

MACHINE ASYNCHRONE

MODÉLISATION

1 -Constitution d'une Mas.....	2
2 -Principe de fonctionnement.....	3
3 -Modèle équivalent utilisé.....	4
4 -Bilan de puissance.....	5
Car particulier MAS idéale.....	7
5 -Expression du Couple électromagnétique.....	8

1 - CONSTITUTION D'UNE MAS.

La MAS est une machine rudimentaire : Elle ne comporte des bobinages qu'au stator, le rotor est constitué de barres conductrices en aluminium mises en court circuit par 2 anneaux (« moteur à cage d'écureuil »).

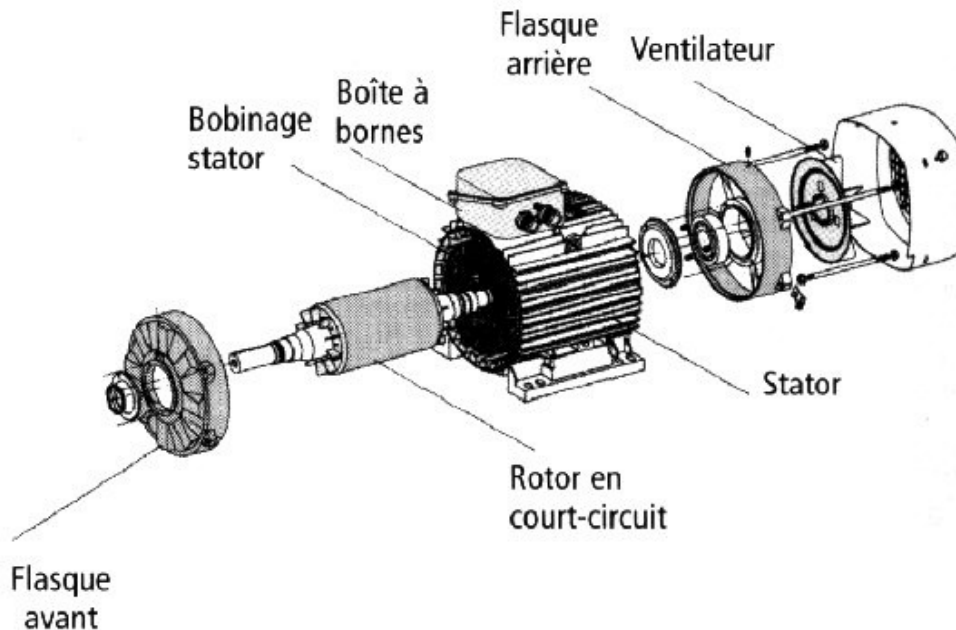


figure 1: vue éclatée MAS

La MAS est LA machine d'électrotechnique. Elle est facile à fabriquer, elle est robuste (pas de collecteur, de balai, de bague – donc pas d'usure de ces éléments), elle est simple à mettre en service (il faut juste alimenter le stator).

C'est la machine utilisée en alimentation directe dans les entraînements à vitesse constante : convoyeurs, pompage, ventilation, broche de machine outil.

Elle est prévue pour un service de fonctionnement S1 (fonctionnement permanent), son refroidissement est assuré par les ailettes sur le stator et le ventilateur monté en bout d'arbre (auto-ventilation).

Pour un fonctionnement cyclique type S6 (cycles démarrage RP arrêt en Aller Retour), il faudra calculer le couple équivalent thermique pour s'assurer que le couple de la machine convient.

Les variateurs ont permis d'utiliser cette machine à vitesse variable, mais il faut alors utiliser un moto-ventilateur pour assurer son refroidissement.



2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

Les bobinages statoriques, traversés par des courants sinusoïdaux, créent un champ inducteur tournant à la vitesse de synchronisme.

La pulsation des courants stator est $\omega = p \Omega_s \Leftrightarrow 60 f = p n_s$ (p nombre de paires de pôles du stator) .

Pour que le rotor tourne, il faut qu'il y ait du courant dans le rotor.

Le rotor n'étant pas alimenté, ces courants ne peuvent être qu'induits.

Pour qu'il y ait phénomène d'induction, il faut que le rotor soit traversé par un flux inducteur variable.

Donc le rotor doit tourner à une vitesse différente du synchronisme.

Le rotor est donc traversé par un flux inducteur variable, il apparaît donc une fem induite.

Le rotor étant conducteur, cette fem induite engendre des courants induit à l'intérieur du rotor (courants de Foucault).

Ces courants obéissent à la loi de Lenz, ils vont donc faire tourner le rotor pour essayer de limiter les variations du flux inducteur.

C'est une machine à courant sinusoïdal, donc à champs tournants : pour qu'il y ait un couple électromagnétique, il faut que les champs stator et rotor tournent à la même vitesse.

Les champs magnétiques stator et rotor tournent à la vitesse de synchronisme Ω_s .

Le rotor tournant à une vitesse différente, on dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant.

Le glissement est $g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$ exprimé en % - $n = n_s \times (1 - g)$

- En fonctionnement moteur le rotor tourne moins vite que le champ stator
 $n < n_s$; $g > 0$; « hyposynchronisme »
- En fonctionnement génératrice le rotor doit être entraîné plus vite que le champ stator
 $n > n_s$; $g < 0$; « hypersynchronisme »

La pulsation des courants rotor est $\omega_R = g \times \omega \Leftrightarrow f_R = g \times f$.

En fonctionnement nominal $g \ll 1 \Rightarrow f_R \ll f$

la fréquence des courants rotor est très faible par rapport à la fréquence stator en fonctionnement nominal

3 - MODÈLE ÉQUIVALENT UTILISÉ.

Comme pour toutes les machines électriques, le modèle équivalent nous permet, pour des conditions de fonctionnement données (Couple et vitesse), et sans faire un essai grandeur nature :

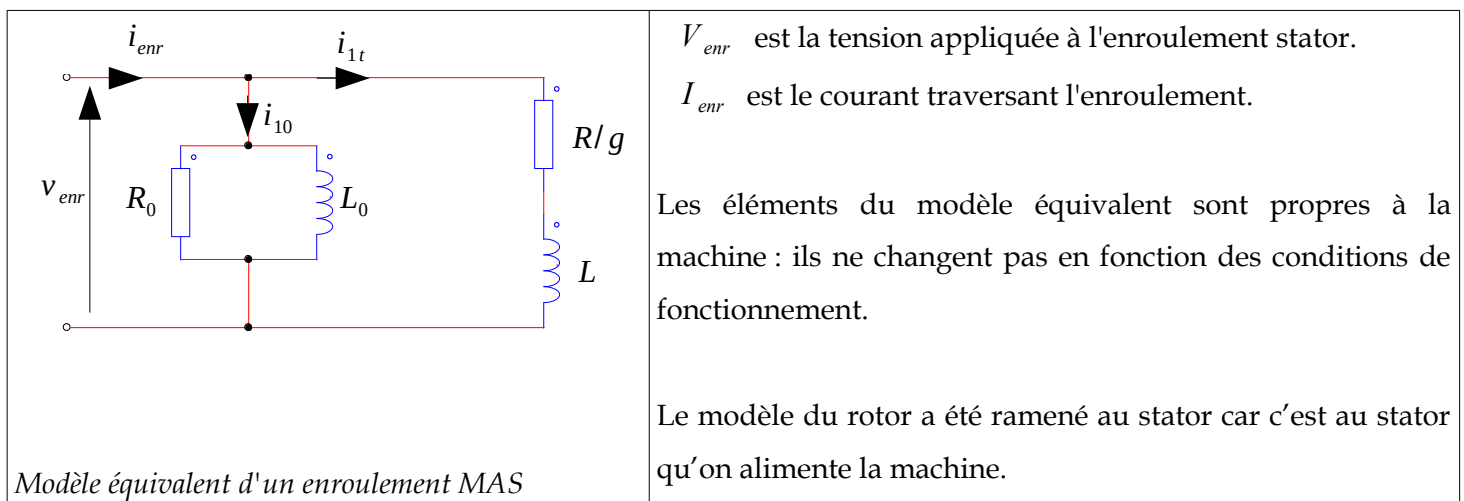
- de déterminer les conditions d'alimentations – pour dimensionner le départ moteur et le mode de refroidissement
- de déterminer les conditions de commande : quelle tension ? Quelle fréquence ? Quel courant – pour programmer le démarreur ou variateur de vitesse.

La recherche du modèle équivalent est présentée dans le document « Recherche du modèle MAS ».

Le modèle équivalent d'un enroulement de la machine est établi dans l'hypothèse de Kapp :

on considère que dans nos conditions de fonctionnement, la chute de tension due à la résistance stator est négligeable.

Cette hypothèse est vérifiée pour une machine fonctionnant à fréquence nominale et dans sa zone utile, ce n'est pas vrai lorsqu'on est à fréquence faible.



Modèle équivalent d'un enroulement MAS

Le modèle équivalent ne tient compte que du circuit magnétique et de la modélisation du rotor :

R_0 représente les pertes fer – qui dépendent de la tension.

L_0 est l'inductance magnétisante – qui crée le flux dans la machine – ce flux dépend de la tension

i_{10} est le courant « magnétisant » ou « réactif »

i_{1t} est le courant « actif »

R est la résistance rotor ramenée au stator – les pertes associées dépendent du courant actif

L est l'inductance de fuite rotor ramenée au stator – les fuites dépendent du courant actif.

Les protocoles pour déterminer les éléments du modèle équivalent sont présentés dans le document « S_Exploit_EssaisMAS ».

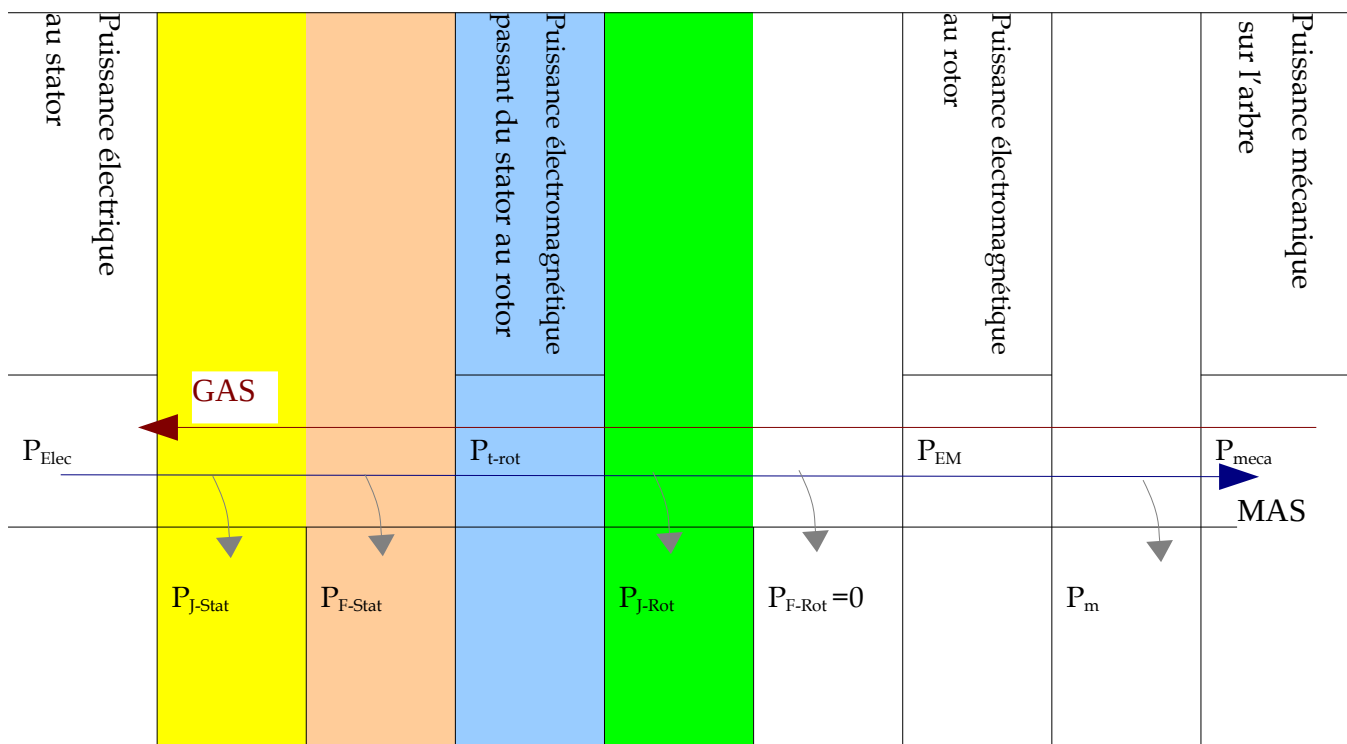
Comme pour chaque machine, ces éléments sont déterminés à partir de 3 essais : mesure de résistance, essai à vide et « essai en court circuit ».

Le problème de l'essai à vide est qu'il ne distingue pas les pertes fer stator et les pertes mécaniques. Avec ce seul essai, on ne peut pas modéliser correctement le circuit magnétique.

4 - BILAN DE PUISSANCE.

Le modèle équivalent ne représente que la transformation de puissance électrique du stator vers le rotor.

Le bilan de puissance représente la transformation de puissance électrique du stator en puissance mécanique sur le rotor. Cette transformation est parfaitement réversible.



Les puissances que l'on appelle « électromagnétique » (EM) ont la propriété d'être à la fois une puissance électrique ($fem \times courant \times \cosinus \text{ déphasage}$) et mécanique ($couple \text{ EM} \times vitesse$).

La puissance EM « P_{t-rot} » qui passe du stator au rotor se situe dans l'entrefer (dans le modèle équivalent c'est le transformateur). À cet endroit les champs tournent au synchronisme Ω_s , la pulsation est celle du réseau.



La puissance EM « P_{EM} » se situe sur le rotor, à la vitesse rotor Ω et c'est elle qui « véritablement » se transforme en puissance mécanique.

Puissance électrique reçue par la MAS : $P_{Elec} = \sqrt{3} U I \cos \varphi = 3 V_{enr} I_{enr} \cos \varphi$

pertes Joule stator : $P_{Jstat} = 3 R_s I_{enr}^2$ les pertes Joule stator sont proportionnelles à I^2

pertes fer stator : $P_{Fstat} = 3 \frac{V_{enr}^2}{R_0}$ les pertes fer stator sont proportionnelles à V^2

Puissance EM transmise au rotor : $P_{trot} = 3 \left(\frac{R}{g} \right) I_{1t}^2 = C_{EM} \times \Omega_s$ (vitesse de synchronisme)

pertes Joule rotor : $P_{Jrot} = 3 R I_{1t}^2$ les pertes Joule rotor sont proportionnelles à I^2

on a la relation : $\Rightarrow P_{Jrot} = g P_{trot}$

pertes fer rotor : $P_{Frot} \simeq 0$ car la fréquence des courants rotor est très faible : $f_R = g f$

Puissance EM sur l'arbre : $P_{EM} = (1 - g) P_{trot} = C_{EM} \times \Omega$ (vitesse du rotor)

pertes mécaniques $P_m = C_p \Omega$

Puissance mécanique fournie sur l'arbre : $P_{meca} = C_u \Omega \Rightarrow C_u = C_{EM} - C_p$

en fonctionnement moteur : $n < n_s ; g > 0$

$$P_{Elec} = P_{Jstat} + P_{Fstat} + P_{trot}$$

$$P_{trot} = P_{Jrot} + P_{EM}$$

$$\Rightarrow P_{Elec} = P_{Jstat} + P_{Fstat} + P_{Jrot} + P_{EM}$$

$$P_{EM} = P_m + P_{MECA}$$

$$\Rightarrow P_{Elec} = P_{Jstat} + P_{Fstat} + P_{Jrot} + P_m + P_{MECA}$$

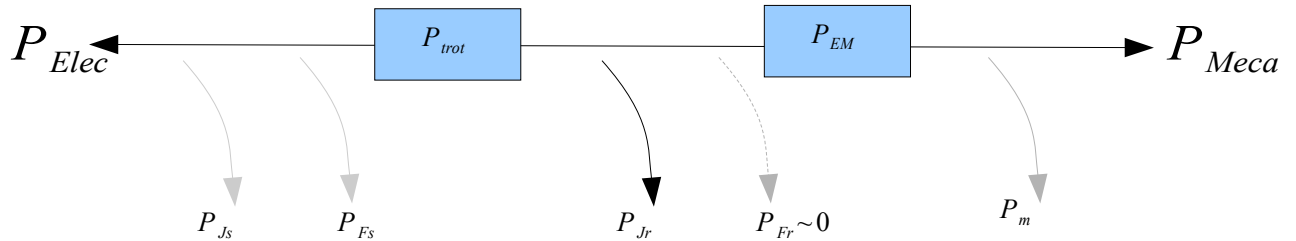
Les protocoles pour déterminer les différentes pertes sont présentés dans le document « S_Exploit_EssaisMAS ».

Comme chaque fois, ces éléments sont déterminés à partir de 3 essais :

- la mesure de la résistance stator pour déterminer les pertes Joule stator
- un essai à vide pour déterminer les pertes Fer stator ET les pertes mécaniques
- un essai à rotor bloqué pour déterminer les pertes Joule rotor.

CAR PARTICULIER MAS IDÉALE.

Une machine idéale n'aurait pas de pertes Joule et de pertes fer stator, de pertes mécaniques, mais est obligée d'avoir des pertes Joule rotor. En effet, pour fonctionner, il faut réussir à créer du courant au rotor. Ce courant est due à la fem induite et à la résistance rotor – il y a donc forcément des pertes Joule au rotor.



bilan de puissance MAS idéal- plus de pertes sauf pertes Joule rotor

on a alors : $P_{Elec} \simeq P_{t-rot}$

$$P_{J-rot} = g P_{t-rot} \text{ et } P_{EM} = (1-g) P_{t-rot} \Rightarrow P_{Meca} \simeq (1-g) P_{Elec}$$

$$P_{EM} \simeq P_{Meca}$$

Donc le rendement d'un Moteur asynchrone IDEAL est $(1-g)$



5 - EXPRESSION DU COUPLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

Piloter une machine, c'est être capable d'imposer sa vitesse et/ou son couple grâce à son alimentation électrique.

Dans une Mcc, il existe des relations très simples : $U = E + RI$, $E = k\Omega$ (la vitesse est proportionnelle à la fem) $C = kI$ (le couple est proportionnel au courant d'induit).

Le modèle équivalent de la MAS doit nous permettre de trouver les relations entre C_{EM} , Ω et V_{enr} , I_{enr} .

L'expression du couple EM se démontre à partir de la puissance EM passant du stator au rotor :

$$P_{t-rot} = 3 \left(\frac{R}{g} \right) I_{1t}^2 = C_{EM} \times \Omega_S$$

Cette relation montre que le Couple EM dépend du courant actif I_{1t} , mais ce n'est pas le courant qui arrive dans l'enroulement I_{enr} .

Ω_S est la vitesse de synchronisme qui dépend de la pulsation ω .

Dans notre modèle équivalent, le courant actif I_{1t} circule dans un circuit R+L alimenté par la tension V_{enr} :

$\underline{V_{enr}} = \left(\left(\frac{R}{g} \right) + j L \omega \right) \underline{I_{1t}}$ cette relation est entre nombres complexes, il faut l'écrire avec les modules.

On arrive alors à l'expression du couple EM dans l'hypothèse de Kapp :

$$C_{EM} = \frac{3p}{\omega} \times \frac{R}{g} \times \frac{V^2}{\left(\frac{R}{g} \right)^2 + (L \omega)^2}$$

Cette relation montre que le couple du MAS dépend de la modélisation du rotor (R et L), des conditions d'alimentation (V et ω) mais aussi du glissement g .

Le glissement dépendant de la vitesse de rotation n, cette relation nous permettra de tracer la caractéristique mécanique $C_{EM}(n)$.