



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

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologie



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

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique

Spécialité : Machine Electrique

Thème

**Commande FS-MPC d'une Machine
Asynchrone à Double Alimentation alimentée
par un convertisseur NPC à trois niveaux**

Réalisé par :

Hamda Asma
Neftia Aicha

Encadré par :

Dr. Chikha Said

Devant le jury composé de :

Mr. Mesbahi Nadhir

MCA

président

Mr Lamouchi Zakaria

MCA

rapporteur

Soutenu le 22/06/2020



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 Mr. CHIKHA Said pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel 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 département d'Electrotechnique 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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- à mon très cher père «Ahmad Saide»;
- à ma très chère mère «Moufida»;

Pour son soutien, ses encouragements et tous ses sacrifices
pour atteindre mes objectifs, ce travail est pour eux

- Comme je le dédie à mon mari «Bachar»

qui m'a toujours soutenu;

- à mes chers Frères et Sœurs «Imane, Mohammed,

Chaima et Souhaib, Sara»;

- à tous mes amis(e).

Hamda Asma



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- à mon très cher père «Ahmad »;
- à ma très chère mère «Hania »;

Pour son soutien, ses encouragements et tous ses sacrifices
pour atteindre mes objectifs, ce travail est pour eux
qui m'a toujours soutenu;

- à mes chers Frères et Sœurs «Hayat, Naima,
Bachir, Belgacem et Saida, Adel»;
- à tous mes amis(e).

Neftia Aicha



Table des Matières

Tables des matières	i
Nomenclature	i
Introduction Générale	1

Chapitre 1: Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne.

1.1 Introduction.....	4
1.2 Historique de l'énergie éolienne.....	4
1.3. Production de l'énergie éolienne.....	4
1.4. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....	5
1.4.1. Les avantages.....	5
1.4.2. Les inconvénients.....	6
1.5 types d'éoliennes.....	6
1.5.1. Eoliennes à axe horizontal.....	7
1.5.2. Eoliennes à axe vertical.....	7
1.6. Technologies des systèmes éoliens.....	8
1.6.1. Les éoliennes à vitesse fixe.....	8
1.6.2. Les éoliennes à vitesse variable.....	9
1.7 Différentes parties d'une éolienne.....	10
1.8 Structure de la MADA.....	12
1.9. Avantages et Inconvénients de la MADA.....	12

1.9.1. Les avantages.....	12
1.9.2. Les inconvénients.....	13
1.10 conclusion.....	14

Chapitre 2: Modélisation du système éolien à base d'une MADA.

2.1. Introduction.....	16
2.2. Description du système éolien.....	16
2.3 Modèle de la turbine éolienne.....	17
2.4. Modèle mécanique de la turbine éolienne.....	17
2.5. Modèle de la machine asynchrone à double alimentation (MADA)	18
2.5.1. Modèle de la MADA dans le repère de Park.....	20
2.5.2. Modèle de la MADA avec orientation du flux statorique.....	20
2.6. Modélisation de la connexion du convertisseur côté réseau.....	23
2.6.1. Modèle de la liaison au réseau dans le repère $d-q$	23
2.6.2. Modèle de la liaison au réseau dans le repère de Park lié au champ tournant statorique	25
2.7 Conclusion.....	25

Chapitre 3: Commande FS-MPC du système éolien associé avec un convertisseurs statiques NPC multi-niveaux.

3.1. Introduction.....	27
3.2. Principes de base de contrôle prédictif des modèles	28
3.2.1 Principe de fonctionnement.....	28

3.2.2. Procédure de conception.....	29
3.2.3. Mise en œuvre du programme de contrôle.....	30
3.3. Commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à trois niveaux.....	30
3.3.1. La commande FS-MPC de la MADA par le contrôle du CCM.....	30
3.3.1.1. Modèle de la MADA.....	31
3.3.1.2 Modèle discret de la MADA.....	31
3.3.1.3 La fonction de coût pour le contrôle du CCM.....	31
3.3.2. La commande FS-MPC de la MADA par le contrôle du CCR.....	32
3.3.2.1 Modélisation de la connexion du CCR.....	33
3.4. La commande FS-MPC du système SCEE par les convertisseurs multi-niveaux à trois niveaux VSI-3L.....	34
3.5. La commande prédictive directe du CCR.....	38
3.6. Résultats de simulation et interprétation.....	39
3.7. Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46
Référence bibliographiques	48
Annexe.....	51

Listes des figures

Figures du chapitre 1 :

Figure (1.1) : L'évolution de la capacité éolienne mondiale.....	5
Figure (1.2) :Eoliennes à axe horizontales.....	7
Figure (1.3) :Eoliennes à axe vertical.....	8
Figure (1.4) :Les éoliennes à vitesse fixe.....	9
Figure(1.5) : Les éoliennes à vitesse variable.....	9
Figure (1.6) : Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur.....	10
Figure (1.7) : Structure de la MADA.....	12

Figures du chapitre 2 :

Figure (2.1) : Système de conversion éolienne à base de la MADA.....	17
Figure (2.2) : Modèle mécanique de la turbine éolienne.....	18
Figure (2. 3) : Schéma simplifié de la MADA.....	19
Figure (2.4) : Orientation du repère de Park.....	21
Figure (2.5) : Schéma bloc du modèle simplifié de la MADA.....	23
Figure (2.6) : Représentation simplifiée du système CCR lié au réseau triphasé.....	24

Figures du chapitre 3 :

Figure (3.1) : Principe de fonctionnement des PPM (N_p = horizon de prédiction).....	29
Figure (3.2) : Organigramme de l'algorithme de contrôle prédictif du courant 2L-VSC.....	32

Figure (3.3) : Organigramme de la commande prédictive FS-MPC.....	35
Figure (3.4) : Système SCCE associé avec 2 convertisseurs NPC-3L.....	36
Figure (3.5) : Commande FS-MPC du convertisseur coté réseau CCR.....	37
Figure (3.6) : Vecteurs de tension possibles et états de commutation générés par un onduleur à trois niveaux (Vargas <i>et al.</i> , 2007 © IEEE).....	39
Figure (3.7) : Différents états de commutation qui génèrent le vecteur zéro V_0 . (a) (+,+,+). (b) (0, 0, 0).(c) (-,-,-).....	39
Figure (3.8) : Vitesse relative de éolienne.....	40
Figure (3.9) : Couple aérodynamique.....	40
Figure (3.10) : variation de la vitesse de rotation de turbine.....	40
Figure (3.11) : courant rotoriques triphasés et le vitesse de rotation de la MADA.....	41
Figure (3.12) : les composantes directe et quadrature du courant rotorique.....	41
Figure (3.13) : couple électromagnétique de la MADA.....	41
Figure (3.14) : la puissance réactive statorique.....	42
Figure (3.15) : puissance active du stator P_s du rotor P_r et totale de la MADA.....	42
Figure (3.16.a) : Courant et tension de phase statorique (topologie NPC-3.....	42
Figure (3.16.b) : Zoom du courant et de la tension de phase statorique (topologie NPC-3L).....	43
Figure (3.17.a) : Tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L.....	43
Figure (3.17.b) : Zoom tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L.....	43
Figure (3.17.c) : Tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L($\neq 0$).....	44

Liste des tableaux

Tableau 3.1- Comparaison du contrôle linéaire avec le régulateur PI et le SVM, et le FCS-MPC.....	28
Tableau 3.2- États de commutation pour une phase de l'onduleur.....	37

Acronymes

BV: Boite de vitesse (FR).

CC: Courant continue (FR).

CCM: Convertisseur coté machine (FR).

CCR: Convertisseur coté réseau (FR).

DT: Discrete-Time (AN).

FCS-MPC: Finite set model predictive control (AN).

GS: Génératrice synchrone (FR).

MADA: Machine asynchrone à double alimentation (FR).

MAS: Machine asynchrony (FR).

MPC: Model predictive control (AN).

MPPT: Maximum power point tracker (AN).

MS: Machine synchrone (FR).

NPC: Neutral point clamped (AN).

OME: Organisation mondiale de l'environnement (FR)

PCC: Predictive current controlled (AN).

PI: proportional integral (AN).

RL: Résistance filtre (FR).

SCEE: Système de conversion d'énergie éolienne (FR).

SVM: Space vector modulation (AN).

Nomenclature

Paramètres

f : fréquence imposée par le réseau électrique	Hz
f_v : coefficient dû aux frottements visqueux de la MADA	Nm.s/rad
G : gain du multiplicateur	-
J_g : Le moment d'inertie de la génératrice.kg.m ²	
J_t : moment d'inertie de la turbine	kg.m ²
L_r : inductance cyclique rotorique de la MADA	H
L_s : inductance cyclique rotorique de la MADA	H
m : rapport de transformation rotor/stator de la MADA	-
p : nombre de paires de pôles	-
P_n : puissance mécanique nominale de la turbine	W
R_r : résistance du bobinage rotorique de la MADA	Ω
R_s : résistance du bobinage statorique de la MADA	Ω
S : surface circulaire balayée par la turbine	m ²
U_s : valeur efficace des tensions composées statoriques	V
V_s : valeur efficace des tensions simples statoriques	V
φ_s : valeur efficace du flux statorique de la MADA	Wb
σ : coefficient de dispersion de la MADA	-

ω_s : pulsation statorique de la MADA rad/s

Variables

C_{em} : couple électromagnétique de la MADA Nm

g : glissement de la MADA -

$iabc_r$: courants rotoriques de la MADA dans le repère triphasés A

$iabc_s$: courants statoriques de la MADA dans le repère triphasés A

idq_r : courants rotoriques de la MADA dans le repère biphasé A

idq_s : courants statoriques de la MADA dans le repère biphasé A

P_g : puissance active coté réseau W

P_r : puissance active rotorique de la MADA W

P_s : puissance active statorique de la MADA W

Q_g : puissance réactive générée par le CCG Var

Q_s : puissance réactive statorique de la MADA Var

v : vitesse du vent m/s

vds, vqs : tensions statoriques de la MADA dans le repère de Park V

INTRODUCTION GENERALE

Le problème de tous les jours et dans le monde entier est de répondre à la demande énergétique qui augmente de plus en plus. L'augmentation rapide de l'activité industrielle dans les pays développés et l'investissement des entreprises dans les pays qui assurent un coût de production moins élevé a accru très rapidement la demande mondiale d'énergie.

Face à cette demande, toujours croissante de nos jours, les pays industrialisés ont massivement fait appel aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques, mais le risque d'accident nucléaire, le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures [1].

Face à ces problèmes, et pour minimiser l'émission du CO₂ par les centrales thermiques, plusieurs pays se sont tournés vers de nouvelles formes d'énergie dites "renouvelables". Donc aujourd'hui, l'énergie éolienne est devenue une réalité mondiale incontournable.

L'industrie éolienne peut devenir un facteur important dans l'industrie de la production d'énergie en tant qu'alternative propre et renouvelable, mais en raison de la nature volatile des vents, elle ne peut être considérée que comme une source d'énergie supplémentaire et non comme une alternative aux solutions traditionnelles. Actuellement, de nombreux pays se dirigent résolument vers l'énergie éolienne, les pays à travers le monde investissent des sommes énormes pour la recherche et le développement des nouvelles technologies pour optimiser les coûts et augmenter les capacités de l'énergie extraite de l'éolienne, et par conséquent le potentiel énergétique mondial de cette énergie est estimé à une puissance de 5300 TW h, ce qui représente un gisement énergétique non négligeable et très prometteur.

Les systèmes de conversion d'énergie électrique utilisant une machine asynchrone à double alimentation (MADA) sont les configurations les plus populaires en raison de ses avantages en moyenne et haute puissance [2].

En général, le stator de MADA est directement connecté au réseau tandis que le rotor est relié au réseau par l'intermédiaire d'une cascade de deux convertisseurs de puissance placés en mode back to back.

Les travaux présentés dans la présente mémoire montrent une richesse et une flexibilité remarquable de la commande prédictive à ensembles finis FS-MPC.

Ce travail est subdivisé en trois chapitres :

Au premier chapitre, un état de l'art de l'énergie éolienne est présenté. Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu des différents types d'éoliennes, des technologies de systèmes éoliens, de leurs avantages et inconvénients. La dernière partie de ce chapitre est consacrée à l'étude spéciale de la machine MADA asynchrone à double alimentation.

Dans le second chapitre, nous présentons la modélisation des éléments constituant une chaîne de conversion d'énergie éolienne connectée au réseau électrique.

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté le principe de la commande prédictive à ensemble finis FS-MPC et son application à un système éolien SCEE à vitesse variable basé sur une MADA.

Nous terminerons ce présent travail par une conclusion générale et quelques perspectives de recherche envisagées.

Chapitre I

Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne

1.1 Introduction

Durant dernière décennie, les énergies renouvelables ont continué à se développer au fil des années suite à une forte croissance de la consommation énergétique mondiale. Ce développement a provoqué une stabilisation d'émission des gaz à effet de serre selon l'organisation mondiale de l'environnement (OME). Cette stabilisation est attribuée à l'avancée accélérée de la production des énergies renouvelables et à l'amélioration de l'efficacité énergétique en plus du net recul des cours pétroliers.

L'intérêt pour l'utilisation des énergies renouvelables augmente, car les populations sont de plus en plus concernées par les problèmes environnementaux. Parmi les énergies renouvelables, l'énergie éolienne est maintenant largement utilisée.

Ce chapitre donne un aperçu des différents types d'éoliennes, des technologies de systèmes éoliens ainsi que de leurs avantages et inconvénients. La dernière partie de ce chapitre est consacrée à l'étude spéciale de la Machine Asynchrone à Double Alimentation MADA.

1.2 Historique de l'énergie éolienne :

Depuis les temps anciens, l'Homme a utilisé l'énergie éolienne pour moulin du grain ou pour pomper de l'eau. Avec la découverte de l'électricité à la fin du 19^e siècle, les premiers prototypes d'éolienne ont été construits, avec une technologie calquée sur les moulins à vent. Depuis, l'éolien est devenue une source d'énergie à part entière.

Les parcs éoliens actuels génèrent une part de l'énergie électrique globale de la consommation énergétique mondiale. L'Allemagne est un des plus grands marchés éoliens, avec la deuxième plus grande capacité de production (23,903 MW en 2008), après les USA. Ensuite viennent l'Espagne, la France, le Danemark, la Chine et l'Inde [3].

1.3. Production de l'énergie éolienne :

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la Terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne

Chapitre I : Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne

depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. En Europe, principalement sous l'impulsion Allemande, Scandinave et Espagnole, on comptait en 2000 environ 15000 MW de puissance installée. Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000 MW pour 40000MW de puissance éolienne installée dans le monde. En prévision, pour l'année 2010, on peut espérer une puissance éolienne installée en Europe de l'ordre 70000 MW [4].

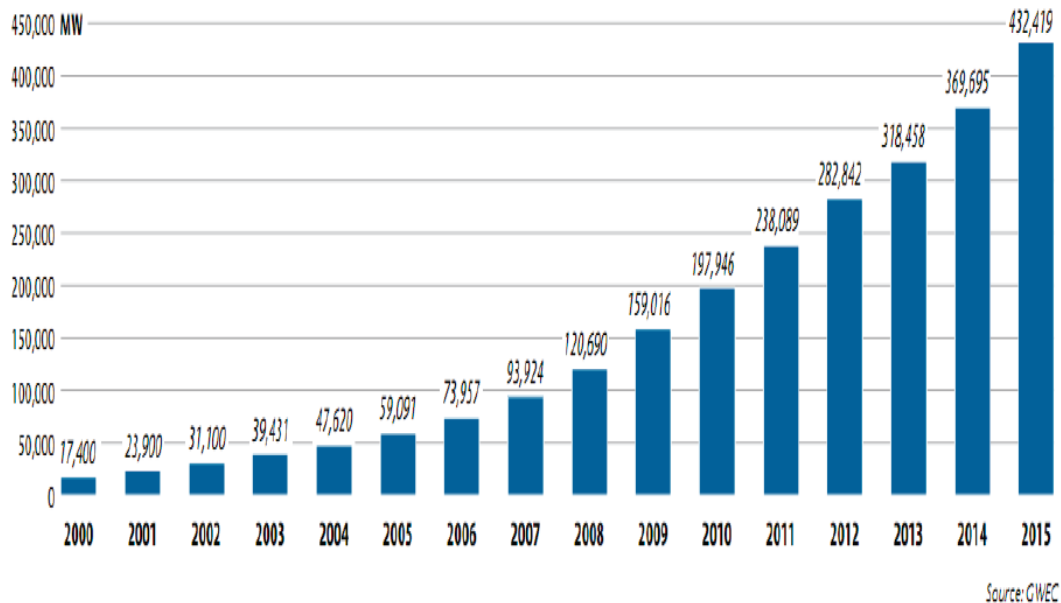


Fig1.1: L'évolution de la capacité éolienne mondiale [10].

1.4. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne:

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie. Cette source d'énergie a également des inconvénients qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement [5].

1.4.1. Les avantages :

Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice :

- L'exploitation d'énergie éolienne ne produit pas directement de CO₂.
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, c'est à dire que contrairement aux énergies fossiles, les générations futures pourront toujours en bénéficier.

Chapitre I : Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne

- L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie de risque comme l'énergie nucléaire et ne produit évidemment pas de déchets radioactifs.
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires.
- Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer. L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple.
- L'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies, notamment durant les pics de consommation, en hiver par exemple.

1.4.2. Les inconvénients :

Même s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a quelques désavantages :

- Le bruit : il a nettement diminué, notamment le bruit mécanique qui a pratiquement disparu grâce aux progrès réalisés au niveau du multiplicateur.
- Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux.
- La source d'énergie éolienne étant stochastique, la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne.
- Les systèmes éoliens coûtent généralement plus cher à l'achat que les systèmes utilisant des sources d'énergie classiques, comme les groupes électrogènes à essence, mais à long terme, ils constituent une source d'énergie économique et ils demandent peu d'entretien [5].

1.5 types d'éoliennes :

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. En effet, les turbines éoliennes sont classées selon la disposition géométrique de leur arbre sur lequel est montée l'hélice, en deux types : les éoliennes à axe vertical et à axe horizontal.

1.5.1. Eoliennes à axe horizontal :

Actuellement, ces éoliennes sont les plus répandues. Elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales face ou derrière le vent.

Les trois pales représentent un bon compromis entre le facteur de puissance, le coût, la vitesse de rotation du capteur de vent, ainsi que le côté esthétique par rapport aux pales.

Les éoliennes à axe horizontal sont davantage utilisées car leur efficacité aérodynamique est plus élevée que les éoliennes à axe vertical, elles sont moins soumises à la pression mécanique et ont un coût moindre.



Fig1.2: Eoliennes à axe horizontales

1.5.2. Eoliennes à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles, de nombreuses variantes ont été testées depuis les années vingt, dont beaucoup sans succès, seulement deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation . [6]

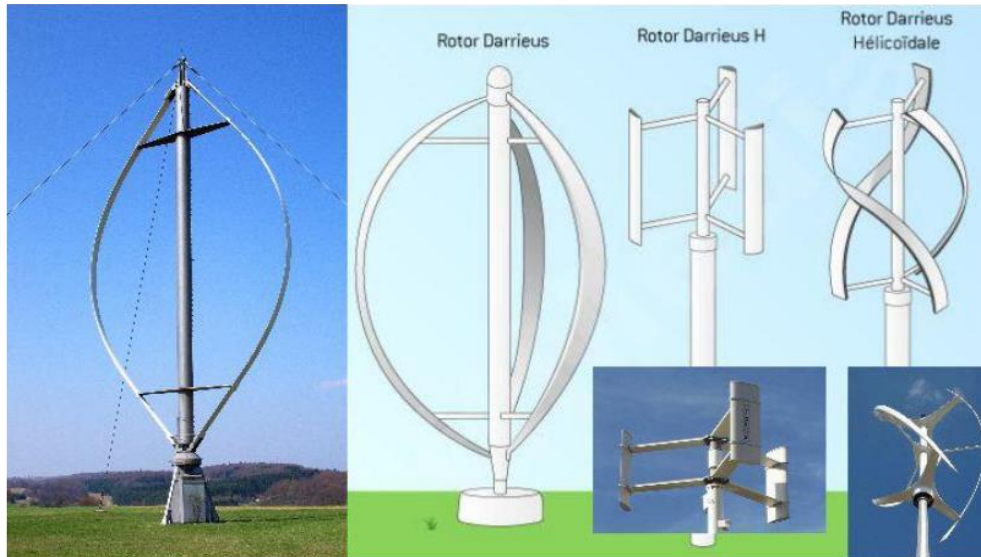


Fig1.3:Eoliennes à axe vertical [6].

1.6. Technologies des systèmes éoliens

1.6.1. Les éoliennes à vitesse fixe

Les éoliennes à vitesse fixe sont les premières à avoir été développées. Dans cette technologie, la génératrice est directement couplée au réseau. Sa vitesse mécanique est alors imposée par la fréquence du réseau et par le nombre de paires de pôles de la génératrice. La technologie inhérente aux éoliennes à vitesse fixe est bien maîtrisée. En effet, c'est une technologie qui a fait preuve d'une simplicité d'implantation, une fiabilité et un faible coût. Cela permet une installation rapide de centaines de kW de génération éolienne. Cependant, avec la mise en place très progressive de projets d'éoliennes dont la puissance est supérieure au MW, ce sont les éoliennes à vitesse variable qui se développeront à l'avenir pour cette gamme de puissance. La configuration à vitesse fixe peut être représentée d'une manière simplifiée par le schéma de la figure (1.4) La chaîne de conversion de l'énergie éolienne est composée de la turbine, le multiplicateur de vitesse et de la génératrice [9].

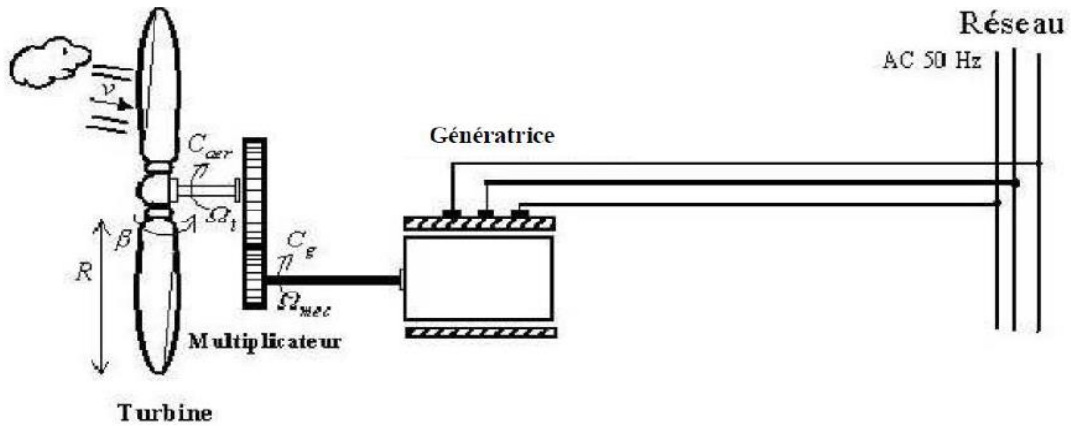


Fig1.4: Les éoliennes à vitesse fixe [9].

1.6.2. Les éoliennes à vitesse variable

Les deux structures existantes des éoliennes à vitesse variable sont présentées sur la figure (1.5). La configuration de la figure(1.5.a) est basée sur une machine asynchrone à cage, pilotée au stator de manière à fonctionner à vitesse variable, par des convertisseurs statiques. La configuration de la figure(1.5.b) est basée sur une machine asynchrone à double alimentation (à rotor bobiné). La vitesse variable est réalisée par l'intermédiaire des convertisseurs de puissance situés au circuit rotorique [9].

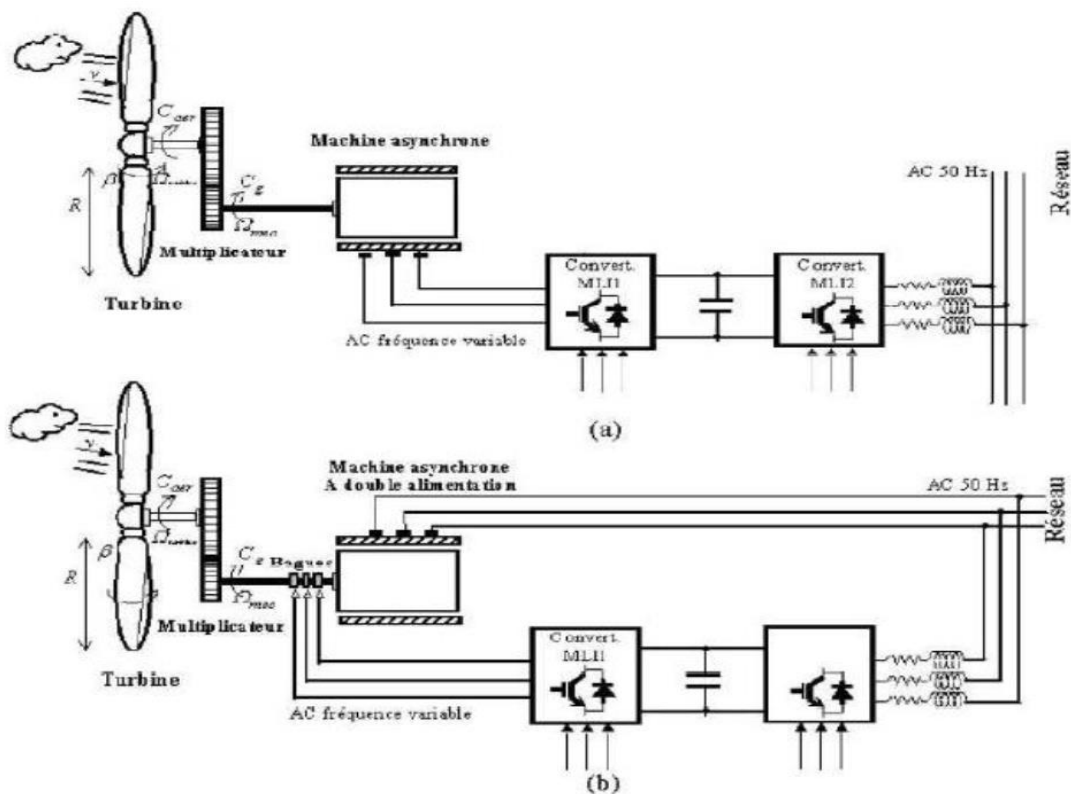


Fig1.5: Les éoliennes à vitesse variable [9].

1.7 Différentes parties d'une éolienne :

L'éolienne est composée de deux parties : une partie mobile le rotor et une partie fixe le stator, permettant de créer un champ magnétique et de générer un courant électrique. L'éolienne est équipée d'une girouette permettant l'orientation des pales en fonction de la direction du vent. Une éolienne "classique" est généralement constituée de :

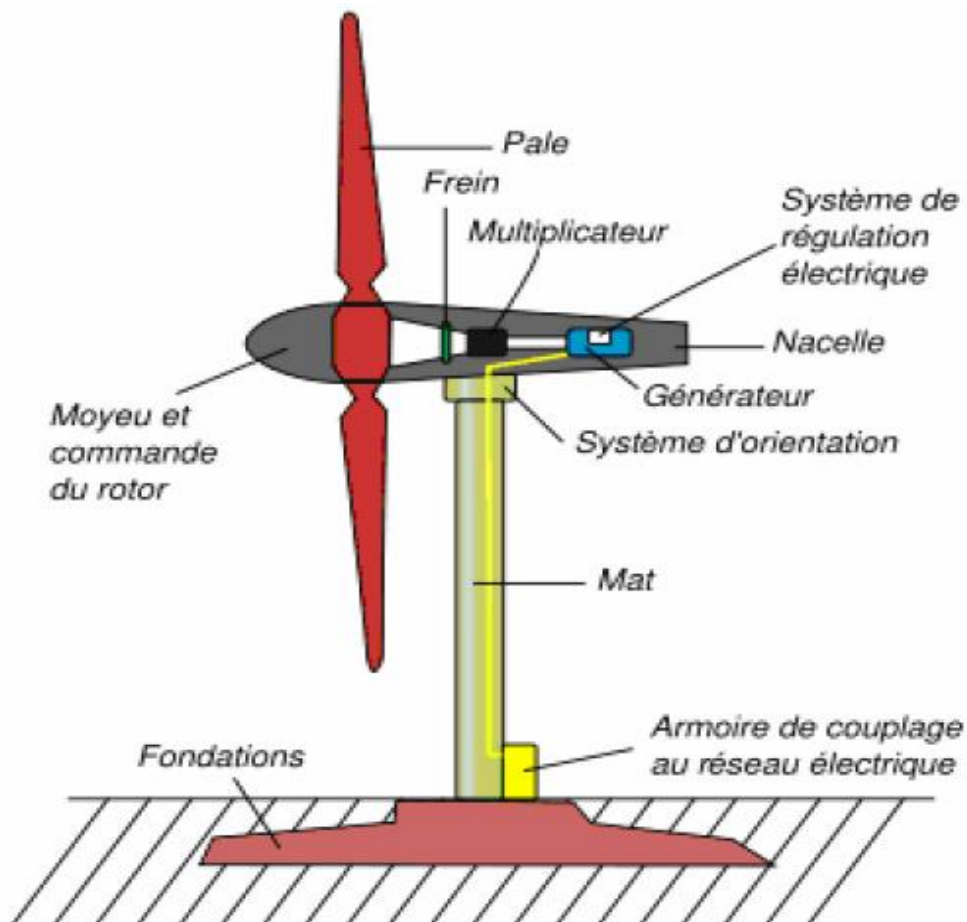


Fig1.6: Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur.

1-La tour

La tour ou le mât, est généralement un tube d'acier ou de béton ou éventuellement un treillis métallique, elle doit être placée le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. La tour a la forme d'un tronc en cône où, à l'intérieur, sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, les appareillages de connexion au réseau de distribution ainsi que l'échelle d'accès à la nacelle [7].

2-Le rotor

Il est constitué des pales et du moyeu. C'est la partie tournante de l'éolienne. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent, il est branché directement ou indirectement, via un système de boîte de vitesse, au système mécanique qui utilisera l'énergie captée.

Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, le rotor tripale (concept danois) étant de loin le plus répandu car il représente le bon compromis entre l'effort mécanique, le bruit acoustique, le comportement vibratoire, le coût, et la vitesse de rotation pour les grandes turbines éoliennes.

Les rotors avec plus de trois pales ne sont pas communs puisqu'ils sont plus chers (plus de pales). La turbulence de vent de ralentissement d'une pale peut affecter les autres pales puisqu'elles sont plus étroites entre eux [7].

3-La nacelle :

Elle regroupe les éléments mécaniques permettant de coupler la génératrice électrique à l'arbre de l'éolienne [7].

4-Le multiplicateur de vitesse :

Sert à adapter la vitesse de la turbine éolienne à celle du générateur électrique [7].

5-La génératrice :

C'est l'élément principal de la conversion mécano électrique qui généralement une machine synchrone (MS) ou asynchrone (MAS) avec le rotor bobiné ou à cage à aimant permanent (GS). La puissance électrique de cette génératrice peut varier entre 600 kW et 2.5 MW.

6-Le système de contrôle :

Assure le contrôle en permanence le bon fonctionnement de l'éolienne et qui intervient automatiquement, en cas de défaillance pour l'arrêter [7].

7-Un arbre :

Qui relie le moyeu au multiplicateur, il contient un système hydraulique permettant le freinage aérodynamique en cas de besoin [7].

8-Un système d'orientation des pâles :

Qui sert à la régulation de la puissance (réglage aérodynamique). En plus de ces éléments la turbine est munie des pâles fixes ou orientables et qui tournent à des vitesses nominales inférieures à 40 tr/mn [7].

1.8 Structure de la MADA :

Elle possède un stator identique à celui d'une machine asynchrone classique ou d'une machine synchrone. La différence réside dans le rotor composé d'enroulements triphasés disposés de la même manière que les enroulements statoriques et connectés en étoile. Leurs extrémités sont reliées à des bagues conductrices sur lesquelles viennent frotter des balais (Fig. I.12), ce qui permet d'accéder aux grandeurs rotoriques [7].

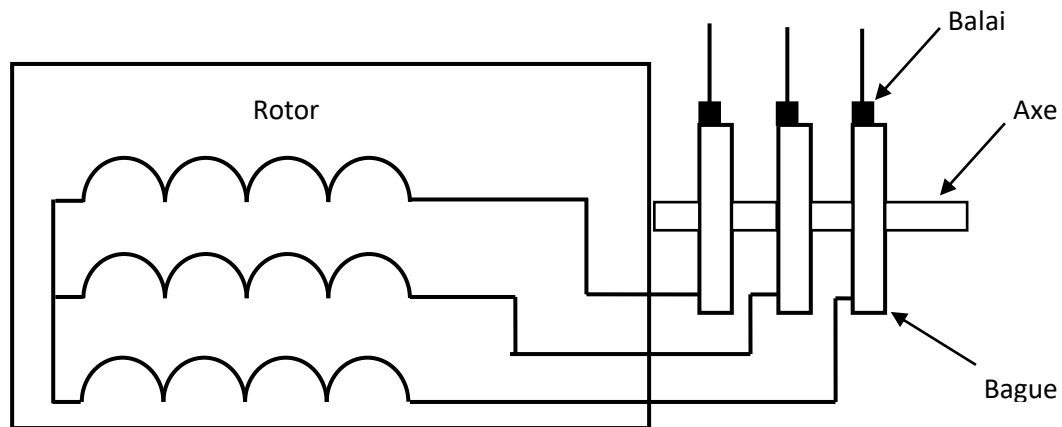


Fig 1.7 Structure de la MADA [7].

1.9. Avantages et Inconvénients de la MADA :

Nous introduisons brièvement dans ce paragraphe les avantages principaux et inconvénients de la machine asynchrone à double alimentation lors de son utilisation dans le domaine des vitesses variables [8].

1.9.1. les avantages :

- La possibilité de fonctionner à couple constant au- de la vitesse de synchronisme.
- La MADA présente une puissance massique légèrement plus élevée que les autres machines à grandes puissances, elle est envisagée pour des puissances élevées (> 1MW) où elle s'avère être une concurrente de la machine asynchrone à cage.

Chapitre I : Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne

- La configuration dont les deux convertisseurs alimentant la machine permettent de fonctionner en régime dégradé (l'un des deux onduleurs tombe en panne).
- La double alimentation permet de réduire les dimensions des convertisseurs statiques, réduisant ainsi les pertes fer de la machine et augmentant son rendement.
- En fonctionnement générateur, l'alimentation du circuit rotorique à fréquence variable permet de délivrer une fréquence fixe au stator même en cas de variation de vitesse. Ce fonctionnement présente la MADA comme une alternative sérieuse aux machines synchrones et asynchrones classiques dans de nombreux systèmes de production d'énergie décentralisée.
- Transfert bidirectionnel de la puissance rotorique.
- Le fonctionnement en hypo ou hyper synchronisme offre une large plage de variation de la vitesse.
- La MADA se comporte comme une machine synchrone et l'on peut pratiquer des rapports de démagnétisation très importants (de l'ordre de 1 à 6) [8].

1.9.2. Les inconvénients :

Comparativement aux autres machines, la MADA présente des inconvénients liés essentiellement au système bagues-balais comme :

- Machine plus volumineuse que celle de la machine asynchrone classique, généralement elle est plus longue à cause des balais.
- Le surcoût engendré par la maintenance due à l'emploi d'un multiplicateur de vitesse et du système bagues-balais de la MADA, comparativement aux autres machines telles que : la machine synchrone à aimants permanents et la machine à réluctance variable.
- Utilisation d'un nombre de convertisseurs statiques plus que celle de la machine Classique.

Chapitre I : Etat de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne

- L'aspect multi-convertisseurs, augmente le nombre de convertisseurs (redresseurs et deux onduleurs ou un redresseur et deux onduleurs) et par conséquent le prix. Pourtant certaines études prétendent le contraire.
- Le coût total de la machine est plus important par rapport aux autres machines électriques [8].

1.10 conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art de l'énergie éolienne. Dans la première partie, nous avons donné un historique des éoliennes couvrant la période des moulins à vent jusqu'au éoliennes modernes.

En deuxième lieu, nous avons décrit les types des aérogénérateurs tels que l'éolienne à axe horizontal ou à axe vertical ainsi que les différentes constituantes des éoliennes à vitesse variable. Ensuite, nous avons présenté les deux technologies des éoliennes à savoir les éoliennes à vitesse fixe et celles à vitesse variable.

La dernière partie de ce chapitre est consacré à l'étude spéciale de la Machine Asynchrone à Double Alimentation MADA.

Chapitre II

Modélisation du système éolien à base d'une MADA

2.1. Introduction :

La Machine Asynchrone à Doublement Alimentée (MADA) a suscité un grand intérêt surtout en tant que génératrice dans le domaine des énergies renouvelables. En effet, à travers ce chapitre nous connaissons les raisons d'un tel engouement. En général, le stator de la MADA est connecté directement au réseau électrique tandis que le rotor est relié au réseau électrique par l'intermédiaire de deux convertisseurs bidirectionnels dos à dos. Le convertisseur statique coté MADA (CCM) contrôle les puissances active et réactive transitant du stator vers le réseau électrique, tandis que le convertisseur coté réseau (CCR) contrôle la tension de bus continu et assure le fonctionnement avec des facteurs de puissance élevés.

2.2 - Description du système

Le système de conversion éolienne à vitesse variable basé sur une MADA, est illustré sur la figure 2.1. La turbine éolienne entraîne la MADA à une vitesse de rotation variable à travers un multiplicateur ou une boîte de vitesse (BV). Le stator de la MADA est directement raccordé au réseau électrique, tandis que son rotor est connecté au réseau mais via un filtre triphasé de courant et deux convertisseurs.

L'intérêt majeur de ce système éolien réside dans le fait que le convertisseur côté rotor ou bien coté MADA « CCM » et le convertisseur côté réseau « CCR », transférant la puissance de glissement et l'acheminant vers le réseau électrique, ne sont dimensionnés que pour une partie de la puissance nominale de la MADA.

En général, le dimensionnement de la chaîne rotorique se limite jusqu'à 30% de la puissance nominale du stator de la MADA, ce qui suffit à assurer une variation de 30% de la plage de vitesse autour de la vitesse du synchronisme. Ceci constitue le principal avantage de cette structure. [8,11].

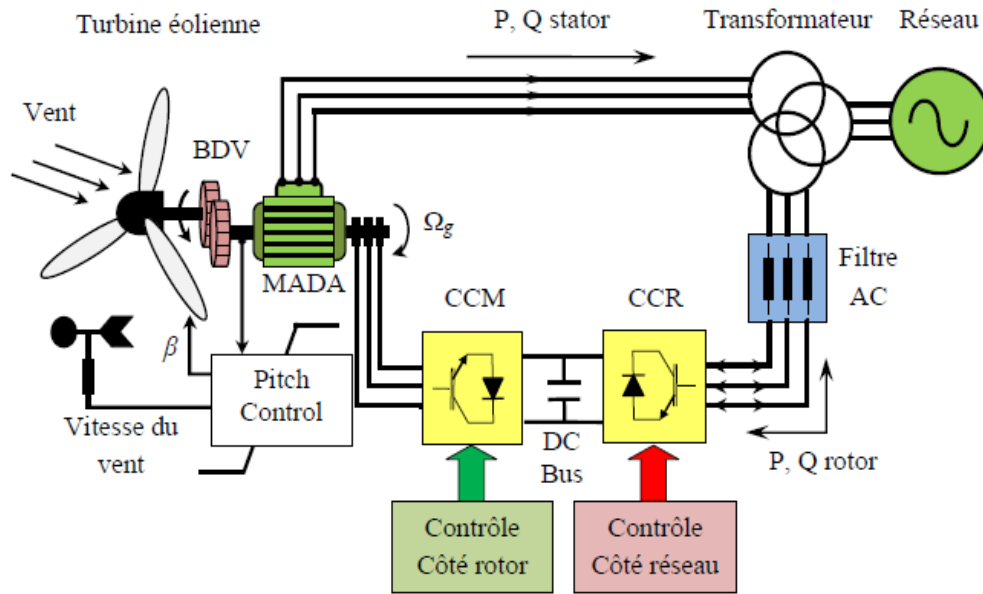


Fig .2.1 - Système de conversion éolienne à base de la MADA.

2.3 Modèle de la turbine

L'éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor : la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent. La densité de l'air et la vitesse du vent sont des paramètres climatologiques qui dépendent du site [14].

2.4. Modèle mécanique de la turbine éolienne

La partie mécanique de la turbine comprend trois pales orientables et de longueur R . Elles sont fixées sur un arbre d'entraînement tournant à une vitesse de rotation Ω_t , relié à un multiplicateur de gain G . Ce multiplicateur entraîne la génératrice électrique à une vitesse Ω_g . Sur la base des hypothèses simplificatrices mentionnées dans la section 2.5.2, on obtient alors un modèle mécanique constitué de deux masses comme l'illustre la figure 2.2. [7,14]

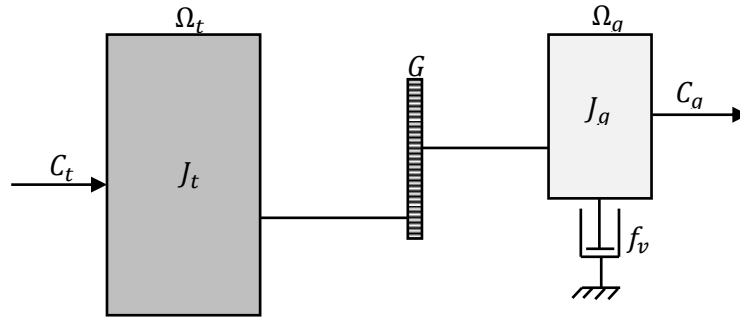


Fig.2.2- Modèle mécanique de la turbine éolienne.

Avec :

J_t : Le moment d'inertie de la turbine équivalent aux inerties des 3 pales de l'éolienne.

J_g : Le moment d'inertie de la génératrice.

f_v : Le coefficient dû aux frottements visqueux de la génératrice.

C_g : Le couple mécanique sur l'arbre de la génératrice après multiplicateur.

Ω_g : La vitesse de rotation de la génératrice.

G : Le gain du multiplicateur de vitesse.

2.5. Modèle de la machine asynchrone à double alimentation (MADA)

Pour faire l'étude de la MADA, il faut donner son modèle mathématique décrivant son évolution dans le temps. Ce modèle est caractérisé par des équations différentielles reliant les paramètres électriques qui découlent des équations de Maxwell. [8]

- Hypothèses simplificatrices

Afin de mettre notre machine en équations, son modèle repose sur les hypothèses simplificatrices classiques suivantes:

- Entrefer constant [8].
- Effet des encoches négligeable [8].
- La machine est constituée symétrique [15].
- Les résistances des enroulements ne varient pas avec la température[15].
- Le circuit magnétique n'est pas saturé, ce qui permet d'exprimer les flux comme fonction linéaires des courant [16].
- Les pertes (par hystérésis et courant de Foucault) sont négligées [16].

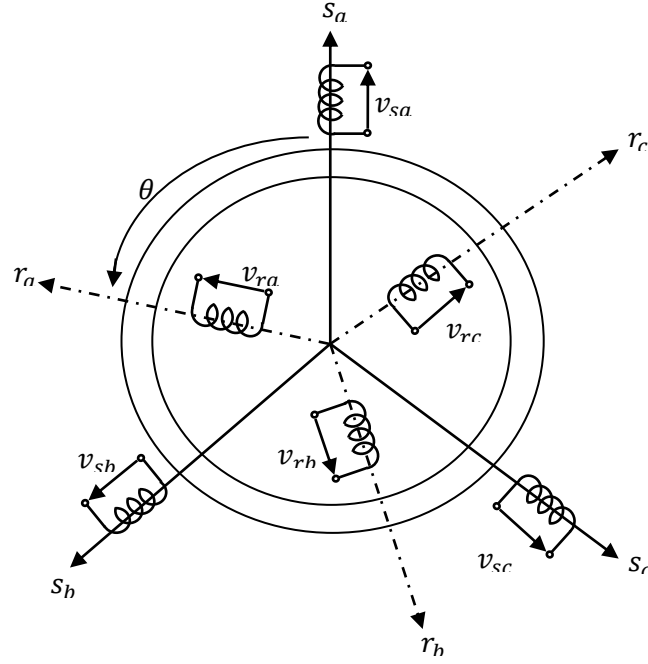


Fig.2. 3. Schéma simplifié de la MADA

Le modèle de la MADA peut être décrit comme étant trois enroulements dans le stator et trois enroulements dans le rotor. Figure 2.3.

Les équations des tensions des phases statoriques et rotoriques s'expriment par :

$$v_{a,b,c_s}(t) = R_s \cdot i_{a,b,c_s}(t) + \frac{d}{dt} \psi_{a,b,c_s} \quad (2.1)$$

$$v_{a,b,c_r}(t) = R_r \cdot i_{a,b,c_r}(t) + \frac{d}{dt} \psi_{a,b,c_r}$$

R_s, R_r : résistance statorique et rotorique respectivement.

$i_{a,b,c_s}(t), i_{a,b,c_r}(t)$: courants statoriques et rotoriques des phases a, b et c respectivement.

$v_{a,b,c_s}(t)$: tensions d'alimentation pour le stator imposées par le réseau électrique. (D'amplitude et de fréquence fixe dans les conditions normales).

$v_{a,b,c_r}(t)$: tension du rotor imposées par la commande à partir du convertisseur de puissance.

$\psi_{a,b,c_s}(t), \psi_{a,b,c_r}(t)$: flux statoriques et rotoriques.

2.5.1. Modèle de la MADA dans le repère de Park :

La transformation de Park consiste à appliquer aux courants, tensions et flux un changement de variables faisant intervenir l'angle entre l'axe des enroulements et l'axe du repère de Park ($d-q-o$). Pour réaliser cette transformation algébrique on utilise les matrices de Park directe (2.2) et inverse (2.3).

$$[P(\theta)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Le modèle de la machine (MADA) dans le repère de Park (d,q) lié au champ tournant statorique est donné par les équations:

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega_s \psi_{qs} \\ v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} + \omega_s \psi_{ds} \\ v_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} - \omega_r \psi_{qr} \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} + \omega_r \psi_{dr} \end{cases} \quad (2.3)$$

Avec:

ω_s et ω_r sont respectivement les pulsations des grandeurs statoriques et rotoriques.

Les équations magnétiques s'expriment par :

$$\begin{cases} \psi_{ds} = L_s i_{ds} + M i_{dr} \\ \psi_{qs} = L_s i_{qs} + M i_{qr} \end{cases} (\wedge) \begin{cases} \psi_{dr} = L_r i_{dr} + M i_{ds} \\ \psi_{qr} = L_r i_{qr} + M i_{qs} \end{cases} \quad (2.4)$$

Le couple électromagnétique est :

$$C_{em} = p(\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) = p \frac{M}{L_r} (\psi_{qs} i_{ds} - \psi_{ds} i_{qs}) \quad (2.5)$$

2.5.2. Modèle de la MADA avec orientation du flux statorique :

Pour obtenir une commande des puissances active et réactive statorique découplée, De notre point de vue, nous choisissons un référentiel diphasé $d-q$ lié au champ tournant

Chapitre II : modélisation du système éolien à base d'une MADA

statorique et en plaçant le vecteur flux statorique (ψ_s) sur l'axe d (figure 2.4). En supposant que la résistance statorique (R_s) négligeable comparée à la réactance statorique pour les machines de puissance moyenne et élevée.

On peut définir que le flux statorique a pour composantes :

$$\begin{cases} \psi_{ds} = \psi_s \\ \psi_{qs} = 0 \end{cases} \rightarrow \psi_s \approx \frac{V_s}{\omega_s} \text{ avec } R_s \approx 0 \quad (2.6)$$

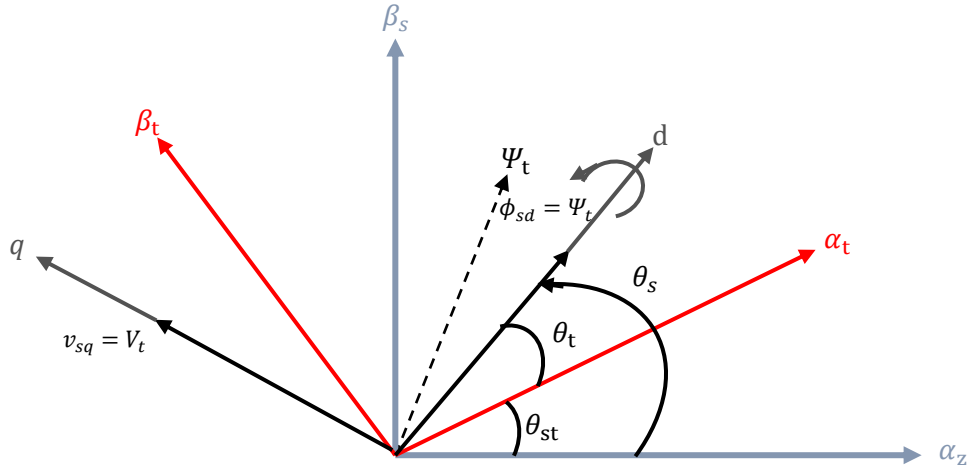


Fig.2.4 - Orientation du repère de Park.

$$\begin{cases} v_{ds} = 0 \\ v_{qs} = U_s = V_s \sqrt{3} \end{cases} \quad (2.7)$$

Le modèle de la MADA devient :

$$\begin{cases} v_{ds} = 0 \\ v_{qs} = U_s = \omega_s \psi_s \\ v_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} - \omega_r \psi_{qr} \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} + \omega_r \psi_{dr} \end{cases} \quad (2.8)$$

Les nouvelles expressions des courants statoriques en fonction des courants rotoriques sont décrites par :

$$\begin{cases} \psi_{ds} = \psi_s = L_s i_{ds} + M i_{dr} \Rightarrow i_{ds} = \frac{\psi_s}{L_s} - \frac{M}{L_s} \cdot i_{dr} \\ \psi_{qr} = 0 = L_s i_{qs} + M i_{qr} \Rightarrow i_{qs} = -\frac{M}{L_s} \cdot i_{qr} \end{cases} \quad (2.9)$$

Chapitre II : modélisation du système éolien à base d'une MADA

Avec : $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$: est le coefficient de dispersion de la MADA.

Les nouvelles expressions des tensions rotoriques sont décrites alors par :

$$\begin{aligned} v_{dr} &= R_r i_{dr} + \sigma L_r \frac{di_{dr}}{dt} - \omega_r \cdot \sigma L_r \cdot i_{qr} + \frac{M}{L_s} \cdot \frac{d\psi_s}{dt} \\ v_{qr} &= R_r i_{qr} + \sigma L_r \frac{di_{qr}}{dt} - \omega_r \cdot \sigma L_r \cdot i_{dr} + \omega_r \cdot \frac{M}{L_s} \psi_s \end{aligned} \quad (2.10)$$

Les nouvelles expressions du couple électromagnétique, la puissance active / réactive statorique et la puissance active / réactive rotorique sont réécrites comme suit:

$$C_{em} = p\psi_{ds}i_{qs} = -p\frac{M}{L_s}\psi_s i_{qs} \quad (2.11)$$

$$\begin{cases} P_s = V_{ds}i_{ds} + V_{qs}i_{qs} = -U_s \frac{M}{L_s} i_{qr} \\ Q_s = V_{qs}i_{ds} - V_{ds}i_{qs} = \frac{U_s \psi_s}{L_s} - \frac{U_s M}{L_s} i_{dr} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} P_r = V_{dr}i_{dr} + V_{qr}i_{qr} = s \frac{U_s M}{L_s} i_{qr} \\ Q_r = V_{qr}i_{dr} - V_{dr}i_{qr} = s \frac{MU_s}{L_s} i_{dr} \end{cases} \quad (2.13)$$

En examinant les équations, on peut établir le schéma bloc de la MADA illustré dans la figure 2.5 qui comporte en entrées les tensions rotoriques et en sorties les puissances active et réactive statoriques et le couple électromagnétique.

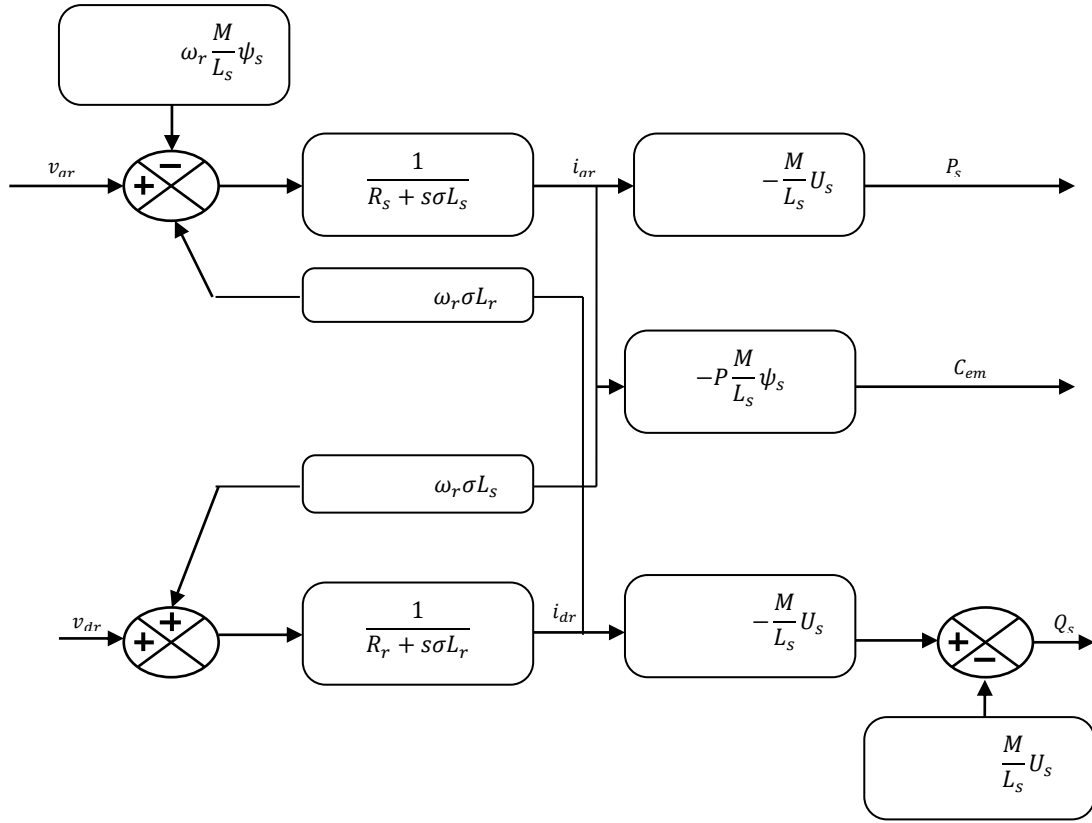


Fig.2.5- Schéma bloc du modèle simplifié de la MADA.

2.6. Modélisation de la connexion du convertisseur côté réseau :

Le convertisseur coté réseau (CCR) va être utilisé en tant que redresseur/onduleur commandé pour contrôler les courants dans le filtre R_f-L_f . Le contrôle de ces courants va permettre de :

- Contrôler le facteur de puissance au point de connexion avec le réseau. Il sera donc possible de le maintenir unitaire.
- Réguler la tension du bus continu entre CCR et CCM [11].

2.6.1. Modèle de la liaison au réseau dans le repère d-q:

La Figure (2.6) illustre la liaison du convertisseur CCR au réseau électrique.

La tension de sortie imposée par le CCR est variable en amplitude et en fréquence. La tension de réseau est sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence fixe. Le filtre est constitué seulement d'une inductance et une résistance (filtre RL).

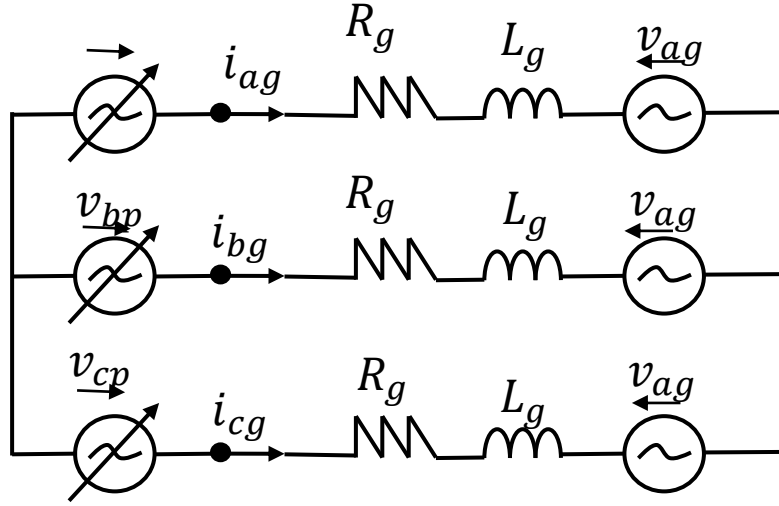


Fig.2.6- Représentation simplifiée du système CCR lié au réseau triphasé.

Avec :

N : le neutre de la charge,

n : neutre du convertisseur.

Le modèle de la liaison est :

$$v_{a,b,c_p}(t) = R_g \cdot i_{a,b,c_g}(t) + L_g \frac{d}{dt} i_{a,b,c_g}(t) + v_{a,b,c_g}(t) \quad (2.14)$$

Le modèle de la liaison au réseau dans le repère de Park est :

$$\begin{aligned} v_{dp} &= R_g i_{dg} + L_g \frac{di_{dg}}{dt} - \omega_s L_g i_{qg} + v_{dg} \\ v_{qp} &= R_g i_{qg} + L_g \frac{di_{qg}}{dt} + \omega_s L_g i_{dg} + v_{qg} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Les équations qui représentent la dynamique des courants du réseau sont:

$$\begin{aligned} \frac{di_{dg}}{dt} &= \frac{1}{L_g} (v_{dp} - R_g i_{dg} + \omega_s L_g i_{qg} - v_{dg}) \\ \frac{di_{qg}}{dt} &= \frac{1}{L_g} (v_{qp} - R_g i_{qg} + \omega_s L_g i_{dg} - v_{qg}) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Les équations de la puissance active et réactive sont :

$$\begin{aligned} P_g &= v_{dg} i_{dg} + v_{qg} i_{qg} \\ Q_g &= v_{dg} i_{qg} - v_{qg} i_{dg} \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.6.2. Modèle de la liaison au réseau dans le repère de Park lié au champ tournant

Statorique :

Pour découpler et de simplifier encore le système du convertisseur coté réseau lié au réseau électrique a travers un filtre RL, typiquement la vitesse angulaire synchrone est choisie égale à la vitesse angulaire de la tension du réseau, et l'axe d du repère tournant est aligné avec le vecteur de tension de réseau.

$$v_{dg} = U_g ; v_{qg} = 0 \quad (2.18)$$

Les équations sont simplifiées et réécrites comme suit :

$$\begin{aligned} \frac{di_{dg}}{dt} &= \frac{1}{L_g} (v_{dp} - R_g i_{dg} + \omega_s L_g i_{qg} - v_{dg}) \\ \frac{di_{qg}}{dt} &= \frac{1}{L_g} (v_{qp} - R_g i_{qg} + \omega_s L_g i_{dg}) \end{aligned} \quad (2.19)$$

L'orientation de la tension du réseau non seulement simplifie les équations des courants du filtre, mais réduit également les calculs de la puissance active et réactive du réseau.

$$\begin{cases} P_g = U_g i_{dg} \\ Q_g = -V_g i_{qg} \end{cases} \quad (2.20)$$

la tension U_g est constante et stable dans les conditions idéales; cela signifie que le découplage de la puissance active et réactive est obtenu. Ainsi, le courant i_{dg} est responsable de contrôler la puissance active P_g , tandis que le courant i_{qg} est responsable de la puissance réactive Q_g .

2.7 - Conclusion

Ce chapitre a traité de la modélisation d'un système éolien SCEE à vitesse variable basé sur une MADA. La chaîne de conversion éolienne qui part du vent disponible jusqu'au transfert de l'énergie produite au réseau électrique, Dans un premier temps, on description du système éolien, a été étudiée et modélisée les interconnexions entre les différents modèles sur les différentes parties de la chaîne en mode connecté au réseau (la turbine éolienne, la machine), et en second temps, Modélisation de la connexion du convertisseur côté réseau CCR .

Chapitre III

Commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à trois niveaux

3-1-Introduction

Le contrôle prédictif couvre une très large classe de contrôleurs qui ont trouvé une application assez récente dans les convertisseurs de puissance.

La principale caractéristique du contrôle prédictif est l'utilisation d'un modèle du système pour prédire le comportement futur des variables contrôlées. Ces informations sont utilisées par le contrôleur pour obtenir l'actionnement optimal, selon un critère d'optimisation prédéfini.

Les préoccupations liées au contrôle prédictif de l'électronique de puissance ont été abordées dans divers travaux de recherche, et plusieurs solutions standard sont disponibles pour la sélection de la fonction de coût, la conception des facteurs de pondération, la compensation du retard de contrôle, l'extrapolation des variables de contrôle de référence et sélection du temps d'échantillonnage pour l'implémentation en temps réel.

Les principes fondamentaux de FS-MPC sont présentés dans ce chapitre. Dont, il traite l'éclosion de la commande FS-MPC dans une chaîne de conversion d'énergie éolienne. D'abord, la MADA est alimentée par un convertisseur de tension triphasé à trois niveaux VSI-3L.

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

Tableau 3.1 Comparaison du contrôle linéaire avec le régulateur PI et le SVM, et le FCS-MPC

La Description	Contrôle Linéaire	FCS-MPC
Modèle	Modèle de Charge Linéaire PI& Modèle de Convertisseur pour SVM	Modèle à Temps Direct (DT) du Système Complet
Conception du contrôleur	Ajustement PI + Conception Modulateur	Définition de la Fonction de Coût
Nature du contrôleur	Linéaire	Non Linéaire
Plateforme d'implémentation	Analogique ou Numérique	Numérique
Modulation	PWM/SVM	Non requis
Fréquence de commutation	Fixée	Variable (mais Contrôlable)
Multi variable	Couplé	Découplé
Inclusion de contraintes	Pas Possible	Facile à inclure
Complexité du concept	Moyen avec SVM	Simple et Intuitif
Performances en régime permanent	Bon dans le cadre dq	Bon dans le cadre abc, dq
Performance transitoire	Modérée	Excellent
Charge de calcul	Moyen avec SVM	Haute

3.2. Principes de base de contrôle prédictif des modèles :

Le principe de fonctionnement, la procédure de conception, la mise en œuvre du programme de contrôle, sont présentées dans cette section.

3.2.1 Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement générique d'un MPC est illustré à la figure.3.1 la trajectoire de référence x^* est définie constante pour simplifier l'analyse. Le MPC est formulé dans domaine discret en permettant aux variables de changer leurs valeurs uniquement à des périodes d'échantillonnage discrets. Comparée aux techniques classiques d'hystérésis et de contrôle linéaire, qui observent les valeurs passées et présentes de la variable, la stratégie MPC traite des valeurs passées, présentes et futures de la variable.

En d'autres termes, le MPC prédit les erreurs futures et prend des actions de contrôle préventif afin que le système ne soit pas sujet à d'énormes erreurs rendant le système global robuste. Le principe de la MPC consiste principalement en trois parties / composants comme démontré ci-dessous. [18]

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaine éolienne par un convertisseur back to back à 3N

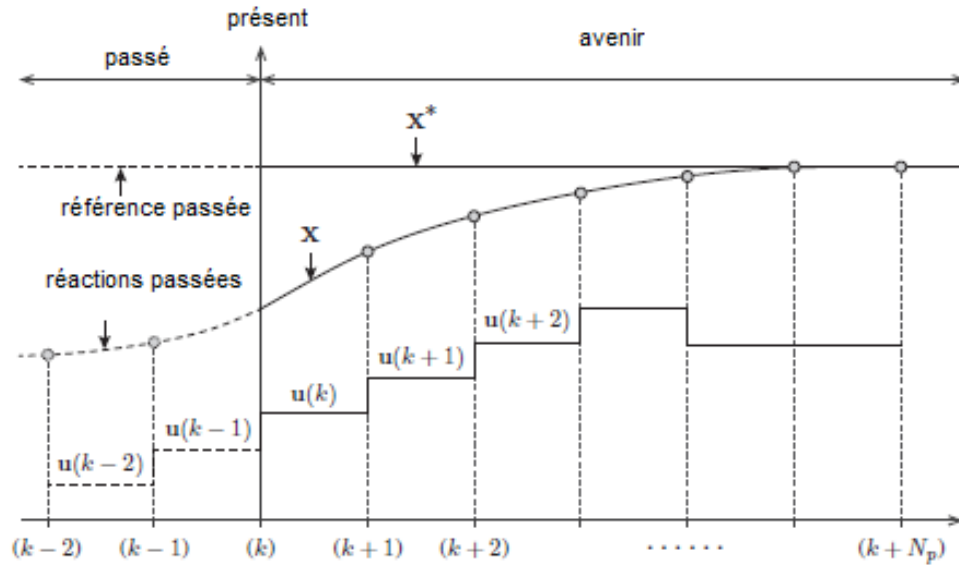


Fig.3.1- Principe de fonctionnement de la FS-MPC.

3.2.2. Procédure de conception :

Dans la section, Une procédure étape par étape pour la conception de la mise en œuvre du FCS-MPC est fournie. Le schéma de contrôle est présenté dans la partie naturelle (abc) de référence pour simplifier l'analyse. Le schéma FCS-MPC est réalisé par quatre sous-systèmes. L'objectif principal du contrôle est de forcer les courants de charge (i) à suivre leur référence (i^*) dans toutes les conditions de fonctionnement [18].

Étape 1: Mesure des variables de rétroaction : La première étape consiste à mesurer les principales grandeur électriques comme la tension de bus continue et les courants de charge.

Étape 2 : Calcul des courants de référence : L'étape consiste à calculer les grandeurs de références (dans notre cas le couple de référence est généré par le bloc MPPT lié au contrôle de la turbine éolienne).

Étape 3 : Prédiction des variables d'état: Les courants de la MADA en repaire dq et les courants de réseau en repaire dq et la tension de bus continue sont prédire pour but de ses contrôles du convertisseur par rapport au neutre de la charge sont prédites en utilisant les tensions de bus continue et les 27 états de commutation possibles, Nous concluons la relation suivante :

Etape 4 : minimisation de la fonction de cout : En tant qu'étape de conception finale, l'erreur absolue entre les 27 courants prédits et les courants de référence extrapolés sont évaluée par une fonction de coût $g(k)$:

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaine éolienne par un convertisseur back to back à 3N

3.2.3. Mise en œuvre du programme de contrôle :

L'organigramme de la commande prédictive FS-MPC, où, pour chaque vecteur tension, la fonction coût est évaluée et le vecteur tension qui la minimise est alors appliqué pendant la période d'échantillonnage suivante.

3.3. Commande FS-MPC d'une chaine éolienne par un convertisseur back to back à trois niveaux

Le système de commande de la chaine éolienne, à base de la MADA, connectée au réseau par deux convertisseurs back to back à trois niveaux. Dans notre travail, le dispositif de commande est constitué principalement de trois blocs qui sont [10] :

- Bloc de contrôle de la turbine (bloc MPPT) ;
- Bloc de contrôle du convertisseur coté MADA, pour le contrôle découplé de la puissance active et réactive du stator ;
- Bloc de contrôle du convertisseur coté réseau, pour la régulation de la tension de bus continu d'une part et le contrôle des puissances active et réactive échangées entre la MADA et le réseau via le CCR.

3.3.1. La commande FS-MPC de la MADA par le contrôle du CCM

Le rôle principal du contrôle du convertisseur CCM est d'assurer le transfert découplé et optimal de la puissance active et réactive statorique par le contrôle des composantes directe et quadrature du courant rotorique de la MADA. L'algorithme prédictif traite les objectifs de la commande en fonction des courants de référence reçus à partir de l'étage MPPT donnés par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} i_{qr}^* &= -\frac{L_s}{PM\psi_s} C_{em}^* \\ i_{dr}^* &= \frac{\psi_s}{M} - \frac{L_s}{MV_s} Q_s^* \end{aligned} \quad (3.1)$$

La stratégie de contrôle FS-MPC peut être résumée dans les étapes suivantes :

- ✓ Construire un modèle de la MADA pour la prédiction ;
- ✓ Construire un modèle du convertisseur de puissance ;
- ✓ Définir une fonction de coût g en fonction des performances désirées.

3.3.1.1. Modèle de la MADA

Le modèle de la MADA est représenté par les expressions dynamiques des courants rotoriques exprimées par :

$$\begin{cases} \frac{di_{dr}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (v_{dr} - R_r i_{dr} + \omega_r \sigma L_r i_{qr}) \\ \frac{di_{qr}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_r} (v_{qr} - R_r i_{qr} - \omega_r \sigma L_r i_{dr} - \omega_r \frac{M}{L_s} \psi_s) \end{cases} \quad (3.2)$$

3.3.1.2 Modèle discret de la MADA

Le modèle temporel continu (3.4) sera maintenant discrétisé et utilisé pour prédire le comportement futur du courant rotorique à partir des tensions et courants rotoriques mesurés à l'instant d'échantillonnage k .

Plusieurs méthodes de discrétisation peuvent être utilisées afin d'obtenir un modèle discret dans le temps approprié pour le calcul des prédictions. La dérivée des courant rotorique $\frac{di_{dq,r}}{dt}$: est remplacée par une approximation d'Euler à un pas en avant par :

$$\frac{di_{dq,r}}{dt} \approx \frac{i_{dq,r}(k+1) - i_{dq,r}(k)}{T_s} \quad (3.3)$$

3.3.1.3 La fonction de coût pour le contrôle du CCM

Dans notre cas, la fonction de cout résume le comportement désiré pour le contrôle la MADA,

$$C_{CCM[27]} = |i_{dr}^*(k+1) - i_{dr}^p(k+1)| + |i_{qr}^*(k+1) - i_{qr}^p(k+1)| \quad (3.4)$$

L'organigramme de la commande prédictive FS-MPC est donné par la figure 3.2, où, pour chaque vecteur tension du rotor, la fonction coût $FC_{CCM[27]}$ est évaluée et le vecteur tension qui la minimise est alors appliqué pendant la période d'échantillonnage suivante.

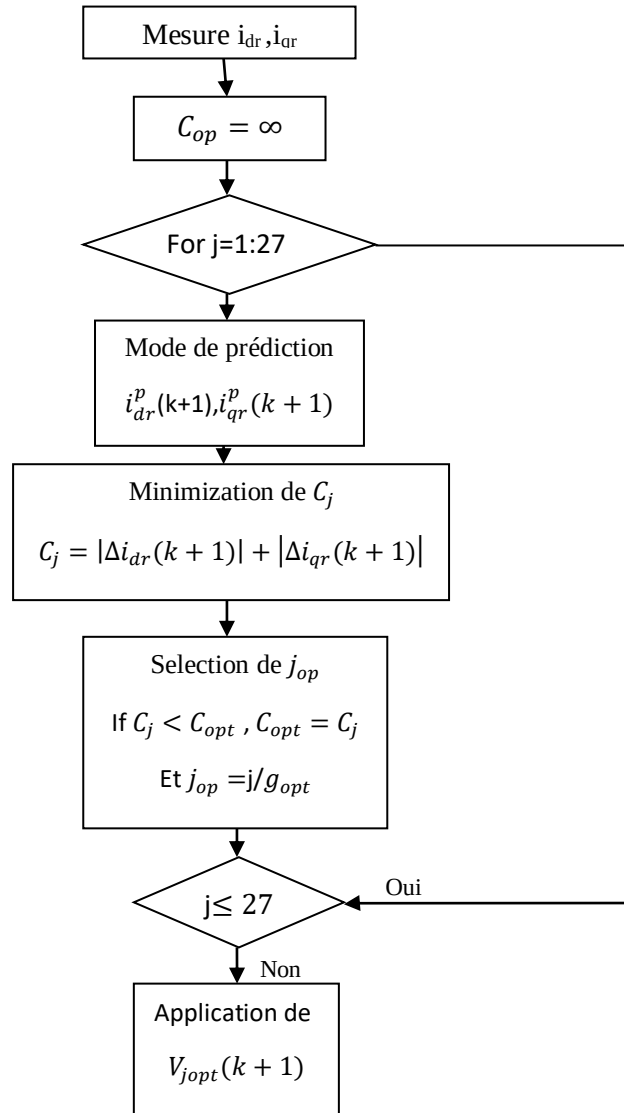


Fig. 3. 2- Organigramme de la commande prédictive FS-MPC [12].

3.3.2. La commande FS-MPC de la MADA par le contrôle du CCR

Le convertisseur coté réseau est placé entre le bus continu et le réseau. L'objectif principal de ce convertisseur est d'une part de maintenir la tension du bus continu constante et d'autre part d'assurer le fonctionnement avec un facteur de puissance unitaire coté réseau. L'objectif principal de la commande prédictive FS-MPC pour le CCR est de commander les courants qui circulent dans le filtre RL coté réseau. Pour ce faire, la tension V_{dc} est régulée par un simple régulateur PI en donnant la composante directe de référence $i_{d_g}^*$ par la relation suivante [10]:

$$\begin{cases} i_{d_g}^* = \left(k_p + \frac{k_i}{p}\right) * (V_{dc}^* - V_{dc}) \\ i_{d_g}^* = -\frac{Q_g^*}{v_g} \end{cases} \quad (3.5)$$

La composante directe du courant de référence coté réseau est générée par la sortie de régulateur PI de la tension de bus continu, alors que la composante quadrature donnée par l'équation (3.5) est nulle, image de la puissance réactive nulle ayant pour but d'assurer un facteur de puissance unitaire.

3.3.2.1 Modélisation de la connexion du CCR

a) Modèle continu de la liaison au réseau

Le modèle de la liaison au réseau en fonction de composante directe et quadrature du courant circulant dans le filtre RL coté réseau est donné par :

$$\begin{cases} \frac{di_{dg}}{dt} = \frac{1}{L_g}(v_{dp} - R_g i_{dg} + \omega_s L_g i_{qg} - v_{dg}) \\ \frac{di_{qg}}{dt} = \frac{1}{L_g}(v_{qp} - R_g i_{dg} + \omega_s L_g i_{dg}) \end{cases} \quad (3.6)$$

b) Modèle discret de la liaison au réseau

En appliquant la méthode d'approximation d'Euler décrite précédemment à l'équation (3.7) et (3.8), on obtient le modèle discret suivant :

$$i_{dg}(k+1) = \frac{T_s}{L_g}(v_{dp}(k) - R_g i_{dg}(k) + \omega_s L_g i_{qg}(k) - v_{dg}(k)) + i_{dg}(k) \quad (3.7)$$

$$i_{qg}(k+1) = \frac{T_s}{L_g}(v_{qp}(k) - R_g i_{qg}(k) - \omega_s L_g i_{dg}(k)) + i_{qg}(k) \quad (3.8)$$

La fonction de coût pour le contrôle du CCR :

La fonction de coût CCCR intègre deux termes représentant les erreurs des courants du réseau. Cette fonction de coût garantit le fonctionnement avec facteur de puissance unitaire et garantit le réglage de la tension du bus continu autour d'une valeur.

Cette fonction est formulée comme suit :

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

$$C_{CCR[27]} = |i_{dg}^* - i_{dg}^{k+1}| + |i_{qg}^* - i_{qg}^{k+1}| + \lambda_{vdc} |v_{c1}^p - v_{c2}^p| \quad (3.9)$$

L'organigramme de la stratégie de commande FS-MPC pour le CCR est identique à celui de la figure.3.2.

3.4. La commande FS-MPC du système SCCE par les convertisseurs multi-niveaux à trois niveaux VSI-3L

Durant la dernière décennie, l'exploitation des générateurs éoliens à vitesse variable est orientée vers les systèmes de production d'une capacité de l'ordre des MWs [19]. Pour ce genre d'application, les convertisseurs multi niveaux sont préférés aux topologies à deux niveaux VSI-2L [21].

Dans les systèmes de forte puissance moyenne tension, les convertisseurs à deux niveaux de tension présentent les limitations suivantes [22]:

- ✓ Impossibilité d'augmenter la puissance par le biais d'une tension plus élevée que la limite que peut supporter les composants semi-conducteurs ;
- ✓ La multiplication du nombre des convertisseurs à 2 niveaux VSI-2L pour les applications moyenne et grande puissance implique l'augmentation du nombre de convertisseurs et par conséquent le nombre d'interrupteurs ce qui rend ces configurations coûteuses et plus compliquées pour la commande ;
- ✓ Augmentation des pertes de commutation ce qui réduit ainsi le rendement de l'application moyenne et grande puissance ;
- ✓ Augmentation des pertes dans les lignes à cause du fort courant traversant celles-ci étant donné la limitation de la tension.

Les topologies de convertisseurs multi-niveaux présentent les avantages suivants :

- ✓ Réduction du taux de distorsion harmoniques sur les ondes du courant et de la tension de sortie ce qui améliore le facteur de puissance du système. En effet ; plus on augmente le nombre de niveaux de tension dans le convertisseur, meilleure est la forme d'onde ;
- ✓ Les contraintes des tensions de blocage des composants de puissances se trouvent nettement réduites. En effet la tension bloquée par chaque interrupteur n'est que $V_{dc}/(n-1)$, n étant le nombre de niveaux de tension du convertisseur ;
- ✓ Réduction des variations brusques de la tension (dV/dt) lors des commutations qui génèrent des tensions de mode commun importantes aux bornes de la charge ;

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

- ✓ La possibilité de connexion aux réseaux de moyenne tension grâce à l'augmentation de la tension de sortie des convertisseurs en éliminant ainsi l'utilisation du transformateur élévateur de couplage ;
- ✓ Rendement énergétique meilleur.

Dans la section suivante, la commande FS-MPC est appliquée à deux convertisseurs trois niveaux NPC (Neutral Point Clamped) NPC-3L, ces deux convertisseurs remplacent les deux convertisseurs type VSI-2L comme donné par la figure 3.3.

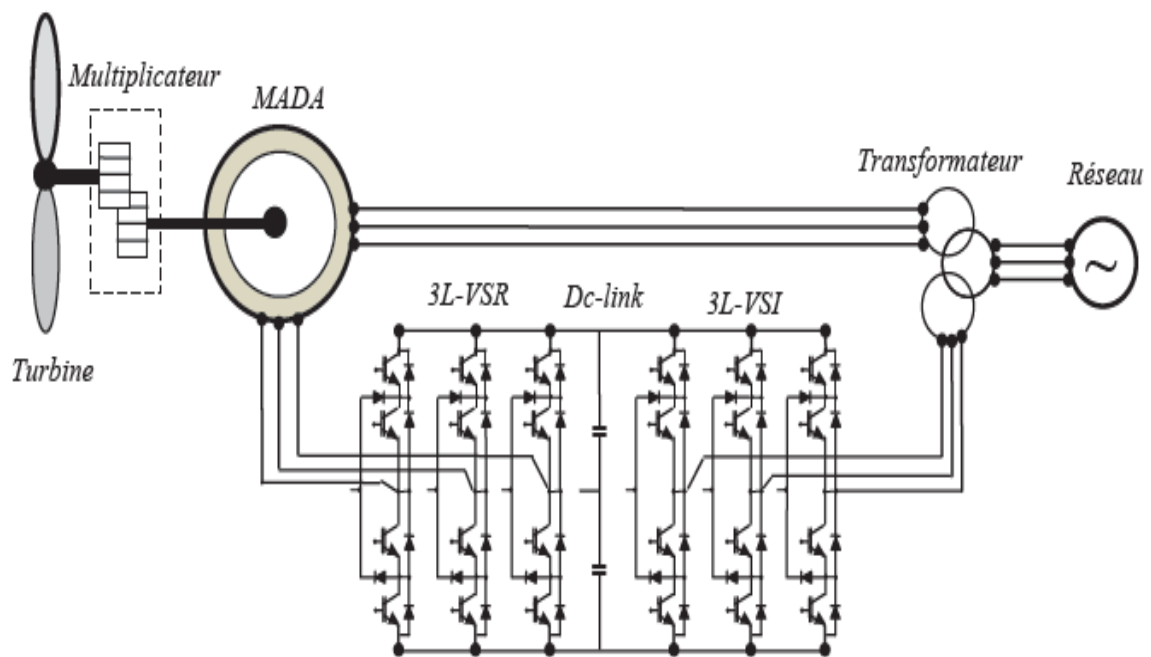


Fig. 3. 3-Système SCEE associé avec 2 convertisseurs NPC-3L.

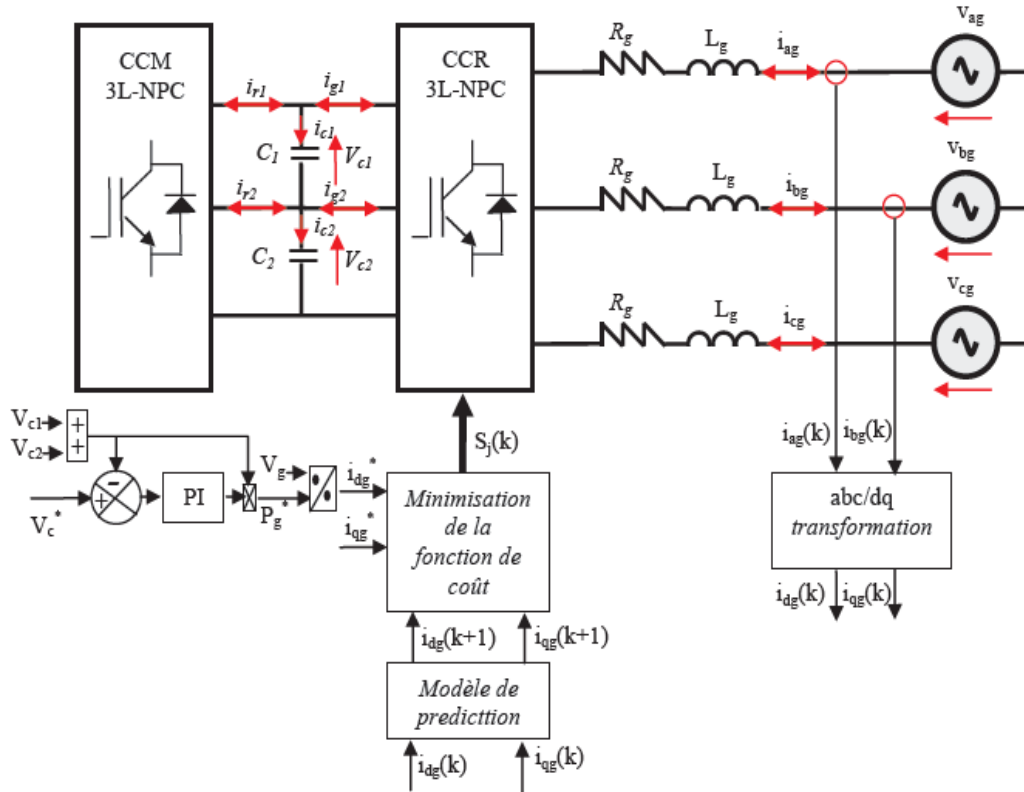


Fig. 3. 4- Commande FS-MPC du convertisseur coté réseau CCR.

3.5. La commande prédictive directe du CCR

Le circuit d'alimentation de l'onduleur NPC est illustré à la figure 3.3. Chaque phase de l'onduleur est composée de quatre commutateurs et de deux diodes où les deux commutateurs centraux et les diodes permettent de connecter la borne de sortie au point neutre de la liaison DC. Cette configuration permet la génération de trois niveaux de tension à la borne de sortie de la phase x, par rapport au point neutre 0, compte tenu des combinaisons de commutation données dans le tableau 3.2 [19].

La variable d'état de commutation S_x représente l'état de commutation de la phase x, avec $x = \{a, b, c\}$, et elle a trois valeurs possibles, désignées par +, 0 et -, qui représentent le changement qui génèrent respectivement $V_{dc}/2$, 0 et $-V_{dc}/2$ à la sortie de phase d'onduleur. Pour les trois phases de l'onduleur, 27 états de commutation sont générés, qui produisent 19 vecteurs de tension différents, comme le montre la figure 3.4. Notez que certains états de commutation sont.

Tableau 3.2: États de commutation pour une phase de l'onduleur.

S_x	S_{x1}	S_{x2}	S_{x3}	S_{x4}	v_{x0}
+	1	1	0	0	$V_{dc} / 2$
0	0	1	1	0	0
-	0	0	1	1	$-V_{dc} / 2$

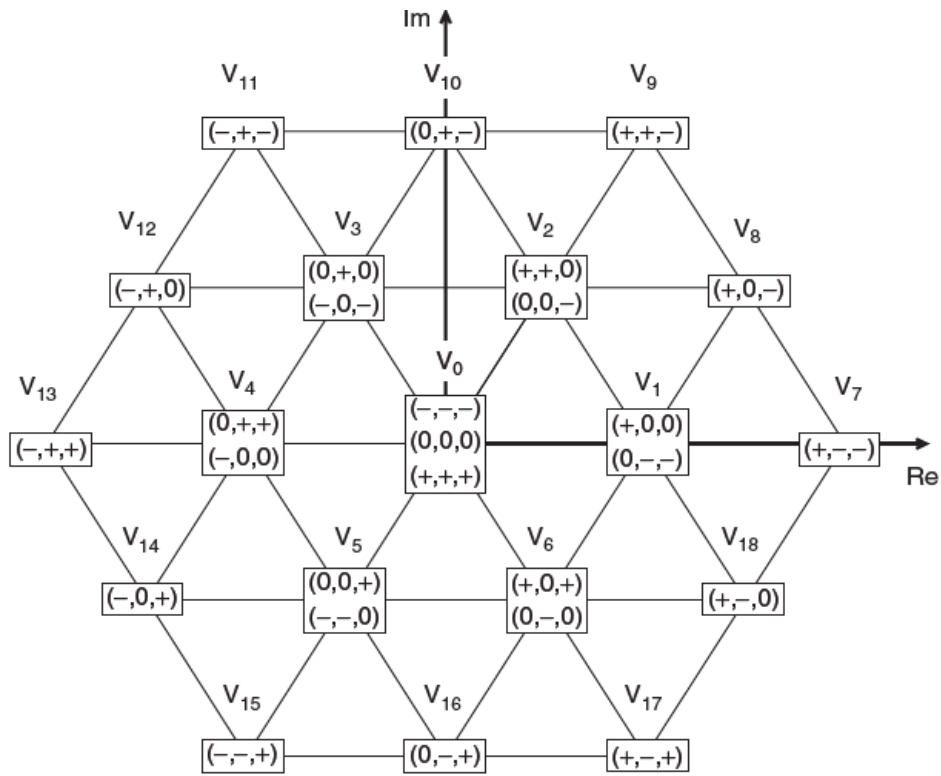


Fig.3.5-Vecteurs de tension possibles et états de commutation générés par un onduleur à trois niveaux

Un onduleur triphasé a trois niveaux est fonctionné avec 27 états de commutation sont activés, ce qui produit 19 vecteurs de tension différents, comme le montre la figure 3.3. Notez que certains états de commutation sont redondants, générant le même vecteur de

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

tension. Par exemple, le vecteur V_0 peut être généré par trois états de commutation différents : $(+, +, +)$, $(0, 0, 0)$, et $(-, -, -)$, qui génère les configurations de charge indiquées dans la figure 3.5. Compte tenu de la définition du vecteur spatial pour la tension de sortie.

Les autres vecteurs de tension sont calculés selon la même procédure. La dynamique des tensions du condensateur de liaison (bus continue) est décrite par les équations différentielles du condensateur [19].

$$\frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{1}{C} i_{c1} \quad (3.10)$$

$$\frac{dv_{c2}}{dt} = \frac{1}{C} i_{c2} \quad (3.11)$$

Où C est la valeur du condensateur.

La même approximation du dérivé considéré dans le chapitre précédent peut être utilisée pour les tensions du condensateur pour un temps d'échantillonnage T_s ,

$$\frac{dv_{cx}}{dt} \approx \frac{v_{cx}(k+1) - v_{cx}(k)}{T_s} \quad (3.12)$$

En donnant les équations en temps discret suivantes :

$$v_{c1}^p(k+1) = v_{c1}(k) + \frac{1}{C} i_{c1}(k) T_s \quad (3.13)$$

$$v_{c2}^p(k+1) = v_{c2}(k) + \frac{1}{C} i_{c2}(k) T_s \quad (3.14)$$

Où les courants $i_{c1}(k)$ et $i_{c2}(k)$ dépendent de l'état de commutation de l'onduleur et de la valeur des courants de sortie, et peut être calculée en utilisant les expressions suivantes :

$$i_{c1}(k) = i_{dc}(k) - H_{1a} i_a(k) - H_{1b} i_b(k) - H_{1c} i_c(k) \quad (3.15)$$

$$i_{c2}(k) = i_{dc}(k) + H_{2a} i_a(k) + H_{2b} i_b(k) + H_{2c} i_c(k) \quad (3.16)$$

Où i_{dc} est le courant fourni par la source de tension V_{dc} . Les variables H_{1x} et H_{2x} dépendent des états de commutation et sont définies comme suit :

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

$$H_{1x} = \begin{cases} 1 & \text{si } S_x = "+" \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.17)$$

$$H_{2x} = \begin{cases} 1 & \text{si } S_x = "-" \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.18)$$

Avec $x = a, b, c$.

3.6 Résultats de simulation et interprétation

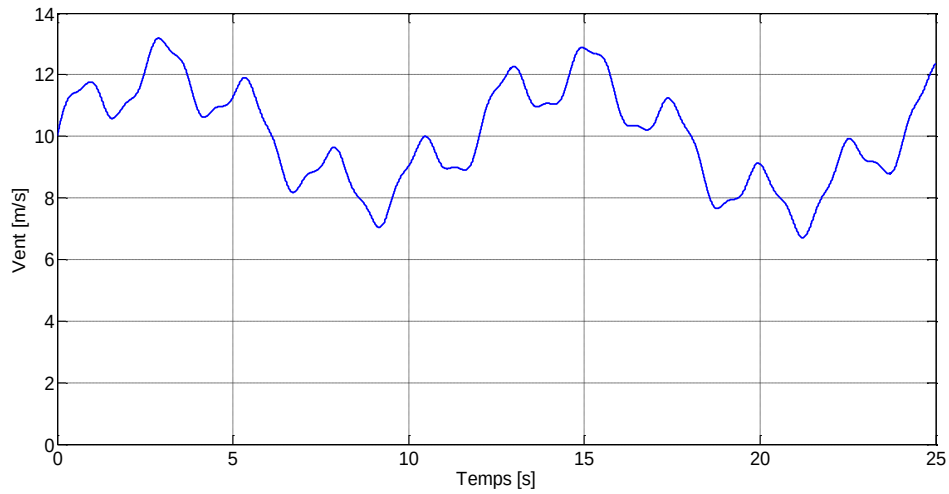


Fig.3.6-profiles du vent.

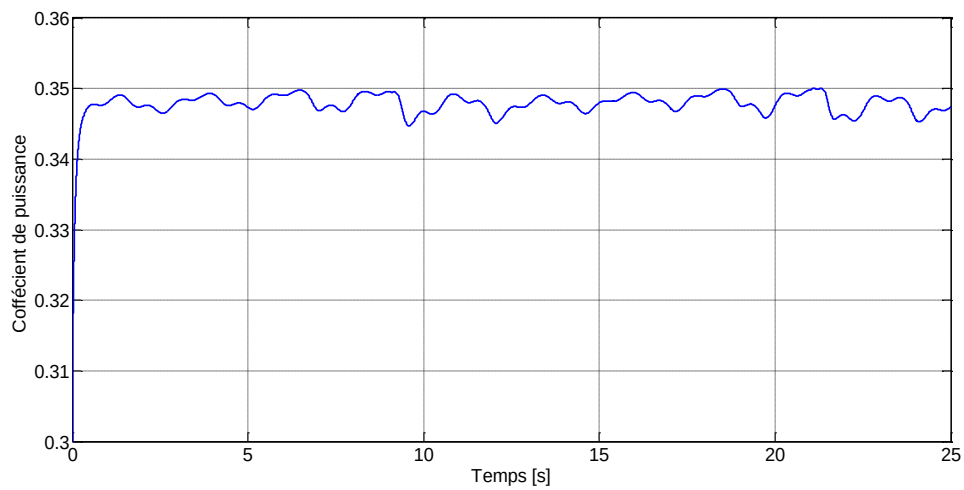


Fig.3.7-Coefficient de puissance de la turbine

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

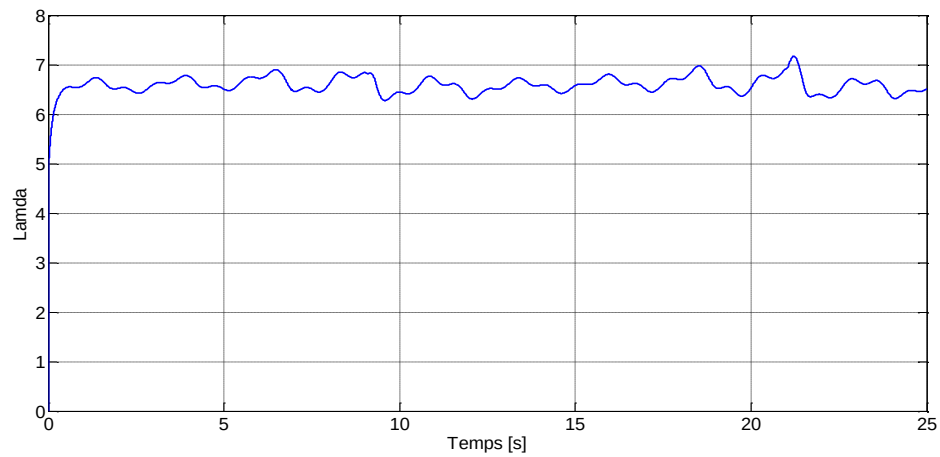


Fig.3.8-Vitesse relative de éolienne

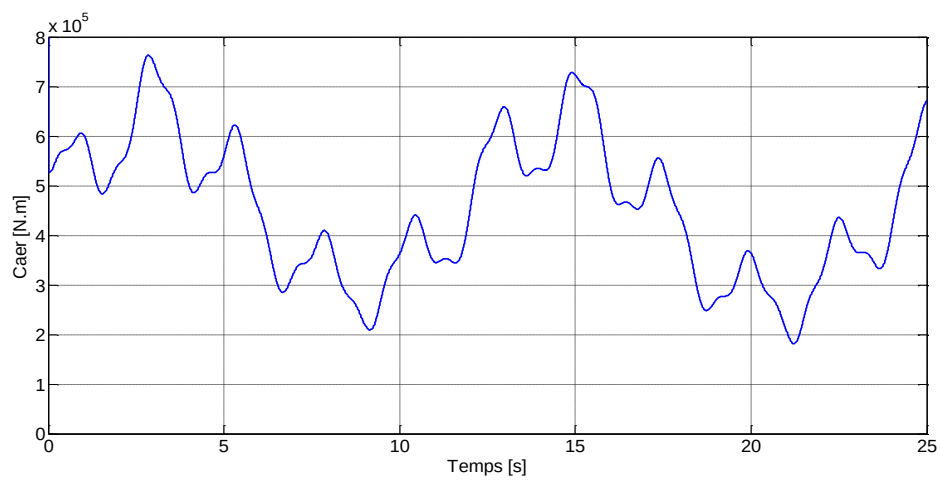


Fig.3.9-Couple aérodynamique

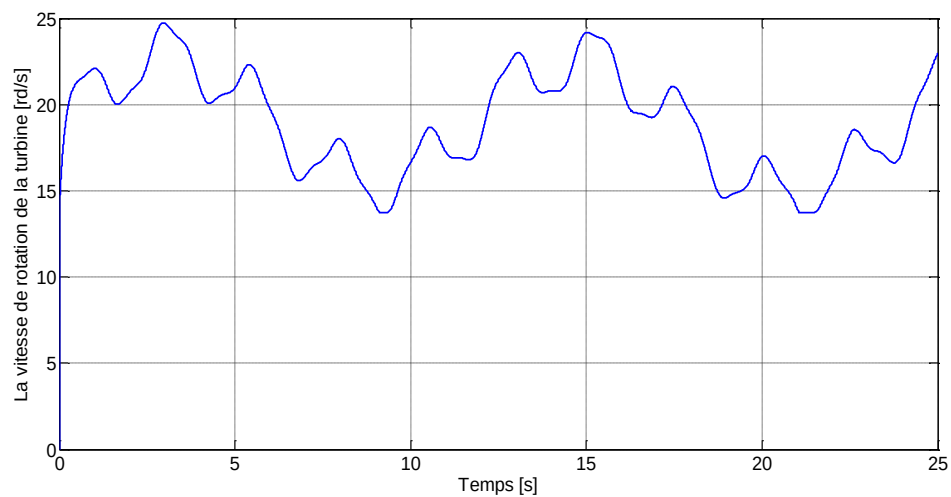


Fig.3.10-variation de la vitesse de rotation de turbine

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

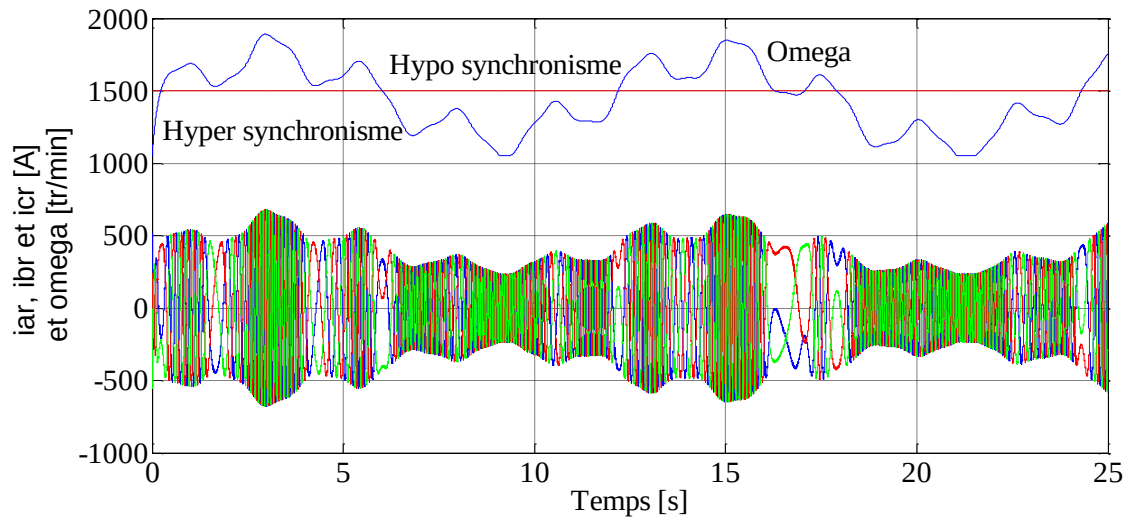


Fig.3.11- courant rotoriques triphasés et la vitesse de rotation de la MADA.

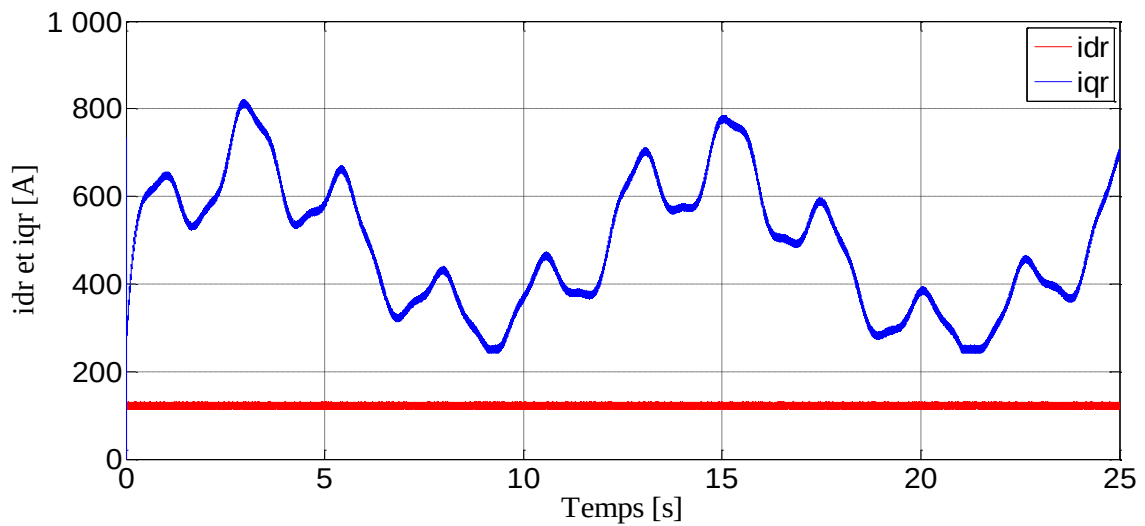


Fig.3.12-les composantes directe et quadrature du courant rotorique.

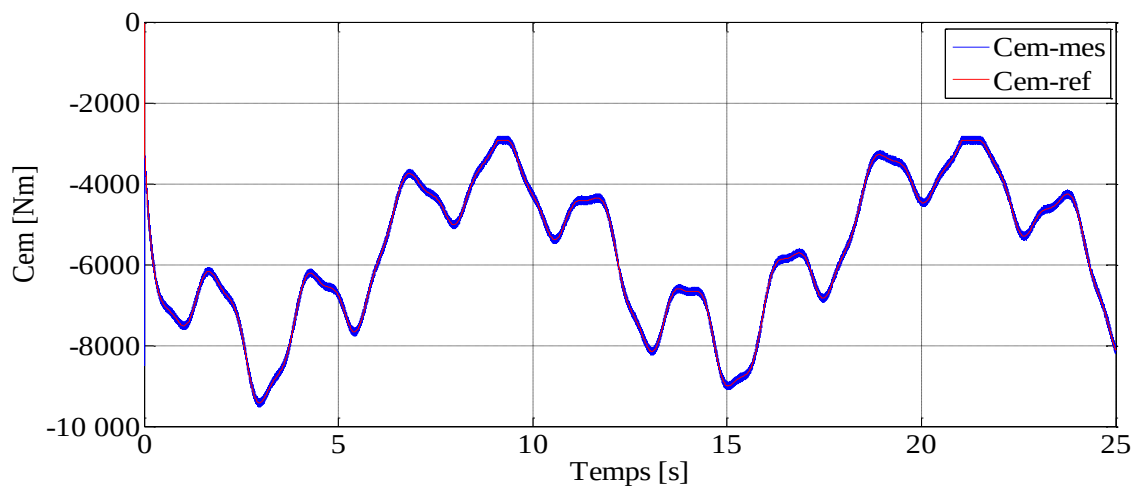


Fig.3.13- couple électromagnétique de la MADA.

**CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur
back to back à 3N**

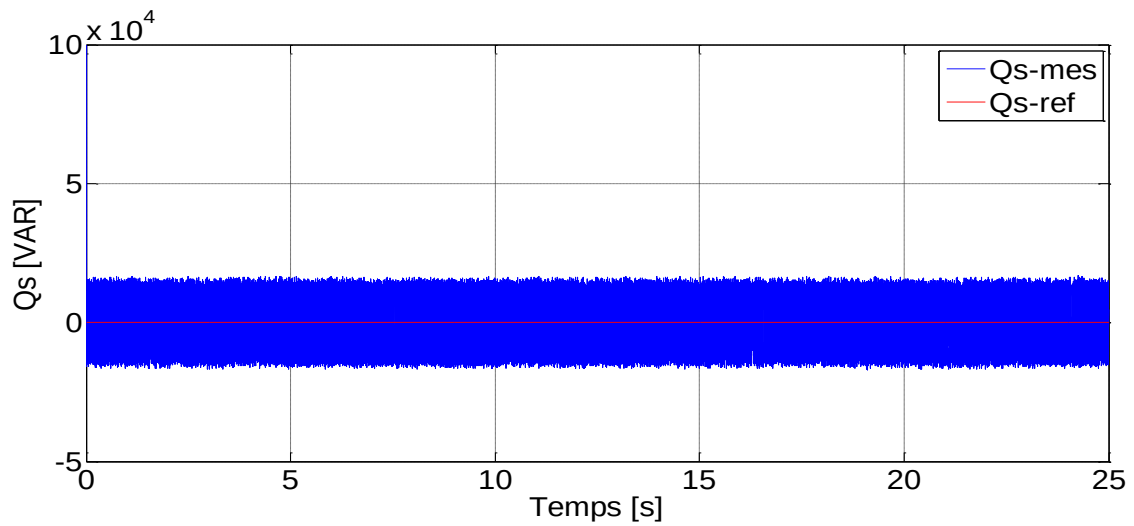


Figure 3.14: la puissance réactive statorique.

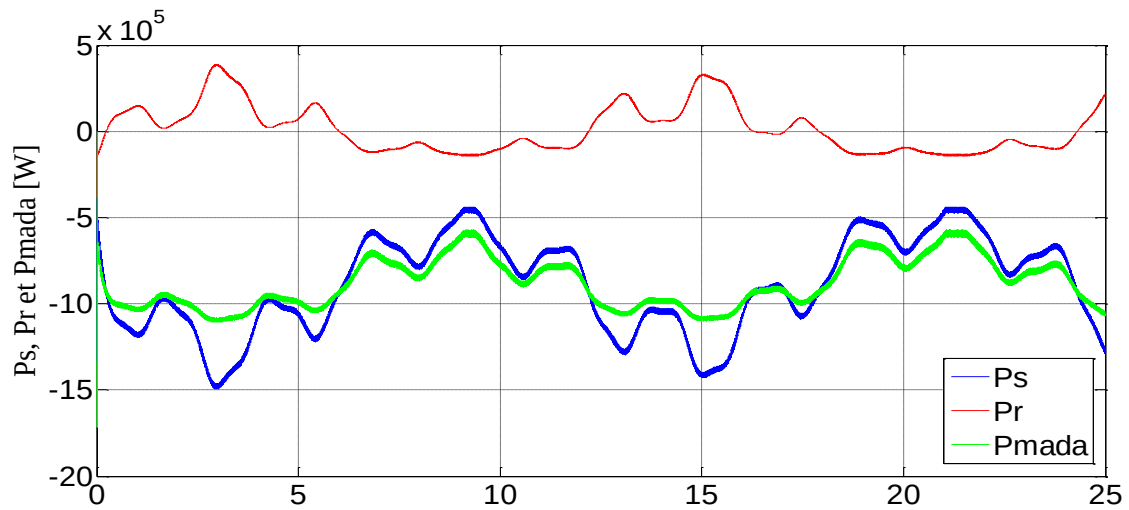


Figure 3.15: puissance active du stator Ps du rotor Pr et totale de la MADA.

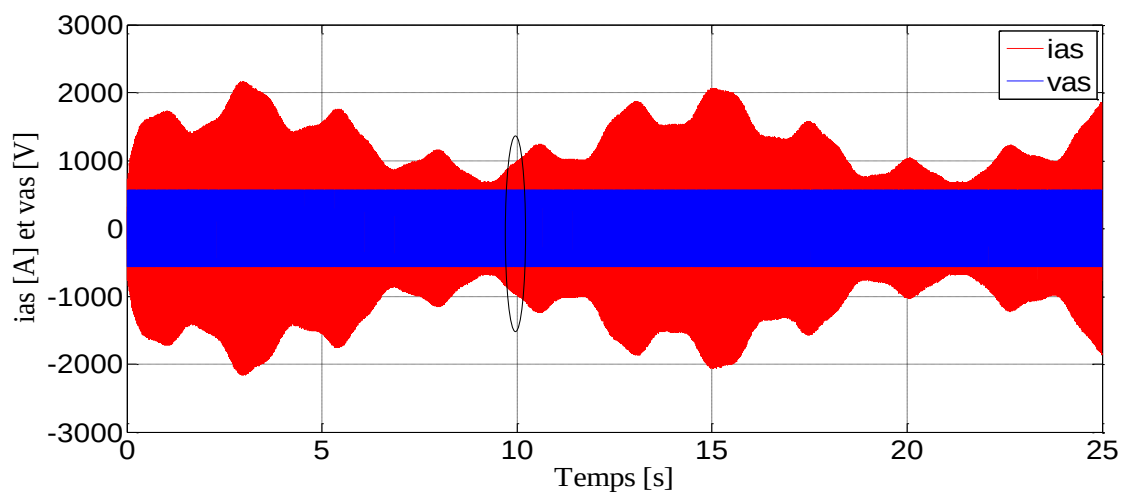


Fig.3.16.a- Courant et tension de phase statorique (topologie NPC-3L).

CHAPITRE III : commande FS-MPC d'une chaîne éolienne par un convertisseur back to back à 3N

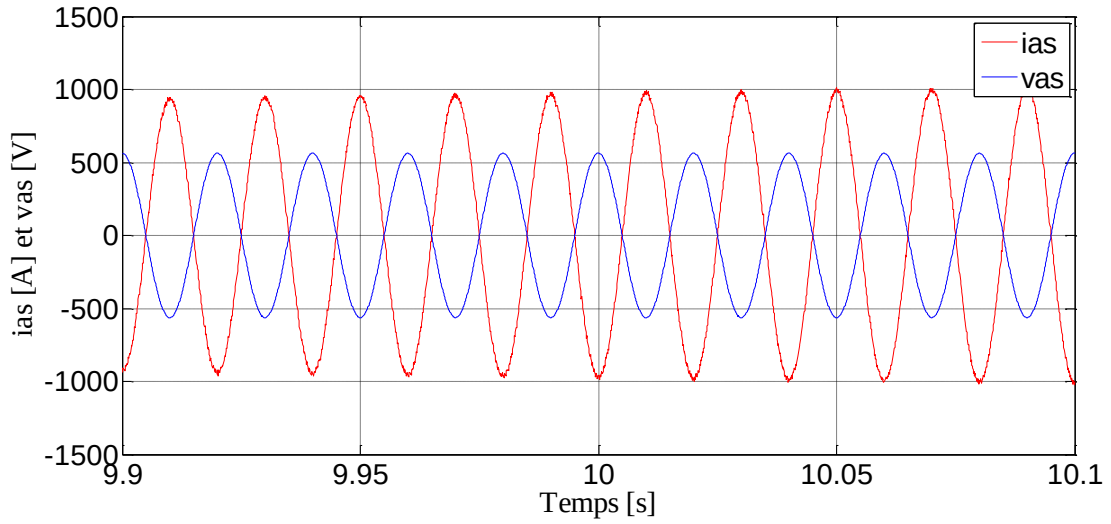


Fig.3.16.b- Zoom du courant et de la tension de phase statorique (topologie NPC-3L).

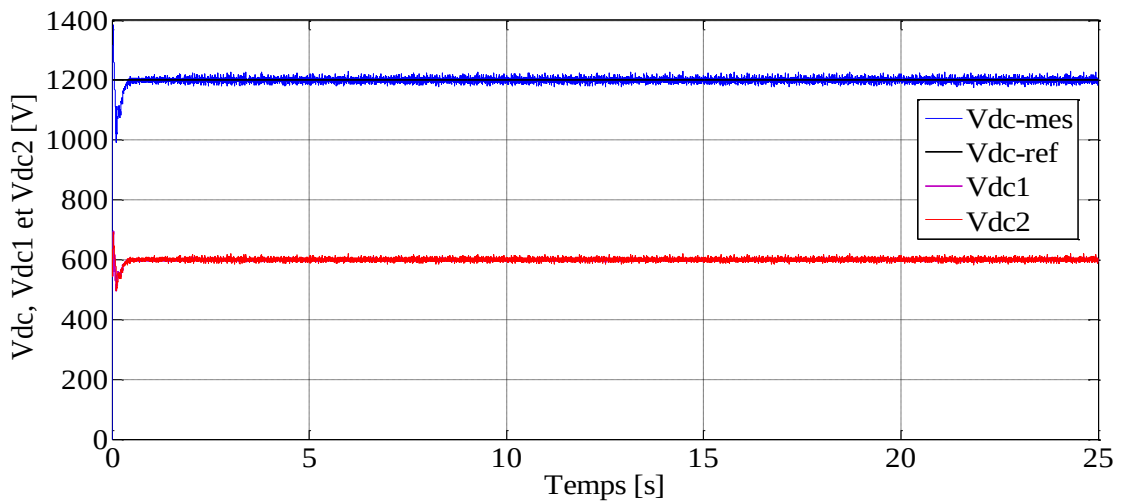


Fig.3.17.a-Tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L

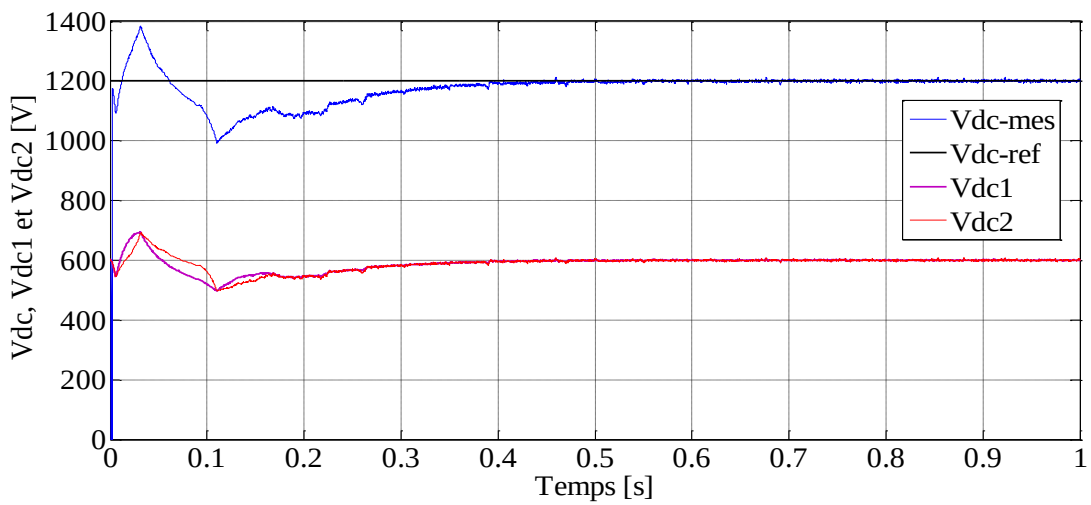


Fig.3.17.b- Zoom tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L

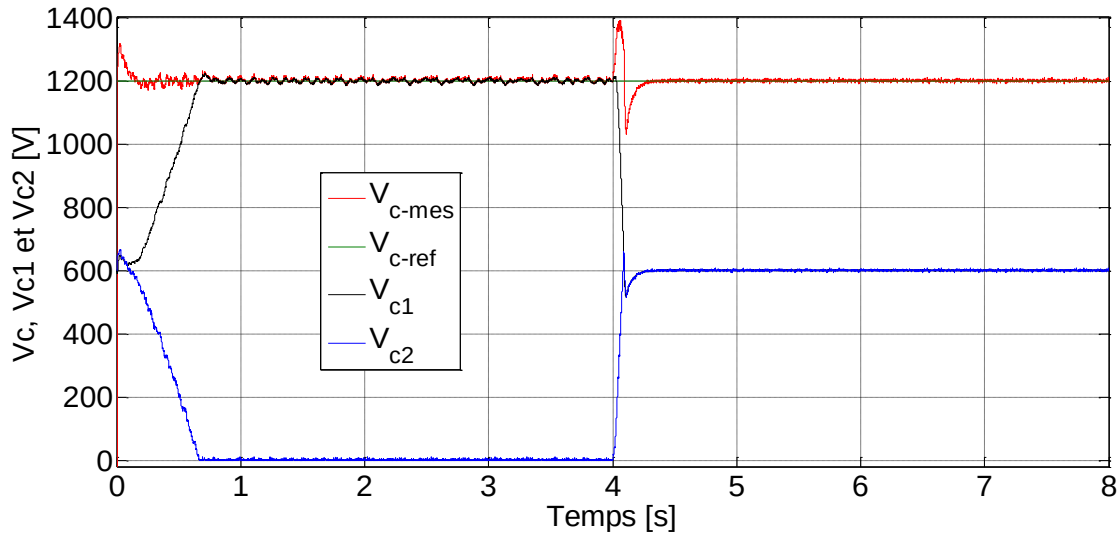


Fig.3.17.c-Tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L($\neq 0$)

Afin de présenter la commande classique d'un système SCEE à base d'une MADA, Nous choisissons sa vitesse de synchronisme (1500tr/min).

Représente les résultats obtenus : Figure 3.6 que profiles du vent, Figure 3.7 exprime coefficient de puissance de la turbine, et représente la Figure 3.8 vitesse relative d'éolienne, dans ce Figure 3.9, nous trouvons couple aérodynamique et Figure 3.10 exprime variation de la vitesse de rotation de turbine.

On peut constater le découplage parfait des courants rotoriques de la machine, de la Figure 3.11 à la Figure 3.15. Illustre par la Figure 3.12 que les composantes directe et quadrature du courant rotorique de la MADA suivent leurs références de manière indépendante. La Figure 3.13 représente le couple électromagnétique suit aussi sa référence. Les puissances active total de la MADA représenté par Figure 2.15 du système éolien peuvent être aussi bien contrôlées de façon indépendante.

La chaîne éolienne à base d'une MADA est alimentée à tour de rôle par les deux topologies en cascade NPC-3L à trois niveaux, et est examinée.

Le courant et la tension du stator en opposition de phase pour la topologie NPC-3L montrent dans les Figures (3.16), parce que la machine est génératrice coté stator ce qui confirme que la MADA injecte seulement la puissance active dans le réseau électrique (la puissance réactive est nulle).

Finalement, les Figures(3.17) montrent les tensions d'entrée du convertisseur NPC-3L.

3.7. Conclusion

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté le principe de la commande prédictive à ensemble finis FS-MPC et son application à un système éolien SCEE à vitesse variable basé sur une MADA. La commande FS-MPC est appliquée ensuite au système SCEE tantôt pour la topologie à 3 niveaux VSI-3L. La supériorité de la structure multi niveaux VSI-3L pour les systèmes moyenne et grande puissance en termes de performances et qualité d'énergie.

CONCLUSION GENERALE

Afin de protéger notre environnement et sauvegarder notre planète, la production des énergies propres et durables intéressent de plus en plus les pays. S'intéressent à son tour à ces énergies dites propres et renouvelables en général, et à la filière éolienne en particulier.

Les travaux de cette mémoire sont portés sur la commande prédictive des systèmes de conversion d'énergie éolienne (SCEE) à base de machine asynchrone à double alimentation MADA.

Les travaux présentés dans la présente mémoire montrent une richesse et une flexibilité remarquable de la commande prédictive à ensembles finis FS-MPC, notamment :

- ✓ C'est une technique de commande discrète par nature, simple à implémenter, facilement adaptée et embarquée par les calculateurs numériques ;
- ✓ Procure de très bonnes performances statique et dynamique ;
- ✓ C'est une commande dynamique, très flexible et multi objective ;
- ✓ Les contraintes non linéaires sont facilement prises en compte.

Le premier chapitre, nous avons présenté la production mondiale de l'énergie éolienne, Nous avons rappelé les concepts fondamentaux de la chaîne de conversion de l'énergie éolienne en énergie électrique et les différents types d'éoliennes, les deux types d'éoliennes à vitesse fixe et à vitesse variable.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé la modélisation complète et globale du système de conversion d'énergie éolienne basée sur une machine asynchrone à double alimentation MADA, on a présenté les structures, le principe de fonctionnement et le modèle mathématique de chaque élément de la chaîne éolienne connectée au réseau. Sont analysés et présentés brièvement dans ce chapitre.

FCS-MPC est un concept simple qui peut être appliqué à un large éventail de convertisseurs de puissance et d'applications de conversion de puissance avec seulement de légères modifications dans l'algorithme de contrôle. La flexibilité et la potentialité de la fonction de coût dans la réalisation de différents.

L'analyse présentée dans cette mémoire démontre que le FS-MPC est conceptuellement très simple. Aussi on peut considérer cette technique de commande un outil puissant pour contrôler les systèmes modernes de conversion d'énergie à haute performance.

Conclusion Générale

La commande FS-MPC est appliquée ensuite au système SCCE tantôt pour la topologie à 3 niveaux VSI-3L. La supériorité de la structure multi niveaux VSI-3L pour les systèmes moyenne et grande puissance en termes de performances et qualité d'énergie

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] F MERRAHI, "Alimentation et Commande d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation (Application à l'énergie éolienne)", thèse de Magister , Ecole Nationale polytechnique, 2007.
- [2] S Ghouelbourk, "Etude et modélisation des convertisseurs statiques dans une chaîne éolienne à base de la GADA", thèse de Doctorat, UNIVERSITE Badji Mokhtar –Annaba, 2016.
- [3] Site internet <http://www.ammonit.com/fr/windinfo/informations-éolien>.
- [4] A MIRECKI, "Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance", thèse de Doctorat, l'institut national polytechnique de Toulouse, 2005.
- [5] H. Camblong, "Minimisation de l'impact des perturbations d'origine éolienne dans la génération d'électricité par des aérogénérateurs à vitesse variable", thèse de Doctorat, centre de Bordeaux, 2003.
- [6] F POITIERS " Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne" Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, Le 19 décembre 2003.
- [7] T. GHENNAM " Supervision d'une ferme éolienne pour son intégration dans la gestion d'un réseau électrique, Apports des convertisseurs multi niveaux au réglage des éoliennes à base de machine asynchrone à double alimentation", thèse de Doctorat délivre conjointement par l'école centrale de Lille et l'école militaire polytechnique d'Alger.
- [8] Y. DJERIRI " Commande directe du couple et des puissances d'une MADA associée à un système éolien par les techniques de l'intelligence artificielle ", thèse de Doctorat, Université Djillali Liabes De Sidi-Bel-Abbes.
- [9] Melicio, R., Mendes, V. M. F, et Catalao, J. P. S." Computer simulation of wind power systems: power electronics and transient stability analysis". In : Kyoto, Japan: International Conference on Power System Transient (IPST2009). 2009.
- [10] S. Chikha " Contribution à l'optimisation de la commande prédictive des convertisseurs statiques intégrés dans les chaînes de conversion d'énergie éolienne", thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi Faculté des sciences et des sciences appliquées département de génie électrique.

Référence bibliographique

- [11] J. A. Baroudi, V. Dinavahi, A. M. Knight, “A review of power converter topologies for wind generators,” *Renewable Energy*, Vol. 32, No. 14, pp. 2369-2385, 2007.
- [12] A. Bouharchouche, E. M. Berkouk, T Ghenam, B. Tabbache, “Modeling and control of a Doubly fed induction generator with battery-super capacitor hybrid energy storage for wind power application,” *Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Fourth International Conference on. pp. 1392 – 1397, 2013.
- [13] F Merahi, El M Berkouk, S Mekhilef, “New management structure of active and reactive power of a large wind farm based on multilevel converter,” *Renewable energy*. 68. pp. 814-828, 2014.
- [14] A. Gaillard, « Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service »; Thèse de Doctorat, Université de Henri Poincaré, Nancy I, France, Avril 2010.
- [15] O.TOUNSI , Z.LASKRI, «Etude et commande d'une turbine éolienne Utilisant une Machine Asynchrone à Double Alimentation»; Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar_Annaba, 2018.
- [16] F. AKEL,« étude et réalisation d'un émulateur de turbine éolienne»; diplôme de Magister, Ecole Militaire Pol Ytechnique, 2009
- [17] P. Krafczyk, «Modélisation et mise en oeuvre d'une chaîne de production éolienne à base de la MADA»; diplôme d'ingénieur C.N.A.M, Centre d'enseignement de Nancy,2013
- [18] V.YARAMASUBIN WU, «MODEL PREDICTIVE CONTROL OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS»;The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New Jersey in Canada.2017.
- [19] J.Rodriguez ,P.Cortes, «PREDICTIVE CONTROL OF POWER CONVERTERS AND ELECTRICAL DRIVES»;Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile,2012
- [20] S. Kouro, P. Cortes, R. Vargas, U. Ammann, and J. Rodriguez, “Model predictive control-A simple and powerful method to control power converters,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 6, pp. 1826–1838, Jun. 2009.

Référence bibliographique

[21] J. Rodriguez, J. Pontt, P. Cortes, and R. Vargas, "Predictive control of a three-phase neutral point clamped inverter," in Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th, pp. 1364–1369, 2005.

[22] Kamel B, Djamel R. "Predictive direct power control for photovoltaic grid connected system: an approach based on multilevel converters," Energy conversion and Management. 78. pp. 825-833. 2014.

Annexe

Annexe 1 : Les caractéristiques de simulations de la machine asynchrone à double alimentation (MADA), le réseau et l'éolienne .

Variables	Description	Paramètres de simulation
Source		
V_s	RMS tension de réseau entre phase	690 (V)
f_s	Fréquence	50(Hz)
Filtre d'entrée		
L_f	Inductance du filtrage	0.75(mH)
R_f	Resistance de filtrage	75(m Ω)
MADA		
R_r	Resistance rotorique	54,44(m Ω)
R_s	Resistance statorique	4,45(m Ω)
L_m	Inductance mutuel	4,41(mH)
L_{fs}	Inductance statorique de fuite	134(uH)
L_{fr}	Inductance rotorique de fuite	1,6(m H)
m	le rapport de transformation Rotor /	3,33
p	Stator	2
Dc-link		
C	Nombre de pairs de pole	38(mF)
E	Capacité du bus continu	1200(V)
éolienne		
R	La tension de bus continu	35(m)
G	Rayon de l'éolienne	80
C_{p_max}	Gain de multiplication de vitesse	0.4
λ_{opt}	Le coefficient de puissance maximal	6.9
	valeur optimale de la vitesse relative	

Résumé

Résumé

Après d'améliorer la qualité de la puissance électrique transmise entre le système de conversion d'énergie électrique et le réseau . Nous présentons dans ce travail (le convertisseur trois niveaux VSL-3L) mise on ouvre d'un niveaux type de technologie de contrôle pour contrôler les convertisseurs de puissance, le contrôle prédictif du modèle de jeu finis basé sur les système et la fonction de cout représente la réponse souhaitée et utilisée afin d'assurer le niveaux élevé de la transmission de puissance active et réactive entre le rotor une MADA. Le principal avantage de la méthode FS-MPC réside dans sa simplicité la mise en œuvre. En outre, les contraintes sont prises en compte grâce à sa flexibilité ce qui réduit considérablement le coût global du système d'entraînement.

Mots clés : énergie éolienne, contrôle prédictif par modèle à ensembles finis, Convertisseur coté réseau, convertisseurs multi-niveaux à trois niveaux VSI-3L.

Abstract

After improving the quality of the electrical power transmitted between the power conversion system and the grid . We present in this work (VSL-3L three-level converter) a typical level of control technology is implemented to control the power converters, predictive control of the finite set model based on the system and cost function represents the desired response and used to ensure high levels of active and reactive power transmission between the rotor and a MADA. The main advantage of the FS-MPC method is its simplicity of implementation. In addition, the constraints are taken into account thanks to its flexibility, which considerably reduces the overall cost of the drive system.

Key words: wind energy, predictive control by finite set model, grid side converter, three-level VSI-3L multilevel converters.

ملخص

نقدم في هذا العمل طريقة عمل محول VSL-3L بعد تحسين نوعية الطاقة التي تنتقل بين نظام تحويل الطاقة الكهربائية والشبكة للسيطرة على محولات الطاقة والتحكم التنبؤي لنظام التشغيل النهائي لضمان مستوى عال من نقل الطاقة والتفاعل ، مما يميزها ببساطتها في التنفيذ بالإضافة الى التكلفة المنخفضة لنظام المحرك.

كلمات مفتاحيه : طاقة الرياح ,استراتيجية التحكم التنبؤية المباشرة , محول جانبي للشبكة , محولات متعددة المستويات VSI-3L ثلاثية المستويات.