

I-1 INTRODUCTION

Dans le domaine de la variation de la vitesse des moteurs électriques, l'ensemble convertisseurs-moteur constitue un bloc indissociable dans la maîtrise de la transformation de l'énergie électrique en une force motrice directement exploitable dans un processus. De ce fait, la conception de ces ensembles nécessite une approche pluridisciplinaire utilisant l'électrotechnique, l'automatique, l'électronique, l'informatique et la mécanique.

En générale, pour un cahier de charge donné, le choix du type de convertisseur à associer au moteur, devient complexe et doit être suffisamment optimisé.

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu général sur les machines électriques et leurs applications dans les secteurs industriels ainsi qu'une application de la machine à double alimentation (MADA).

I-2 LES APPLICATIONS DES MACHINES ELECTRIQUES DANS L'INDUSTRIE

Dans les secteurs industriels utilisant quotidiennement la force motrice, on distingue : les industries extractives, la sidérurgie, la métallurgie des métaux non ferreux, l'industrie chimique, les textiles et cuirs, le caoutchouc, les papiers cartons, les industries agricoles et alimentaires, les industries diverses, production et transformation de l'énergie. Tout ceci montre combien la force motrice est utilisée en vitesse variable. Elle permet, outre ses avantages, d'allonger la durée de vie d'un équipement entraînant le processus et des économies d'énergie.

I-2-1 Synthèse des applications

L'utilisation des moteurs à courant continu à vitesse variable a été toujours et reste très importante, depuis les premières industries telles que la sidérurgie, jusqu'aux robots, en passant par la traction. Ce succès s'explique par la simplicité de son fonctionnement, de son alimentation et de sa commande. Grâce à sa structure, le moteur à courant continu permet un réglage du couple indépendamment de la vitesse et de la position du rotor. Toutefois cette machine présente des inconvénients dus au système balais-collecteur, ce qui est plus onéreux du point de vue construction et entretien [1]. Néanmoins, les machines alternatives trouvent preneur car elles peuvent

être robustes, d'un prix concurrentiel et d'une aptitude à s'accommoder aux divers besoins de l'industrie, elles ont aussi une grande aptitude à la variation de vitesse.

Avec des réponses rapides, une aptitude d'asservissement largement éprouvée et une grande précision.

Le tableau ci-dessous, présente l'utilisation des différents types de machines électriques dans les différents secteurs industriels [2].

Machines	Alimentation	Applications type
	Moteurs à courant continu	
-bobiné -aimant permanent	hacheur ou redresseur commandé ou non	entraînements industriels (aciéries, papeteries) et traction (bus, métro, train...). véhicules électriques, auxiliaires automobile et avion. Asservissements de vitesse et position.
	Moteurs asynchrones	
-monophasé à cage -triphasé bobiné	sinusoïdale monophasée ou gradateur. sinusoïdale triphasé ou cascade hypo synchrone.	entraînements faible puissance, bas prix, domestiques et industriels. entraînements de grande puissance plage de vitesse limitée.
	Moteurs synchrones	
-Excitation bobinée (avec bagues ou diodes tournantes) -excitation par aimant -à reluctance variable avec cage de démarrage.	sinusoïdale triphasée ou onduleur courant sinusoïdale triphasée(ou biphasée selon la machine) ou onduleur MLI. sinusoïdale triphasée(ou biphasée selon la machine) ou ond ^r MLI.	entraînements ventilateurs et compresseurs grande puissance. -entraînements faible ou moyenne puissance nécessitant une synchronisation, (ex.: textile...) -entraînements faible ou moyenne puissance nécessitant une synchronisation, (ex.: textile...).
	Moteurs pas à pas	
Tous types	continue commutée	-péri-informatique (imprimantes, traceurs).

	créneaux de tension ou de courant.	Asservissement de position.
	Moteurs à reluctance variable.	
Polyphasés. monophasé	continue commutée continue commutée ou sinusoïdale.	-entraînements sans balais faible coût- grande plage de vitesse pour faible et moyenne Pui ^{ce} . Applications domestiques et avioniques. -entraînements synchrones de faible et très faible puissance.

Tableau I.1. Application types des principaux types de machines et de leur alimentation

I-2-2 La double alimentation

Lorsqu'on alimente simultanément, le stator et le rotor d'un moteur asynchrone à rotor bobiné, à partir d'un même réseau, fig. (I-2), le courant statorique I_1 va créer un champ qui tourne à la vitesse $n_1 = f_s/p$, et celui du rotor I_2 , va créer un champ tournant à la vitesse $n_1 = \pm n_2 = \pm f_s/p$. Le signe (-) indique que les deux champs tournent dans des sens opposés, et (+) dans le même sens [3].

Dans ce cas, le moteur à double alimentation tourne à la vitesse: $n = n_1 \pm n_2$

On a deux vitesses: a) $n=0$ et b) $n=2n_1$. Donc la machine peut fonctionner à une vitesse double du synchronisme à vide. En charge le moteur envoie alors dans le réseau des courants à la fréquence de glissement qui influent sur la qualité de l'énergie de réseau [3].

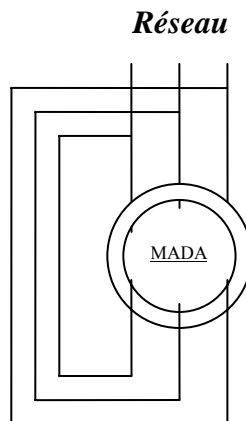


Fig. (I.2). Machine à double alimentation.

Cette machine a fait l'objet de trois variantes de fonctionnement :

- ♦ Fonctionnement en alternateur;
- ♦ Fonctionnement en moteur (alimenté par un seul convertisseur).
- ♦ Fonctionnement en moteur (alimenté par deux convertisseurs).

I-3-1 Fonctionnement en générateur

Dans ce type de fonctionnement, le stator est relié au réseau et un convertisseur alimente le rotor comme nous la montre la figure (I.3). Cette solution permet de fournir une tension et une fréquence fixe même lors d'une fluctuation de la vitesse [4].

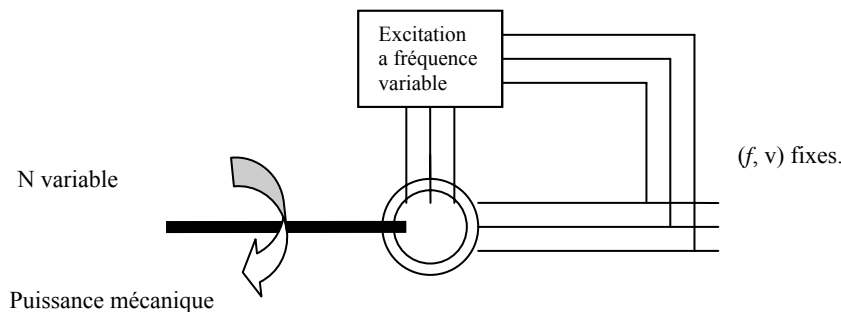


Fig. (I.3).MADA utilisée en alternateur.

I-3-2 Fonctionnement en moteur avec un convertisseur

Dans ce type de fonctionnement figure (I.4), le stator est relié au réseau à fréquence et tension constantes, par contre le rotor est alimenté par un convertisseur qui peut être un cycloconvertisseur ou un onduleur. Cette solution permet de réduire fortement la puissance du convertisseur à condition que le système à entrainer tolère une interruption de couple à une certaine vitesse [4].

I-3-3 Fonctionnement en moteur avec deux convertisseurs

Ce type de fonctionnement est dit synchro-duo, qui est une machine asynchrone bobinée au stator et au rotor et alimentée par deux convertisseurs figure (I.5), ces deux convertisseurs seront toutefois identiques mais peuvent être de puissance différentes. L'originalité de ce principe est d'optimiser la charge conférée aux deux convertisseurs, dans ce cas le rapport de transformation de la machine sera de 1 et la machine sera alimentée de façon symétrique par son stator et son rotor : mêmes valeurs de tension, de courant et de fréquence.

Cette solution permet une variation de la vitesse ; elle permet en outre un fonctionnement à couple constant et un fonctionnement à puissance constante [4].

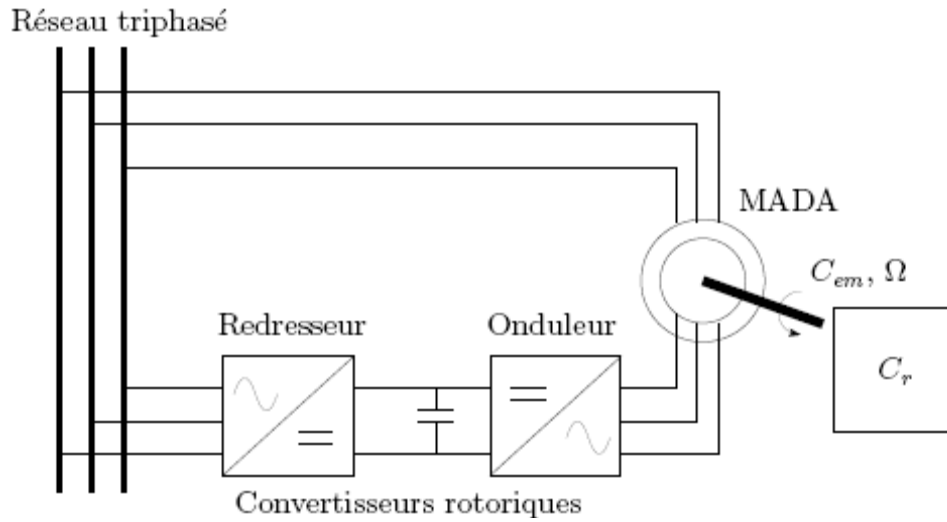


Fig. (I.4).MADA utilisée en moteur avec un seul convertisseur.

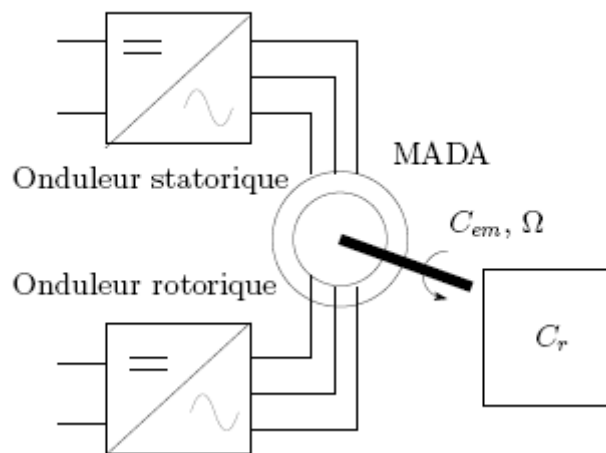


Fig. (I.5).MADA utilisée en moteur avec deux convertisseurs

I-4 CONVERTISSEUR

On peut convertir directement la fréquence du réseau industriel en une fréquence variable plus faible à l'aide d'un convertisseur de fréquence. Le convertisseur permet la circulation de la puissance du glissement dans les deux sens. Et donc la vitesse de la machine peut être commandée dans des vastes gammes d'hyposynchronisme et d'hypersynchronisme avec des dispositifs de marche en moteur ou en générateur. ie la MADA peut fonctionner dans les quatre quadrants : en moteur ou en générateur, en hypo ou en hypersynchronisme.

I-4-1 Fonctionnement en moteur hyposynchrone

La puissance du stator est constante et la puissance du glissement est envoyée de nouveau au réseau. Ici la fréquence de glissement dans le rotor crée un champ tournant dans le même sens que celui du stator et la vitesse du rotor : $\omega_r = \omega_s - g\omega$.

I-4-2 Fonctionnement en moteur hypersynchrone

Le glissement devient négatif lorsqu'on augmente la vitesse au-delà de la vitesse synchrone ; la puissance est absorbée par le rotor. La puissance du glissement compense la puissance du stator. Le surplus de puissance dans le stator est injecté dans le réseau. Pour qu'en puisse réaliser ce mode, on inverse l'ordre de phase du cycloconvertisseur de sorte que le champ tournant induit par la fréquence du glissement soit en opposition de phase avec celui du stator.

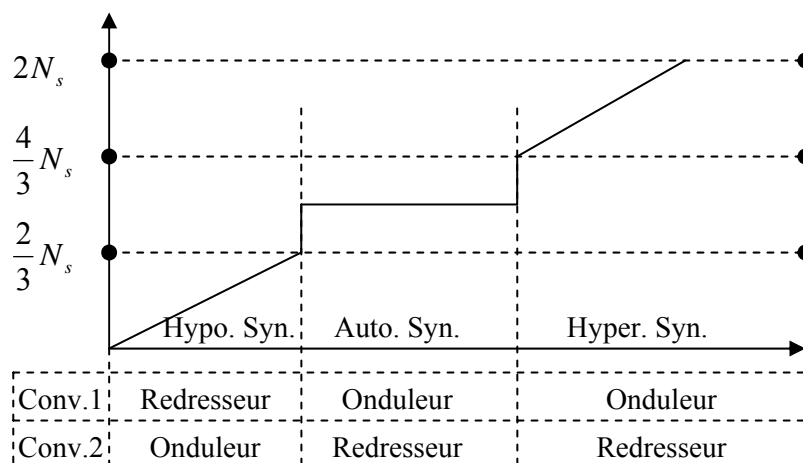


Fig. (I.6) Fonctionnement de la MADA.

I-5 REGIME DE FONCTIONNEMENT DE LA MADA

Dans le moteur à double alimentation, l'enroulement rotorique est couplé à une source de tension à fréquence variable. En fonction de type de régulation de fréquence, on a deux régimes de fonctionnement: synchrone et asynchrone.

I-5-1 Régime de fonctionnement synchrone

Pour ce régime, la fréquence du glissement est donnée indépendamment de la vitesse angulaire. Alors à chaque signal de commande correspond une fréquence

déterminée f_r et une vitesse de fonctionnement ω_r qui ne dépend pas de la charge [5], En faisant varier la fréquence f_r , on peut varier la vitesse. En régime synchrone, le moteur à double alimentation fonctionne comme une machine synchrone. Dans ce régime, on peut régler rapidement la vitesse pour des charges brusques, etc....

I-5-2 Régime de fonctionnement asynchrone

Pour ce régime de fonctionnement, la fréquence de la tension du réseau appliquée à l'enroulement rotorique de la machine à travers un système de régulation est toujours maintenue égale à la fréquence du glissement [5]. Dans ce cas, on ne règle que l'amplitude et la phase de la tension du réseau.

Le moteur à double alimentation fonctionne toujours comme un moteur asynchrone, c'est-à-dire que le glissement du moteur varie avec la variation de la charge.

I-6 TRANSFERT DE PUISSANCE DANS LA MADA

Grâce aux convertisseurs de puissance bidirectionnels, dans le circuit du rotor, la MADA est capable de travailler en tant que génératrice ou moteur de façon hypersynchrone ou hyposynchrone.

On utilise le schéma de la MADA en convention moteur hyposynchrone car c'est la convention habituelle [6].

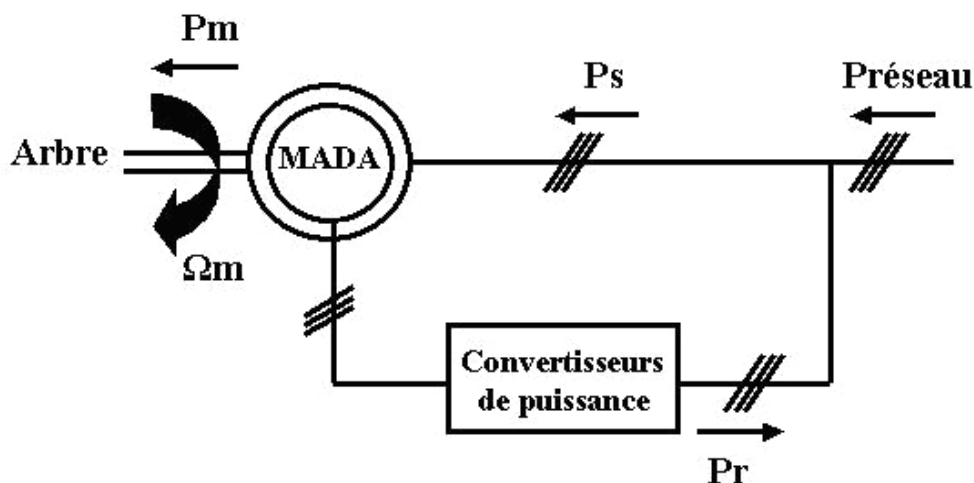


Fig. (I.7). Schéma de la MADA en convention moteur hyposynchrone.

P_m : puissance mécanique ($P_m < 0$ si la machine est entraînée).

P_s : puissance active absorbée par le stator ($P_s < 0$ si la MADA est génératrice).

P_r : puissance débitée par le rotor (son sens dépend du signe du glissement).

$P_{\text{réseau}}$: puissance active fournie par le réseau à la machine ($P_{\text{réseau}} < 0$ si la MADA est génératrice).

Ω_m : vitesse angulaire de la MADA.

En supposant que les pertes dans les circuits du stator et du rotor peuvent être négligées, on peut relier les puissances ainsi:

$$P_m = P_{\text{réseau}}$$

$$P_{\text{réseau}} = P_s - P_r$$

$$P_s = P_{\text{réseau}} / (1 - g)$$

En mode génératrice hypersynchrone, P_r est positif, la puissance est transmise du rotor au réseau.

En mode génératrice hyposynchrone, P_r est négatif, la puissance est transmise du réseau au rotor.

Dans les deux cas la puissance stator, P_s alimente le réseau.

I-7 MODE DE VARIATION DE VITESSE

Comment faire varier la vitesse de rotation de la machine?

L'examen de la formule: $\Omega = \frac{2\pi}{P} f_s (1 - g)$, fait sortir trois modes de variation de la vitesse:

- ♦ Action sur le glissement
- ♦ Variation de la fréquence
- ♦ Action sur le nombre de pôles

I-7-1 Action sur le glissement

Pour régler la vitesse, lorsqu' on utilise ce principe, on place entre le réseau et le moteur un gradateur pour chacune des phases. On fait varier la vitesse par action sur l'angle de passage des courants durant chaque alternance. Ce mode affecte directement le rendement ($\eta = 1 - g$). Techniquement on réalise ce type par action sur la

tension d'alimentation pour moteur à rotor à cage, avec la résistance rotorique pour moteur à rotor bobiné [8].

I-7-2 Variation de la fréquence

Le rendement du moteur à cage n'est bon que s'il tourne au voisinage de sa vitesse synchrone. Pour faire varier sa vitesse dans des bonnes conditions, il faut faire varier sa fréquence d'alimentation, alors on peut utiliser des convertisseurs (onduleur PWM ou plein onde –cycloconvertisseur) [8].

I-7-3 Action sur le nombre de pôles

C'est un mode constructif par action sur le nombre de paire de pôles, cette technique de bobinage consistant à changer la polarité de la machine par un changement des sens de courant. Comme ($P \in \mathbb{N}$), la vitesse Ω varie de simple ou double et inversement ce qui implique variation discontinue [7].

I-8 CONCLUSION

Dans ce chapitre un aperçu général sur les machines électriques et leurs applications ont été donnés ainsi que les différents types de fonctionnement. De même que le principe et les régimes de fonctionnement de cette dernière ont été présentés.

La modélisation et la simulation de la MADA seront l'objet de chapitre suivant.