte dérivation.

1. Courte dérivation

Le schéma électrique équivalent est illustré sur la Figure 3.7.

L'équation de fonctionnement pour l'induit : $U = E + R I' + r_s I$ donc $E = U - R I' - r_s I$

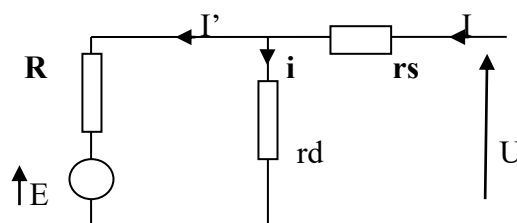


Figure 3.7 : Modèle électrique d'un moteur à courte dérivation.

La puissance absorbée : $P_A = U \cdot I$

Puissances Joules induit : $P_{JE} = R \cdot I'^2$

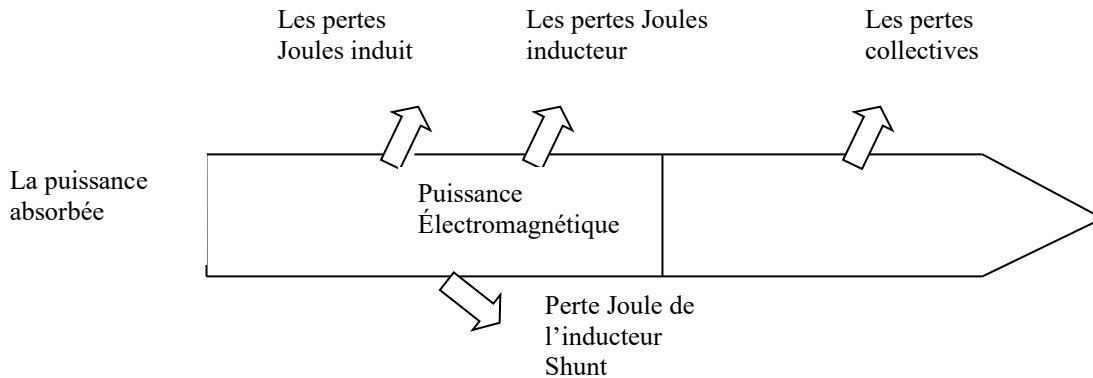
Puissance Joules inducteur série: $P_{Jis} = r_s \cdot I^2$

Puissance Joules inducteur shunt: $P_{Jid} = r_d \cdot i^2$

Puissance électromagnétique : $P_{EM} = P_A - P_{JE} - P_{Jis} - P_{Jid} = EI' = T_{em}\Omega$

Pertes collectives : $P_c = P_F + P_M = P_{em} - P_{utile}$

Puissance utile : $P_u = P_A - P_{JE} - P_{Jis} - P_{Jid} - P_c = T_u\Omega$



2. Longue dérivation

Le schéma électrique équivalent est illustré sur la Figure 3.8.

L'équation de fonctionnement pour l'induit : $U = E + RI' + r_s I$ donc $E = U - RI' - R_s I$

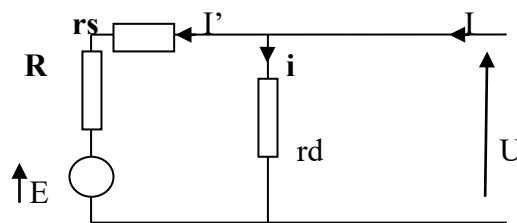


Figure 3.8 : Modèle électrique d'un moteur à longue dérivation.

La puissance absorbée : $P_A = U \cdot I$

Puissances Joules induit : $P_{JE} = R \cdot I'^2$

Puissance Joules inducteur série: $P_{Jis} = r_s \cdot I'^2$

Puissance Joules inducteur shunt: $P_{Jid} = r_d \cdot i^2$

Puissance électromagnétique : $P_{EM} = P_A - P_{JE} - P_{Jis} - P_{Jid} = EI' = T_{em}\Omega$

Pertes collectives : $P_c = P_F + P_M = P_{em} - P_{utile}$

Puissance utile : $P_u = P_A - P_{JE} - P_{Jis} - P_{Jid} - P_c = T_u\Omega$

