

MAS

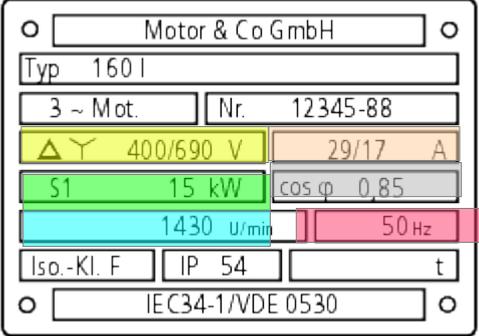
FONCTIONNEMENT À FRÉQUENCE FIXE

1 -Plaque signalétique d'un MAS - couplage au réseau.....	2
2 -Caractéristique mécanique.....	2
2.1 -Quadrants de fonctionnement – point de synchronisme.....	3
2.2 -Zones stable et instable, point max.....	4
2.3 -zone utile – point nominal.....	4
2.4 -Démarrage.....	5
2.5 -Rappel sur le Point de fonctionnement.....	5
2.6 -Influence de la tension d'alimentation sur la caractéristique mécanique.....	5
Influence de la résistance rotorique :.....	6
3 -Démarrage sur le réseau.....	7
3.1 -Modélisation du moteur au démarrage.....	7
3.2 -Démarrage direct.....	8
3.3 -Démarreur étoile triangle.....	8
3.4 -Démarreur progressif.....	8
4 -Freinage d'un MAS.....	9
5 -Génératrice Asynchrone.....	10
6 -Les différents types de machines asynchrones.....	11
6.1 -Moteur monophasé.....	11
6.2 -Moteur diphasé.....	11
6.3 -Moteur à rotor bobiné.....	11
6.4 -Moteur à spire de Frager (« shaded pole »).....	11
6.5 -Moteur à 2 vitesses type Dalhander.....	11

1 - PLAQUE SIGNALÉTIQUE D'UN MAS – COUPLAGE AU RÉSEAU.

La MAS est alimentée par le réseau, donc à fréquence fixe.

La machine (et son refroidissement) est prévue pour un service de fonctionnement S1 : fonctionnement en régime permanent.

	<p>Sur la plaque signalétique d'un moteur asynchrone on peut lire :</p> <p>la puissance mécanique utile nominale, la vitesse nominale, le facteur de puissance nominal</p> <p>la fréquence d'alimentation</p> <p>la tension entre phases que doit avoir le réseau pour coupler les enroulements du moteur en triangle / en étoile</p> <p>le courant de ligne nominal lorsque le moteur est couplé en triangle / en étoile</p>
--	---

La tension d'alimentation est sinusoïdale car c'est celle du réseau.

Le courant est sinusoïdal (car c'est une Mcs) mais retardé de φ par rapport à la tension car à cause de ses bobinages, la machine est une charge inductive.

L'expression de la puissance active en convention récepteur $P_{Elec} = \sqrt{3} U I \cos \varphi = 3 V_{enr} I_{enr} \cos \varphi$ montre que :

- à vide $P_{Elec} = 0 \Leftrightarrow \varphi = \pi/2$,
- en moteur $P_{Elec} > 0 \Leftrightarrow \varphi > 0$: le courant appelé est en retard sur la tension mais moins qu'à vide
- en génératrice $P_{Elec} < 0 \Leftrightarrow \varphi > \pi/2$: le courant appelé est en retard de plus de 90° sur la tension.

2 - CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE.

La caractéristique mécanique est la courbe donnant les variations du couple C en fonction de la vitesse n .

On va négliger le couple de pertes (alors $C = C_{EM}$).

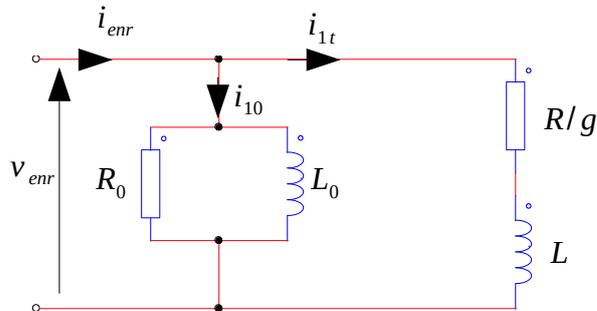


figure 1: Modèle équivalent MAS utilisé

Le modèle équivalent que l'on a choisi (Erreur : source de la référence non trouvée) nous permet d'obtenir l'expression du couple EM suivante :

$$C_{EM} = \frac{3p}{\omega} \times \frac{R}{g} \times \frac{V^2}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (L\omega)^2} \quad \text{avec} \quad g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

La caractéristique mécanique $C(n)$ d'un moteur asynchrone triphasé, obtenu d'après son modèle équivalent, est représentée Erreur : source de la référence non trouvée :

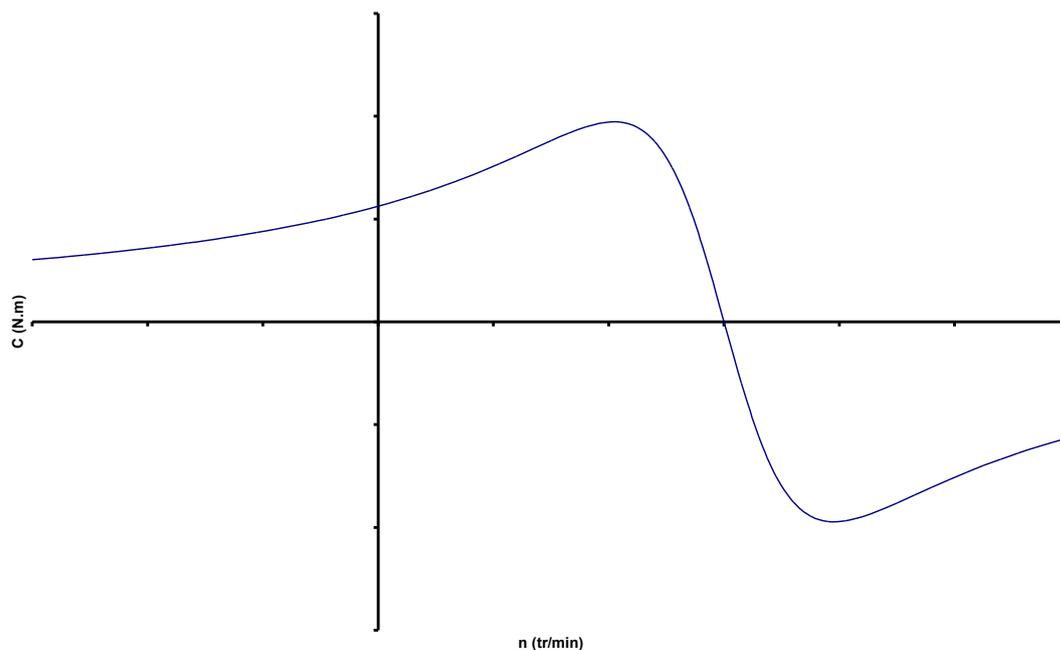


figure 2: caractéristique mécanique MAS à tension et fréquence constantes.



2.1 - QUADRANTS DE FONCTIONNEMENT – POINT DE SYNCHRONISME.

La machine peut fonctionner dans 3 quadrants :

quadrant 1 moteur

quadrant 4 génératrice hypersynchrone

quadrant 2 frein.

En inversant 2 phases, on obtient une courbe symétrique par rapport à l'origine, le fonctionnement moteur est dans le quadrant 3, génératrice 2 et frein 4.

Le point de synchronisme (« S ») est lorsque $n = n_s$ - au synchronisme la machine ne fournit pas de couple ($C=0$).

La machine fonctionne en génératrice si son rotor est entraîné plus vite que la vitesse de synchronisme.

Le fonctionnement en frein s'observe lorsque, la machine fonctionnant en moteur dans un sens, on inverse 2 phases d'alimentation : On constate alors que la machine ralentit puis redémarre dans l'autre sens.

Dans la phase où la machine ralentit, si la machine est à vide, le point de fonctionnement suit la portion « frein » de la caractéristique mécanique.

2.2 - ZONES STABLE ET INSTABLE, POINT MAX.

En moteur, la machine a un couple maximal, qui sépare la courbe en 2 zones : stable et instable.

Si lorsque le couple augmente, la vitesse augmente aussi, le fonctionnement est « instable ».

Lorsque le couple augmente mais que la vitesse diminue, le fonctionnement est « stable ».

La machine ne peut pas fournir un couple supérieur à son couple max.

Il existe ces 2 zones stable et instable aussi en fonctionnement génératrice.

Le maximum du Couple EM est obtenu lorsque $\frac{R}{g_{Max}} = L \omega$

alors $C_{EM-Max} = 3 \frac{p}{2\omega} \times \frac{g_{Max}}{R} \times V^2 = 3 \frac{p}{2L} \times \left(\frac{V}{\omega}\right)^2$ expression du couple max

$g_{Max} = \frac{R}{L \omega}$ expression du glissement au couple max

$n_{Max} = n_s \times (1 - g_{Max})$ expression de la vitesse au couple max



Cette expression montre que le couple max est proportionnel à V^2 .

Le glissement du point max est proportionnel à R : plus R augmente, plus la vitesse du point max diminue.

2.3 - ZONE UTILE – POINT NOMINAL.

Le couple nominal (point « N ») de la machine est inférieur à son couple maximal (point « M »).

Il y en a un en moteur et un en génératrice.

La zone utile est celle où on va chercher à faire fonctionner la machine en régime permanent. Elle est comprise entre le point de synchronisme et les points nominaux moteur et génératrice.

Dans cette zone la caractéristique est assimilée à une droite décroissante.

Dans la zone utile, la vitesse est proche de la vitesse de synchronisme : $n \simeq n_s$

le glissement est donc très faible : $g \ll 1$

R/g est donc très grand : $R/g \gg 1$ (exemple $R=3\Omega$ et $g=3\%$ alors $R/g=100\Omega$)

Donc dans le modèle équivalent, $R/g \gg L\omega$: la résistance ramenée rotor est prépondérante devant l'inductance ramenée

Alors $\underline{V}_{enr} = ((R/g) + jL\omega) \underline{I}_{enr} \simeq (R/g) \underline{I}_{enr}$

L'expression du Couple EM « se simplifie » alors : $C_{EM} \simeq \frac{3p}{\omega} \times \frac{g}{R} \times V^2$ et avec $g = \frac{n_s - n}{n_s}$

on arrive à : $C_{EM} \simeq \frac{3p}{\omega} \times \frac{V^2}{R \times n_s} \times (n_s - n)$ expression du couple dans la zone utile

cette expression est du type $C_{EM} = a - b \times n$ ce qui montre bien que la zone utile est une droite de pente décroissante.

Pente de la zone utile $b = \frac{3p}{\omega} \times \frac{V^2}{R \times n_s}$ ordonnée à l'origine $a = \frac{3p}{\omega} \times \frac{V^2}{R}$.

2.4 - DÉMARRAGE.

Le couple de démarrage (lorsque $n=0$ - point « D ») doit être supérieur au couple nominal pour que la machine puisse démarrer en charge nominale.

$$n=0 \Rightarrow g=1 \Rightarrow C_{EM-D} = \frac{3p}{\omega} \times R \times \frac{V^2}{(R)^2 + (L\omega)^2} \text{ expression du couple de démarrage.}$$

Cette expression montre que le couple de démarrage est proportionnel à V^2 .

Cette expression montre aussi que le couple de démarrage dépend de la résistance rotor.

Pour une machine monophasée, $C_D=0$: une MAS monophasée ne peut pas démarrer seule.

2.5 - RAPPEL SUR LE POINT DE FONCTIONNEMENT.

Le point de fonctionnement (point « F ») est le point d'intersection entre la caractéristique du moteur et la caractéristique de la charge.

2.6 - INFLUENCE DE LA TENSION D'ALIMENTATION SUR LA CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE.

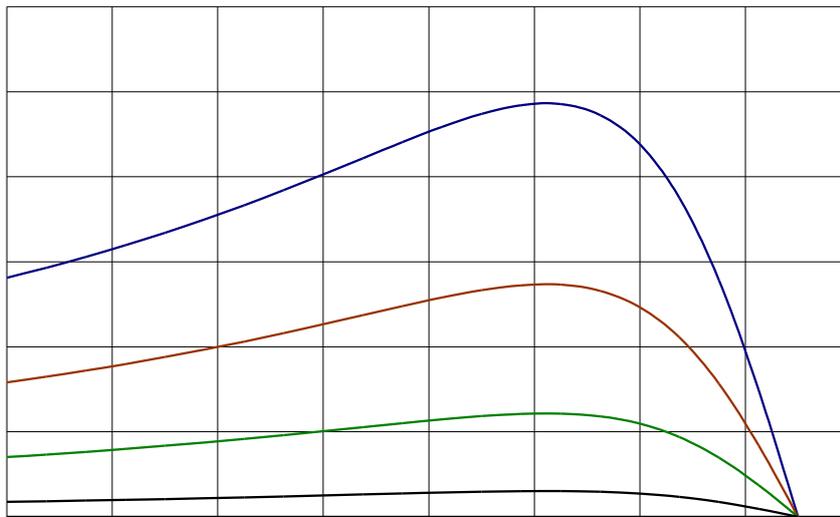


figure 3: caractéristique mécanique à f constant et tension variable (U ; $3U/4$; $U/2$; $U/4$)

Les caractéristiques obtenues lorsqu'on modifie la tension d'alimentation sont homothétiques.

La tension d'alimentation a une influence sur le couple de démarrage, le couple max et le couple nominal mais ne modifie pas le point de synchronisme : en diminuant la tension, on réduit l'aplacement de couple de la zone utile.

Les couples max et de démarrage sont proportionnels au carré de la tension.

Utilisation : avec un démarreur progressif le moteur ne démarre que lorsque la tension d'alimentation est suffisante pour que le moteur produise un couple supérieur au couple de charge.

INFLUENCE DE LA RÉSISTANCE ROTORIQUE :

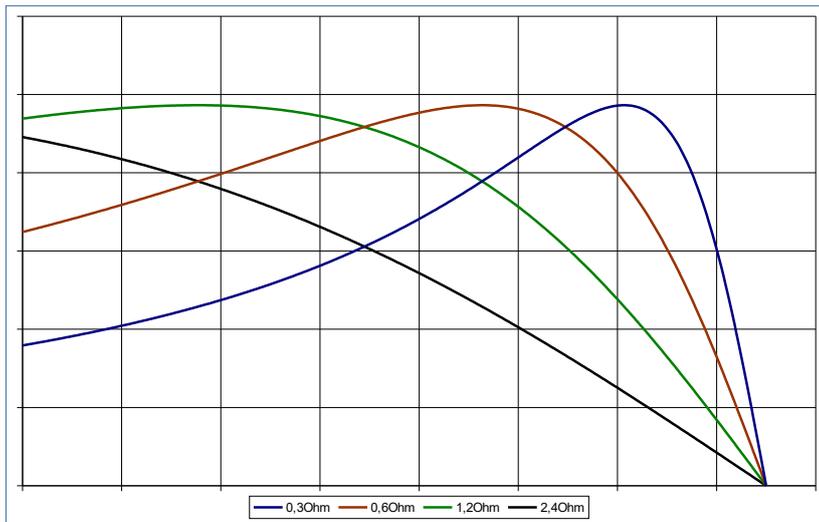


figure 4: influence de la résistance rotor sur la caractéristique mécanique moteur

En augmentant la résistance rotorique, on augmente le couple de démarrage.

Utilisation : Dans certains moteurs, il y a 2 circuits rotor : un de forte résistance pour le démarrage, un de faible résistance pour le fonctionnement normal.

En augmentant la résistance rotorique, on diminue la pente de la zone utile et on augmente la zone stable : on peut se trouver dans la zone stable dès le démarrage.

Utilisation : dans les moteurs à rotor bobiné, le rotor est accessible : au démarrage, on rajoute des résistances externes afin de démarrer dans la zone stable en charge nominale. Au fur et à mesure que la vitesse augmente, on diminue cette résistance externe jusqu'à court-circuiter le rotor une fois la vitesse nominale atteinte.

Lors du démarrage, la puissance appelée reste constante, mais elle se partage entre la puissance utile (qui augmente avec la vitesse) et les pertes Joule rotor (qui diminuent avec la résistance).

3 - DÉMARRAGE SUR LE RÉSEAU.

Le réseau est de fréquence fixe, mais on peut modifier la tension efficace.

Une fois lancé, on ne peut pas modifier la vitesse.

3.1 - MODÉLISATION DU MOTEUR AU DÉMARRAGE.

Le modèle équivalent est composé de 2 parties :

- un circuit $R_0 // L_0$ modélisant le circuit magnétique, où R_0 et L_0 sont de forte valeur (impédance $> k\Omega$)
- un circuit $R/g + L$ modélisant le rotor où R et L sont de faible valeur (impédance $< \Omega$).

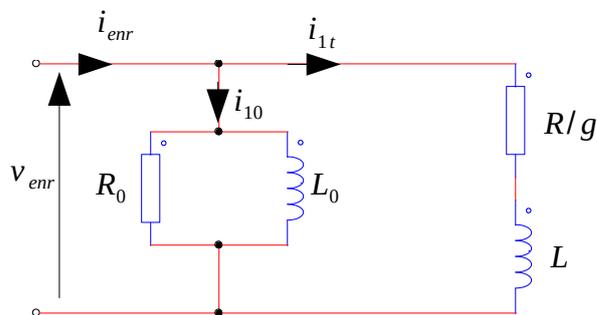


figure 5: Modèle équivalent MAS utilisé

Au moment du démarrage : $n=0 \Rightarrow g=1$, la branche $R+L$ aura une impédance beaucoup plus faible que la branche $R_0 // L_0$: elle imposera donc le courant de démarrage : $i_D \simeq i_{1tD}$

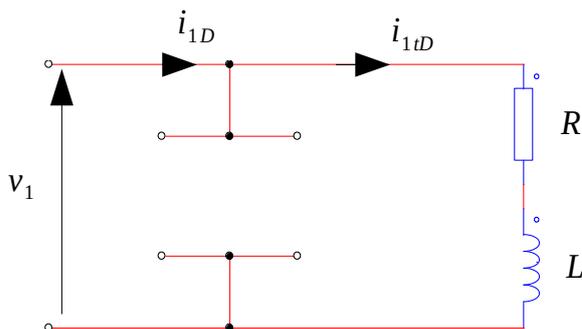


figure 6: modèle équivalent simplifié lors du démarrage

Au moment du démarrage, le moteur se comporte comme un circuit $R+L$ (R résistance ramenée rotor, L inductance ramenée rotor).

Comme tous les circuits $R+L$, la mise sous tension peut entraîner un appel de courant fort en fonction du moment où on connecte le circuit au réseau.



3.2 - DÉMARRAGE DIRECT.

Lors du démarrage direct, l'appel de courant peut atteindre $8 I_n$.

Il y a donc un à coup électrique, ce qui nécessite des protections spécifiques. En cas de démarrages fréquents (service S6) l'échauffement peut être trop important (d'où la nécessité de calculer le couple équivalent thermique).

On ne contrôle pas le démarrage, il y a donc aussi un à coup mécanique, qui peut avoir des répercussion sur la chaîne mécanique.

3.3 - DÉMARREUR ÉTOILE TRIANGLE.

C'est un moteur normalement couplé en triangle qui est, le temps du démarrage, couplé en étoile.

En réduisant la tension d'alimentation ($1/\sqrt{3}$), on réduit le courant ($1/\sqrt{3}$) mais aussi le couple de démarrage ($1/3$): il faut donc s'assurer que le couple de démarrage en étoile est supérieur au couple de charge.

On limite l'à coup électrique, mais on ne contrôle pas le démarrage.

3.4 - DÉMARREUR PROGRESSIF.

Le moteur est alimenté par un gradateur à train d'onde.

Avec ce convertisseur, on augmente progressivement la tension efficace appliquée au moteur : on limite donc la pointe de courant. Correctement réglé, on élimine l'à coup électrique.

Le moteur ne démarrera qu'une fois que la tension sera suffisante pour produire un couple de démarrage supérieur au couple de charge.

On ne contrôle toujours pas le démarrage.

Un gradateur ne permet pas de faire varier la vitesse d'un MAS.



4 - FREINAGE D'UN MAS.

Comme toutes les machines, la MAS peut fonctionner en génératrice, et donc être utilisée comme frein.

Pour fonctionner en génératrice sur le réseau (fréquence fixe), il faut que la charge entraîne la machine à une vitesse supérieure au synchronisme.

Il y a toutefois 2 modes de freinage propres au MAS : le freinage par inversion de phase et le freinage par injection de courant continu.

Lors du freinage par inversion de phase, la machine fonctionne dans la zone « frein » de sa caractéristique. Il faut surveiller la vitesse pour l'empêcher de redémarrer dans l'autre sens.

Ce mode de freinage est violent, car la machine doit alors dissiper en chaleur toute son énergie cinétique.

Le principe du freinage par injection de courant continu est le contraire du fonctionnement de la MAS .

Dans une MAS le rotor tourne parce que le courant stator est sinusoïdal.

Si le rotor tourne et que le courant stator est continu, le rotor va chercher à s'arrêter.

Dans les variateurs, lors du freinage par injection de cc, on alimente le stator avec un courant basse fréquence, qui fait ralentir le moteur, puis on arrête le moteur en injectant un courant continu pendant un certain temps.

Mais ce mode de freinage est moins performant que les freinages « sur rampe ».



5 - GÉNÉRATRICE ASYNCHRONE.

Une MAS devient génératrice si, son stator étant alimenté, elle est entraînée à une vitesse supérieure à sa vitesse de synchronisme.

En fonctionnement génératrice, le courant appelé par la machine est en retard de plus de 90° sur la tension.

On utilise ce type de génératrice dans les centrales hydroélectriques de petite et de moyenne puissance (quelques centaines de kW) ainsi que dans les éoliennes.

Pour démarrer une génératrice, on entraîne le rotor jusqu'à la vitesse de synchronisme, puis on couple la machine au réseau : la machine fonctionne alors à vide.

On augmente ensuite la vitesse rotor au delà du synchronisme jusqu'à atteindre son couple nominal génératrice.

La fréquence réseau étant constante, pour maintenir une production nominale, il faut maintenir la vitesse du rotor constante.

Ces génératrices consomment la même puissance réactive que les moteurs (pour magnétiser la machine). Elles sont donc systématiquement associées à des batteries de condensateurs pour relever leur facteur de puissance, voire produire elles aussi du réactif.

Ces génératrices sont rarement utilisées sur un site isolé car il faut que le stator soit alimenté pour magnétiser la machine. En site isolé, il faut avoir une alimentation annexe pour fournir le réactif nécessaire à la magnétisation du stator.

La génératrice MADA (Machine Asynchrone à Double Alimentation) est une machine à rotor bobiné fonctionnant avec une cascade hyposynchrone.

La cascade permet de contrôler le courant rotor, donc la vitesse de la machine. Ces génératrices peuvent donc fonctionner à vitesse variable.



6 - LES DIFFÉRENTS TYPES DE MACHINES ASYNCHRONES.

6.1 - MOTEUR MONOPHASÉ.

Un moteur monophasé a un couple de démarrage nul.

Pour démarrer, un moteur asynchrone monophasé a besoin d'un enroulement auxiliaire placé à 90° de l'enroulement principal et alimenté à travers un condensateur.

Une fois le moteur lancé, un interrupteur centrifuge coupe l'alimentation de l'enroulement auxiliaire (mais le condensateur reste chargé !).

6.2 - MOTEUR DIPHASÉ.

La structure d'un moteur diphasé est un moteur monophasé dont l'enroulement auxiliaire est alimenté en permanence et pas seulement lors des démarrages.

6.3 - MOTEUR À ROTOR BOBINÉ.

Le rotor de ce moteur est bobiné et accessible depuis l'extérieur.

Pour augmenter le couple de démarrage, on augmente la résistance du rotor.

Une fois lancé, on réduit la résistance externe jusqu'à court circuiter à nouveau le rotor en fonctionnement normal.

6.4 - MOTEUR À SPIRE DE FRAGER (« SHADED POLE »).

C'est un moteur monophasé de petite puissance.

La spire dans le stator permet au moteur de démarrer.

6.5 - MOTEUR À 2 VITESSES TYPE DALHANDER.

Le moteur possède 2 enroulements par phase. En jouant sur le couplage de ces enroulements entre eux, on modifie le nombre de pôles du moteur, donc la vitesse du moteur.