

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
la Recherche scientifique



Université Hama Lakhdar
Faculté des Sciences et de la Technologie

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de la Technologie

Filière : Génie Électrique

Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques

Thème

***MODÉLISATION DE LA GÉNÉRATRICE
ASYNCHRONE***

dirigé par :

Ms. GUEDIRI Abdelkrim

Réalisé par :

- Abdessettar Brik
- Aissa KHAMMES
- Authman Attousi
- ZOUARI FARHAT
Oussama

Soutenu 01-02 Juin 2015

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	
SOMMAIRE	
LISTE DES FIGURES	
NOTATION.....	

Introduction Générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Générateurs électriques utilisés dans les réseaux électriques

I.1	introduction.....	03
I.2	Prédiction optimale de l'énergie.....	03
I.2.1	Fonctionnant a vitesse fixe	03
I.2.2	Systèmes de génération éolienne à vitesse variable	04
I.3	Machine utilisée dans le système éolienne	05
I.3.1	Machine asynchrone a double alimentation type "rotor bobine.....	05
a.	Structure a énergie rotorique dissipée.....	06
b.	Structure de KRAMER	07
c.	Structure de SCHERBIUS avec cyclo-convertisseur	07
d.	Structure de SCHERBIUS avec convertisseurs MLI.....	08
I.3.2	Machine asynchrone à cage d'écureuil	09
I.3.3	Générateur asynchrone à double stator	10
I.3.4	Machine asynchrone connectée au réseau par l'intermédiaire d'une interface d'électronique de puissance	10
I.3.5	Machine asynchrone à double alimentation type "brushless"	11
I.3.6	Systèmes utilisant la machine synchrone	12

I.4	Configuration du mode de fonctionnement et stratégie de commande de la DFAM	13
I.4.1	Fonctionnement en moteur avec un seul convertisseur.....	13
I.4.2	Fonctionnement en moteur avec deux convertisseurs	14
I.4.3	Fonctionnement en génératrice	16
I.5	Conclusion	19

Chapitre II : Modélisation de la génératrice asynchrone à double alimentation

	Introduction	20
II.1.	Hypothèses simplificatrices.....	20
II.2.	Modèle mathématique de la GADA dans le référentiel généralisé Description.....	20
II.2.1.	Equation électrique.....	21
II.2.2.	Équations magnétiques.....	21
II.2.3.	La transformée de Park.....	22
II.3.	Modèle de GADA dans le référentiel (d,q).....	23
II.3.1.	Equations électriques.....	24
II.3.2.	L'équations magnétiques.....	24
II.3.3.	L'équation mécanique	24
II.3.4.	Les puissances actives et réactives.....	25
II.3.5.	Equation d'état.....	25
III.	Résultats de simulation numérique du système	26
	Schéma bloc de simulation de système complète	26
IV.	Résultats de simulation fonctionnement générateur (GADA)	27
IV.1.	Pour alimentation à rotor de $V_r = 12V$	28
IV.2.	Pour alimentation à rotor de $V_r = 24V$	30
IV.3.	Interprétations des résultats	32
IV.4.	Conclusion	32
	Conclusion générale	33

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Ms. GUEDIRI Abdelkrim pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de filière de g.e Ms. Boubakr Zegeb qui a contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel

KHAMMES Aissa

ZOUARI FARHAT Dussama

BRIK Abdelsatar

ATOUSSE Otmane



TABLE DES FIGURE

Figure 1-1. Eolienne a vitesse fixe	4
Figure 1-2. Schéma de l'alimentation de la MADA pour une application génératrice.....	5
Figure 1-3. Machine asynchrone a rotor bobine.....	6
Figure 1-4. MADA avec contrôle de glissement par l'énergie dissipée.....	6
Figure 1-5. Structure de KRAMER pour la MADA.....	7
Figure 1-6. Structure de SCHERBIUS avec cyclo-convertisseur.....	8
Figure 1-7. Structure de SCHERBIUS avec convertisseur MLI.....	9
Figure 1-8. Machine asynchrone avec liaison directe au réseau.....	10
Figure I.9: Générateur asynchrone à double stator.....	10
Fig. I.10 : Machine asynchrone connectée sur le réseau par l'intermédiaire d'un ensemble redresseur – onduleur.....	11
Fig. I.11 Schéma développé d'un rotor à cage classique et d'un rotor de machine asynchrone	11
Fig. I.12 Machine asynchrone brushless connectée sur le réseau.....	12
Figure 1-13. Système éolien à base d'une machine synchrone et un convertisseur électronique.....	12
Fig. I.14. Schéma d'un système utilisant une DFAM en moteuralimenté par un seul convertisseur.....	13
Fig. I.15. Schéma d'un système utilisant une DFAM en moteur alimenté par deux convertisseurs.....	15
Fig. I.16. Schéma d'un système utilisant une DFAM en alternateur alimenté par un seul convertisseur.....	16
Figure II.1 : Modèle de PARK de la MADA.....	22
Figure II.2 Schéma bloc du GADA sous Matlab/Simulink	26
Figure II.3 Le schéma bloc interne (Subsystem) du GADA sous Matlab/Simulink	27
Figure II.4: Courant statorique et rotorique de GADA (d , q).....	28
Figure II.5 : Les courants statoriques et rotoriques triphasées.....	28
Figure II.6: Flux statorique et rotorique de GADA (d ,q).....	29
Figure II.7: Puissance statorique (P_s, Q_s) et Puissance rotorique (P_r, Q_r).....	29
Figure II.8: Courant statorique et rotorique de GADA (d , q).....	30
Figure II.9: Les courants statoriques et rotoriques triphasées.....	30
Figure II.10: Flux statorique et rotorique (d,q).....	31
Figure II.11: Puissance statorique (P_s, Q_s) et Puissance rotorique (P_r, Q_r).....	31

LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

DFAM	: Doubly Fed Asynchronous Machine
MADA	: Machine asynchrone à double alimentation.
GADA	: Génératrice asynchrone à double alimentation.
M.L.I	: Modulation de largeur d'impulsions.
V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}	: Tensions simples triphasées statoriques.
i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}	: Courants triphasés statoriques.
$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$	: Flux propres statoriques.
V_{ra}, V_{rb}, V_{rc}	: Tensions rotoriques triphasées.
i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}	: Courants triphasés rotoriques.
$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$	: Flux propres rotoriques.
R_s	: Résistance des enroulements statoriques.
R_r	: Résistance des enroulements rotoriques.
l_s	: Inductance propre d'une phase statorique.
l_r	: Inductance propre d'une phase rotorique.
M_s	: Inductance mutuelle entre deux phases du stator.
M_r	: Inductance mutuelle entre deux phases du rotor.
M_{sr}	: Inductance mutuelle maximale entre le stator et le rotor.
L_r	: Inductance cyclique d'un phase rotorique.
L_s	: Inductance cyclique d'un phase statorique.
L_m	: Inductance mutuelle cyclique entre l'enroulement statorique et rotorique.
T_r	: Constante de temps rotorique.
T_s	: Constante de temps statorique.
ω_r	: Pulsation rotorique.

W_s	: Pulsation statorique.
W_m	: Pulsation mécanique
$[A_p]$	: Matrice de PARK.
$[A_p]^{-1}$	: Matrice inverse de PARK.
$i_{ds}, i_{qs}, i_{dr}, i_{qr}$	: Courants statorique et rotorique biphasés.
$\Phi_{rd}, \Phi_{rq}, \Phi_{sd}, \Phi_{sq}$	: Flux rotorique et statorique biphasée.
P	: Nombre de paires de pôles.
J	: Moment d'inertie.
C_e	: Couple électromagnétique.
C_r	: Couple résistant.
C_{em-reg}	: Couple électromagnétique de réglage.
C_g	: Couple gearbox (multiplicateur).
C_{aer}	: Couple aérodynamique.
σ	: Coefficient de dispersion.
P_s	: La puissance active.
Q_s	: La puissance réactive.
P_v	: La puissance de vent.
P_{aer}	: La puissance aérodynamique..



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Très tôt, dans l'histoire des techniques, le vent a été exploité afin d'en extraire de l'énergie mécanique : pour les moulins, le pompage ou, au Moyen Age, pour l'industrie.

Mais nous jours, on la transforme en énergie électrique par l'emploi d'aérogénérateur. Le nouvelle intérêt porté à l'énergie éolienne de puis la moitié des années 70 résulte de deux préoccupation: d'une part, la protection de l'environnement et l'économie des combustibles fossile qui en résulte. D'autre part, l'évolution de technologies rend la conversion de cette énergie de plus en plus rentable et donc sont utilisation devient économiquement compétitive par rapport aux sources traditionnelle de la puissance.

Pour exploiter l'énergie éolienne on se sert de la machine asynchrone à double alimentation (MADA).

La machine à double alimentation en anglo-saxon "doubly-fed induction machine " c'est une machine asynchrone triphasée avec un rotor bobiné qui peut être alimenté par des tensions externes. Le schéma de raccordement le plus typique pour cette machine consiste à connecter le stator directement au réseau, alors que le rotor est alimenté à travers un convertisseur de puissance contrôlé. Cette solution est plus attractive pour toutes les applications où les variations de vitesse sont limitées autour de celle de synchronisme. L'avantage principal de cette machine, est que le convertisseur de puissance doit traiter seulement (selon le glissement) une fraction de 20-30 % de toute la puissance de système, ceci signifie que les pertes dans le convertisseur de puissance peuvent être réduites par rapport au traitement de toute la puissance par celui-ci; et par conséquent le coût de production.

En plus la MADA en mode génératrice permet de produire de l'énergie électrique à fréquence constante avec une vitesse mécanique variable. De même qu'elle offre une large gamme opérationnelle par rapport à la machine asynchrone à cage d'écureuil, [2].

Dans notre étude on a utilisée le (MADA) comme fonction on génératrice avec le stator liée au réseau directement par contre le rotor est alimenté par un système de commande sans utilisation de cycloconvertisseur et nous nous intéressés particulièrement à la modélisation et la commande du système génération éolien à la base de génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) connecté au réseau.

Organisation de mémoire

La structure de notre mémoire est composée de quatre chapitres représentés comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la modélisation et au contrôle de la machine électrique à double alimentation en fonctionnement le génératrice à double alimentation et l'utilisation de machines asynchrones (MAS) comme générateur entraîne une dégradation du facteur de puissance.

Dans le deuxième chapitre, on présentera la modèle de la génératrice asynchrone à double alimentation .

A La fin du travaille on présente les résultats de simulation de système complète.

Chapitre I

***Générateurs électriques utilisés dans les réseaux
électriques***

I.1 Introduction:

La recherche dans le domaine des énergies renouvelables est en plein développement depuis quelques années partout à travers le monde, que ce soit l'énergie marémotrice, ou l'énergie éolienne. De par son caractère pseudo aléatoire, l'énergie éolienne pose beaucoup de défis afin d'avoir une production de puissance électrique constante, et un facteur de puissance aussi proche de l'unité que possible. Deux approches sont possibles : un entraînement à vitesse constante et un entraînement à vitesse variable. La production d'énergie électrique à vitesse fixe est peu souhaitable, car le comportement dynamique en cas de défaut est potentiellement dangereux.[1].

Le raccordement des générateurs éoliens au réseau existant pose plusieurs problèmes. Car la modélisation des phénomènes mécaniques entrant en jeu dans la puissance transmise au rotor du moteur d'une éolienne a permis de conclure que le couple électromagnétique du moteur n'était pas constant mais périodique à cause de l'effet d'ombre de la tour . La conséquence raccordement au réseau électrique, oscillations sont plus importantes dans le cas d'un réseau faible. De plus l'utilisation de machines asynchrones (MAS) comme générateur entraîne une dégradation du facteur de puissance, à cause de la nécessité de fournir de la puissance réactive à la machine.

I.2 Prédiction optimale de l'énergie

On peut classer les éoliennes en deux catégories suivant le mode de fonctionnement : des éoliennes fonctionnant a vitesse fixe et celles fonctionnant a vitesse variable.

I.2.1Fonctionnant a vitesse fixe:

Les éoliennes a vitesse fixe sont les premières qui ont été développées. Dans cette technologie, la génératrice asynchrone est directement couplée au réseau, donc sa vitesse est imposée par la fréquence du réseau et par le nombre de paires de pôles de la génératrice utilisée (Figure 1.1) [2].

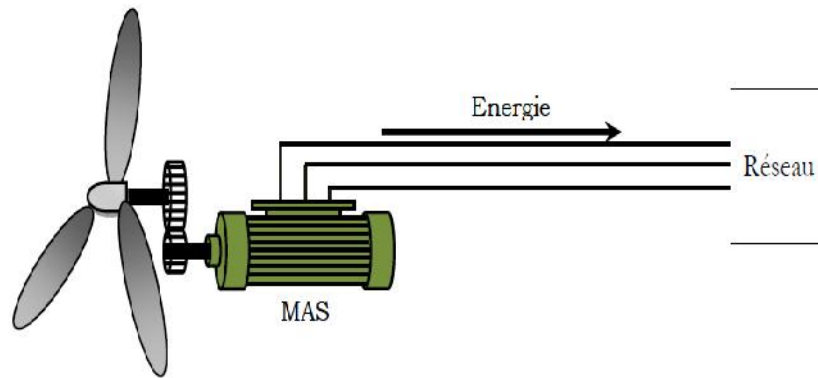


Figure 1-1.Eolienne a vitesse fixe

Le couple mécanique entraînant (produit par la turbine) tend à accélérer la vitesse de la génératrice. Cette dernière fonctionne alors en hyper synchrone et fournit la puissance électrique au réseau. On peut distinguer deux technologies d'éoliennes à vitesse fixe : Les éoliennes à décrochage aérodynamique et les éoliennes à pales orientables [3].

I.2.2Systèmes de génération éolienne à vitesse variable :

Une éolienne à vitesse variable a pour rôle de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie électrique avec un rendement optimisé. Par conséquent les différents éléments du système éolien sont conçus pour maximiser cette conversion énergétique et d'une manière générale une bonne adéquation entre les caractéristiques couple/vitesse de la turbine et de la génératrice électrique est indispensable. Dans les systèmes éoliens de production de l'énergie électrique à vitesse variable, il existe une solution nouvelle et originale, utilisant la machine asynchrone à rotor bobiné. Cette solution est plus attractive pour toutes les applications où les variations de vitesse sont limitées autour de celle de synchronisme dont l'objectif d'avoir un convertisseur de puissance dimensionné à une fraction de 20-30 % de toute la puissance du système, et qui permet de minimiser les pertes et réduire le coût de celui-ci [4].

La configuration, largement répandue dans les systèmes éoliens à vitesse variable avec MADA, est représentée par la figure 1.2. Elle consiste à alimenter le rotor par un convertisseur et à lier le stator directement au réseau [5].

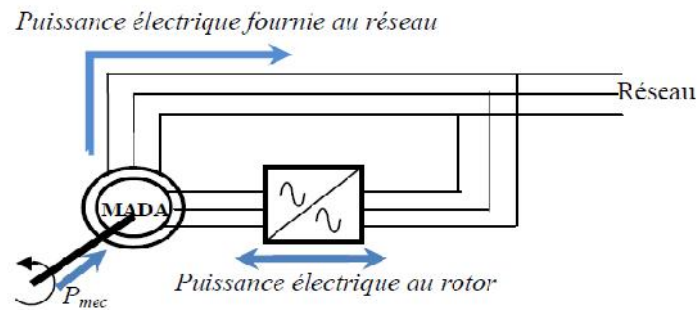


Figure 1-2. Schéma de l'alimentation de la MADA pour une application génératrice

Le fonctionnement à vitesse variable est caractérisé par :

- Augmentation du rendement énergétique .
- Réduction des oscillations du couple dans le train de puissance .
- Réduction des efforts subis par le train de puissance .
- Génération d'une puissance d'une meilleure qualité [5].

I.3 Machine utilisée dans le système éolienne :

L'énergie cinétique du vent est convertie en énergie mécanique par l'éolienne. Ensuite, la vitesse de rotation de l'éolienne (de 10 à 200 tr/min) est adaptée à celle de la génératrice classique avec un multiplicateur de vitesse. La génératrice a pour rôle de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Le générateur peut ensuite être lié directement ou indirectement au réseau. S'il est lié directement au réseau, alors il doit tourner à vitesse fixe [6]. Si la vitesse est très variable, le générateur est lié indirectement au réseau à travers un convertisseur de puissance. Ce type de chaîne permet d'utiliser une machine synchrone, asynchrone ou encore machine spéciale. Ceci entraîne une amélioration du rendement énergétique du système.

I.3.1 Machine asynchrone à double alimentation type "rotor bobine"

Ce type d'aérogénérateur s'est développé récemment car la double alimentation de machine asynchrone permet une meilleure exploitation du potentiel de l'éolienne [7]. Le stator est directement relié au réseau et les grandeurs rotoriques sont commandés par un convertisseur statique (Figure 1.3).

La MADA a rotor bobine présente un stator triphasé identique à celui des machines asynchrones classiques et un rotor contenant également un bobinage triphasé accessible par trois bagues munies de contacts glissants. Leur robustesse est légèrement diminuée par la présence de système à bagues et balais, mais le bénéfice du fonctionnement à vitesse variable est un avantage suffisant pour que de très nombreux fabricants utilisent ce type de machines [Ces machines sont un peu plus complexes que des machines asynchrones à cage[8].

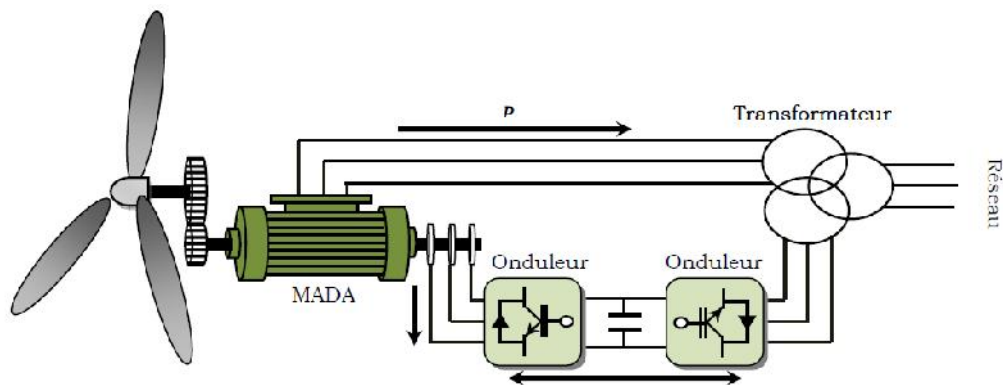


Figure 1-3.Machine asynchrone à rotor bobine

a. Structure à énergie rotorique dissipée :

Cette configuration à vitesse variable est représentée sur la figure 1.4. Le stator est connecté directement au réseau et le rotor est connecté à un redresseur. Une charge résistive est alors placée en sortie du redresseur par l'intermédiaire d'un hacheur à IGBT ou GTO [9].

Le contrôle de l'IGBT permet de faire varier l'énergie dissipée par le bobinage rotorique et de fonctionner à vitesse variable en restant dans la partie stable de la caractéristique couple/vitesse de la machine asynchrone. Le glissement est ainsi modifié en fonction de la vitesse de rotation de la machine.

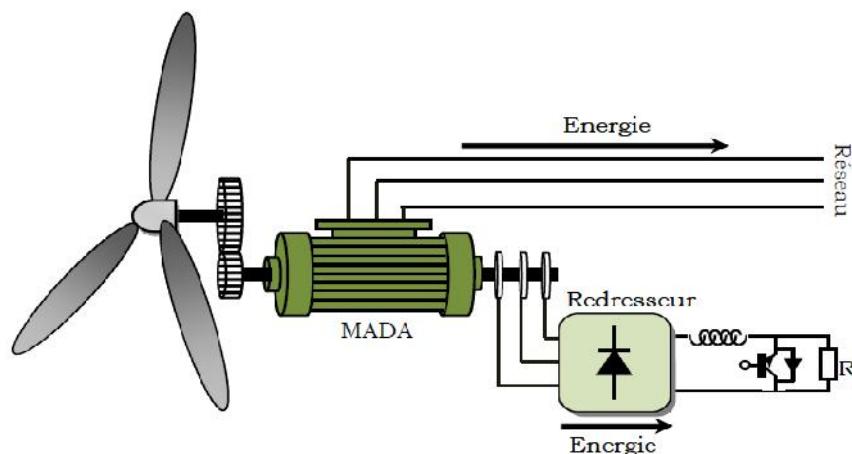


Figure 1-4.MADA avec contrôle de glissement par l'énergie dissipée

Si le glissement devient important, la puissance extraite du rotor est élevée et elle est entièrement dissipée dans la résistance R , ce qui nuit au rendement du système.

De plus, cela augmente la puissance transmise dans le convertisseur ainsi que la taille de la résistance [10].

b. Structure de KRAMER :

Cette structure est appelée structure à base de pont à diode et pont à thyristors. Les tensions entre bagues sont redressées par un pont à diodes. Un onduleur à thyristors applique à ce redresseur une tension qui varie par action sur l'angle d'amorçage des thyristors. Ce dispositif permet de faire varier la plage de conduction des diodes, de rendre variable la puissance extraite du circuit rotorique et donc le glissement de la génératrice asynchrone (Figure 1.5).

Le principal avantage est que l'onduleur est assez classique, et moins coûteux, puisqu'il s'agit d'un onduleur non autonome dont les commutations sont assurées par le réseau [11].

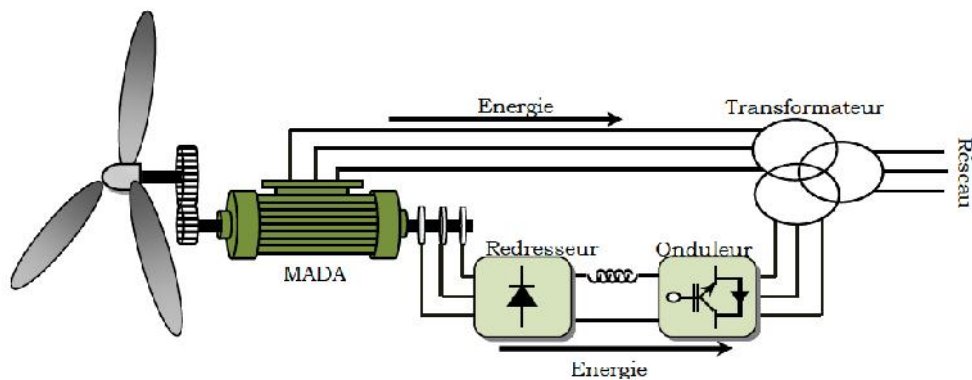


Figure 1-5. Structure de KRAMER pour la MADA

c. Structure de SCHERBIUS avec cyclo-convertisseur :

L'association redresseur-onduleur peut être remplacée par un cyclo-convertisseur afin d'autoriser un flux d'énergie bidirectionnel entre le rotor et le réseau (Figure 1.6). L'ensemble est alors appelé : structure de SCHERBIUS [12]. Ce montage est aussi connu sous la dénomination "topologie statique de SCHERBIUS".

Formellement, le principe de SCHERBIUS est basé sur l'utilisation de la machine tournante au lieu des convertisseurs de puissance.

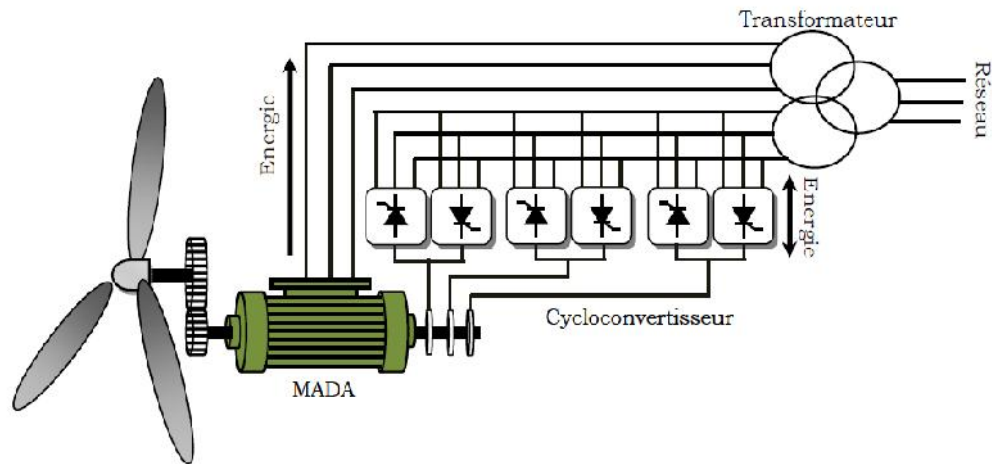


Figure 1-6. Structure de SCHERBIUS avec cyclo-convertisseur.

Dans cette configuration, le principe de SCHERBIUS est reproduit à l'aide d'un cyclo-convertisseur. Son utilisation génère par conséquent des perturbations harmoniques importantes qui nuisent au facteur de puissance du dispositif. Les progrès de l'électronique de puissance ont conduit au remplacement du cyclo-convertisseur par une structure à deux convertisseurs à IGBT commandés en MLI [13].

d. Structure de SCHERBIUS avec convertisseurs MLI :

Une autre structure intéressante (Figure 1.7) utilise deux ponts triphasés d'IGBT commandables à l'ouverture et à la fermeture et leur fréquence de commutation est plus élevée que celle des GTO. L'utilisation de ce type de convertisseur permet d'obtenir des allures de signaux de sortie en modulation de largeur d'impulsions, dont la modularité permet de limiter les perturbations en modifiant le spectre fréquentiel du signal [14].

Ce choix permet un contrôle du flux et de la vitesse de rotation de la génératrice asynchrone du côté de la machine et un contrôle des puissances active et réactive transitées du côté réseau. Cette configuration hérite des mêmes caractéristiques que la structure précédente. La puissance rotorique est bidirectionnelle. La bidirectionnalité du convertisseur rotorique autorise les fonctionnements hyper et hypo synchrone et le contrôle du facteur de puissance côté réseau. Il est à noter cependant que le fonctionnement en MLI de l'onduleur du côté réseau permet un prélèvement des courants de meilleure qualité [15].

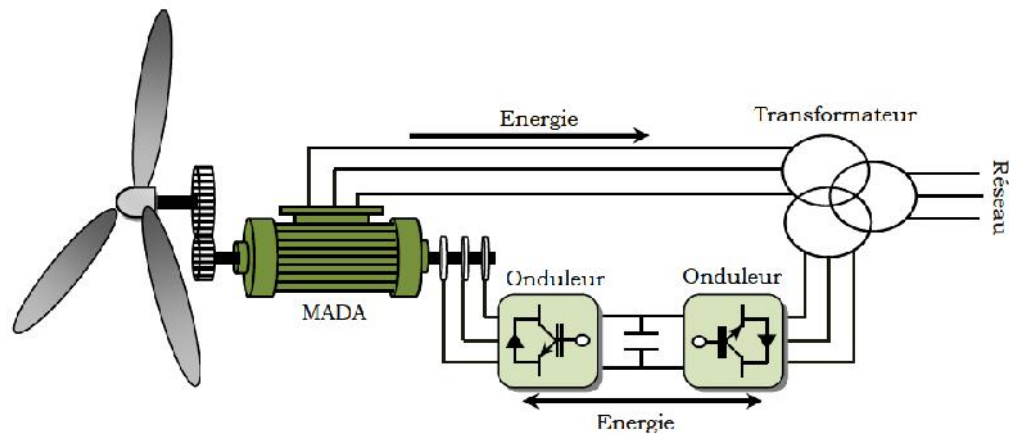


Figure 1-7. Structure de SCHERBIUS avec convertisseur MLI.

C'est pour cette raison que nous nous sommes particulièrement intéressés à cette dernière configuration de la génératrice asynchrone à double alimentation à cause de ses bonnes caractéristiques intrinsèques telles que :

- Le fonctionnement à vitesse variable .
- Le convertisseur de puissance de petite dimension .
- Le niveau bas de fluctuations mécaniques .
- La possibilité de fonctionnement en hypo et hyper synchronisme, ce qui permet de produire de l'énergie du stator vers le réseau et aussi du rotor vers le réseau ;
- Le contrôle simultané de la puissance active et réactive.

I.3.2 Machine asynchrone à cage d'écureuil:

Les machines électriques asynchrones à cage sont les plus simples à fabriquer. Elles sont les moins exigeantes en termes d'entretien et présentent un taux de défaillance très peu élevé. La connexion directe au réseau de ce type de machines est plus douce grâce à la variation du glissement se produisant entre le flux du stator et la vitesse de rotation du rotor. La simplicité de la configuration de ce système permet de limiter la maintenance de la machine. Son principal inconvénient est d'une part l'impossibilité de fonctionnement à vitesse variable, ce qui réduit la puissance pouvant être puisée du vent et d'autre part les problèmes d'accrochage/décrochage au réseau [16]. L'insertion en parallèle des condensateurs avec les enroulements statoriques (Figure 1.8), permet de magnétiser la machine durant sa production de l'énergie.

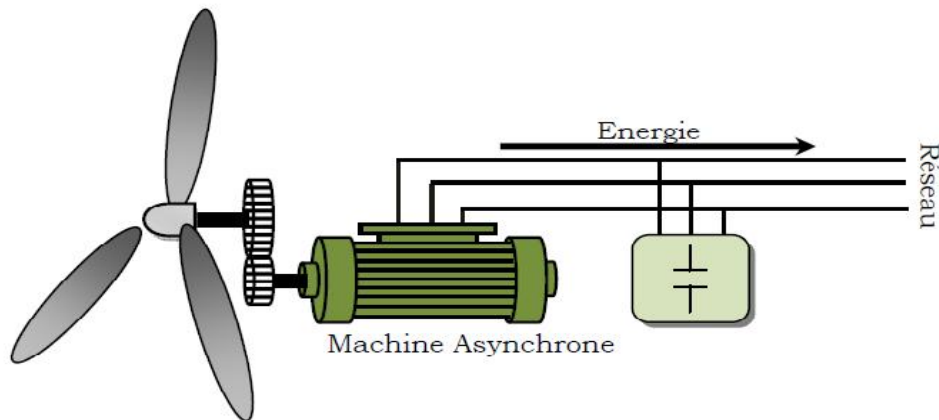


Figure 1-8.Machine asynchrone avec liaison directe au réseau

I.3.3 Générateur asynchrone à double stator :

cas deux enroulements statoriques , l'un conçu pour les faibles vitesses du vent à grand nombre pair de pôles et l'autre pour les fortes vitesses du vent à petit nombre pair de pôles. Donc le système fonctionne à une vitesse de rotation fixe avec deux points de fonctionnement tout en réduisant le bruit causé par l'orientation de l'angle de calage .Mais l'inconvénient majeur de système est la présence d'un second bobinage statorique qui rend la sa conception difficile ainsi que son cout de revient est trop important.[17]

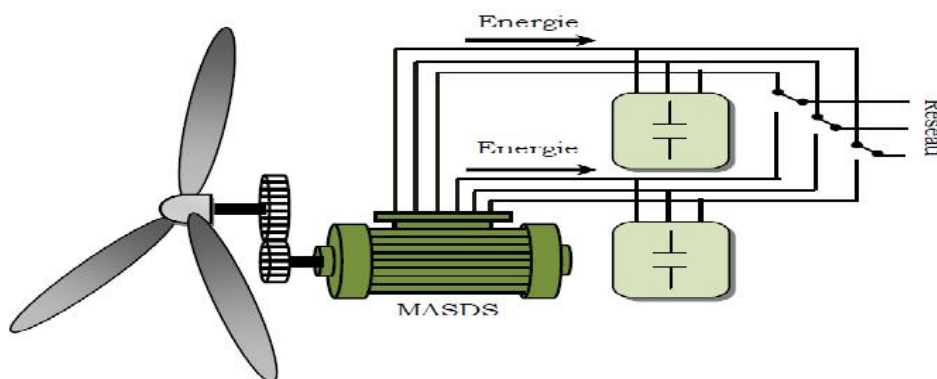


Figure I.9: Générateur asynchrone à double stator

I.3.4 Machine asynchrone connectée au réseau par l'intermédiaire d'une interface d'électronique de puissance:

Le dispositif de base est représenté sur la Figure. (I.10). Cette configuration autorise un fonctionnement à vitesse variable sans limite physique théorique. En effet, quelle que soit la vitesse de rotation de la machine, la tension produite est redressée et transformée en tension continue.

Le fonctionnement de l'onduleur est alors classique et une commande adéquate permet de délivrer une tension alternative de fréquence fixe correspondant à celle du réseau avec un facteur de puissance unitaire [18].

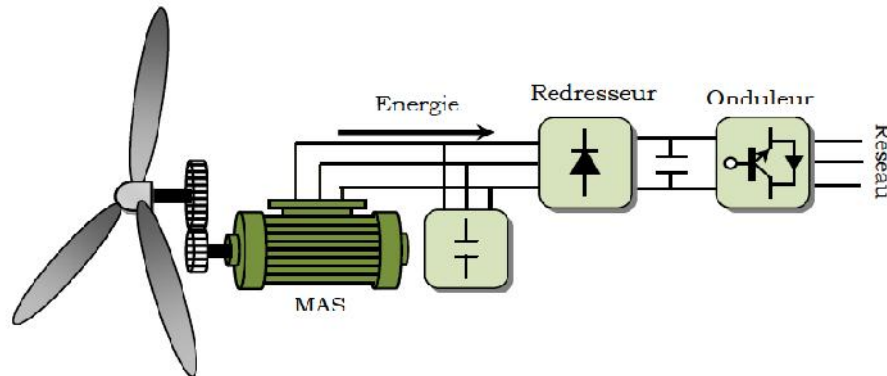


Fig. I.10 Machine asynchrone connectée sur le réseau par l'intermédiaire d'un ensemble redresseur – onduleur

I.3.5 Machine asynchrone à double alimentation type "brushless" :

Cette machine a la particularité de posséder deux bobinages triphasés au stator. Un des bobinages est directement connecté au réseau et est destiné au transfert de puissance. Le second bobinage, dont la section des conducteurs est moins élevée, permet de faire varier les courants d'excitation de la machine. Le rotor possède une structure spéciale différente de la cage d'écureuil classique mais tout aussi robuste : il est constitué de plusieurs boucles conductrices concentriques (Figure. I.11) .

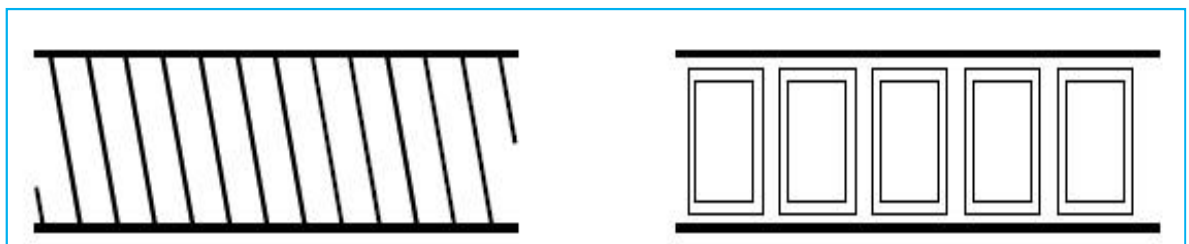


Fig. I.11 Schéma développé d'un rotor à cage classique et d'un rotor de machine asynchrone

Cette machine présente l'intérêt d'autoriser un fonctionnement à vitesse variable à l'instar du dispositif. En revanche, le stator de forte puissance est connecté directement sur le réseau et le convertisseur est placé entre le stator de faible puissance et le réseau (Figure. I.12)[19].

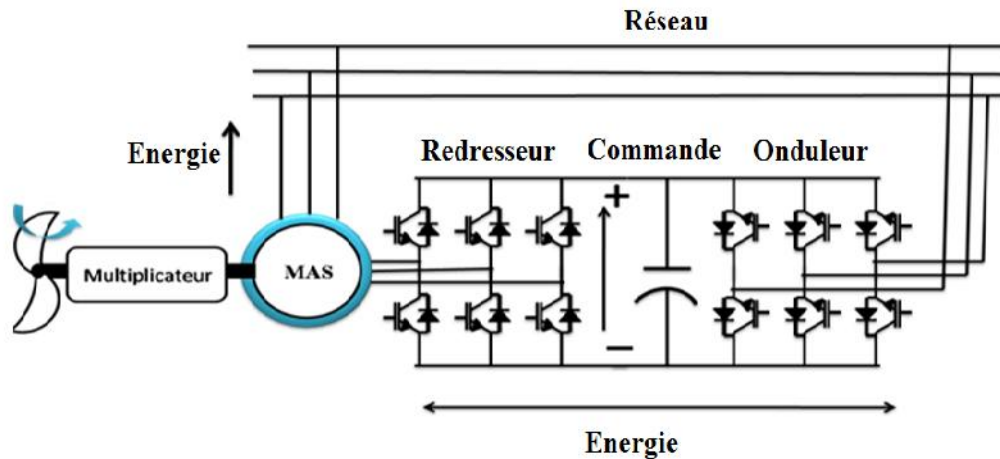


Fig. I.12 Machine asynchrone brushless connectée sur le réseau.

I.3.6 Systèmes utilisant la machine synchrone :

Ces systèmes sont utilisés dans la plupart des procédés traditionnels de production de l'électricité, notamment dans ceux de très grande puissance (centrales thermique, hydraulique ou nucléaires). Les générateurs synchrones utilisés dans le domaine éolien, ceux de 500 kW à 2 MW sont bien plus chers que les générateurs à induction de la même taille. De plus, lorsque ce type de machine est directement connecté au réseau, sa vitesse de rotation est fix et proportionnelle à la fréquence du réseau. En conséquence de cette grande rigidité de la connexion générateur-réseau, les fluctuations du couple -capte par l'aérogénérateur se propagent jusqu'à la puissance électrique produite. C'est pourquoi, les machines synchrones ne sont pas utilisées dans les aérogénérateurs directement connectés au réseau.

Elles sont par contre utilisées lorsqu'elles sont connectées au réseau par l'intermédiaire de convertisseurs de puissance (Figure 1.13).

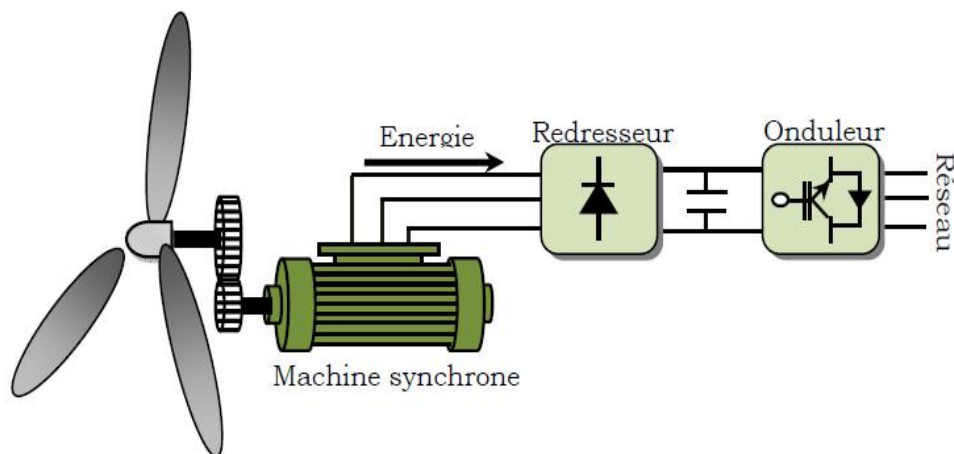


Figure 1-13. Système éolien à base d'une machine synchrone et un convertisseur électronique

Dans cette configuration, la fréquence du réseau et la vitesse de rotation de la machine sont découplées.

Cette vitesse peut par conséquent varier de sorte à optimiser le rendement aérodynamique de l'éolienne et amortir les fluctuations du couple. Certaines variantes des machines synchrones peuvent fonctionner à faibles vitesses de rotation et donc être directement couplées à l'apéro-turbine. Elles permettent ainsi de se passer du multiplicateur de vitesse qui demande un travail auxiliaire de maintenance[20].

I.4. Configuration du mode de fonctionnement et stratégie de commande de la DFAM:

Dans cette partie, nous allons présenter trois configurations du mode de fonctionnement de la DFAM. Pour chaque configuration nous allons exposer les travaux de recherches des auteurs concentrés sur le type d'alimentation et la stratégie de commande utilisée.

I.4.1. Fonctionnement en moteur avec un seul convertisseur :

Dans ce type de fonctionnement, le stator est relié au réseau à fréquence et tension constantes, tandis que le rotor est relié à son propre convertisseur qui peut être un cycloconvertisseur ou un onduleur. Cette solution permet de réduire fortement la puissance du convertisseur. La figure (I.14) présente le schéma de principe de cette catégorie de DFAM.

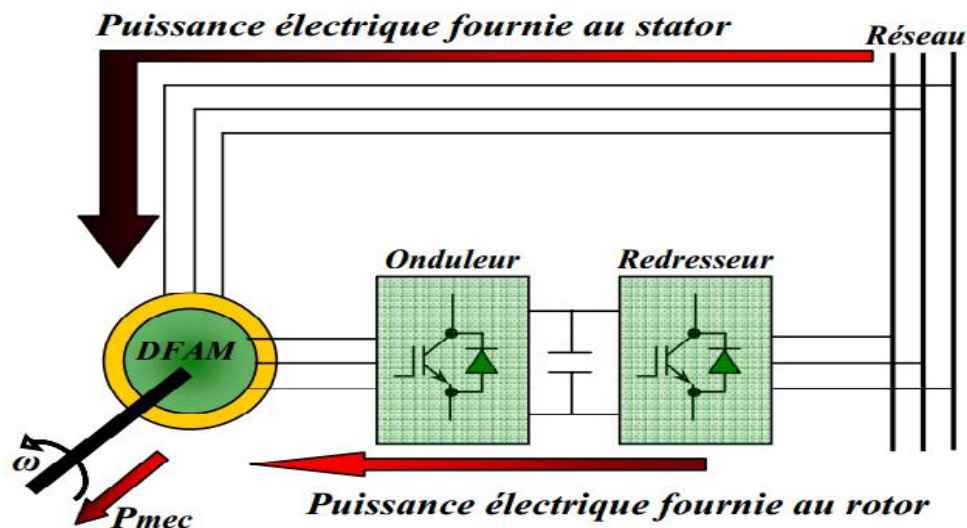


Fig. I.14. Schéma d'un système utilisant une DFAM en moteur alimenté par un seul convertisseur

Dans [21], HELLER présente la DFAM comme étant la solution du futur pour les industries de pompage. Il évalue la stabilité de la DFAM à l'aide de la méthode des petites variations autour d'un point de fonctionnement. Cette approche lui permet de tracer le lieu des pôles du système.

Le mode de fonctionnement retenu est un fonctionnement moteur (figure I.14) dont le stator est connecté au réseau et le rotor relié à un onduleur dont le contrôle est assuré par l'orientation du flux statorique. Il présente ensuite des résultats expérimentaux réalisés avec une machine de 33 kW.

Dans [22], MOREL assure que le fait de relier le stator au réseau et d'alimenter le rotor à travers un onduleur permet de dimensionner la puissance du convertisseur utilisé au rotor à 20% de la puissance mécanique maximale. Il effectue un contrôle du type champ orienté. Afin d'obtenir un moteur ou un générateur à vitesse variable, il propose de passer par trois étapes : mode 1, démarrer le moteur avec les enroulements statoriques en court-circuit .

mode 2, connecter le stator au réseau .

mode 3, alimenter la DFAM à tension et fréquence fixes au stator et par un convertisseur au rotor.

Le fonctionnement du système durant les différents modes est démontré avec validation par les résultats expérimentaux.

Dans [23], HOPFENSBERGER propose l'étude d'une DFAM dans un fonctionnement en mode moteur et vise des applications nécessitant une variation de la vitesse de rotation. Dans le cas de l'absence du capteur de position, il propose deux façons pour déterminer l'angle de rotation du repère tournant (orienté suivant le flux au stator) : une première basée sur la mesure et l'expression des courants statoriques dans le repère tournant, la seconde nécessite la mesure des puissances active et réactive statoriques.

Son étude est validée par des résultats expérimentaux.

Dans [24], l'auteur reprend la même étude mais en appliquant, cette fois-ci, la théorie du champ orienté au flux rotorique commun. Des nouveaux résultats expérimentaux sont présentés.

I.4.2. Fonctionnement en moteur avec deux convertisseurs :

Ce type d'alimentation peut prendre différentes formes :

- Deux onduleurs alimentés par leurs propres redresseurs conformément à la figure (I. 15);
- Deux onduleurs alimentés en parallèle par un redresseur commun;
- Deux cyclo-convertisseurs.

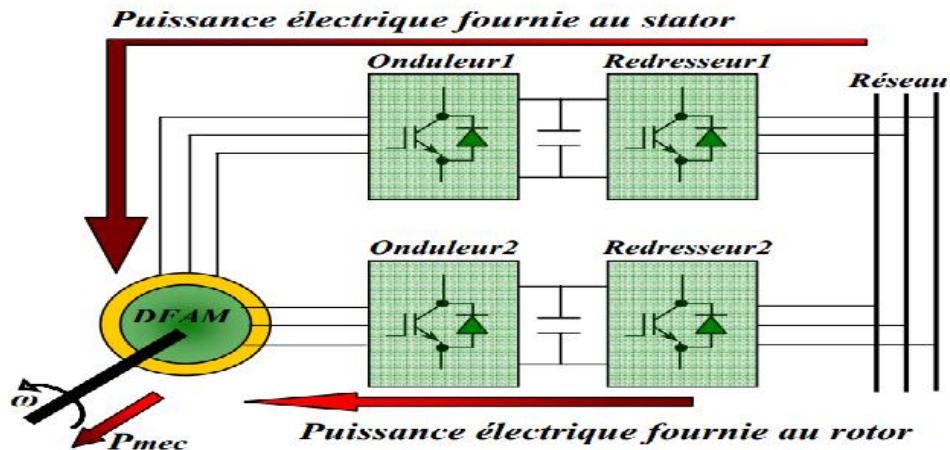


Fig. I.15. Schéma d'un système utilisant une DFAM en moteur alimenté par deux convertisseurs

Dans [25], l'étude que présente LECOCQ concerne le cas où le rotor et le stator sont connectés à deux onduleurs indépendants (Figure I.6). Il préfère la théorie du champ orienté appliqué au flux statorique et impose la vitesse, le flux, le facteur de puissance et le glissement.

Dans [26], l'auteur part du principe que la DFAM offre quatre degrés de liberté : le flux, le couple, la fréquence et le facteur de puissance et procède à un contrôle indirect du flux d'entrefer en introduisant un courant magnétisant. La régulation des courants est effectuée par la suite. Il présente par la suite les résultats expérimentaux de cette étude.

Dans [27], VIDAL reprend la commande vectorielle présentée par LECOCQ. Il essaie d'élaborer de nouvelles lois de commande linéaire et non linéaire à partir d'un modèle d'état basé tout d'abord sur les courants puis sur les flux.

L'alimentation de la DFAM est assurée par un onduleur à MLI. En analysant le comportement de la DFAM en régime permanent, il parvient à déterminer les couplages mis en jeu dans la modélisation choisie. Il adopte une loi de répartition de puissance et impose une fréquence minimale de fonctionnement. Pour la commande linéaire, il conclue que la modélisation par flux présente de meilleurs résultats. Quant au cas non linéaire, il opte pour la commande par modes glissants. En conclusion, il affirme que cette stratégie donne de très bons résultats vis-à-vis de la commande linéaire.

MASMOUDI dans son article [28], considère une DFAM avec deux alimentations variables et indépendantes : l'une au stator, l'autre au rotor. Il centre son intérêt aux échanges énergétiques entre les enroulements rotoriques et statoriques dans l'entrefer. Il en fait un bilan pour les fonctionnements en moteur, en générateur ou en frein.

L'auteur propose enfin une étude de la stabilité en analysant les valeurs propres de la matrice dynamique en fonction des variations des paramètres électriques.

Dans [29], DRID présente une nouvelle approche pour contrôler une DFAM alimentée par deux onduleurs de tension au stator comme au rotor. Son approche est basée sur un contrôle à double orientation du flux statorique et rotorique. L'orthogonalité entre les deux flux, qui doit être impérativement observée, conduit à une commande linéaire et découplée de la machine avec une optimisation du couple. Par la suite l'auteur présente les résultats de simulations de son étude.

RAMUZ dans sa thèse [30], propose d'utiliser une configuration de la DFAM pour un fonctionnement moteur dans des applications telles que la traction où la "première transformation de l'acier". Les enroulements statoriques et rotoriques de la DFAM sont alimentés par deux onduleurs indépendants. Il utilise un contrôle vectoriel à orientation de flux. Dans un premier temps, il présente des résultats expérimentaux avec un contrôle basé sur un repère tournant lié au flux statorique; dans un deuxième temps, le contrôle est basé sur une orientation du repère suivant le flux d'entrefer.

I.4.3. Fonctionnement en génératrice :

Dans ce type de fonctionnement, le stator est relié au réseau et un convertisseur alimente le rotor comme nous le montre la figure (I.16). Cette solution permet de fournir une tension et une fréquence fixes même lors d'une fluctuation de la vitesse. Dans ce cas la plus grande partie de la puissance est directement distribuée au réseau par le stator et moins de 30% de la puissance totale passe par le convertisseur de puissance à travers le rotor. Ceci donne l'occasion d'utiliser des convertisseurs plus petits et donc moins coûteux, [18-20].

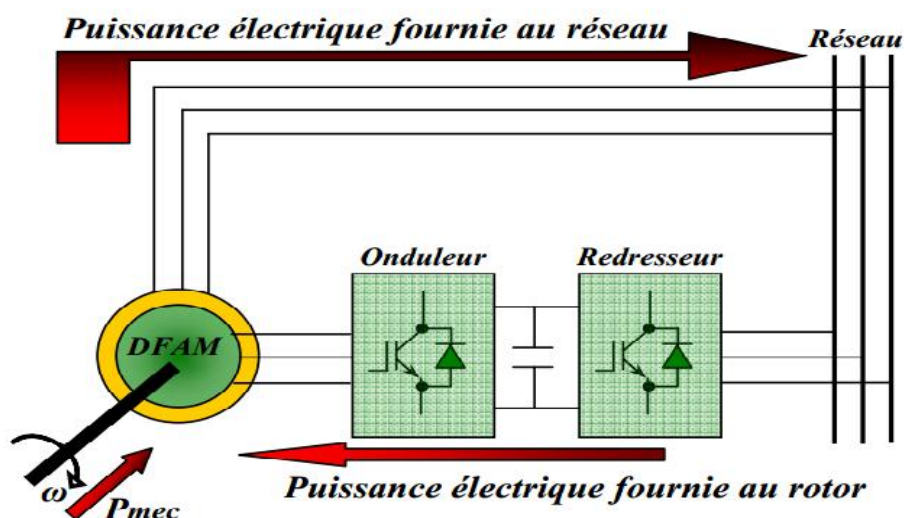


Fig. I.16. Schéma d'un système utilisant une DFAM en alternateur alimenté par un seul convertisseur

Dans [21], PERESADA place son étude dans le contexte d'un fonctionnement en mode générateur de la DFAM. Les enroulements statoriques sont reliés au réseau, le rotor est connecté à un onduleur de tension. Il propose de faire une régulation "asymptotique" des puissances active et réactive statoriques par le biais d'une régulation des courants actif et magnétisant statoriques. Il se place dans un repère tournant lié à la tension statorique. Pour rester dans le cas le plus général possible, il précise qu'il ne négligera pas les termes résistifs. Il démontre à travers des tests expérimentaux et des simulations que le système est robuste face à des variations paramétriques et face à une erreur de la mesure de la position mécanique du rotor.

PENA dans [22-24], présente l'étude de la DFAM en fonctionnant génératrice associée à une éolienne. Les enroulements statoriques sont reliés à un réseau triphasé, une association redresseur MLI- onduleur MLI au rotor. L'avantage d'une telle structure est qu'elle permet le réglage indépendant des puissances fournies par l'alimentation et le fonctionnement dans une grande plage de vitesse.

Dans [25], HOFMANN propose une application éolienne de la DFAM en fonctionnement générateur dont les enroulements statoriques sont connectés au réseau tandis que les enroulements rotoriques sont reliés à un onduleur. Il présente une courbe de couple mécanique en fonction de la vitesse. Il part de l'hypothèse que sa machine est pilotée par un contrôle vectoriel basé sur l'orientation du flux statorique. Il analyse par les simulations des variations des courants, des pertes et des flux. Il démontre que son contrôle, qui doit minimiser les pertes, est performant.

KELBER, dans son article [31], étudie le fonctionnement de la DFAM en génératrice entraînée par une turbine hydraulique et en moteur, entraînant une pompe. Il présente une étude de la stabilité de la machine ainsi que le principe de commande en courant des deux onduleurs. L'auteur conclut que la DFAM en génératrice possède des pôles à faible amortissement avec une pulsation propre proche de la fréquence du réseau, toutefois le choix d'une faible bande passante pour les boucles de courant élimine ce problème. Il montre qu'avec la DFAM en génératrice, il est possible de travailler dans les quatre quadrants avec une commande découplée de la vitesse et des puissances. Des résultats expérimentaux sont présentés.

Dans un second article [28], l'auteur présente les différentes structures adoptées pour la génération de l'énergie électrique avec un entraînement éolien ou hydraulique. Cette comparaison l'amène à opter pour la DFAM comme solution optimale .

POITIERS dans sa thèse [30], étudie une DFAM où le stator est connecté au réseau et le rotor relié à un onduleur. Il établit une commande du type vectorielle avec un référentiel tournant lié au flux statorique. L'étude porte sur la comparaison entre un correcteur PI classique et un correcteur adaptatif type RST. Ces correcteurs visent les régulations du flux statorique et du couple. Les réponses temporelles données par les deux types de correcteurs sont ensuite comparées. Les critères sont la recherche de la puissance active optimale, l'adaptation face à une variation de vitesse brutale et la robustesse face aux variations des paramètres.

Les conclusions prouvent que le régulateur RST donne des résultats meilleurs en terme de robustesse vis-à-vis des variations paramétriques.

Le travail effectué le long de cette thèse est consacré à la commande de la DFAM en fonctionnement génératrice non autonome alimentée par un onduleur de tension au rotor, alors que le stator est directement connecté au réseau. Le facteur de puissance est contrôlé de sorte qu'il soit unitaire en régime permanent du côté statorique. En premier lieu la stratégie de commande par orientation du flux statorique sera appliquée à la DFAM.

C'est une commande basée sur la poursuite du couple (torque tracking control). Le couple électromagnétique de référence est imposé négatif pour avoir le mode générateur, et par conséquence le flux de référence est une fonction de ce couple de référence. Par la suite des techniques de l'intelligence artificielle seront appliquées.

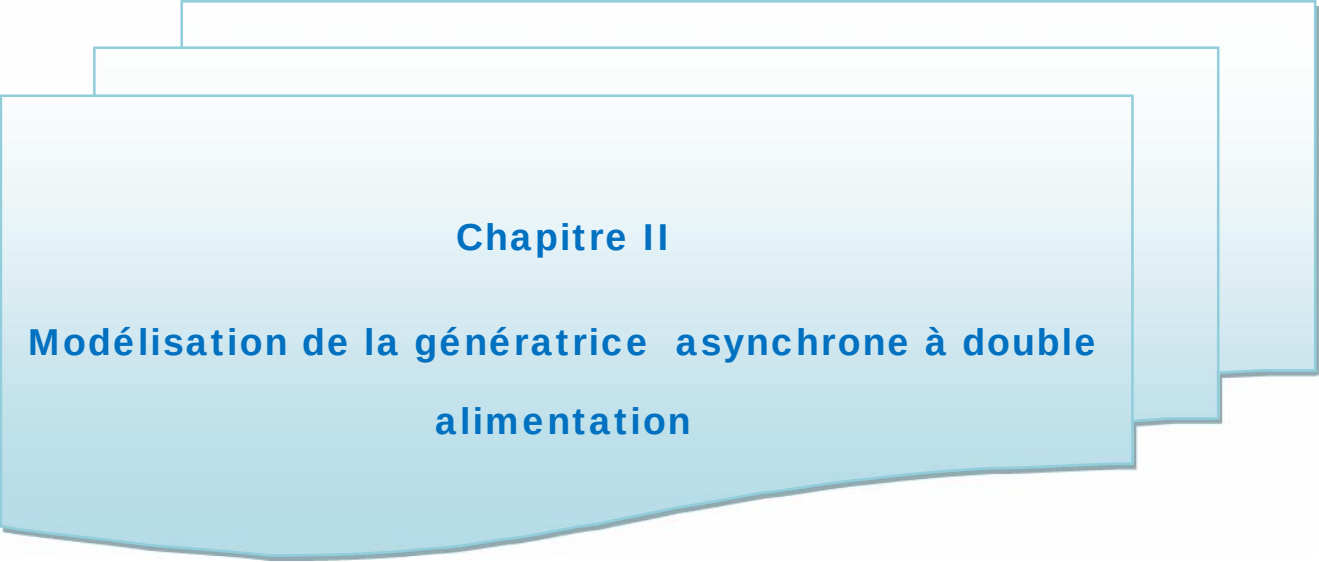
I.5 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté la DFAM sous toutes ses configurations et les performances qui lui permettent d'occuper un large domaine d'application, soit dans les entraînements à vitesse variables (fonctionnement moteur), ou dans les applications à vitesse variable et à fréquence constante (fonctionnement générateur).

Au cours de notre recherche bibliographique nous avons balayé un grand nombre d'études et de travaux effectués sur la DFAM. Ces études portent principalement sur son fonctionnement en génératrice, dans le domaine des énergies renouvelables, ou sur son fonctionnement en moteur avec une grande variété de modes d'alimentation et de contrôle.

Nous avons orienté notre étude sur l'utilisation d'une DFAM en fonctionnement génératrice non autonome. Il s'agit d'une configuration utilisant un onduleur au rotor, le stator est connecté directement au réseau.

Pour bien exploiter la machine à double alimentation dans un tel domaine d'application, la modélisation et la commande sont nécessaires.



Chapitre II

Modélisation de la génératrice asynchrone à double alimentation

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire est consacré à la modélisation de la génératrice asynchrone à double alimentation.

Le but de ce travail était l'étude et simulation d'un système de production d'énergie éolienne. Nous avons modélisé des différents composants du système éolien ensuite utiliser ces modèles pour élaborer deux stratégies de commande qui permettent l'amélioration de la qualité de production de l'énergie électrique.

Dans le premier chapitre, en abordant ses aspects théoriques et ses différentes applications en tant que moteur ou génératrice. Le chapitre a été conclu par une modélisation de cette machine qui a validé sa convenance pour les systèmes à vitesse variable.

dans le deuxième chapitre Nous avons commencé par l'étude de la modélisation de la GADA puis on a établi le modèle de la génératrice asynchrone à double alimentation, afin de réaliser un système de l'ensemble GADA. on constate les résultats de simulation de ce modèle sur Matlab nous confirment la possibilité de double alimentation par la stabilité des différentes grandeurs de la machine étudiée pour un fonctionnement générateur que moteur.

Ainsi que, l'étude en régime permanent, et la recherche bibliographie sur la GADA, menées aussi bien sur les plants théorique que simulation, ont permis de montrer que :

- 🌈 La GADA est bien adaptée aux systèmes de génération électrique, surtout dans les systèmes éoliens à vitesse variable.

- ✚ L'avantage principal offert par la GADA, est que le convertisseur de puissance associé au rotor ne traite qu'une fraction de 20-30% de toute la puissance du système, ce qui permet de minimiser les pertes et réduire les dimensions de ce dernier. Par conséquent, le coût de production est aussi réduit;

Finalement, il va sans dire que la GADA a un pouvoir d'application très vaste dans les applications de production de l'énergie électrique, notamment dans les systèmes éoliens à vitesse variable.



DÉDICACE

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À:

A MON TRÈS CHER PÈRE, JE LUI DÉDIE AVEC FIERTÉ
CE MÉMOIRE QUI REFLÈTE LE

FRUIT DE L'ÉDUCATION ET DE L'ATTENTION QU'IL
M'A TANT RÉSERVÉ, JE SUIS TRÈS

RECONNAISSANTE ET J'AURAI TANT AIMÉ
PARTAGER LA JOIE DE MA RÉUSSITE

AVEC LUI.

À LA PLUS MERVEILLEUSE DES MAMANS, QUI MA
SUPPORTÉE ET SACRIFIER ET

M'A AIDÉE DANS LES PIRES MOMENTS, CAR TU AS
TOUJOURS CRU EN MOI,

JE SUIS QUE JE SUIS MAINTENANT .

A MES FRÈRES.

A MES SŒURS.

A MES COLLÈGUES AINSI QUE MA BINÔME

A MES COPINES AVEC LESQUELLES J'AI PARTAGÉ
MES MOMENTS