

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE
N° :AUTO 08



FILIERE : AUTOMATIQUE
OPTION : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master

Par : BOUGUERRA FARIS
SOUADIA TARIQ

THÈME

COMMANDE BACKSTEPPING - FLOUE D'UNE
GENERATRICE ASYNCHRONE A DOUBLE
ALIMENTATION

Soutenu devant le jury composé de :

HELLALI Lallouani	Université M'sila	Président
BELOUNIS Ouassila	Université M'sila	Encadreur
LOUKAL Keltoum	Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2023 – 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

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.

*Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur, **Madame BELOUNIS Ouassila**, pour avoir tout d'abord proposé ce thème, pour son suivi continu tout au long de l'élaboration de ce mémoire, et pour ses conseils précieux.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du **jury** pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidés à concevoir et réaliser ce mémoire, ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à son accomplissement.

Enfin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer nos gratitudes à tous les enseignements de département de génie électrique M'sila pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires et reconnaissance à tous amis et collègues pour le soutien moral

Un grand merci à tous

إهداء

أهدي عملي المتواضع هذا إلى من كانا سببا في وجودي ، ،... وجعل الله طاعتها من طاعته، ... إلى من تعبنا من أجل نجاحي وسعادتي،... وخاصة إلى القلب الطيب أبي الحبيب رحمه الله ... و إلى من حملتني تسعة أشهر في بطنها وعشت الطفولة في حضنها،... إلى من لو بقيت الدهر كله أعد محاسنها ما وفيتها حقها، ... بهجة البيت وبسمة الحياة ومصدر الحب و الأفراح أُمي الغالية حفذك الله لنا ،

إلى جميع إخوتي الأعزاء و سندي و إلى جميع العائلة الفاضلة وجميع الأصدقاء

FARIS

إهداء

الحمد لله الذي آتانا نصيبا من العلم ينتفع به والصلاة والسلام على محمد
صلوات ربي وسلامه عليه

الى من اسال الله ان يجعلني بارا بهما الى من كانا سببا في وجودي
ونجاحي أُمي حبيبتي صاحبة القلب الطيب أبي سندي أطال الله في عمرهما الى
كل اخوالي و اعمامي وخاصة خالي حسان و خالتي وزوجها وابناءها الى
اختي الكبرى وزوجها وابنتها الأمورة تقوى وكل اخوتي الأعزاء وكل العائلة
الكريمة وجميع الأصدقاء لكم كل الحب والشكر

Tariq

SOMMAIRE

<i>Remerciement</i>	<i>I</i>
<i>Dédicace</i>	<i>II</i>
SOMMAIRE	IV
<i>Liste des figures</i>	<i>VI</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>VIII</i>
NOTATION ET SYMBOLE	IX
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

Chapitre I**Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (GADA)**

I. 1. Introduction	4
I.2. Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (GADA)	4
I.2.1 Hypothèses simplificatrices :	5
I.2.2 Modèle mathématique de la GADA dans le repère triphasé- triphasé	5
I.2.3 Modèle de la GADA dans le repère biphasé-biphasé :	10
I.2.4. Mise sous forme d'équation d'état :	12
I.3. Résultats de simulation numérique du système	13
I. 3.1 Résultats de simulation fonctionnement moteur (MADA).....	13
I.3.2 Interprétation des résultats	15
I.3.3 Résultats de simulation fonctionnement générateur (GADA)	15
I.3.4 Interprétations des résultats	19
I.4 Conclusion	19

Chapitre II**Commande vectorielle des puissances actives et réactives**

II.1. Introduction :	21
II.2. Le principe de la commande vectorielle	21
II.3. Modèle de la GADA avec orientation du flux statorique	21
II.3.1 Relations entre les courants statoriques et les courants rotoriques	23
II.3.2. Relations entre les puissances statoriques et courants rotoriques	23
II.3.3. Relations entre les tensions et courants rotoriques	24
II.3.4 Type des régulateurs utilisés.....	26

II.4 Les types de commande vectorielle :	28
II.4.1 Commande vectorielle indirecte	28
II.4. 3 Résultats de simulation :	30
II.4.4 Interprétation des résultats	33
II.5 CONCLUSION	33
Chapitre III	
Commande hybride backstepping-floue des puissances active et réactive	
III.1 Introduction	35
III.2 Commande Backstepping	35
III. 2.1 principes de la commande backstepping	35
III.2.2 Application de la commande par Backstepping à la GADA	38
III.2.3 Résultats de simulation de la commande backstepping	42
III.2.4 Interprétation des résultats	44
III.3 Commande par logique floue	44
III.3.1 Notions fondamentales de logique floue :	45
III.4 commande hybride backstepping – floue	46
III.4.1 Résultats de simulation de la commande hybride backstepping - floue	46
III.4.2 Interprétation des résultats	49
III.5 Etude comparative	49
III.6 Conclusion	54
CONCLUSION GÉNÉRALE	56
BIBLIOGRAPHIE	57
Annexe :	60
Résumé :	61
Résumé :	62

Liste des figures

<i>Figure. I.1: Représentation de la machine asynchrone à double alimentation dans le repère (abc).</i>	5
<i>Figure. I.2 : Modèle de Park de la GADA.</i>	9
<i>Figure .I.3: Représentation de la machine dans le repère diphasé.</i>	10
<i>Figure .I.4 : Courant statorique et rotorique de phase (Isa et Ira)(A).</i>	13
<i>Figure .I.5 : Vitesse mécanique et couple électromagnétique.</i>	14
<i>Figure .I.6 : Les composantes du flux statorique</i>	14
<i>Figure. I.7 : Les composantes du courant statorique</i>	14
<i>Figure. I.8 : Les composantes du courant rotorique</i>	15
<i>Figure. I.9 : Les tensions triphasées appliquées au stator et celle appliquée au rotor de la GADA.</i>	16
<i>Figure. I .10 : Les courant statorique triphasées.</i>	16
<i>Figure. I .11 : Les courant rotorique triphasées</i>	16
<i>Figure I .12 : Les courant statorique GADA (d,q).</i>	17
<i>Figure .I .1 3 : Les courant rotorique de GADA (d,q).</i>	17
<i>Figure. I .14 : Les Flux statorique de GADA (d,q).</i>	17
<i>Figure .I .15 : Puissance statorique de GADA (P_s, Q_s).</i>	18
<i>Figure .I .16 : Puissance rotorique de GADA (P_r,Q_r).</i>	18
<i>Figure I .17 : Couple électromagnétique de GADA.</i>	18
<i>Figure. II.1 : Principe de la commande vectorielle.</i>	21
<i>Figure. II.2: Modèle simplifié de la MADA pour le contrôle des puissances.</i>	26
<i>Figure .II.3: Schéma de la régulation.</i>	27
<i>Figure. II.4 : Schéma bloc de la commande indirecte en boucle ouverte.</i>	29
<i>Figure. II.5 Schéma bloc de la commande indirecte en boucle fermée.</i>	30
<i>Figure. II.6 Les puissances active et réactive statorique et sont références.</i>	31
<i>Figure. II.7 Les composantes du flux rotorique et statorique selon l'axe d et q</i>	31
<i>Figure. II.8 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q</i>	32
<i>Figure. II.8 Le couple électromagnétique et le flux statorique résultant.</i>	32

<i>Figure.III.1 Schéma bloc de la structure de commande par Backstepping</i>	<i>41</i>
<i>Figure. III.2 Les puissances active et réactive statorique et sont références</i>	<i>42</i>
<i>Figure. III. 3 Les composantes du flux rotorique et statorique selon l'axe d et q</i>	<i>43</i>
<i>Figure. III.4 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure .III.5 Le couple électromagnétique et le flux statorique resultant.</i>	<i>44</i>
<i>Figure .III.6 : Structure de base d'un contrôleur flou type 1</i>	<i>45</i>
<i>Table .III.1 : Table des règles de décision pour le contrôleur flou type 1</i>	<i>45</i>
<i>Figure .III.7 Fonctions d'appartenances utilisées par le contrôle.</i>	<i>46</i>
<i>Figure. III.8 Les puissances active et réactive statorique</i>	<i>47</i>
<i>Figure. III. 9 Les composantes du flux rotorique et statorique selon l'axe d et q</i>	<i>48</i>
<i>Figure. III.10 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure. III.11 Le couple électromagnétique et le flux statorique resultant.</i>	<i>49</i>
<i>Figure. III.11 La puissance active statorique (A) la commande vectorielle , (B) la commande backstepping, (C) la commande hybride backstepping-floue.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure. III.12 La puissance réactive statorique (A) la commande vectorielle , (B) la commande backstepping, (C) la commande hybride backstepping-floue.....</i>	<i>53</i>

Liste des tableaux

<i>Table . III.1 : Table des règles de décision pour le contrôleur flou type 1</i>	<i>45</i>
<i>Tableau .III.2 : Critères de comparaison entre la commande vectorielle, la commande backstepping et la commande hybride backstepping -floue.</i>	<i>54</i>

NOTATION ET SYMBOLE

Notation

MADA Machine Asynchrone à Double Alimentation

GADA Générateur Asynchrone à Double Alimentation

Symbole

Signification

(d, q) Axe longitudinal et en quadrature du repère de Park

(x, y) Axes correspondants au référentiel fixe par rapport au rotor

ω_r La pulsation rotorique (rad/s)

ω_s La pulsation statorique (rad/s)

ω_m La vitesse angulaire du rotor (rad/s)

g Le glissement

f_s La fréquence de stator (Hz)

f_r La fréquence de rotor (Hz)

p_s La puissance statorique (W)

p_r La puissance rotorique (W)

p_m La puissance mécanique (W)

F La fréquence (Hz)

R_s La résistance des phases statoriques (Ω)

R_r La résistance des phases rotoriques (Ω)

$[L_s]$ La matrice d'inductances statoriques (H)

$[L_r]$ La matrice d'inductances rotoriques (H)

$[M_{sr}]$ La matrice d'induction mutuelle de couplage stator-rotor (H)

$[M_s]$ La matrice d'induction mutuelle de couplage stator-rotor (H)

$[M_r]$ La matrice d'induction mutuelle entre deux phases rotorique (H)

M L'inductance mutuelle (H)

θ_s Angle électrique statorique

θ_r Angle électrique rotorique

$[V_{ABC}]_s$ Les tensions instantanées des phases statoriques respectivement A, B et C

$[V_{ABC}]_r$ Les tensions instantanées des phases rotoriques respectivement A, B et C

$[i_{ABC}]_s$ Les courants instantanés des phases statoriques respectivement A, B et C

$[i_{ABC}]_r$ Les courants instantanés des phases rotoriques respectivement A, B et C

$[\Phi_{ABC}]_s$ Les flux magnétiques instantanée de phase rotorique respectivement A, B et C

$[\Phi_{ABC}]_r$ Les flux magnétiques instantanée de phase rotorique respectivement A, B et C

$[A(\theta)]$	La matrice de Park.
$[A(\theta)]^{-1}$	La matrice inverse de Park.
$[i_{dqo}]_s$	Les courants statoriques dans le repère de Park
$[i_{dqo}]_r$	Les courants rotoriques dans le repère de Park
$[V_{dqo}]_s$	Les tensions statoriques da le repère de Park.
$[V_{dqo}]_r$	Les tensions rotoriques da le repère de Park
$[\Phi_{dqo}]_s$	Les flux statoriques dans le repère de Park.
$[\Phi_{dqo}]_r$	Les flux rotoriques dans le repère de Park.
L_{ss}	L'inductance cyclique statorique (H)
L_{rr}	L'inductance cyclique rotorique (H)
M_{ss}	La mutuelle propre statorique (H)
M_{rr}	La mutuelle propre rotorique (H)
L_s	L'inductance propre statorique (H)
L_r	L'inductance propre rotorique (H)
F_{vis}	Coefficient de frottement visqueux (N.m.s/rad)
C_e	Le couple électromagnétique (N.m)
J	Moment d'inertie des parties tournantes (kg. m ²)
Ω	Vitesse de rotation du rotor de la MADA (rad/s)
ω_r	La vitesse angulaire de rotor (rad/s)
ω_s	La vitesse angulaire du stator (rad/s)
ΔC	La bande d'hystérésis du correcteur

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

L'expansion rapide de la population mondiale a entraîné une augmentation significative des besoins en énergie, notamment en électricité. Cela a incité les producteurs et les fournisseurs à se tourner vers des ressources alternatives et rentables, les énergies renouvelables devenant une priorité majeure. Parmi celles-ci, l'énergie éolienne s'impose comme une frontière prometteuse pour l'avenir. De plus, les progrès de la technologie des éoliennes l'ont positionnée comme une alternative viable aux sources d'énergie conventionnelles [1].

À l'heure actuelle, la production d'énergie consiste à exploiter l'énergie mécanique, souvent associée au mouvement, et à la convertir en énergie électrique. Ce processus peut être comparé au fonctionnement d'une dynamo de vélo, mais à une échelle beaucoup plus grande, comme on le voit dans les centrales électriques. Ces installations facilitent la conversion de diverses formes d'énergie, telles que les combustibles fossiles comme le charbon, le gaz naturel ou le pétrole, le nucléaire, le thermique, l'hydroélectricité, l'énergie solaire, la biomasse et l'énergie éolienne, en énergie électrique [2].

Les générateurs asynchrones à double alimentation (GADA) sont de plus en plus privilégiés dans la technologie de conversion de l'énergie éolienne pour leurs nombreux avantages. Il s'agit notamment d'une efficacité accrue, de la capacité de fonctionner à des vitesses variables et d'une meilleure intégration avec les réseaux électriques. Leur adoption généralisée dans les éoliennes modernes découle de leur capacité à exploiter efficacement l'énergie éolienne [3].

L'acquisition d'un tel équipement implique un processus méticuleux en raison de l'interaction complexe entre ses différentes variables. Contrairement à cette catégorie de machines, les machines à courant continu offrent l'avantage d'un contrôle simple, malgré leur dynamique complexe

Pour obtenir des performances comparables à celles d'une machine à courant continu, lors de l'obtention d'une machine asynchrone à double alimentation, il est essentiel d'obtenir un découplage entre le flux et le couple électromagnétique. Ce concept sous-tend le développement de la technique de contrôle vectoriel, également connue sous le nom de contrôle de l'orientation du flux. Proposée en 1973 par Blaschke et Hasse [4].

Le contrôle vectoriel de la machine à double alimentation s'impose comme une solution très efficace, particulièrement attrayante pour les applications exigeantes telles que les variateurs

de vitesse et les systèmes de production d'énergie où des performances supérieures sont essentielles [5].

Au cours des dernières années, le contrôle hybride a suscité une attention considérable en tant que stratégie prometteuse. Il intègre les points forts de diverses techniques de contrôle pour améliorer la réactivité et la résilience du système. Dans ce cadre, la fusion de contrôle par backstepping et du contrôle logique flou est utilisée pour optimiser les performances des systèmes de conversion de l'énergie éolienne basés sur la technologie GADA.

Par conséquent, la recherche d'alternatives aux techniques traditionnelles est une priorité pour de nombreux chercheurs. Cette recherche découle du compromis inhérent entre la robustesse et le coût associé aux méthodes classiques. Parmi les stratégies de contrôle qui facilitent l'obtention de performances optimales du système.

Notre objectif est de mettre en œuvre des stratégies de contrôle visant à améliorer l'efficacité de la machine asynchrone à double puissance (GADA) utilisée dans la production d'énergie électrique.

Cette étude porte sur la gestion des puissances active et réactive d'une machine asynchrone à double alimentation (GADA) Afin d'accomplir cela, le plan de travail a été adopté, comprenant trois chapitres structurés de la manière suivante :

Dans le premier chapitre, La modélisation de la machine asynchrone à double alimentation (GADA) sera exposée. La mise en équation de son modèle permettra de le simuler en tant que moteur et générateur, dans le but de comprendre le comportement de ce type de machine dans ses différentes configurations de fonctionnement. Ensuite, il sera validé et présenté les résultats par la simulation dans l'environnement MATLAB/SIMULINK.

Le deuxième chapitre Il sera dédié à l'utilisation de commande vectorielle pour contrôler la puissance active et réactive statorique de la machine asynchrone à double alimentation. Cette méthode repose sur l'orientation du flux statorique afin de linéariser le modèle de la machine et de découpler le contrôle des puissances. Elle est guidée par une vitesse constante, permettra ensuite de connecter le rotor de la machine (GADA) au réseau. On présentera les résultats de la simulation par MATLAB/Simulink.

Dans le troisième chapitre, nous développerons deux autres techniques de commandes qui permettront d'obtenir une bonne qualité d'énergie électrique produite par la GADA. Dans une première étape, on considérera la commande par backstepping, elle est basée sur le choix de la

surface de glissement, la fonction de Lyapunov et la condition de convergence pour créer une loi de commande adéquate.

Dans le dernier chapitre, on développera la commande par backstepping -floue. Ensuite, on fera une étude comparative entre les différentes lois de commandes proposées dans ce travail.

Finalement, ce travail sera clôturé par une conclusion générale qui résumera l'ensemble des résultats obtenus et proposera les perspectives pour la continuité dans les travaux du futur dans ce domaine.

Chapitre I:

***Modélisation de la Machine
Asynchrone à Double Alimentation
(GADA)***

I. 1. Introduction

La modélisation de la machine électrique joue un rôle essentiel dans sa conception. Les avancées technologiques dans le domaine de l'informatique et du génie des logiciels ont permis de concevoir des modélisations efficaces et d'envisager l'amélioration des machines électriques.

Le modèle traditionnel de la machine asynchrone à double alimentation, qui correspond au schéma monophasé équivalent, ne fonctionne qu'en régime sinusoïdal à fréquence fixe au stator. Pour étudier son comportement à une fréquence variable et avec des signaux provenant de convertisseurs statiques qui ne sont pas sinusoïdaux, il est nécessaire d'utiliser un modèle plus complexe. On considère que chaque armature triphasée statorique et rotorique peut être représentée par une armature diphasée équivalente en utilisant la transformation de PARK. Ainsi, chaque armature diphasée est représentée par deux enroulements identiques placés. Dans ce présent chapitre on va étudier la modélisation de la machine asynchrone à double alimentation GADA à partir la représentation schématique de la machine.

I.2. Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (GADA)

La machine «GADA » asynchrone à double alimentation est composée de trois bobines statoriques (A_s, B_s, C_s) qui sont décalées entre elles par un angle de $(2\pi/3)$ et de trois bobines rotoriques dont la répartition est similaire à celle du rotore (A_r, B_r, C_r). Où :

S_a, S_b, S_c : Les vecteurs orientés suivant les enroulements statoriques ;

R_a, R_b, R_c : Les vecteurs orientés suivant les enroulements rotoriques ;

$(V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}), (V_{ra}, V_{rb}, V_{rc})$: Les tensions instantanées aux bornes des phases statoriques et rotoriques ;

$(i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}), (i_{ra}, i_{rb}, i_{rc})$: Les courants instantanés circulant dans les phases statoriques et rotoriques ;

θ : L'angle électrique entre le repère statorique S_a et le repère rotorique R_a .

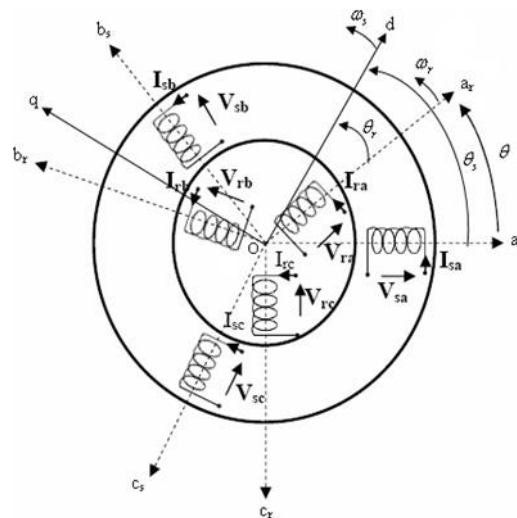


Figure I.1: Représentation de la machine asynchrone à double alimentation dans le repère (abc).

La GADA étant un système non linéaire très complexe, sa modélisation nécessite l'introduction de certaines hypothèses simplificatrices sans trop exagérer, pour avoir un modèle le plus proche possible de la réalité [6], [7].

I.2.1 Hypothèses simplificatrices :

Pour concevoir un modèle simplificateur de la GADA, nous avons pris en compte certaines hypothèses simplificatrices, telles que :

- La géométrie de la machine est symétrique ;
- Le circuit magnétique est parfaitement feuilleté, au stator et au rotor, la saturation est négligeable ;
- La densité de courant est considérée uniforme dans la section des conducteurs élémentaires ;
- Les résistances des enroulements ne dépendent pas de la température ;
- Les forces magnétomotrices créées par le stator ou le rotor ont une répartition sinusoïdale ;
- L'épaisseur de l'entrefer est uniforme et l'effet d'encoche est négligeable.

I.2.2 Modèle mathématique de la GADA dans le repère triphasé- triphasé

Grâce à la mise en place d'un modèle mathématique, la gestion de la GADA est grandement simplifiée dans les divers régimes de fonctionnement, qu'ils soient temporaires ou permanents [8].

➤ Équations électriques :

La loi de Faraday et la loi d'Ohm permettent de relier les tensions sur les enroulements aux flux

totalisés et aux courants dans ces bobinages. La GADA est représentée par les équations des phases statoriques et rotoriques suivantes [9] :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \\ V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \\ \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (I.1)$$

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{sabc}] \quad (I.2)$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{rabc}] \quad (I.3)$$

$$\begin{aligned} [\Phi_{abc(S)}] &= [\Phi_{aS} \ \Phi_{bS} \ \Phi_{cS}] && \text{Vecteur flux total statorique.} \\ [V_{abc(S)}] &= [V_{aS} \ V_{bS} \ V_{cS}] && \text{Vecteur tension statorique applique aux trois phases.} \\ [I_{abc(S)}] &= [I_{aS} \ I_{bS} \ I_{cS}] && \text{Vecteur courant traversant les enroulements statorique} \end{aligned}$$

Avec :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}, [R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

L'expression de flux en fonction des courants statoriques et rotoriques est donnée par [10], [11] :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \\ \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s & M_1 & M_2 & M_3 \\ M_s & L_s & M_s & M_2 & M_1 & M_3 \\ M_s & M_s & L_s & M_3 & M_2 & M_1 \\ M_1 & M_2 & M_3 & L_r & M_s & M_r \\ M_2 & M_3 & M_1 & M_s & L_r & M_r \\ M_3 & M_1 & M_2 & M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (I.4)$$

Avec :

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = M_{\max} \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

- Pour le stator :

$$[\varphi_{sabc}] = [M_{ss}][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}] \quad (I.6)$$

- Pour le rotor :

$$[\varphi_{rabc}] = [M_{rr}][i_{rabc}] + [M_{sr}][i_{sabc}] \quad (I.7)$$

Avec :

$$[M_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix} [M_{rr}] = \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix}$$

La matrice des inductances mutuelles entre les phases du stator et du rotor M_{sr} dépend de la position angulaire θ entre l'axe du stator et celui du rotor [12], [13] :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M_{\text{Max}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (I.8)$$

Avec :

- $[R_s]$ et $[R_r]$: Matrices des résistances propres statorique et rotorique.
- M_s et M_r : Les inductances mutuelles entre deux phases stator-stator et rotor-rotor.
- L_s et L_r : sont respectivement les inductances propres des phases statoriques et rotoriques ;
- $[L_s]$ et $[L_r]$: Matrices des inductances cycliques statorique et rotorique.
- $[M_{sr}]$ et $[M_{rs}]$: Matrices des inductances mutuelles du couplage entre stator et rotor ;
- M_{max} : Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase statorique et une phase rotorique.
- θ : L'écart angulaire entre une phase statorique et une phase rotorique.

Equation mécanique :

L'équation mécanique est donnée comme suit :

$$C_{em} = C_r + f\Omega + J \frac{d\Omega}{dt} \quad (I.9)$$

- Avec respectivement :

- C_{em} : Le couple électromagnétique.
- C_r : Le couple résistant.
- f : Le coefficient de frottement visqueux de la GADA.
- J : L'inertie des parties tournantes.
- Ω : La vitesse de rotation de l'axe de la GADA.

Changement de repère :

L'objectif d'un changement de repère est de faciliter l'utilisation des équations électriques et mécaniques. Dans notre recherche, nous avons employé l'approche de Park.[14] .

L'outil mathématique de transformation de Park est utilisé pour simplifier les équations des machines électriques triphasées. Cela offre la possibilité de passer d'un système alternatif triphasé (repère (a, b,c) à un système biphasé (repère (d-q)), et d'obtenir un système d'équation à coefficients constants.

La matrice de Park est donnée sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_o \end{bmatrix} = P(\theta) \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (I.10)$$

La matrice de transformation de Park $P[\theta]$ est donnée par :

$$[P] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (I.11)$$

Avec :

- X : peut être une tension, un courant ou un flux ;
- θ : l'écart angulaire arbitraire entre l'axe d'une phase dans l'une des armatures (stator ou rotor) et l'axe d'observation ;

Et $[P]^{-1}$ la matrice de transformation de Park inverse qui s'écrit par [13] :

$$[P]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (I.12)$$

Le modèle de Park de la GADA est représenté schématiquement par la figure (I.2) :

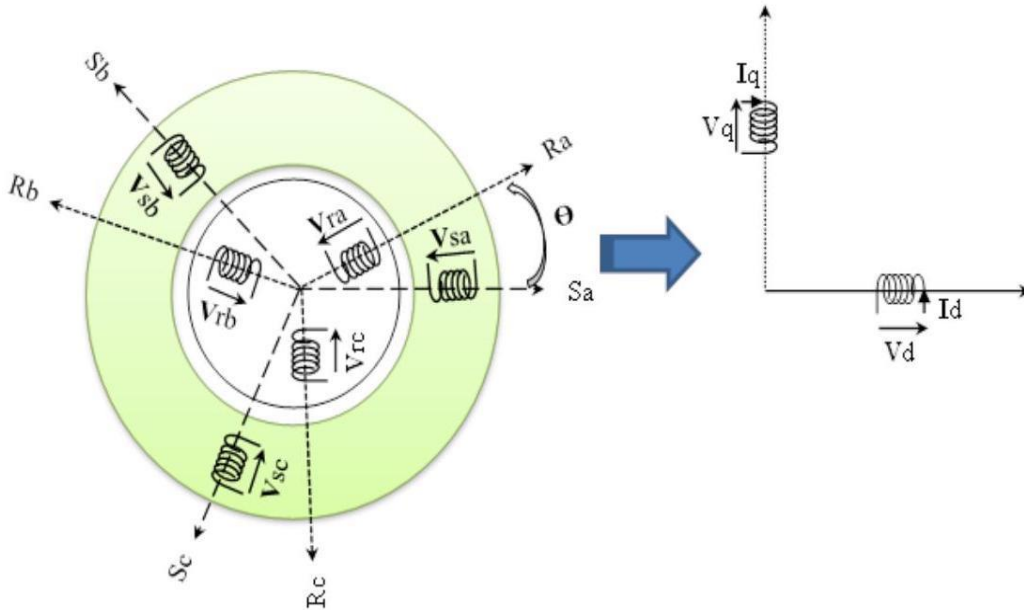


Figure I.2 : Modèle de Park de la GADA.

Choix du référentiel biphasé :

Le modèle de la machine a été exposé dans un repère biphasé (d-q) avec une orientation donnée, mais il existe diverses options pour définir l'orientation du repère, en fonction des objectifs de l'application. Le choix du référentiel nous ramène pratiquement aux trois situations possibles [6].

1. Repère (α, β) : Le système biphasé lié au stator $\theta = 0$, alors $w = 0$;
2. Repère (x, y) : Le système biphasé lié au rotor $\theta = \theta_r$, alors $w = w_r$;
3. Repère (d, q) : Le système biphasé lié au champ tournant $\theta = \theta_s$, alors $w = w_s$.

Les enroulements de la GADA triphasée sont souhaités être transformés en enroulements biphasés orthogonaux équivalents selon les axes (d-q) liés au champ tournant, afin d'équilibrer le système transformé [9].

- Direct selon l'axe(d);

- Quadrature (transversal) selon l'axe(q);
- Homopolaire(o).

Dans la plupart des cas, on utilise le référentiel lié au champ tournant pour effectuer le contrôle vectoriel lorsque les grandeurs deviennent continue [15].

I.2.3 Modèle de la GADA dans le repère biphasé-biphasé :

Pour la modélisation et la commande de la GADA, nous utilisons le référentiel lié au champ tournant ($w = w_s$) et en supposant que le système est équilibré, donc la composante homopolaire nulle. Donc, la machine asynchrone à double alimentation obtenue en utilisant la transformation de Park, illustrée dans la figure (I.3) ci-dessous, présente un modèle électrique général défini par les équations suivantes [7],[16],[17] :

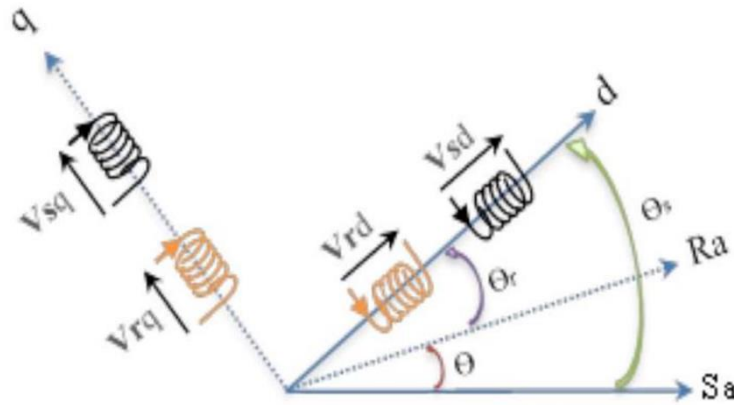


Figure I.3: Représentation de la machine dans le repère diphasé.

▪ Les tensions statoriques :

$$V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - w_s \varphi_{sq} \quad (I.13)$$

$$V_{sq} = R_s I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + w_s \varphi_{sd}$$

- Les tensions rotoriques :

$$V_{rd} = R_r I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - w_r \varphi_{rq} \quad (I.14)$$

$$V_{rq} = R_r I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + w_r \varphi_{rd}$$

- Les flux statoriques :

$$\varphi_{sd} = L_s I_{sd} + M I_{rd} \quad (I.15)$$

$$\varphi_{sq} = L_s I_{sq} + M I_{rq}$$

- Les flux rotoriques :

$$\varphi_{rd} = L_r I_{rd} + M I_{sd} \quad (I.16)$$

$$\varphi_{rq} = L_r I_{rq} + M I_{sq}$$

En remplaçant les équations magnétiques des flux φ_{sd} et φ_{sq} en fonction de i_{rd} et i_{rq} dans les équations des tensions statoriques (I.13) et (I.14) rotoriques, les équations dynamiques d'un GADA triphasé peuvent être écrites dans un cadre de référence à quadrature directe (d-q) en rotation synchrone comme

$$\begin{aligned} V_{sd} &= R_s I_{sd} + L_s \frac{dI_{sd}}{dt} + M \frac{dI_{rd}}{dt} - w_s L_s I_{sq} - w_s M I_{rq} \\ V_{sq} &= R_s I_{sq} + L_s \frac{dI_{sq}}{dt} + M \frac{dI_{rq}}{dt} + w_s L_s I_{sd} + w_s M I_{rd} \\ V_{rd} &= R_r I_{rd} + L_r \frac{dI_{rd}}{dt} + M \frac{dI_{sd}}{dt} - w_r L_r I_{rq} - w_r M I_{sq} \\ V_{rq} &= R_r I_{rq} + L_r \frac{dI_{rq}}{dt} + M \frac{dI_{sq}}{dt} + w_r L_r I_{rd} + w_r M I_{sd} \end{aligned} \quad (I.17)$$

Le couple électromagnétique s'exprime en fonction des courants rotoriques et des flux statoriques par [7], [16], [17] :

$$C_{em} = p \frac{M}{L_s} (I_{rq} \varphi_{sd} - I_{rd} \varphi_{sq}) \quad (I.18)$$

Dans un repère biphasé quelconque, Les puissances actives et réactives statoriques et rotoriques sont définies comme suit [7], [16], [17] :

$$P_s = V_{sd} I_{sd} + V_{sq} I_{sq}$$

$$Q_s = V_{sq} I_{sd} - V_{sd} I_{sq}$$

$$P_r = V_{rd} I_{rd} + V_{rq} I_{rq}$$

$$Q_r = V_{rq} I_{rd} - V_{rd} I_{rq} \quad (I.19)$$

I.2.4. Mise sous forme d'équation d'état :

A partir des équations (I.17) le modèle peut être exprimé dans l'espace d'état sous la forme suivante :

$$[U] = [A][I] + [L] \frac{d}{dt} [I]$$

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -L_s w_s & 0 & -M w_s \\ L_s w_s & R_s & M w_s & 0 \\ 0 & -M w_r & R_r & -L_r w_r \\ M w_r & 0 & L_r w_r & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} \quad (I.20)$$

En considérant les composantes en (d, q) l'équation d'état prend la forme :

$$\frac{d}{dt} [I] = -[L]^{-1} [A'] [I] + [L]^{-1} [U]$$

Notre but est de représenter les équations établis ci-dessus sous la forme suivante :

$$[\dot{X}] = [A][X] + [B][U] \quad (I.21)$$

Avec :

$$\begin{aligned} [X] &= [\varphi_{sd} \quad \varphi_{sq} \quad i_{rd} \quad i_{rq}]^t \\ [U] &= [V_{sd} \quad V_{sq} \quad V_{rd} \quad V_{rq}]^t \\ [A] &= \begin{bmatrix} -\alpha & w_s & \alpha \cdot M & 0 \\ -w_s & -\alpha & 0 & \alpha \cdot M \\ \alpha \cdot \beta & -\beta(w_s - w_r) & -\delta & w_r \\ \beta(w_s - w_r) & \alpha \cdot \beta & -w_r & -\delta \end{bmatrix} [B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\beta & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & \gamma \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$\alpha, \beta, \delta, \gamma, \sigma$ sont des constantes définies comme suit :

$$\alpha = \frac{1}{T_s}, \quad \beta = \frac{M}{\sigma \cdot L_s \cdot L_r}, \quad \gamma = \frac{1}{\sigma \cdot L_r}, \quad \delta = \frac{M^2 \cdot R_s}{\sigma \cdot L_r \cdot L_s^2} + \frac{R_r}{\sigma \cdot L_r}, \quad \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s \cdot L_r}$$

Pour faciliter la simulation, nous avons écrit la matrice $[A]$ comme suit :

$$[A] = [A_1] + w_s [A_2] + w_r [A_3] \quad (I.22)$$

$$[A_1] = \begin{bmatrix} -\alpha & 0 & \alpha \cdot M & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 & \alpha \cdot M \\ \alpha \cdot \beta & 0 & -\delta & 0 \\ 0 & \alpha \cdot \beta & 0 & -\delta \end{bmatrix}, [A_2] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & 0 \\ \beta & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, [A_3] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 1 \\ -\beta & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

I.3. Résultats de simulation numérique du système

A l'aide de logiciel MATLAB, la simulation de la machine asynchrone à double alimentation pour les deux types de fonctionnement moteur et générateur a été faite. Son modèle est basé sur les équations obtenues avec la transformation de R.H.Park. (Plan (d, q)) lié aux champs tournant. Les résultats montrés sur les figures ci-dessous sont ceux obtenus par le modèle d'une machine de puissance 4 KW.

I. 3.1 Résultats de simulation fonctionnement moteur (MADA)

Les résultats de simulation de la machine asynchrone fonctionnement moteur à rotor en court circuit et présentée sur les figure (I.5), (I.6), (I.7), (I.8) concernant la vitesse et le couple, les composantes du flux statoriques et sont résultante, les composantes du courant statoriques et rotoriques .

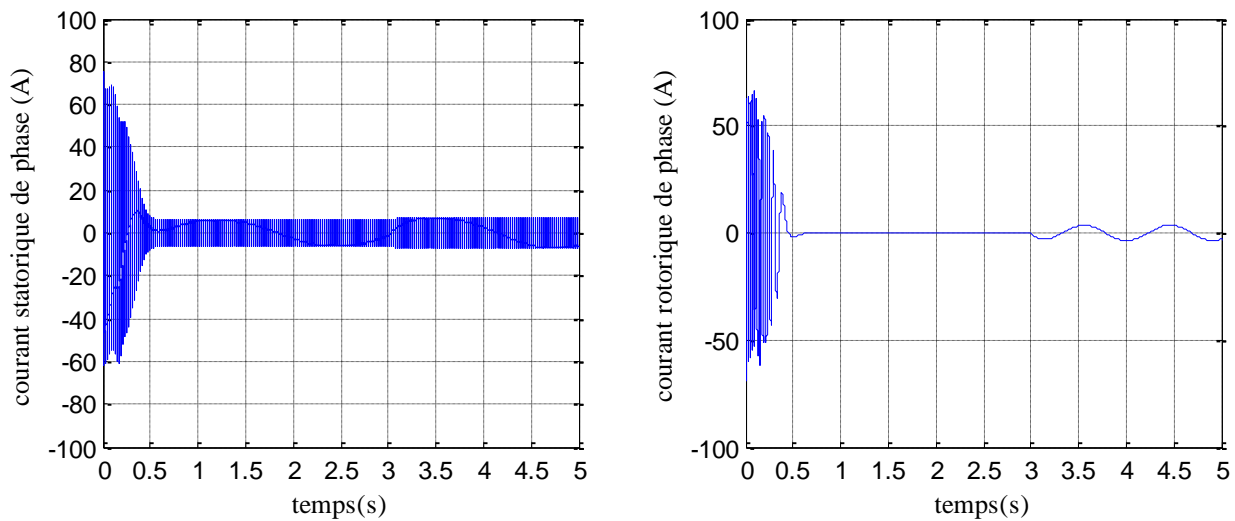


Figure I.4 : Courant statorique et rotorique de phase (I_{sa} et I_{ra})(A).

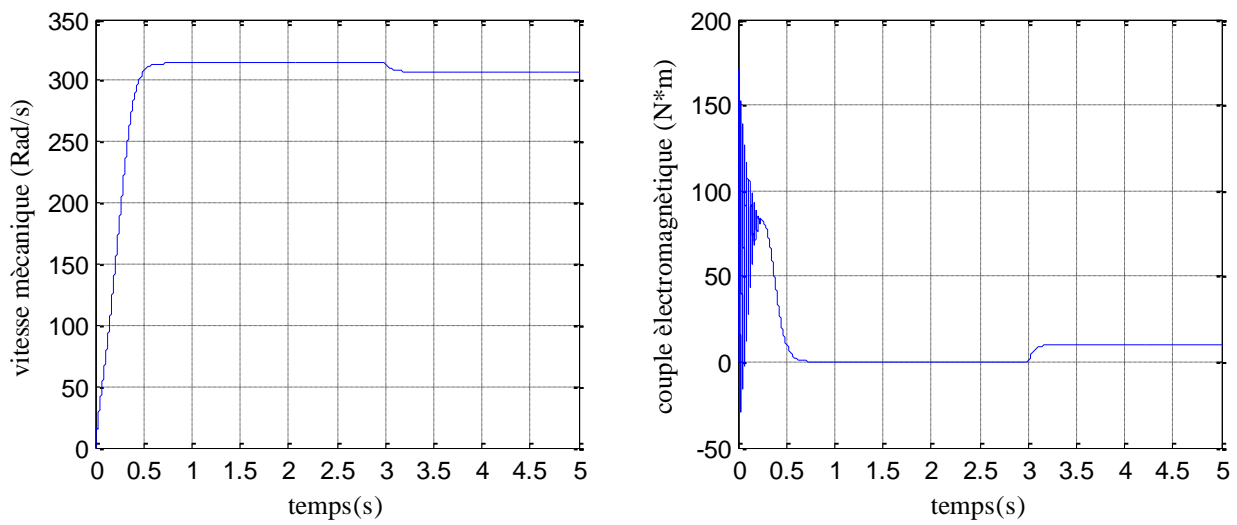


Figure I.5 : Vitesse mécanique et couple électromagnétique.

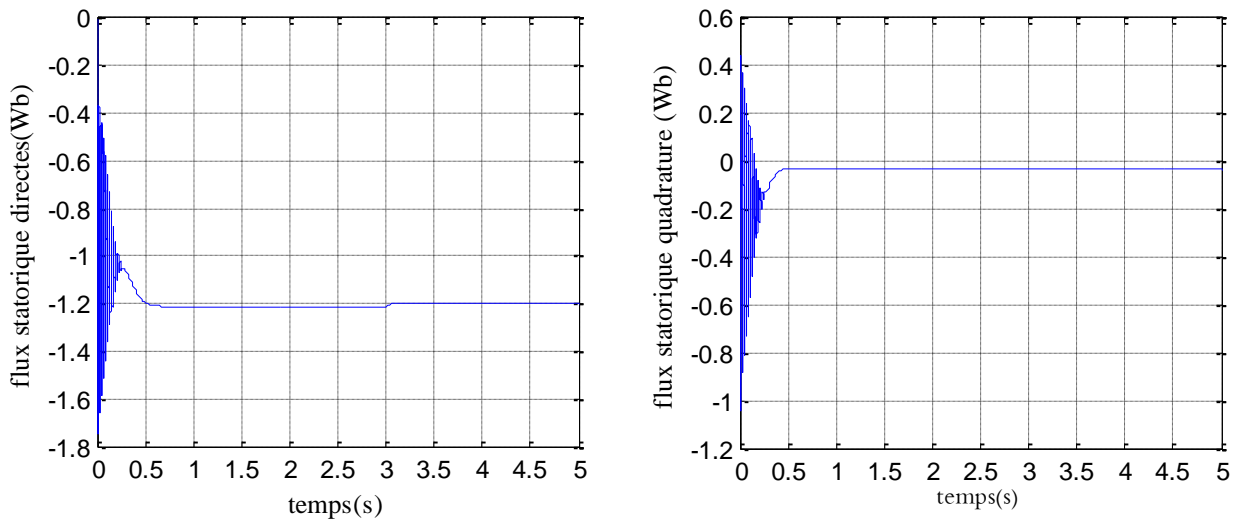


Figure I.6 : Les composantes du flux statorique

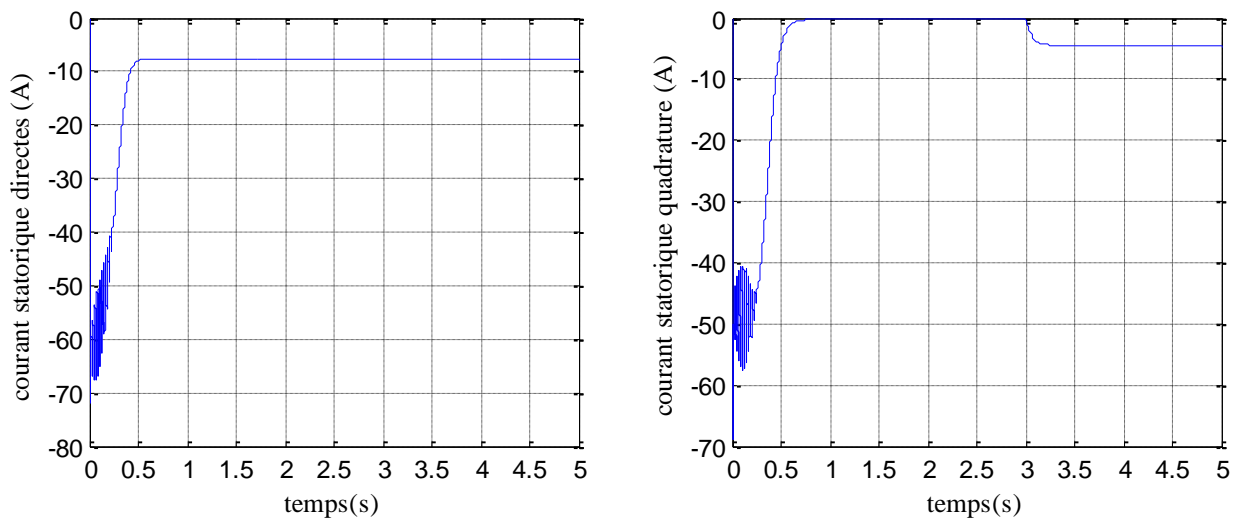


Figure I.7 : Les composantes du courant statorique

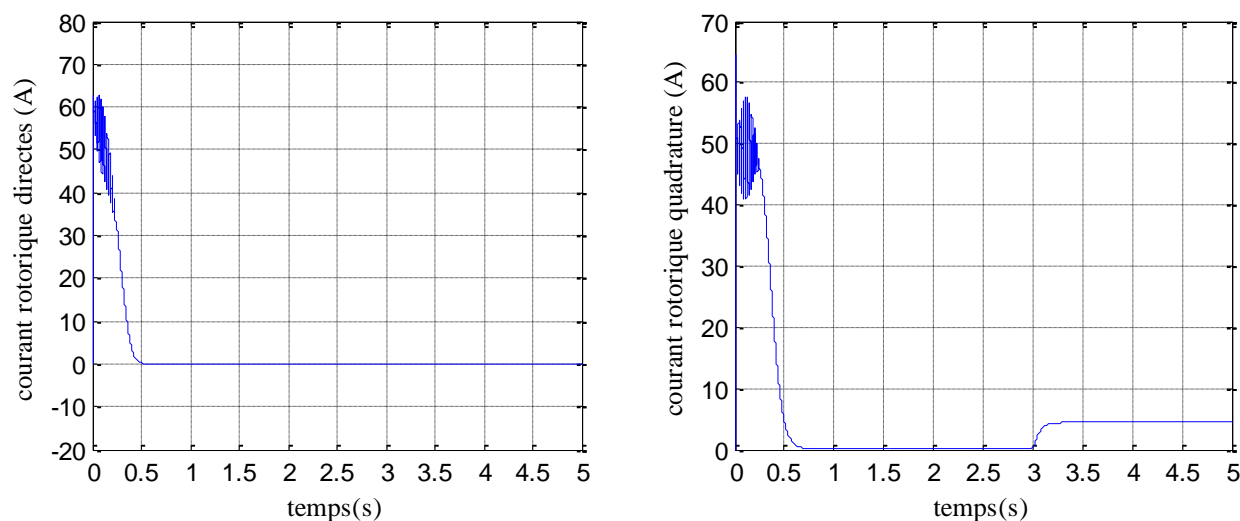


Figure I.8 : Les composantes du courant rotorique

I.3.2 Interprétation des résultats

La modélisation et la simulation de la MADA ont permis de déterminer et d'analyser les différentes caractéristiques du couple, de la vitesse, le flux et des courants. On remarque que toutes les grandeurs passent par un régime transitoire avant l'établissement du régime permanent. Dans le régime transitoire, la machine consomme des courants importants. Après le régime transitoire les courants diminuent et à l'instant de l'application de la charge ils augmentent de nouveau.

Au début, le couple électromagnétique connaît une augmentation significative et des fluctuations. En utilisant un couple résistant, on observe une augmentation du couple électromagnétique, une augmentation de l'amplitude des courants statoriques et une diminution de la vitesse en raison d'un glissement plus important qui affecte les courants rotoriques (vérification de la relation ($f_r = g f_s$)).

I.3.3 Résultats de simulation fonctionnement générateur (GADA)

Les figures ci-dessous présentent les résultats de simulation obtenus pour le modèle d'une machine asynchrone à double alimentation fonctionnant comme un générateur "GADA", entraînée à une vitesse fixe de 1440 tr/min et alimentée directement par deux sources d'alimentation. sources de tension parfaitement triphasée. Le stator est équipé d'une fréquence du réseau de 50Hz et d'une amplitude de $(220 * \sqrt{2} V; 100 * \pi \text{ rad / s}; 50 \text{ Hz})$, et l'autre au niveau du rotor avec une amplitude de $(12 * \sqrt{2} V; 4 * \pi \text{ rad / s}; 2 \text{ Hz})$ et une fréquence égale à la fréquence rotorique.

La vitesse du rotor de la machine est maintenue constante, proche de la vitesse de synchronisation, qui est de 1440 tr/min.

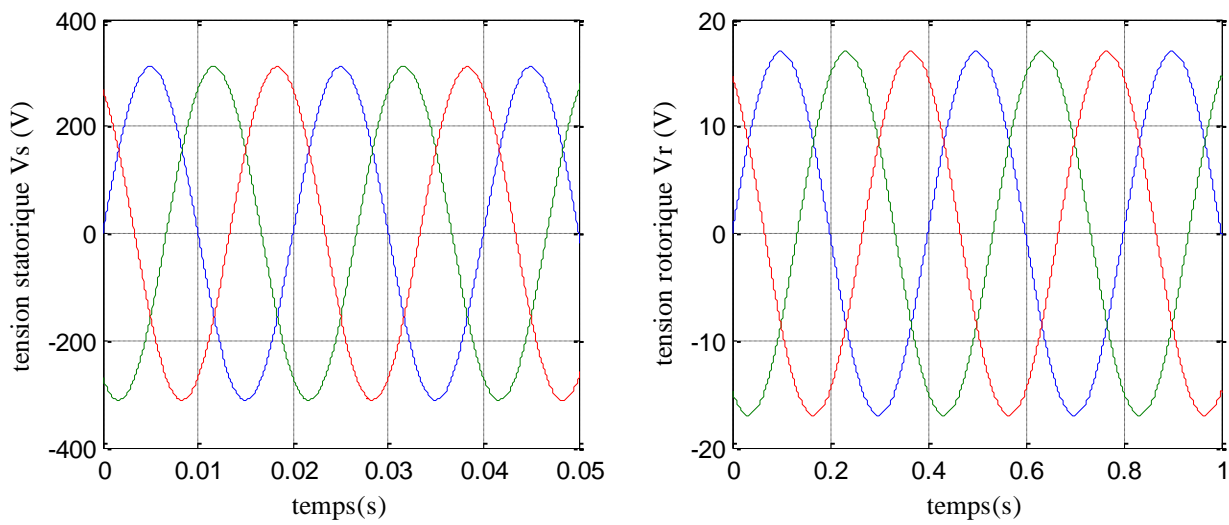


Figure I.9 : Les tensions triphasées appliquées au stator et celle appliquée au rotor de la GADA.

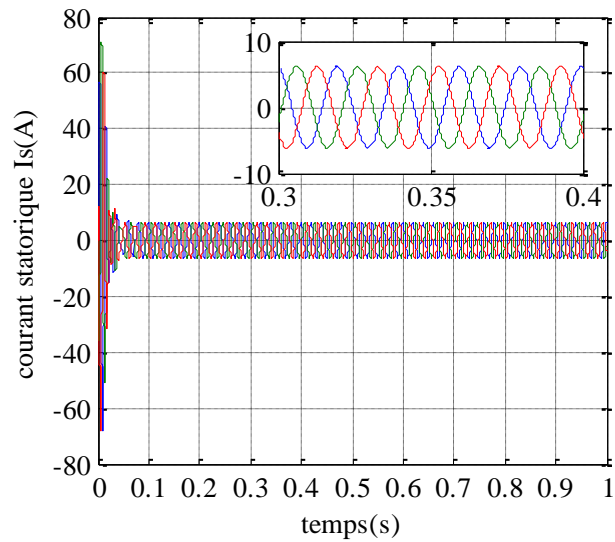


Figure I.10 : Les courant statorique triphasées

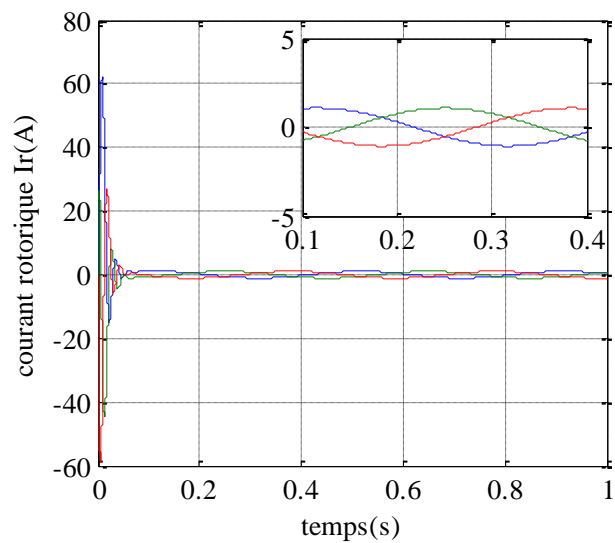


Figure I.11 : Les courant rotorique triphasées

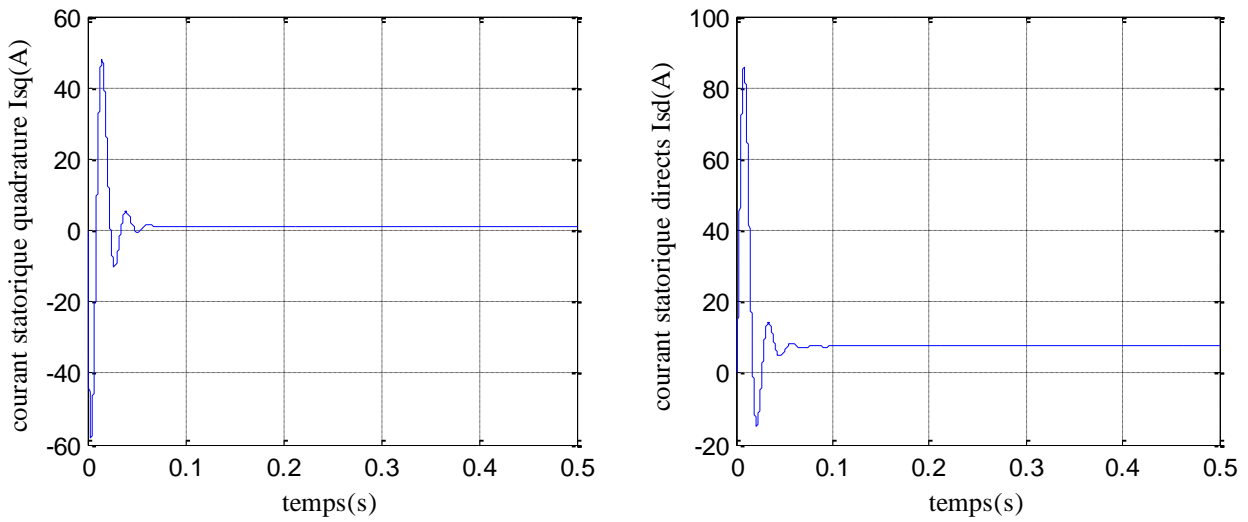


Figure I.12 : Les courant statorique GADA (d,q)

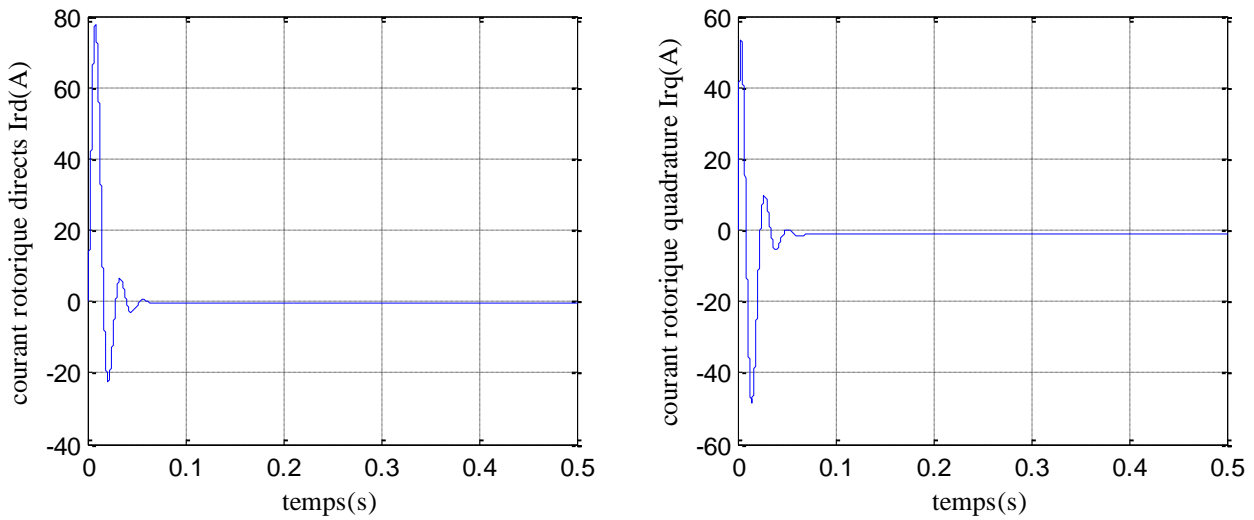


Figure I.13 : Les courant rotorique de GADA (d,q)

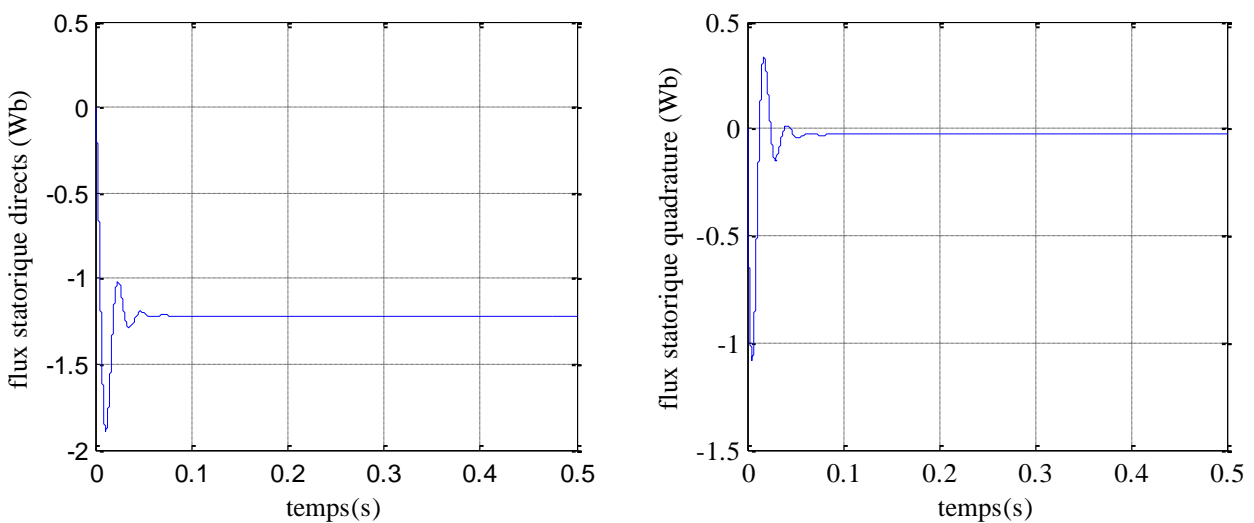


Figure I.14 : Les Flux statorique de GADA (d,q)

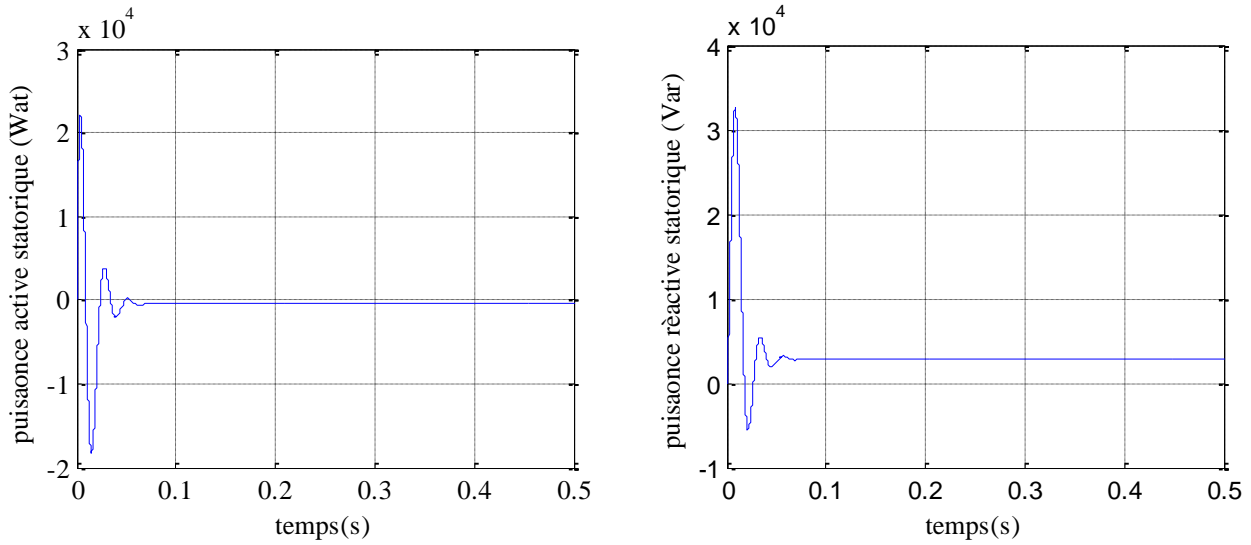


Figure I.15 : Puissance statorique de GADA (P_s, Q_s)

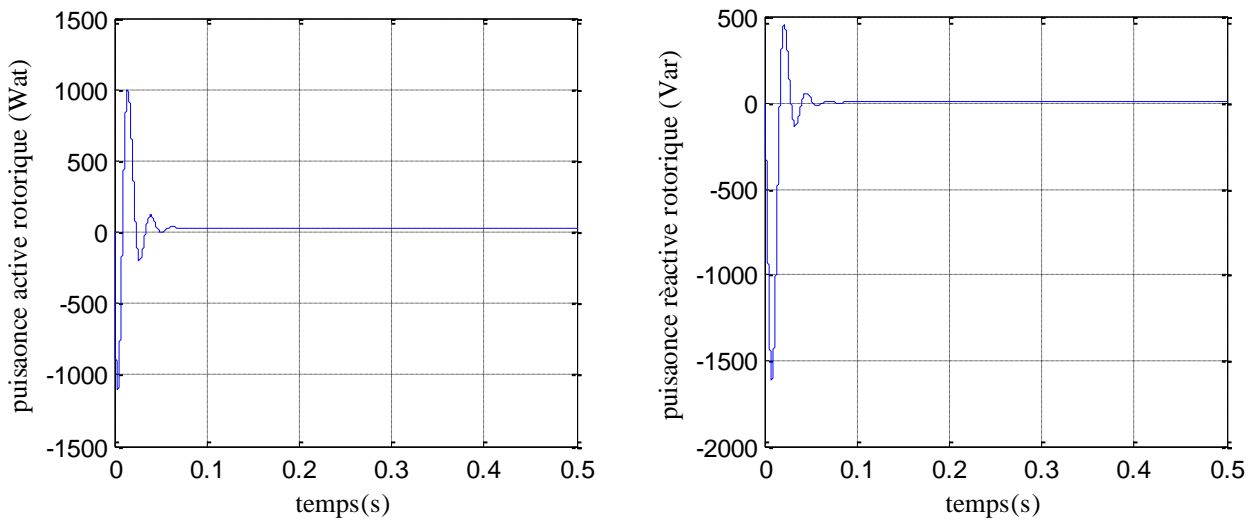


Figure I.16 : Puissance rotorique de GADA (P_r, Q_r)

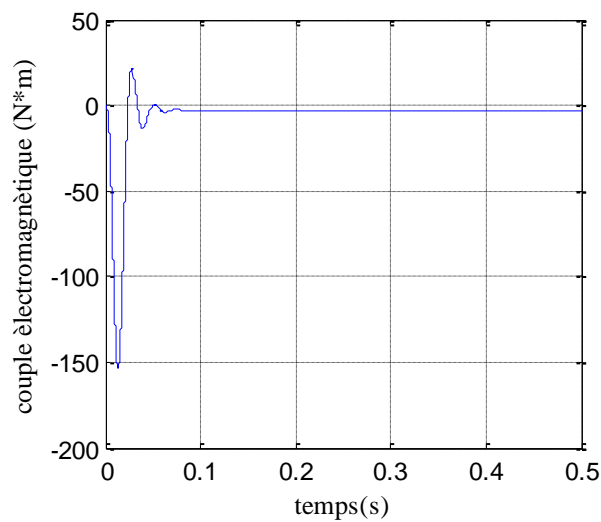


Figure I.17 : Couple électromagnétique de GADA.

I.3.4 Interprétations des résultats

Les résultats obtenus lors de la simulation démontrent l'importance des courants statoriques et rotoriques lors du démarrage. Après environ 0,08 s, ils se stabilisent et prennent leurs formes contenues avec une fréquence de 50 Hz pour les courants statoriques. Le couple électromagnétique est négatif et atteint une valeur maximale (-158 Nm) lors du démarrage.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un modèle dynamique afin d'analyser le comportement de la GADA en prenant en considération certaines hypothèses simplificatrices. Le modèle de la GADA, que nous avons exposé précédemment, est un système à équations différentielles dont les coefficients sont des fonctions périodiques du temps. En utilisant la transformation de R.H. Park, on peut passer du système triphasé au système biphasé de Park.

Les résultats obtenus grâce à la simulation démontrent clairement la validité du modèle de Park, dans le référentiel lié au champ tournant, afin de visualiser les diverses caractéristiques de la machine MADA dans les deux modes (moteur, générateur).

Au chapitre suivant, nous utiliserons ce modèle afin d'analyser la stratégie de contrôle de la machine asynchrone à double alimentation en puissance active et réactive.

Chapitre II

Commande vectorielle des puissances actives et réactives

II.1. Introduction :

La machine à double alimentation à commande vectorielle est une option plus attrayante pour des applications exigeantes telles que l'entraînement à vitesse variable et les systèmes de production d'énergie.

Cette solution est adaptée à toutes les situations où les fluctuations de la vitesse sont restreintes à la vitesse de synchronisation. Comme le glissement est proportionnel à la puissance traitée par le côté rotorique (puissance P de glissement). Cependant, il ne traite qu'une petite partie de la puissance du système global, lors des entraînements à vitesses variables [18].

Dans cette optique, nous avons étudié une loi de commande pour la MADA basée sur l'orientation du flux statorique, utilisée pour la faire fonctionner en génératrice. Cette dernière met en évidence les relations entre les grandeurs statoriques et rotoriques. Ces relations vont permettre d'agir sur les signaux rotoriques en vue de contrôler l'échange de puissance active et réactive entre le stator de la machine et le réseau [19].

II.2. Le principe de la commande vectorielle

Étant donné sa facilité d'installation, la commande vectorielle est une méthode de commande très répandue dans le domaine des entraînements à vitesse variable des machines à courant alternatif. Elle vise à obtenir un certain découplage comme illustré dans la figure (II.1). Afin de maîtriser de manière facile et autonome les puissances actives et réactives produites par la génératrice GADA, on utilise la commande vectorielle [20].

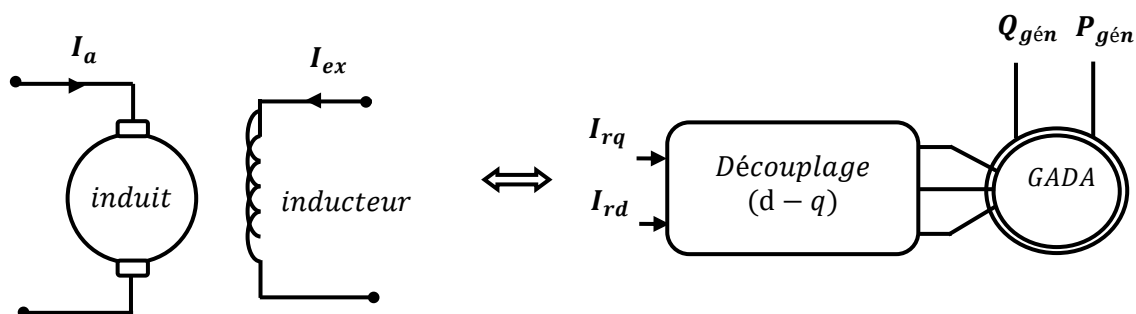


Figure. II.1 : Principe de la commande vectorielle.

II.3. Modèle de la GADA avec orientation du flux statorique

Dans ce qui suit nous allons supposer que l'axe d du repère de Park est orienté suivant le flux statorique. Ce choix n'est pas au hasard mais il se justifie par le fait que la machine est souvent

couplée à un réseau puissant de tension et de fréquence constante, ce qui entraîne un flux constant au stator de la machine [21].

Rappelons le système d'équations différentielles (I.13) et (I.14) décrivant la machine asynchrone dans un repère lié au champ tournant qui est donné par :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \varphi_{sd} \\ V_{rd} = R_r I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \varphi_{rd} \end{cases} \quad (II.1)$$

avec :

Un flux statorique direct constant: $\varphi_{sd} = \varphi_s$.

et un flux statorique en quadrature orienté: $\varphi_{sq} = 0$

Ces équations peuvent être simplifiées comme suit :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \omega_s \varphi_s \\ V_{rd} = R_r I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \varphi_{rd} \end{cases} \quad (II.2)$$

Si on néglige la résistance R_s , qui est une hypothèse souvent acceptée pour les machines de grande puissance, les équations des tensions de la machine se réduisent à la forme suivante, [22], [23] :

$$\begin{cases} V_{sd} = 0 \\ V_{sq} = V_s = \omega_s \cdot \varphi_s \\ V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \varphi_{rd} \end{cases} \quad (II.3)$$

De la même manière que pour les tensions, les équations des flux deviennent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{sd} = \varphi_s = L_s I_{sd} + M I_{rd} \\ \varphi_{sq} = 0 = L_s I_{sq} + M I_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r I_{rd} + M I_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r I_{rq} + M I_{sq} \end{array} \right. \quad (\text{II. 4})$$

II.3.1 Relations entre les courants statoriques et les courants rotoriques

A partir des équations des composantes directe et quadrature du flux statorique (équation (II.4)), nous pouvons alors écrire les équations liant les courants statoriques aux courants rotoriques seront :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{sd} = \frac{\varphi_s}{L_s} - \frac{M}{L_s} I_{rd} \\ I_{sq} = -\frac{M}{L_s} I_{rq} \end{array} \right. \quad (\text{II. 5})$$

II.3.2. Relations entre les puissances statoriques et courants rotoriques

Dans un repère biphasé, les puissances active et réactive statoriques d'une machine asynchrone s'écrivent :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_s = V_{sd} I_{sd} + V_{sq} I_{sq} \\ Q_s = V_{sq} I_{sd} - V_{sd} I_{sq} \end{array} \right. \quad (\text{II. 6})$$

Sous l'hypothèse d'un flux statorique orienté, ce système d'équations peut se simplifier sous la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_s = V_s I_{sq} \\ Q_s = V_s I_{sd} \end{array} \right. \quad (\text{II. 7})$$

En remplaçant les courants statoriques directs et quadratures par leurs expressions dans les équations des puissances active et réactive, on trouve :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_s = -\frac{V_s \cdot M}{L_s} \cdot I_{rq} \\ Q_s = \frac{V_s^2}{\omega_s \cdot L_s} - \frac{V_s \cdot M}{L_s} \cdot I_{rd} \end{array} \right. \quad (\text{II. 8})$$

Il ressort de l'expression (II. 8) que le contrôle des puissances active et réactive au stator est découplé. En effet, avec une inductance magnétisante constante et un réseau électrique puissant, la puissance active sera directement proportionnelle au courant rotorique d'axe q et la puissance réactive proportionnelle au courant rotorique d'axe d à une constante près $\frac{V_s^2}{w_s \cdot L_s}$ imposée par le réseau.

II.3.3. Relations entre les tensions et courants rotoriques

A partir du système d'équation (II. 5), les expressions des flux rotoriques peuvent être écrites sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \varphi_{rd} = \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rd} + \frac{V_s \cdot M}{w_s \cdot L_s} \\ \varphi_{rq} = \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rd} \end{cases} \quad (\text{II. 9})$$

Et $w_r = g \cdot w_s$ on trouve :

$$\begin{cases} V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \frac{dI_{rd}}{dt} - g \cdot w_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \frac{dI_{rq}}{dt} + g \cdot w_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rd} + g \cdot \frac{V_s \cdot M}{L_s} \end{cases} \quad (\text{II. 10})$$

En régime permanent, les dérivées des courants rotoriques biphasés s'annulent, ce qui nous permet d'écrire :

$$\begin{cases} V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} - g \cdot w_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + g \cdot w_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rd} + g \cdot \frac{V_s \cdot M}{L_s} \end{cases} \quad (\text{II. 11})$$

En appliquant la transformation de Laplace à ces deux équations, on obtient :

$$\begin{cases} V_{rd} = \left[R_r + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) s \right] I_{rd} - g \cdot \omega_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rq} \\ V_{rq} = \left[R_r + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) s \right] I_{rq} + g \cdot \omega_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \cdot I_{rd} + g \cdot \frac{V_s \cdot M}{L_s} \end{cases} \quad (\text{II. 12})$$

V_{rd} et V_{rq} sont les composantes diphasées des tensions rotoriques à imposer à la machine pour obtenir les courants rotoriques voulus ;

Avec:

- $\left(\frac{V_s \cdot M}{L_s} \right)$: Le terme de couplage entre les deux axes.
- $g \cdot \left(\frac{M^2}{L_s} \right)$: Une force électromotrice dépendante de la vitesse de rotation.
- g : Coefficient de glissement.

A partir des systèmes d'équations (II.8) et (II.12), nous pouvons établir les relations entre les tensions appliquées au rotor de la machine et les puissances statoriques que cela engendre.

Le schéma bloc représentant le modèle mathématique ainsi simplifié de la GADA est illustré dans la figure (II.2) :

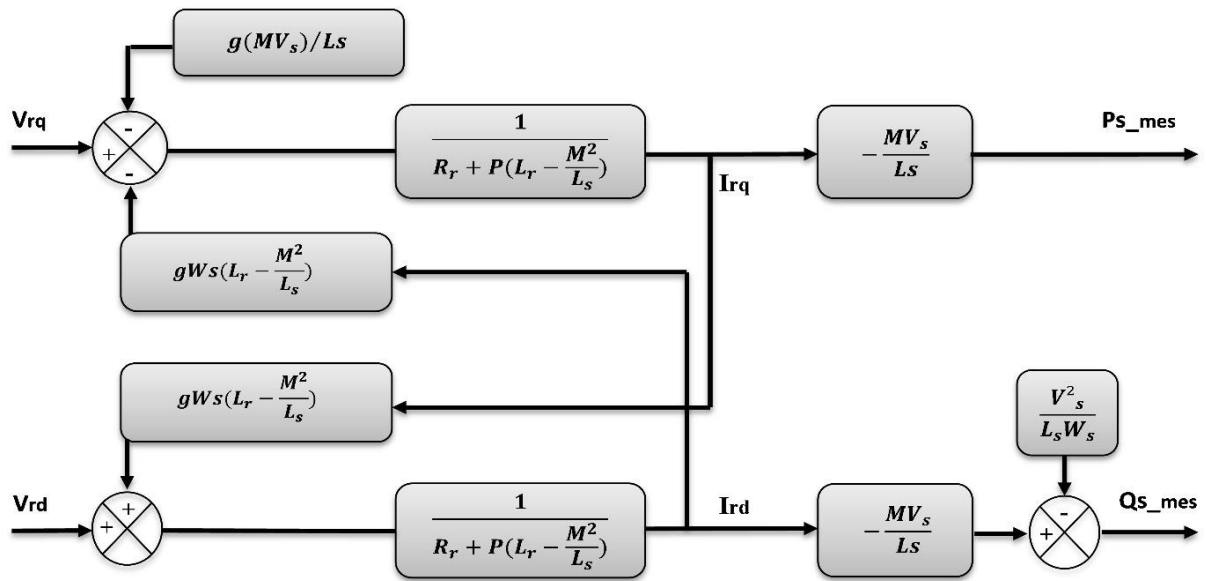


Figure II.2: Modèle simplifié de la MADA pour le contrôle des puissances.

Les fonctions de transfert du premier ordre ont été représentées dans ce schéma pour les deux axes reliant les tensions rotoriques aux puissances actives et réactives statoriques.

Cela nous donne la possibilité de mettre en œuvre une commande vectorielle, car l'influence il y a peu découplage, chaque axe peut être commandé de manière autonome avec son propre régulateur [24].

La puissance active pour l'axe "q" rotorique et la puissance réactive pour l'axe "d" rotorique seront les grandeurs de référence pour ces régulateurs. Il est prévu de maintenir la consigne de puissance réactive nulle afin de garantir un facteur de puissance unitaire du côté du stator, afin d'améliorer la qualité de l'énergie renvoyée sur le réseau [25].

II.3.4 Type des régulateurs utilisés

Maintenant, nous allons réaliser la synthèse des régulateurs requis pour effectuer la commande en puissance active et réactive de la MADA. Le PI demeure le régulateur le plus couramment employé pour contrôler la MADA en génératrice, ainsi que dans de nombreux systèmes de régulation industriels. Les régulateurs de chaque axe ont pour fonction de corriger l'écart entre les puissances active et réactive de référence et les puissances active et réactive mesurées [26].

La forme du correcteur est la suivante : $K_P + \frac{K_I}{P}$

Avec :

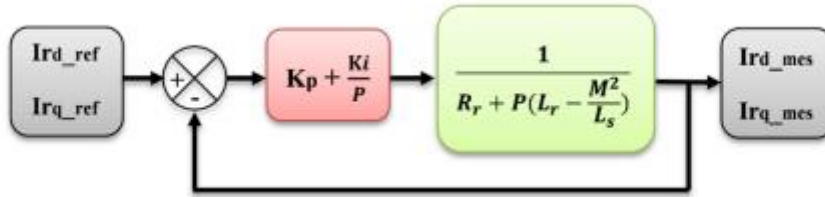
K_P : Est le gain proportionnel du régulateur.

K_i : Est le gain intégral du régulateur.

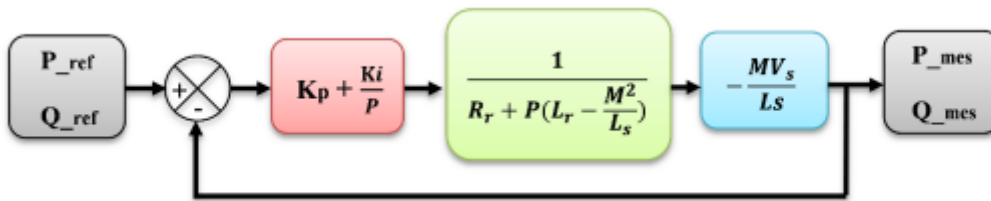
Si on considère la fonction du transfert suivante : $F(P) = \frac{K}{1+\tau P}$

Nous avons donc un système bouclé et corrigé par le régulateur précédemment cité (figure (II.3)).

II. 3.4.2 Système régulé par un régulateur PI



a) Schéma de la régulation des courants rotoriques.



a) Schéma de la régulation des puissances statoriques.

Figure II.3: Schéma de la régulation.

II. 3.4. 3 Calcul des paramètres du régulateur PI

Dans notre travail, nous nous calculons les régulateurs des puissances et les régulateurs des courants rotoriques comme suit :

La fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) avec le régulateur PI s'écrit alors :

$$F_{Bo}(P) = \left(\frac{K_p + \frac{K_i}{P}}{1 + \tau P} \right) = \left(\frac{K(K_p P + K_i)}{P(1 + \tau P)} \right) = K K_i \frac{1 + \left(\frac{K_p P}{K_i} \right)}{P(1 + \tau P)}$$

On prend : $\tau = \frac{K_p}{K_i}$

Alors : $F_{Bo}(P) = \frac{K_i K}{P}$

En boucle fermée, la fonction de transfert s'écrit comme suit : $F_{BF}(P) = \left(\frac{1}{1 + \tau_r P} \right)$

$$\text{Et on a : } F_{BF}(P) = \left(\frac{KK_i}{KK_i + P} \right) = \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{KK_i}P} \right) \rightarrow \tau_r = \frac{1}{KK_i}$$

Avec :

τ_r : Le temps de repense du système corrigé qui doit être suffisamment rapide. Ainsi, les gains du régulateur peuvent être exprimés de la manière suivante :

$$\text{Or } k_i = \frac{k_p}{\tau} \text{ alors } \tau_r = \frac{\tau}{K_p K}$$

$$K_p = \frac{\tau}{\tau_r k}$$

$$\text{Donc : } K_i = \frac{1}{\tau_r K}$$

Le temps de réponse sera choisi lors de la simulation afin d'offrir le meilleur compromis entre performances et rapidité.

II.4 Les types de commande vectorielle :

L'utilisation de la commande vectorielle des machines asynchrones à double alimentation requiert des performances élevées dynamique. Pour cela, nous devons connaître, avec exactitude, le vecteur flux statorique (amplitude et phase). Deux méthodes ont été développées soit :

- ❖ La commande vectorielle directe.
- ❖ La commande vectorielle indirecte.

Dans notre travail, nous nous intéressons à l'étude de la commande vectorielle indirecte à flux statorique orienté.

II.4.1 Commande vectorielle indirecte

L'objectif de cette méthode est d'évaluer les tensions rotoriques en se basant sur les valeurs des puissances actives et réactives. Donc, les courants rotoriques seront contrôlés de manière indirecte.

II.4.1.1 Commande en boucle ouverte

La commande en boucle ouverte repose principalement sur l'hypothèse d'un réseau qui maintient une tension et une fréquence stables. Elle implique de ne pas asservir les puissances, mais plutôt de les asservir en utilisant les courants rotoriques d'axe d et q, on peut observer directement les courants rotoriques en n'utilisant pas les puissances mesurées comme retour sur le comparateur [27].

Les références des courants rotoriques direct et quadrature sont déduites en utilisant les expressions de la puissance active et réactive statoriques du système (II.8).

$$\begin{cases} I_{qr_ref} = \frac{L_s}{V_s M} P_{s_ref} \\ I_{dr_ref} = \frac{L_s}{V_s M} \varphi_{s_ref} + \frac{V_s}{W_s M} \end{cases}$$

Le schéma bloc ci-dessous utilise ces courants comme références à la place des références sur les puissances active et réactive.

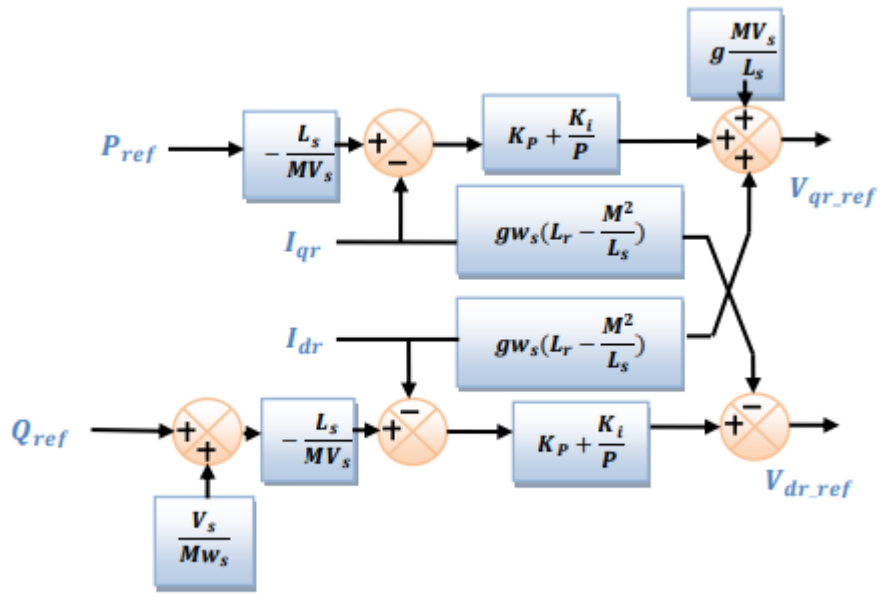


Figure II.4 : Schéma bloc de la commande indirecte en boucle ouverte.

Le schéma bloc ci-dessus utilise ces courants comme références à la place des références sur les puissances active et réactive.

II.4.1.2 Commande en boucle fermée

Cette commande consiste à réguler les puissances statoriques et les courants rotoriques en cascade, pour cela nous allons mettre en place deux boucles de régulation sur chaque axe avec un régulateur proportionnel intégral pour chacune, l'une réglant la puissance et l'autre le courant, puisqu'elle permet de contrôler séparément les courants I_{rd} et I_{rq} et les puissances P_s et Q_s en boucle fermée [9]. Nous obtenons ainsi la structure de commande présentée sur la figure suivante.

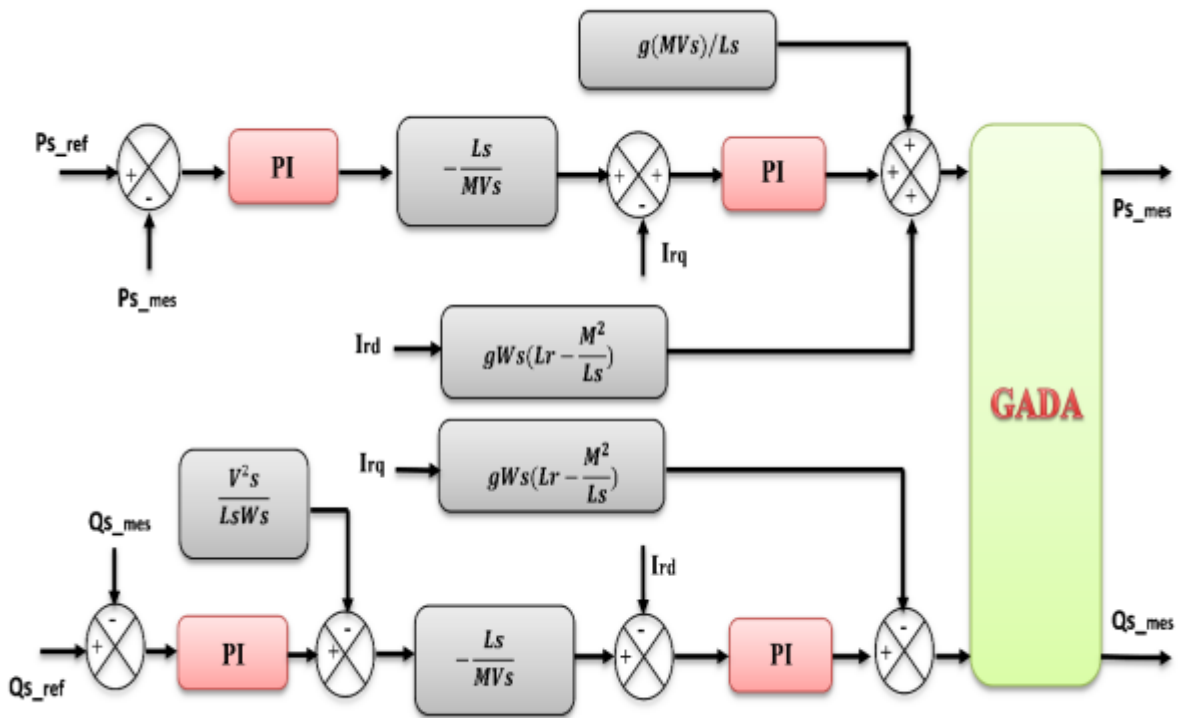


Figure II.5 Schéma bloc de la commande indirecte en boucle fermée.

II.4. 3 Résultats de simulation :

Nous avons obtenu les résultats suivants en utilisant les lois de commande en puissance active et réactive que nous venons de présenter sur le modèle de la machine asynchrone à double alimentation

Une puissance active $P = -3000W$ est utilisée entre $t=1s$ et $t=3s$, tandis qu'une puissance réactive $Q = 1000VAR$ est utilisée entre $t=2s$ et $t=4s$.

Les figures ci-dessous montrent les performances de la commande vectorielle en puissance actives et réactives statorique appliquée à la GADA et entraînée à une vitesse fixe : 1440tr/min

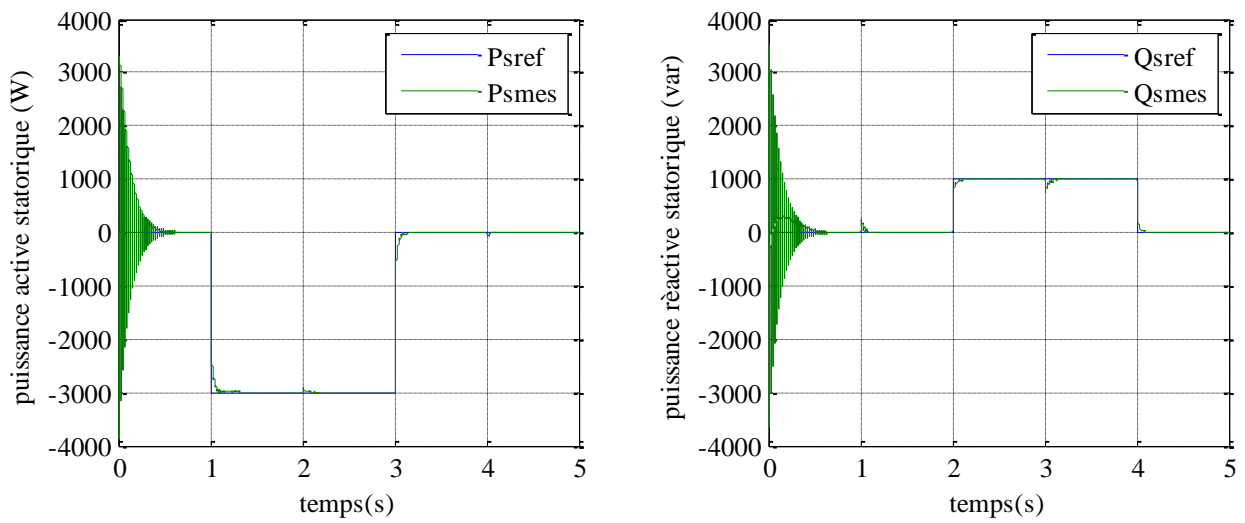


Figure. II.6 Les puissances active et réactive statorique et sont références.

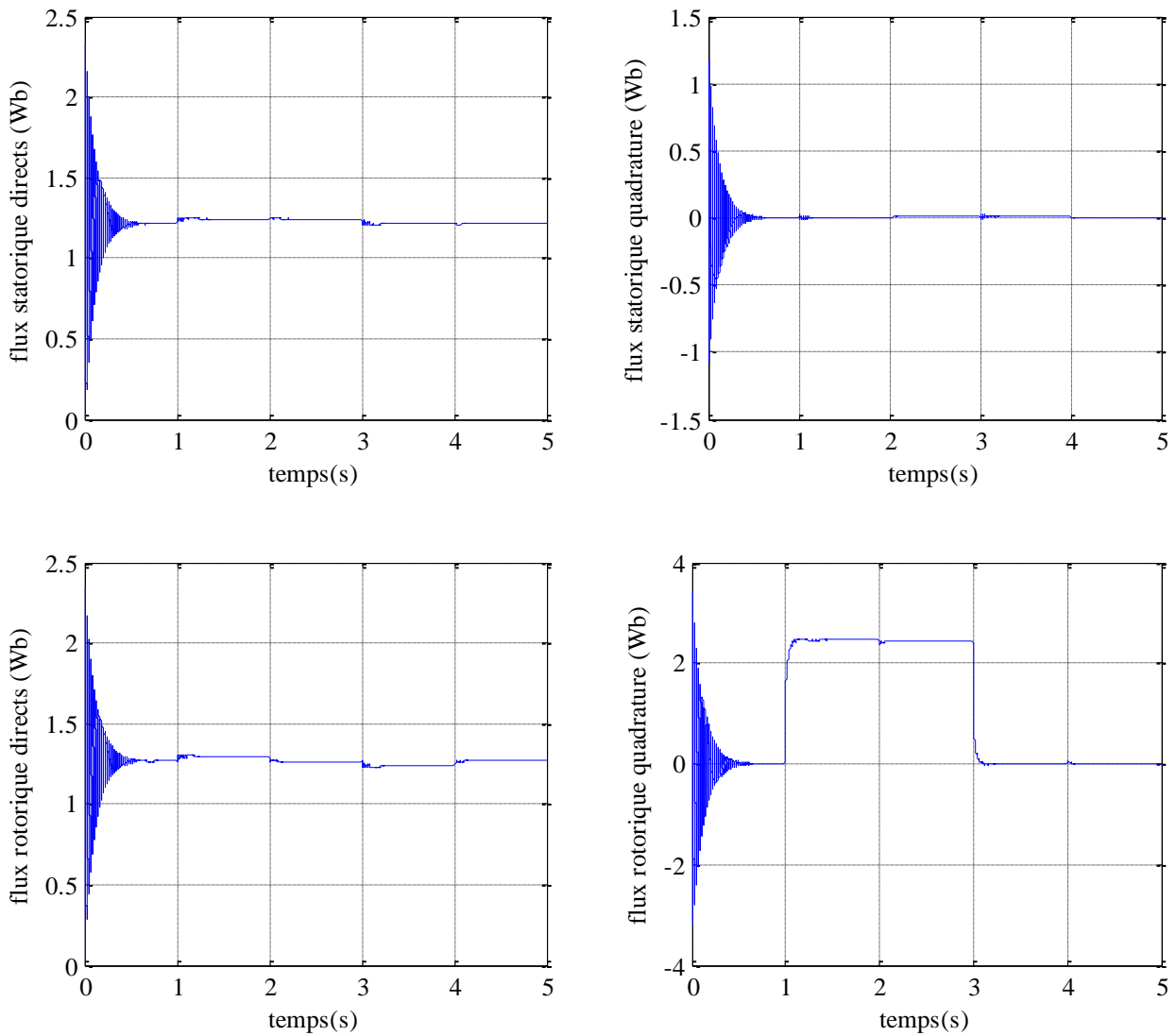


Figure. II.7 Les composantes du flux rotorique et statorique selon selon l'axe d et q .

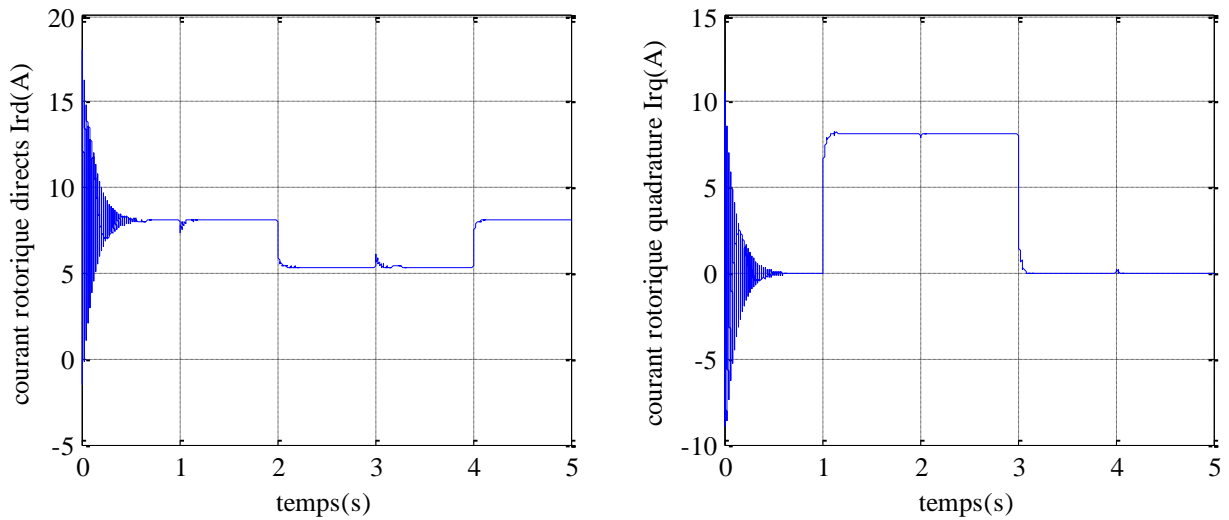
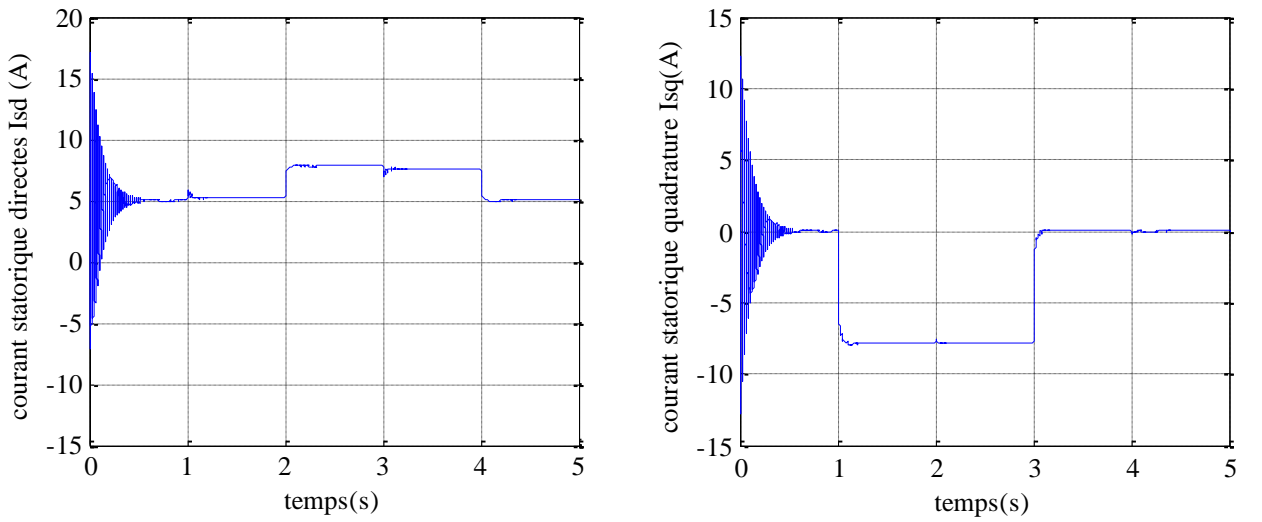


Figure. II.8 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q

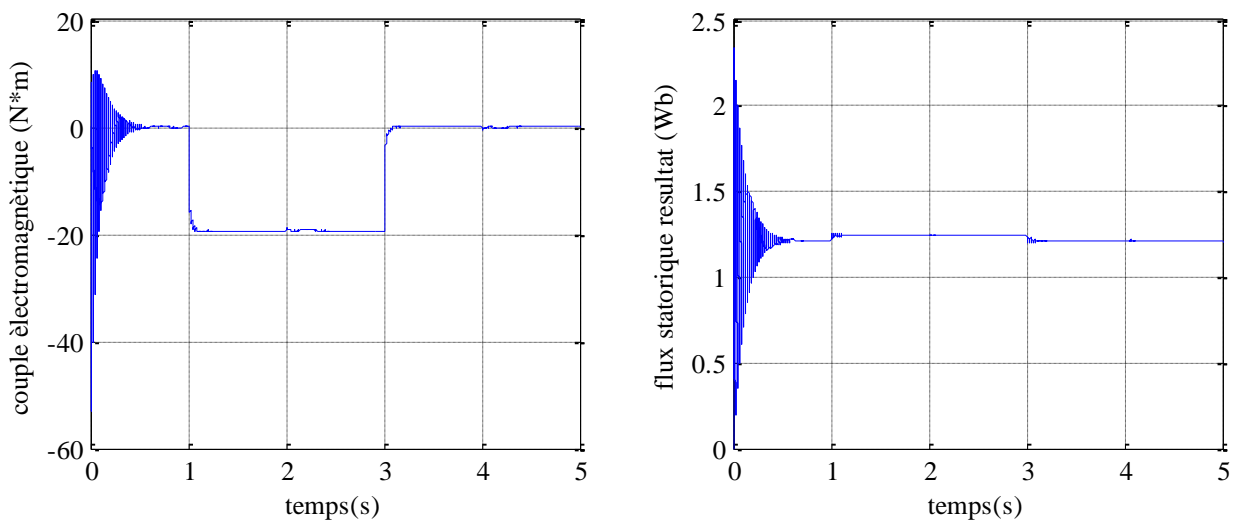


Figure. II.8 Le couple électromagnétique et le flux statorique résultant

II.4.4 Interprétation des résultats

Pour évaluer et tester la technique de contrôle indirecte des puissances active et réactive par des régulateurs PI, une étude de simulation a été effectuée sous l'environnement MATLAB. Dans cette section, on est amené à représenter toutes les figures de simulation qui nous permettent d'évaluer les performances apportées par le système de réglage considéré pour un fonctionnement à vitesse constante. D'après ces résultats on constate que :

La puissance active du côté statorique est négative entre les instant $t=1s$ et $t= 3s$ ce qui signifie que le réseau dans ce cas est un récepteur de l'énergie fournie par la GADA.

On obtient des bons résultats en termes de dynamique et de réponse aux consignes des puissances active et réactive imposées, comme on peut le voir sur les figures (II.6) .

Nous pouvons constater que le flux statorique suit sa référence suivant l'axe (d) avec une composante quadrature presque nulle, ce qui signifie que le découplage de la machine est réalisé avec succès.

Nous pouvons également observer la présence d'une erreur statique sur les deux axes ceci est du au fait que dans ce mode de contrôle (figure II.7), Or les équations utilisées pour la reconstruction sont basées sur le modèle simplifié qui néglige la résistance R_s .

II.5 CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de synthétiser la commande vectorielle en termes de puissance active et réactive du stator pour une génératrice asynchrone à double alimentation. Le choix d'orienter le flux statorique selon l'axe 'd'a été décidé. Cette technique d'orientation du flux statorique permet de découpler le flux et les puissances, de telle sorte que la composante directe du courant rotorique régule la puissance réactive, tandis que la composante en quadrature contrôle la puissance active. Cette approche nous offre des performances dynamiques élevées comparables à celles de la MCC.

Chapitre III

*Commande hybride backstepping-floue des
puissances active et réactive*

III.1 Introduction

Les systèmes de commandes sont constamment soucieux d'améliorer leurs performances, ce qui entraîne des modélisations de plus en plus précises. Cependant, si un modèle permet de comprendre le comportement d'un système dans une large gamme de fonctionnement, il est souvent non linéaire. Par conséquent, les méthodes d'analyse et/ou de synthèse de lois de commande, employées dans le domaine linéaire, sont devenues obsolètes et irréductibles à certains phénomènes dont les systèmes non linéaires sont le théâtre.

D'autres approches, plus complexes, s'imposent alors. On donne quelques exemples de ces phénomènes. [28]

III.2 Commande Backstepping

Le backstepping peut être utilisé pour une grande variété de systèmes non linéaires, peu importe leur ordre. C'est une méthode qui permet de construire récursivement, d'une manière systématique et directe, la loi de commande, la dynamique d'adaptation et la fonction de Lyapunov qui assurent la stabilité de l'ensemble. [29]

Dans les prochaines parties de ce chapitre, nous examinerons en détail les principes et les éléments de conception du contrôle backstepping, en mettant l'accent sur son application au GADA. On abordera des études de cas concrets, des analyses de performances et des considérations pratiques afin de démontrer l'efficacité et le potentiel du contrôle backstepping dans l'amélioration du fonctionnement et du contrôle des systèmes basés sur GADA.

III. 2.1 principes de la commande backstepping

Le principe de la méthode backstepping, on considère le cas des systèmes non linéaires de la forme :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)x_3 \\ \dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, x_n) + g_n(x_1, x_2, x_n) \cdot u \end{cases} \quad (\text{III. 1})$$

Où, g_i et f_i ($i = 1, 2, n$) sont des fonctions non linéaires connues telles que $f_i(0) = 0$ et $g_i(x) \neq 0, \forall (x_1, x_2, x_n) \in R^3$. On désire faire suivre à la sortie $y = x_1$ le signal de référence y_r , où $y_r, \dot{y}_r, \ddot{y}_r$ et y_r^3 sont supposées connues et uniformément bornées. Le système étant du troisième ordre, le design s'effectue en trois étapes.

Etape 1 :

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \quad (\text{III. 2})$$

La variable d'état x_2 est traitée comme une commande et on définit la première valeur désirée :

$$(x_1)_d = \alpha_0 = y_r \quad (\text{III. 3})$$

Ce qui conduit à l'erreur de régulation suivante :

$$e_1 = x_1 - \alpha_0 \quad (\text{III. 4})$$

Ainsi sa dérivée est :

$$\dot{e}_1 = \dot{x}_1 - \dot{\alpha}_0 = f_1 + g_1x_2 - \dot{\alpha}_0 \quad (\text{III. 5})$$

Pour un tel système, la fonction quadratique est :

$$V_1(e_1) = \frac{1}{2} e_1^2 \quad (\text{III. 6})$$

Sa dérivée est donnée par :

$$\dot{V}_1 = e_1 \dot{e}_1 = e_1 [f_1 + g_1x_2 - \dot{\alpha}_0] \quad (\text{III. 7})$$

Un choix judicieux de x_2 rendrait V négative et assurerait la stabilité pour la dynamique de (III.2). Ce choix est donné comme suit :

$$(x_2)_d = \alpha_1 = \frac{1}{g_1} [-k_1 e_1 - f_1 + \dot{\alpha}_0] \quad (\text{III. 8})$$

où $k_1 > 0$ est un paramètre de design.

Par conséquent, l'équation (III.7) devient :

$$\dot{V}_1 = -k_1 e_1^2 \leq 0 \quad (\text{III. 9})$$

Etape 2 :

On considère, dans ce cas, les deux premiers sous-systèmes :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)x_3 \end{cases} \quad (\text{III. 10})$$

L'erreur de régulation c'est :

$$e_2 = x_2 - \alpha_1 \quad (\text{III. 11})$$

La dynamique des erreurs (e_1, e_2) s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = f_1 + g_1(e_2 - \alpha_1) - \dot{\alpha}_0 \\ \dot{e}_2 = f_2 + g_2 x_3 - \dot{\alpha}_1 \end{cases} \quad (\text{III. 12})$$

La fonction de Lyapunov étendue est :

$$V_2(e_1, e_2) = V_1 + \frac{1}{2} e_2^2 \quad (\text{III. 13})$$

Cette fonction de Lyapunov a pour dérivée :

$$\begin{aligned} \dot{V}_2(e_1, e_2) &= \dot{V}_1 + e_2 \dot{e}_2 \\ &= e_1 [f_1 + g_1(e_2 + \alpha_1) - \dot{\alpha}_0] + [f_2 + g_2 x_3 - \dot{\alpha}_1] \\ &= -k_1 e_1^2 + e_2 [f_2 + g_1 e_1 + g_2 x_3 - \dot{\alpha}_1] \end{aligned} \quad (\text{III. 12})$$

On prend x_3 comme une deuxième commande virtuelle, et sa valeur est donnée par :

$$(x_3)_d = \alpha_2 = \frac{1}{g_2} [\dot{\alpha}_1 - g_1 e_1 - f_2 - k_2 e_2] \quad (\text{III. 13})$$

Où $k_2 > 0$, avec $\dot{\alpha}_1$ calculée analytiquement

$$\dot{\alpha}_1 = \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_1} \dot{x}_1 + \frac{\partial \alpha_1}{\partial y_r} \dot{y}_r + \frac{\partial \alpha_1}{\partial \dot{y}_r} \ddot{y}_r \quad (\text{III. 14})$$

Un tel choix permet de réduire la dérivée à :

$$\dot{V}_2 \leq -k_1 e_1^2 - k_2 e_2^2 \leq 0 \quad (\text{III. 15})$$

Etape n :

De la même façon, pour cette étape la référence à suivre sera :

$$(x_n)_d = a_{n-1} \quad (\text{III. 16})$$

$$e_n = x_n - \alpha_{n-1} \quad (\text{III. 17})$$

Sa dérivée est

$$\begin{aligned} \dot{e}_n &= \dot{x}_n - \dot{\alpha}_{n-1} \\ \dot{e}_n &= f_n(x_1, \dots, x_n) + g_n(x_1, \dots, x_n)u - \dot{\alpha}_{n-1} \end{aligned} \quad (\text{III. 18})$$

Pour le système (III.18), la fonction de Lyapunov étendue est :

$$V_n(e_1, \dots, e_n) = V_1 + \dots + \frac{1}{2} e_n^2 \quad (\text{III.19})$$

$$V_n(e_1, \dots, e_2) = \frac{1}{2} [e_1^2 + \dots + e_n^2]$$

Sa dérivée est :

$$\dot{V}_n(e_1, \dots, e_n) = \dot{V}_1 + \dots + e_n \dot{e}_n \quad (\text{III.20})$$

$$\dot{V}_n(e_1, \dots, e_n) = -K_1 e_1^2 + \dots + e_n [f_n(x_1, \dots, x_n) + g_n(x_1, \dots, x_n)u - \dot{\alpha}_{n-1}]$$

Dans cette dernière étape, on est arrivé à déduire la loi de commande pour le système entier. Un bon choix doit satisfaire :

$$f_n(x_1, \dots, x_n) + g_n(x_1, \dots, x_n)u - \dot{\alpha}_{n-1} = -K_n e_n \quad (\text{III.21})$$

Où $K_n > 0$ est une constante de conception

Ainsi, la loi de commande pour le système entier sera donnée par :

$$u = \frac{1}{g_n(x_1, \dots, x_n)} [-K_n e_n + \dot{\alpha}_{n-1} - f_n(x_1, \dots, x_n)] \quad (\text{III.22})$$

Ce qui garantit la négativité de la dérivée de la fonction de Lyapunov étendue :

III.2.2 Application de la commande par Backstepping à la GADA

La configuration de la commande backstepping pour la machine asynchrone à double alimentation est élaborée de manière à maintenir la structure générale d'une commande vectorielle de flux, afin d'assurer des performances optimales tout en assurant une régulation et une limitation des courants.

Grâce à cette méthode, nous pouvons identifier les éléments constitutifs des tensions de commande d'alimentation de la machine, tout en garantissant la stabilité globale grâce à la théorie diachronique. Grâce à cette commande hybride, il est possible de suivre et de contrôler simultanément les puissances actives et réactives générées, en garantissant à chaque fois des dynamiques stables pour les erreurs entre les grandeurs de référence et celles réelles des puissances [30].

III.2.2.1 Modèle de la génératrice asynchrone à double alimentation

La technique backstepping est basé sur le contrôle vectoriel comme nous avons fait dans le précédent chapitre.

Dans ce cas, la commande sera appliquée dans le repère (d, q) en considérant l'orientation du flux statorique suivant :

$$\begin{cases} \varphi_{rd} = \varphi_s \\ \varphi_{sq} = 0 \end{cases} \quad (\text{III. 23})$$

Dans cette partie, on considère le nouveau modèle de la MADA dans le repère $(d q)$ donné par :

$$\begin{cases} V_{sd} = 0 \\ V_{sq} = V_s = w_s \cdot \varphi_s \\ V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - w_r \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + w_r \varphi_{rd} \end{cases} \quad (\text{III. 24})$$

❖ Relations entre puissances statoriques et courants rotoriques

$$\begin{cases} P_s^{ref} = -\frac{V_s \cdot M}{L_s} \cdot I_{rq}^{ref} \\ Q_s^{ref} = \frac{V_s^2}{w_s \cdot L_s} - \frac{V_s \cdot M}{L_s} \cdot I_{rd}^{ref} \end{cases} \quad (\text{III. 25})$$

$$\begin{cases} I_{rq}^{ref} = -\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot P_s^{ref} \\ I_{rd}^{ref} = \frac{V_s}{w_s \cdot M} - \frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot Q_s^{ref} \end{cases} \quad (\text{III. 26})$$

❖ Equations des dérivées de courants rotoriques de références

$$\begin{cases} \dot{I}_{rq}^{ref} = -\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot \dot{P}_s^{ref} \\ \dot{I}_{rd}^{ref} = -\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot \dot{Q}_s^{ref} \end{cases} \quad (\text{III. 27})$$

❖ Equations des dérivées de courants rotoriques

$$\begin{cases} \frac{dI_{rd}}{dt} = (V_{rd} - R_r \cdot I_{rd} + g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rq}) \cdot \frac{1}{L_r \sigma} \\ \frac{dI_{rq}}{dt} = (V_{rq} - R_r \cdot I_{rq} - g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rd} - g \cdot w_s \cdot \frac{M \cdot V_s}{w_s \cdot L_s}) \cdot \frac{1}{L_r \sigma} \end{cases} \quad (\text{III. 28})$$

III.2.2.2 Synthèse de la loi de commande

La combinaison du contrôle vectoriel et du backstepping nous permet d'éliminer les régulateurs PI dans le contrôle vectoriel par un algorithme de contrôle. Le calcul des grandeurs de références des

courants et des tensions de commande se fait sur la base des fonctions de Lyapunov [16].

Cette commande est basée sur deux étapes qui sont données comme suit:

- **Etape 1**

Cette étape consiste à identifier les erreurs " E_1 " et " E_2 ", qui représentent respectivement l'erreur entre la puissance active statorique réelle " P_s " et la puissance de référence " P_s^{ref} " qui sera directement proportionnelle au courant rotorique d'axe q , ainsi que la puissance réactive statorique " Q_s " et celui de référence " Q_s^{ref} " qui sera proportionnelle au courant rotorique d'axe d .

$$\begin{cases} E_1 = (I_{rq}^{ref} - I_{rq}) \\ E_2 = (I_{rd}^{ref} - I_{rd}) \end{cases} \quad (III.29)$$

La dérivée de cette erreur est donnée par :

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = (\dot{I}_{rq}^{ref} - \dot{I}_{rq}) \\ \dot{E}_2 = (\dot{I}_{rd}^{ref} - \dot{I}_{rd}) \end{cases} \quad (III.30)$$

La première fonction de Lyapunov est définie par :

$$v = \frac{1}{2} (E_1^2 + E_2^2) \quad (III.31)$$

Pour avoir la dérivée de la fonction de Lyapunov nulle, il faut choisir les erreurs comme suit :

$$\dot{E}_1 = -K_1 E_1 \quad \text{Et} \quad \dot{E}_2 = -K_2 E_2$$

Alors la dérivée de la fonction de Lyapunov par rapport au temps devient :

$$\dot{v} = -K_1 E_1^2 - K_2 E_2^2 \quad , \quad K_1 > 0 \quad \text{ET} \quad K_2 > 0 \quad (III.32)$$

A partir des équations (III.27) et (III.28), la dérivée des erreurs " E_1 ", " E_2 " devient :

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot P_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot (V_{rq} - R_r \cdot I_{rq} - g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rd} - g \cdot \frac{M \cdot V_s}{L_s}) \right) \\ \dot{E}_2 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot Q_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot (V_{rd} - R_r \cdot I_{rd} + g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rq}) \right) \end{cases} \quad (III.33)$$

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot P_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot V_{rq} - \frac{1}{L_r \sigma} \left(-R_r \cdot I_{rq} - g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rd} - g \cdot \frac{M \cdot V_s}{L_s} \right) \right) \\ \dot{E}_2 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot Q_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot V_{rd} - \frac{1}{L_r \sigma} \left(-R_r \cdot I_{rd} + g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rq} \right) \right) \end{cases} \quad (III.34)$$

On a remplacé \dot{E}_1 pour $-K_1 E_1$ et \dot{E}_2 pour $-K_2 E_2$ comme suivent :

$$\begin{cases} -K_1 E_1 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot P_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot V_{rq} - \frac{1}{L_r \sigma} \left(-R_r \cdot I_{rq} - g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rd} - g \cdot \frac{M \cdot V_s}{L_s} \right) \right) \\ -K_2 E_2 = \left(\left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot Q_s^{ref} \right) - \frac{1}{L_r \sigma} \cdot V_{rd} - \frac{1}{L_r \sigma} \left(-R_r \cdot I_{rd} + g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rq} \right) \right) \end{cases} \quad (III.35)$$

On a trouve V_{rq} et V_{rd}

$$\begin{cases} V_{rq} = \left(L_r \sigma \left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot P_s^{ref} + K_1 E_1 \right) + R_r \cdot I_{rq} + g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rd} + g \cdot \frac{M \cdot V_s}{L_s} \right) \\ V_{rd} = \left(L_r \sigma \left(-\frac{L_s}{V_s \cdot M} \cdot Q_s^{ref} + K_2 E_2 \right) + R_r \cdot I_{rd} - g \cdot w_s \cdot L_r \cdot \sigma \cdot I_{rq} \right) \end{cases} \quad (III.36)$$

Le schéma bloc de la commande par backstepping est illustré par la figure ci-dessous

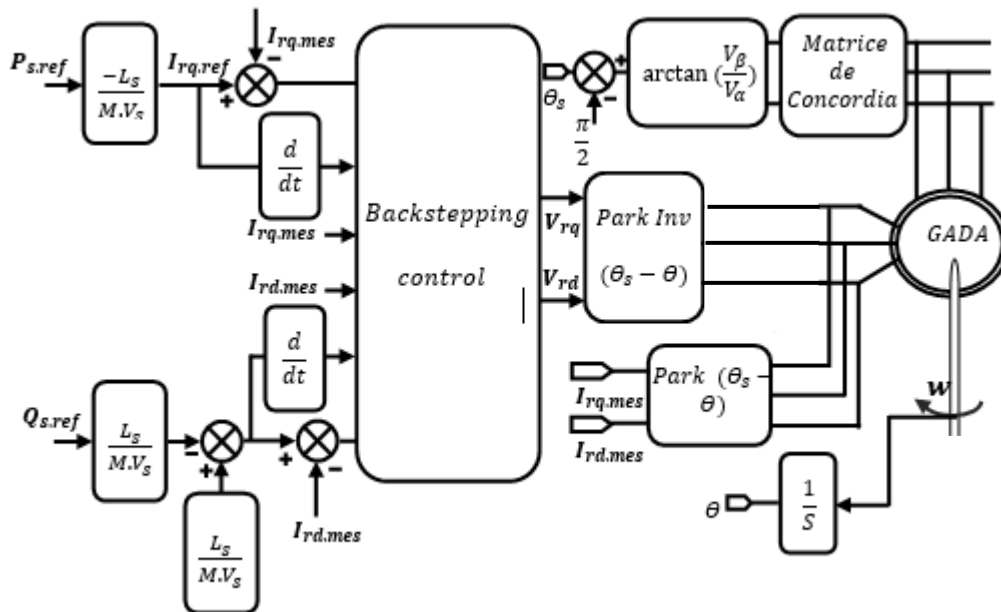


Figure.III.1 Schéma bloc de la structure de commande par Backstepping

III.2.3 Résultats de simulation de la commande backstepping

Les résultats présentés ci-dessous sont obtenus en appliquant les Lois de commande en puissance active et réactive que nous venons de présenter sur le modèle de la machine asynchrone à double alimentation, avec application d'une puissance active $P = -3000\text{W}$ entre $t=1\text{s}$ et $t=3\text{s}$, et une puissance réactive $Q=1000\text{VAR}$ entre $t=2\text{s}$ et $t=4\text{s}$

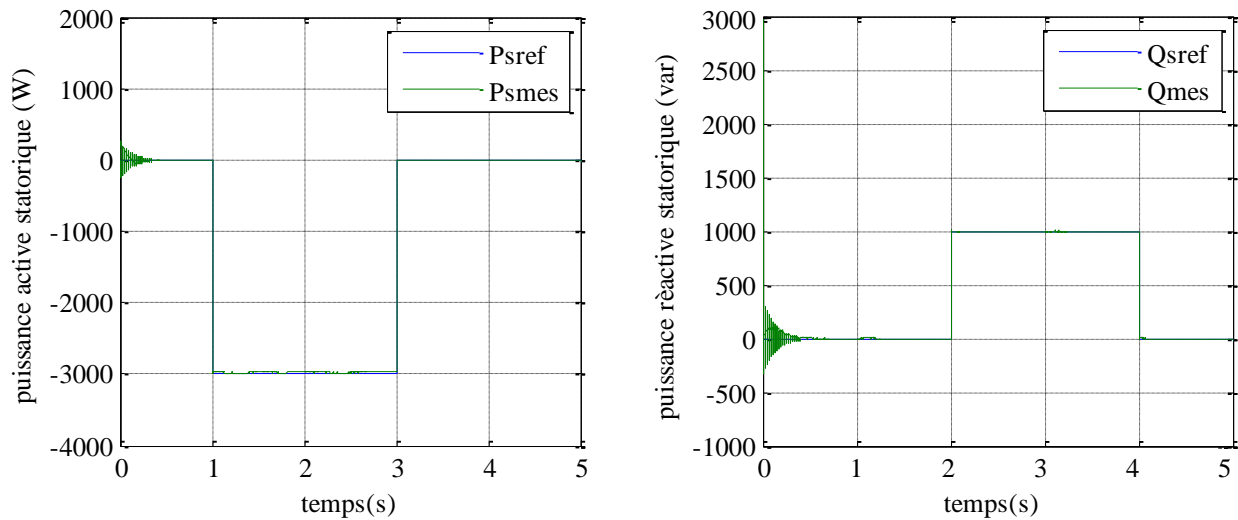
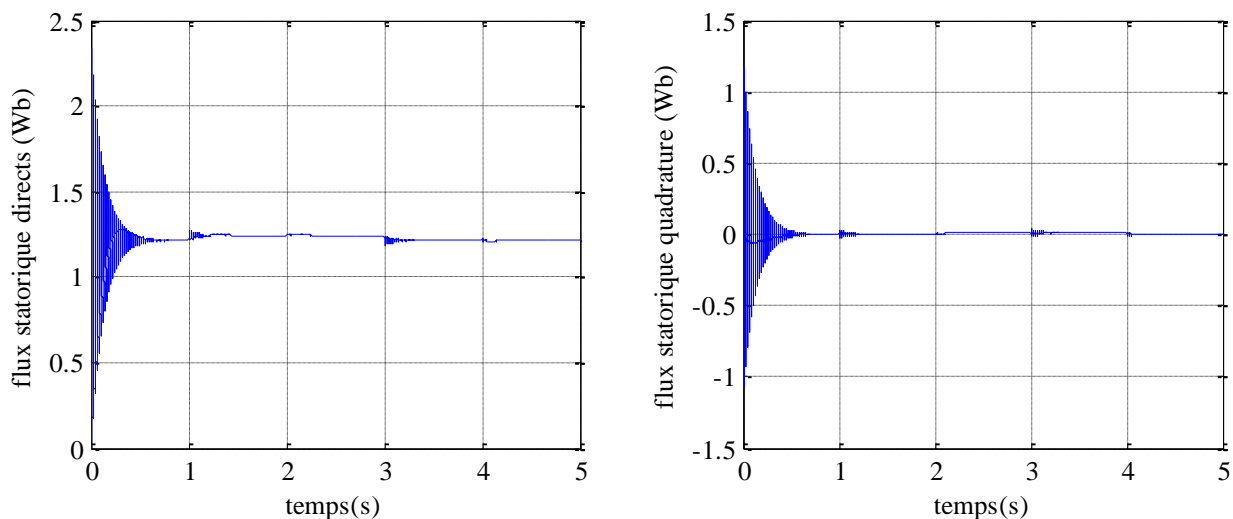


Figure. III.2 Les puissances active et réactive statorique et sont références



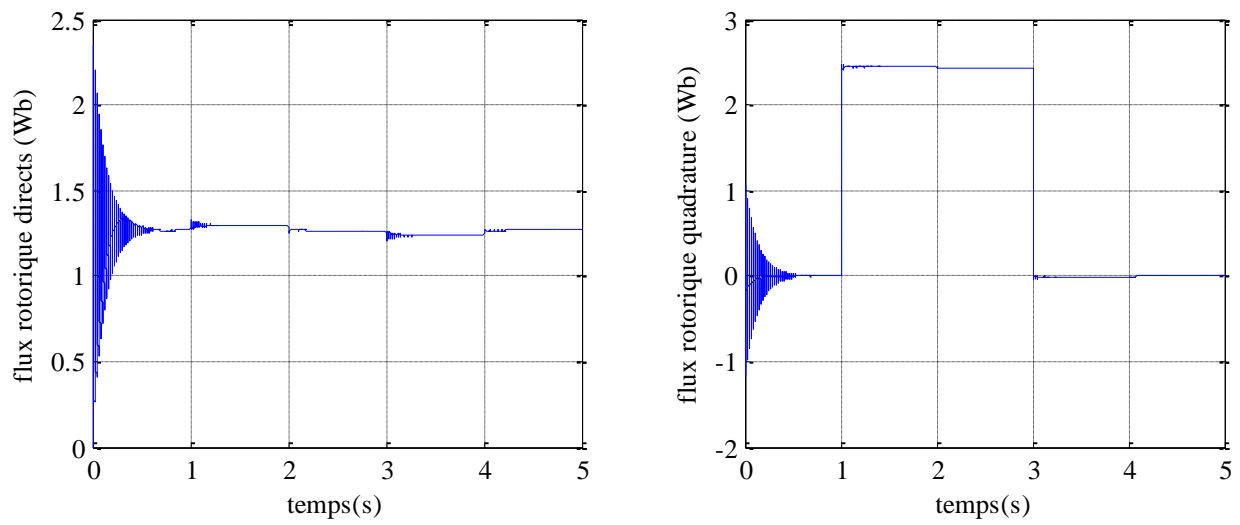


Figure. III. 3 Les composantes du flux rotorique et statorique selon l'axe d et q

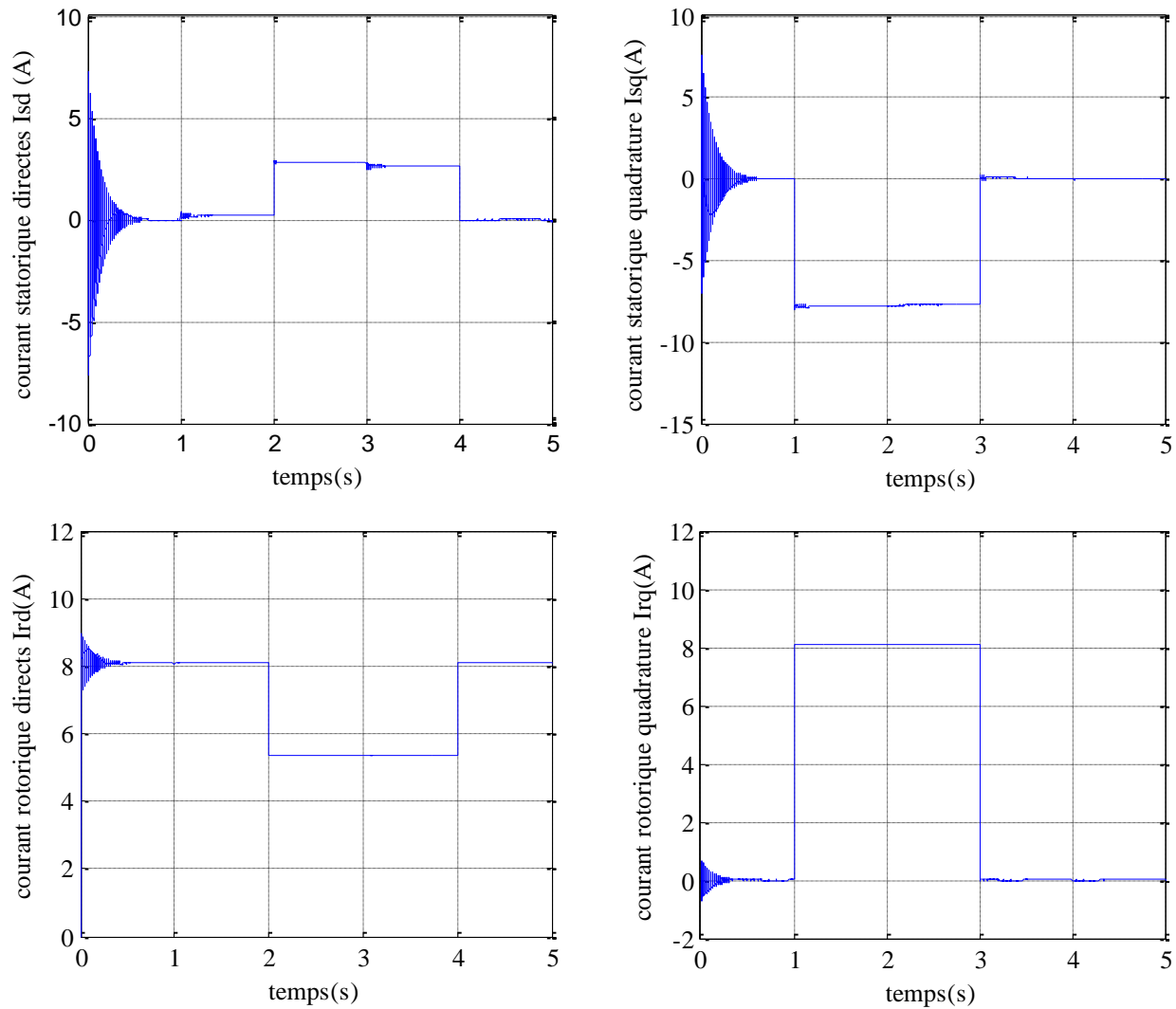


Figure. III.4 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q

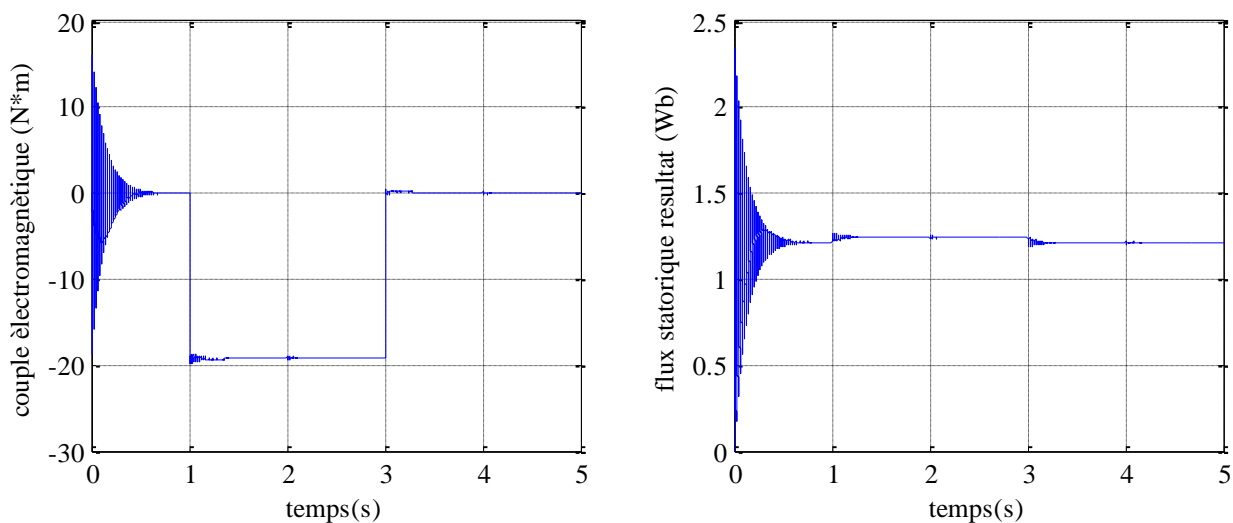


Figure. III.5 Le couple électromagnétique et le flux statorique résultant.

III.2.4 Interprétation des résultats

Les figures ci-dessus représentent les différentes courbes obtenues par la commande par backstepping des puissances active et réactive de la GADA.

La figure III. 2 montre la fiabilité et la robustesse de cette commande qui est donnée un bon poursuire de puissance active et réactive statorique sa référence. En commande par backstepping les réponses sont sans dépassement, rapide en régime transitoire et l'erreur statique tend vers zéro. Dans notre cas, le réglage des puissances active et réactive par cette commande apporte une amélioration remarquable par rapport aux régulateurs classiques PI.

La figure III.4 représente les deux composants du courant rotorique, dont on peut déduire le découplage entre la commande des deux puissances (la puissance active est l'image du courant I_{rd} et a puissance réactrice du courant I_{rq})

III.3 Commande par logique floue

La logique floue est principalement utilisée dans les domaines de prise de décision, de reconnaissance des formes, de modélisation et de commande des procédés. La commande ou la régulation des systèmes est le domaine industriel de la logique floue le plus exploité.

On distingue deux structures majeures de régulateurs à logique floue:

- La structure de Takagi-Sugeno (TS)
- La structure de Mamdani

La majorité des contrôleurs développés utilisent le schéma simple proposé par Mamdani, comme le montre la figure suivante :

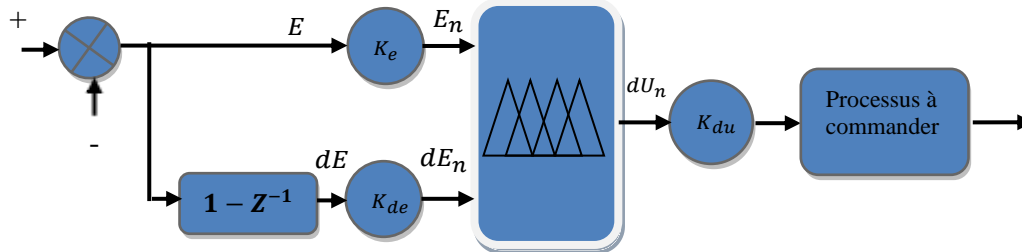


Figure III.6 : Structure de base d'un contrôleur flou type 1

III.3.1 Notions fondamentales de logique floue :

Dans cette partie, nous présentons les notions de base de la logique floue. Nous aborderons uniquement les points les plus importants pour la compréhension d'un raisonnement flou à savoir :

La logique floue offre un moyen simple d'arriver à une conclusion définitive basée sur des données d'entrée floues, ambiguës, imprécises, bruitées [31] ,[32]

Le contrôleur flou comprend quatre parties : fuzzification, base de règles floues, le moteur d'inférence et défuzzification, [31] :

- ❖ Une interface de fuzzification modifie les données d'entrée en valeurs linguistique s'appropriées.
- ❖ Une base de règles comprenant une base de données ainsi que les définitions linguistiques essentielles et l'ensemble de règles de contrôle.
- ❖ Un moteur d'inférence c'est la logique de prise de décision qui collecte l'action de contrôle flou à partir des informations des règles de contrôle et des descriptions de variables linguistiques.
- ❖ Une interface défuzzification qui abandonne une action de contrôle non floue à partir d'une action de contrôle floue induite

Table III.1 : Table des règles de décision pour le contrôleur flou type 1

La commande		Erreur						
		NG	NM	NP	EZ	PP	PM	PG
Dérivé de l' erreur	NG	NG	NG	NG	NG	EZ	EZ	EZ
	NM	NG	NG	NM	NM	EZ	EZ	EZ
	NP	NG	NG	NP	NP	PP	PP	PM
	EZ	NG	NM	NP	EZ	PP	PM	PG
	PP	NM	NP	NP	PP	PP	PG	PG
	PM	EZ	EZ	EZ	PM	PM	PG	PG
	PG	EZ	EZ	EZ	PG	PG	PG	PG

Nous avons opté pour les formes triangulaires avec des cotés trapézoïdales pour les fonctions d'appartenances du bloc de fuzzification de l'erreur et de la Dérive de L'erreur, tandis que pour les fonctions d'appartenances du bloc de défuzzification de la commande, nous avons opté pour les formes triangulaires. Les deux blocs sont illustrés de la manière suivante :

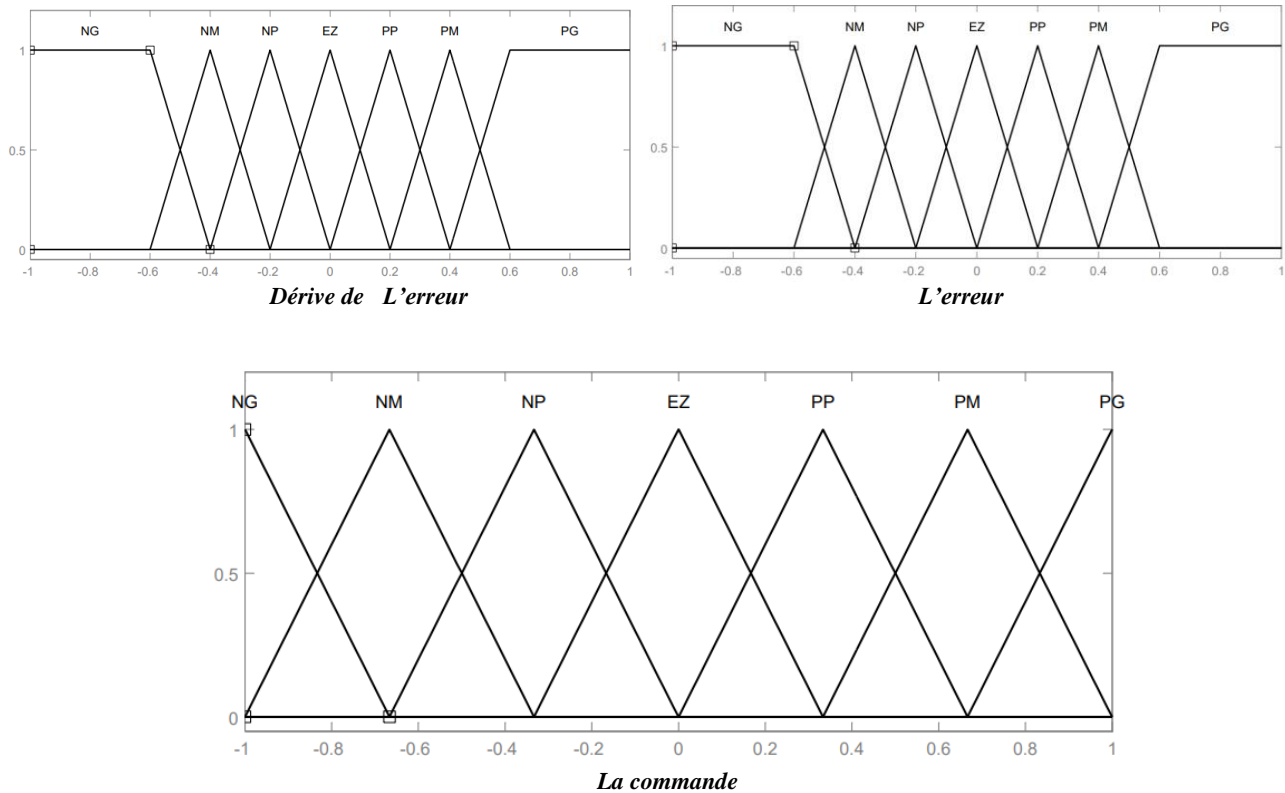


Figure .III.7 Fonctions d'appartenances utilisées par le contrôle.

III.4 commande hybride backstepping – floue

Objectif de la commande par backstepping-floue est l'intégration de la commande floue avec la commande par backstepping permet, d'une part, d'exploiter la robustesse de la commande à structure variable et, d'autre part, d'utiliser le critère de stabilité de Lyapunov pour analyser la stabilité du système.

III.4.1 Résultats de simulation de la commande hybride backstepping - floue

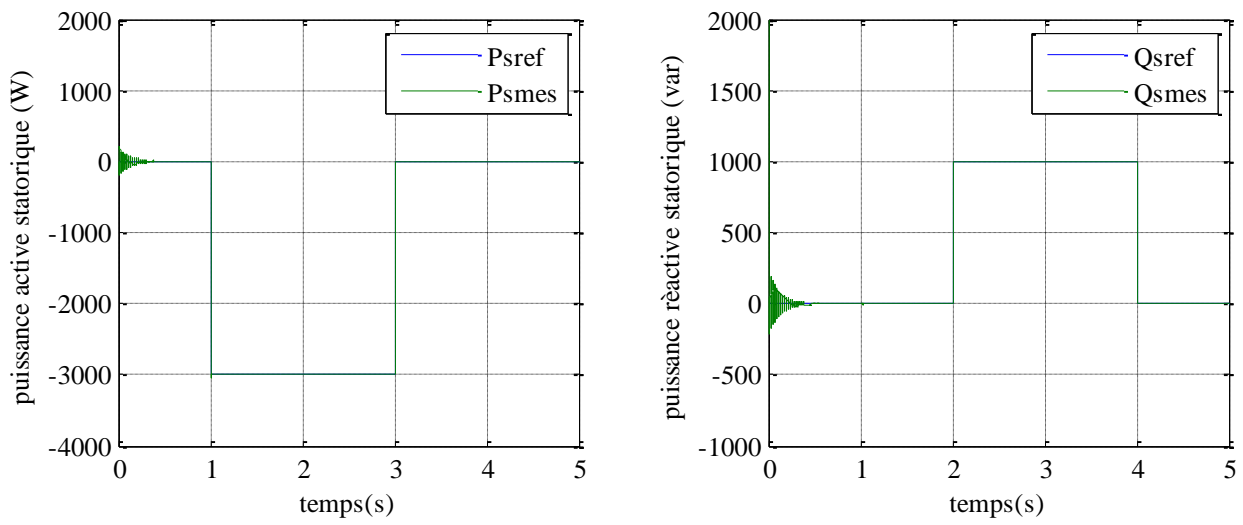


Figure. III.8 Les puissances active et réactive statorique

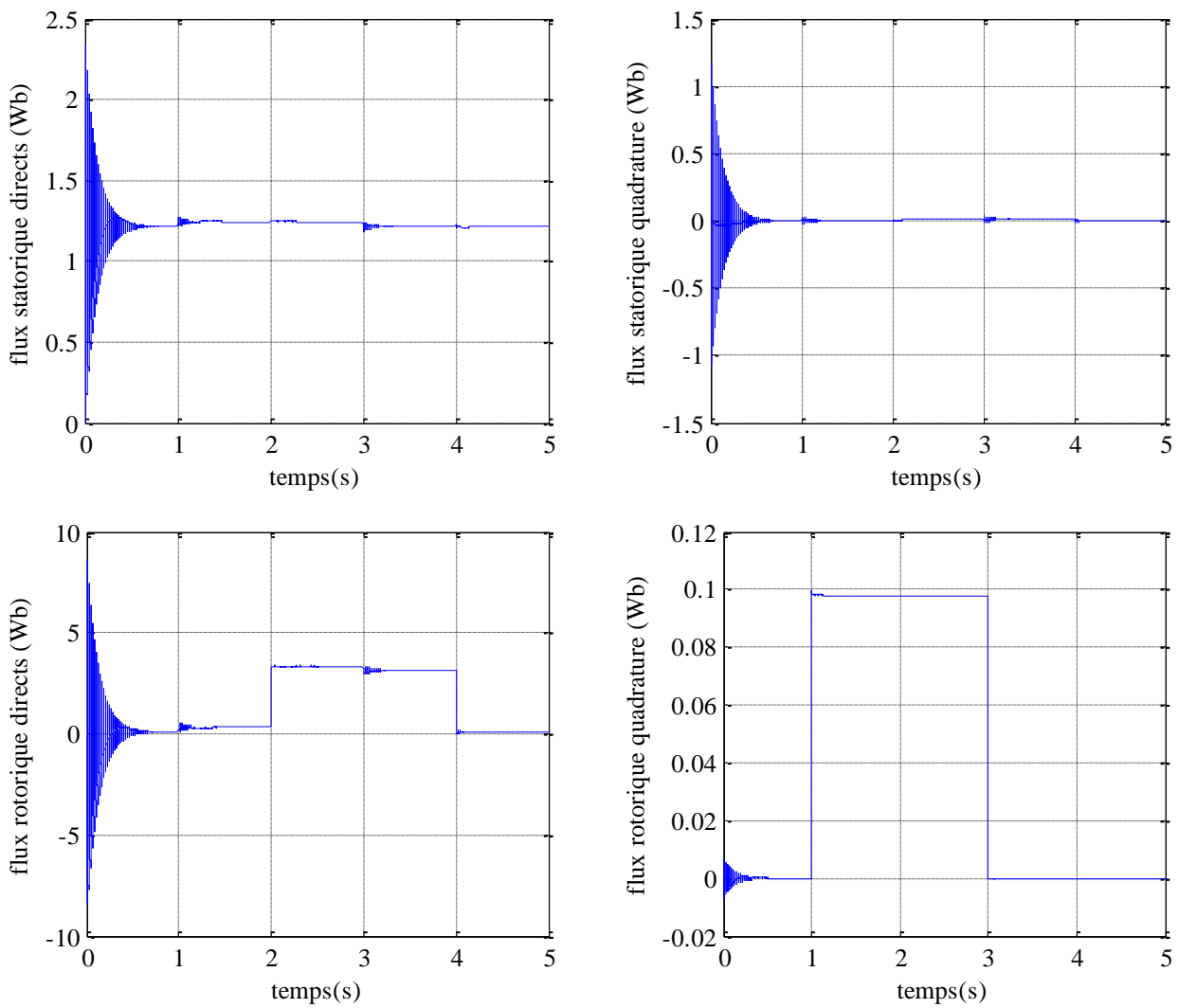


Figure. III. 9 Les composantes du flux rotorique et statorique selon l'axe d et q

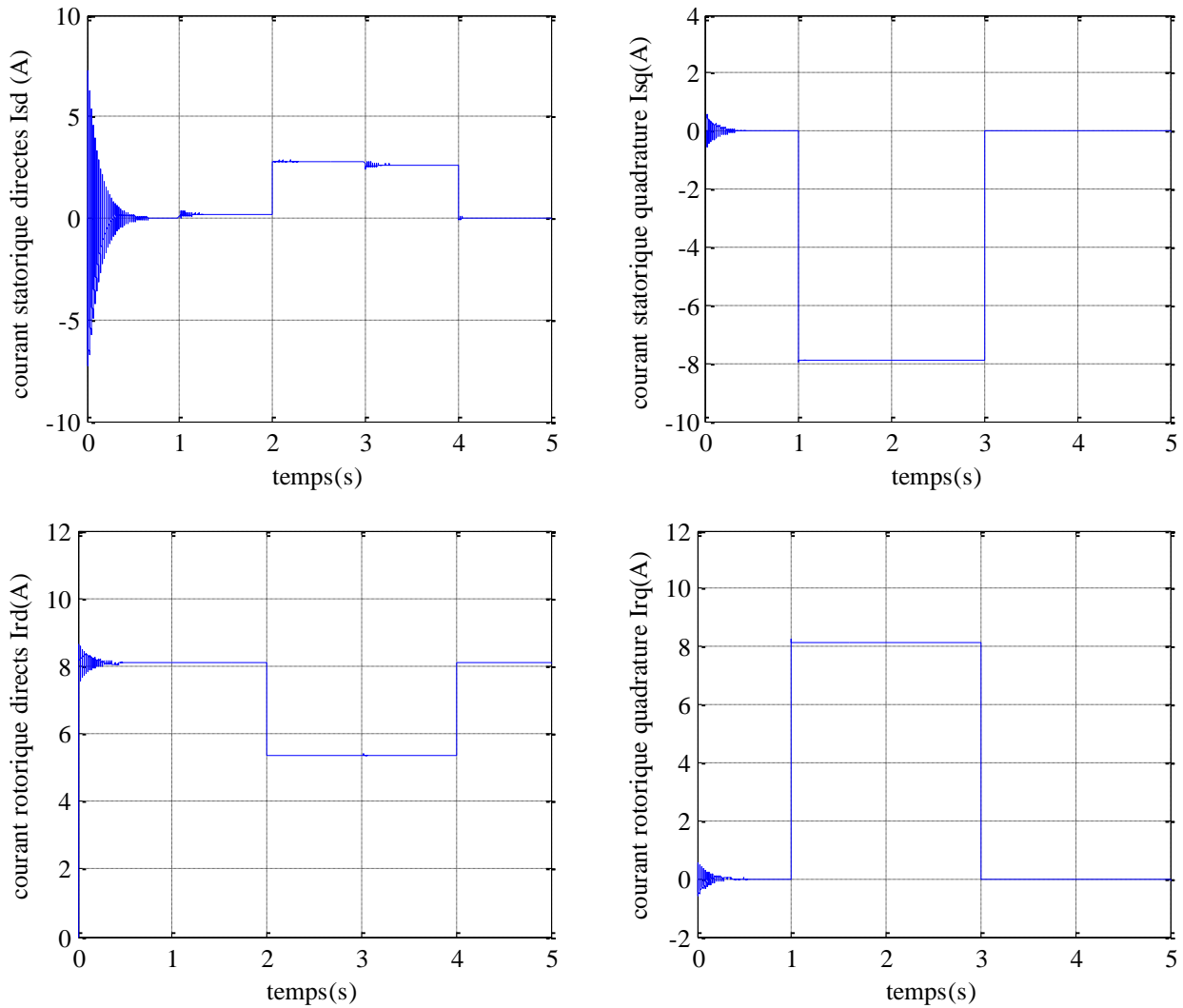


Figure. III.10 Le courant statorique rotorique selon l'axe d et q

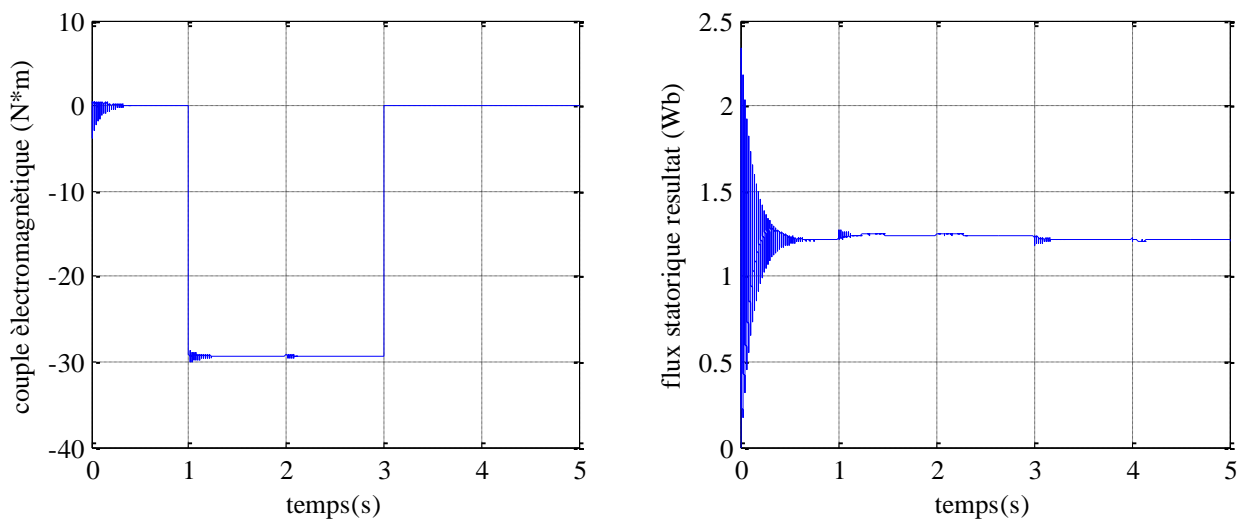


Figure. III.11 Le couple électromagnétique et le flux statorique résultant.

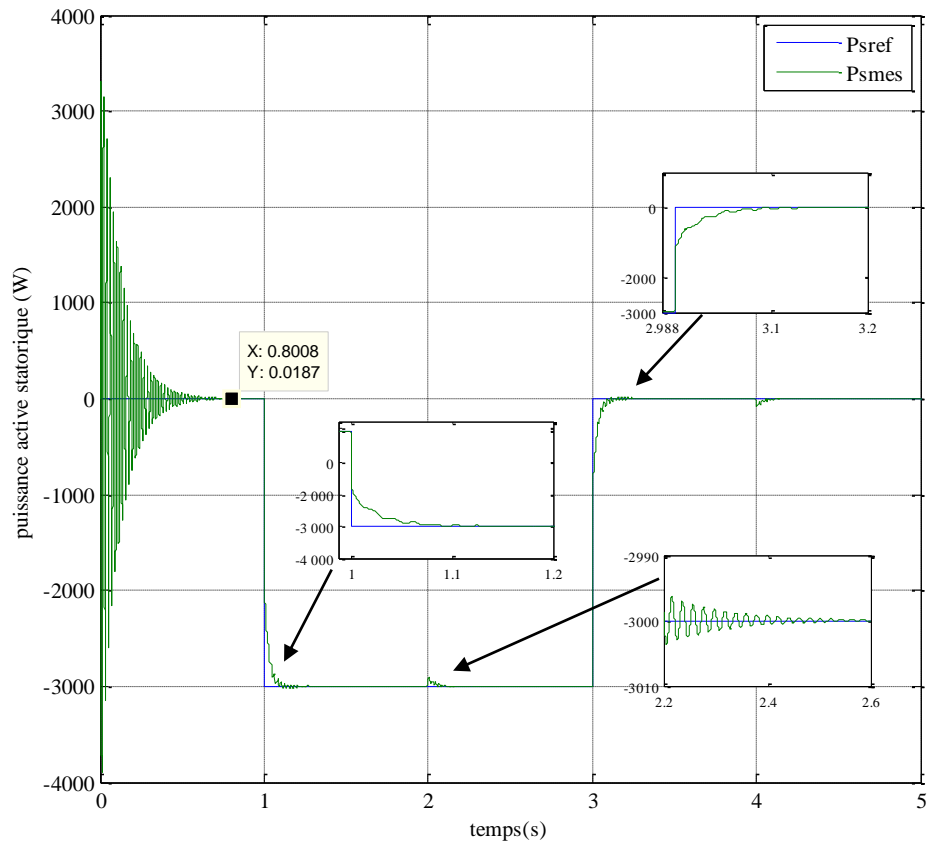
III.4.2 Interprétation des résultats

L'analyse des figures précédentes révèle une performance remarquable de la méthode de commande utilisée (backstepping-floue), avec une parfaite conformité de P_s et Q_s à la référence. En d'autres termes, le taux d'erreur est minime.

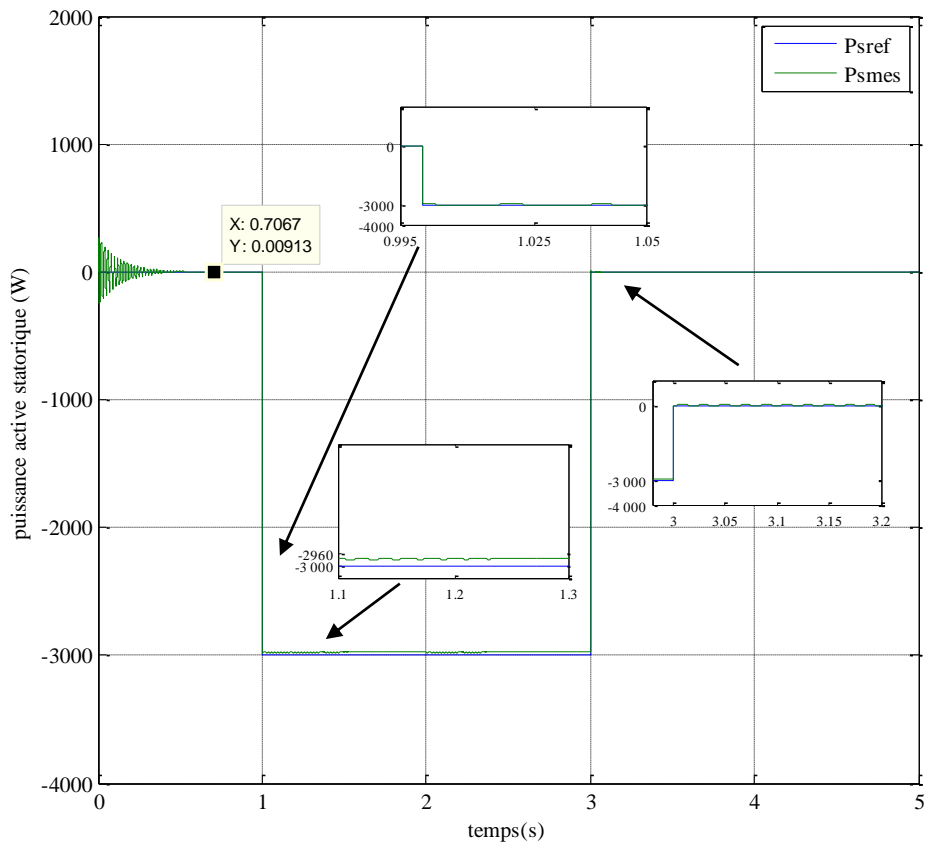
III.5 Etude comparative

Grâce à la simulation numérique de la génératrice asynchrone à double alimentation, nous avons pu comparer la commande vectorielle avec la commande par backstepping et la commande par backstepping-floue pour réguler la puissance active et réactive statorique de la génératrice asynchrone à double alimentation (GADA).

Les figures ci-dessous représentent respectivement les résultats de simulation d'obtenus pour la variation de la puissance active et réactive avec vitesse constant.



_ A _



_ B _

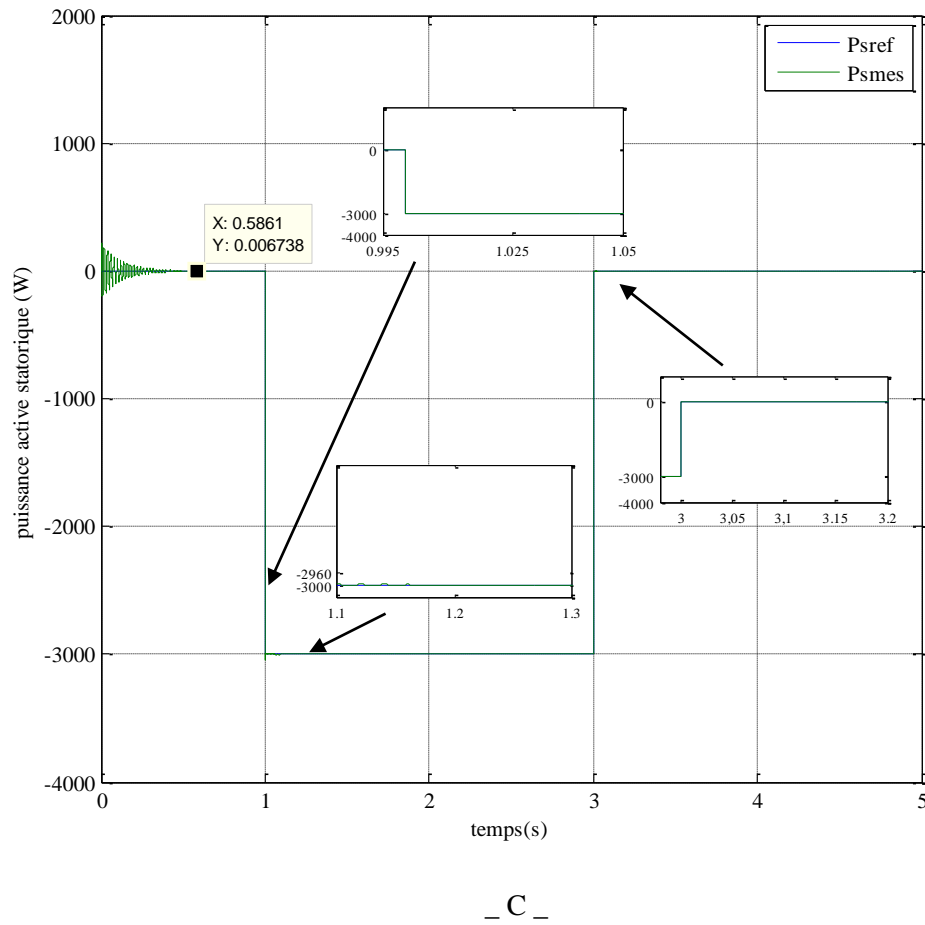
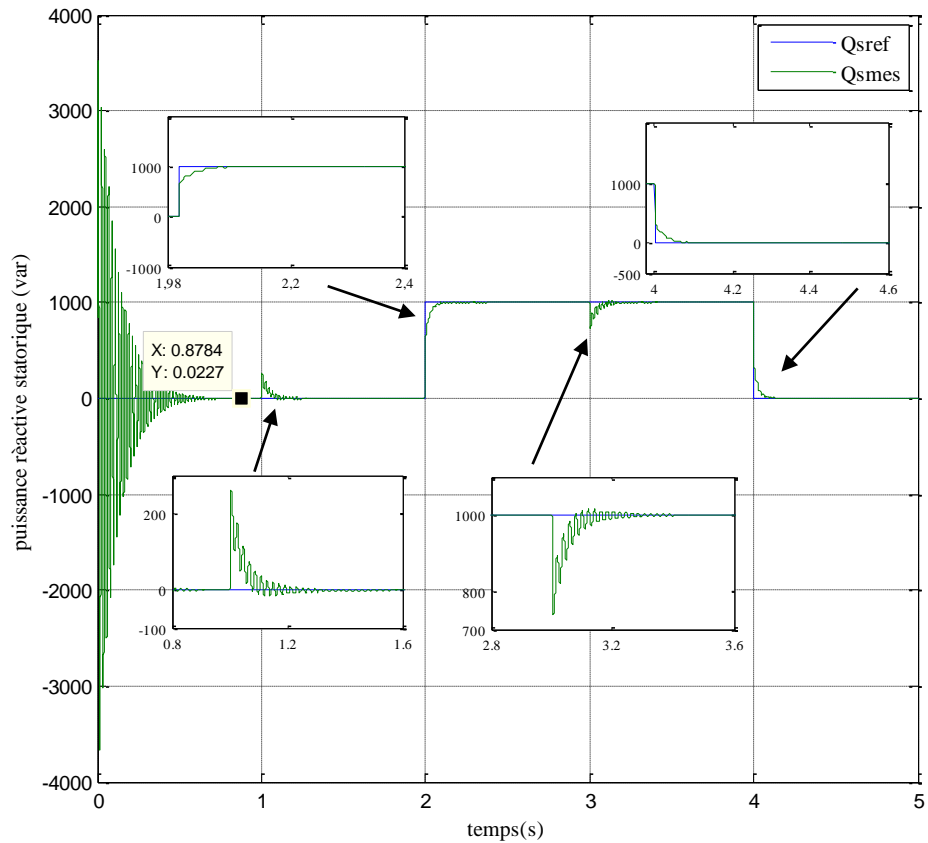
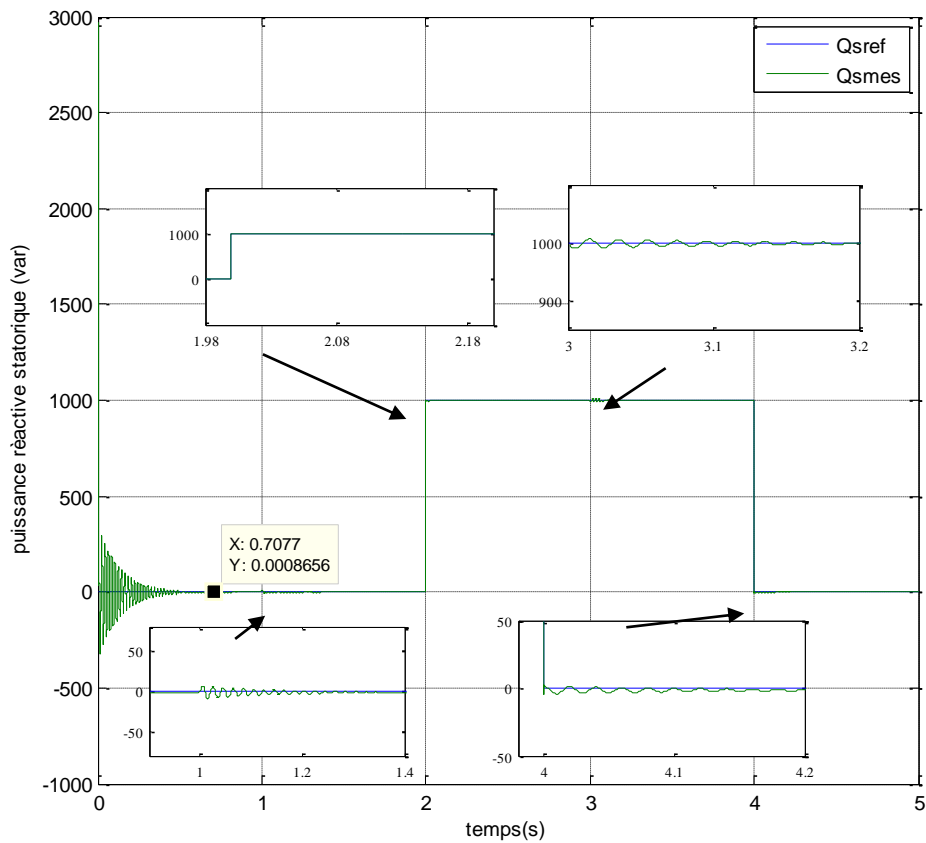


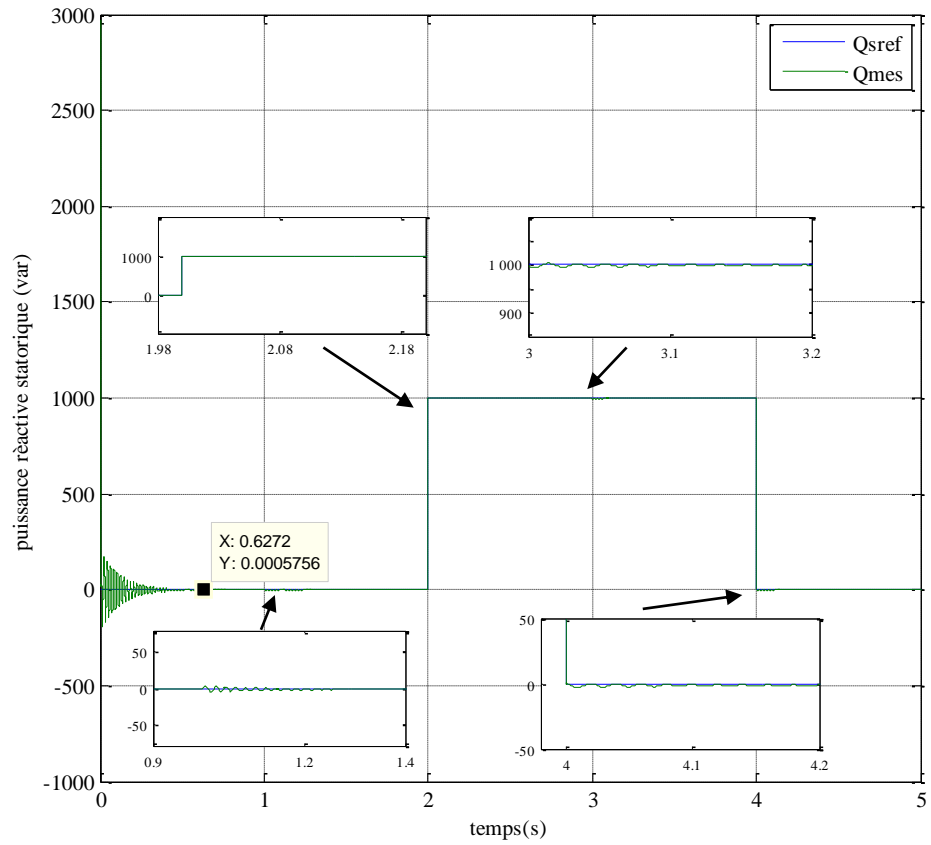
Figure. III.11 La puissance active statorique (A) la commande vectorielle, (B) la commande backstepping, (C) la commande hybride backstepping-floue.



- A -



- B -



_ C _

Figure. III.12 La puissance réactive statorique (A) la commande vectorielle, (B) la commande backstepping, (C) la commande hybride backstepping-floue.

Les résultats obtenus montrent que les performances de poursuite de la puissance active et réactive sont satisfaisantes pour les trois types de commande, mais ceux de la commande par backstepping-floue obtenus sont meilleures, comme il est apporté sur le tableau III.2

Commande	Temps de réponse	Régime transitoire au démarrage (dépassements)	Sensibilité aux variations des consignes (variation des puissances active et réactive)
Vectorielle (Régulateur PI)	Faible	Une perturbation importante	Sensible
Backstepping	Plus faible	Une perturbation plus faible	Insensible
Backstepping-floue	Meilleure fiabilité	Meilleure fiabilité de la perturbation	Insensible

Tableau III.2 : Critères de comparaison entre la commande vectorielle, la commande backstepping et la commande hybride backstepping -floue.

Finalement on peut conclure que le réglage par mode de backstepping-floue présente des meilleures performances que celles de la commande vectorielle et la commande par backstepping.

III.6 Conclusion

Au cours de ce chapitre, une analyse comparative a été réalisée entre toutes les commandes mises en œuvre sur le système.

Est principalement dédié à quelques concepts fondamentaux de la théorie de la backstepping. Puis, nous exposons la combinaison de la commande hybride du mode backstepping et de la logique floue, ainsi que son utilisation pour ajuster les puissances actives et réactive de la génératrice asynchrone à double alimentation est réactive.

Il est observé que les performances obtenues grâce à la technique du mode backstepping-floue sont supérieures et supérieures à celles obtenues grâce à la commande par backstepping (dépassement, temps de réponse, et précision de poursuite, ...)

Dans le troisième chapitre, nous avons également exposé une analyse comparative des résultats obtenus par les trois commandes (commande vectorielle par orientation de flux statorique, commande par backstepping et commande par backstepping-floue).

En générale, les résultats de simulation obtenus lors de l'application des deux commandes sur le système, qu'il soit entraîné à une vitesse fixe, démontrent une suivie efficace des puissances générées aux valeurs de référence correspondantes. De plus, il a été observé que les erreurs de poursuite sont assez faibles et que le partage entre les puissances active et réactive est toujours conservé.

En outre, une assurance d'utilisation de la GADA est fournie en raison des résultats obtenus et affichés en matière de fiabilité et de stabilité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail présenté dans ce mémoire intéresse au contrôle des puissances active et réactive d'une génératrice asynchrone double alimentation (GADA),

Ce mémoire vise principalement à contribuer aux travaux déjà réalisés dans le domaine de l'association de la logique floue à la commande du backstepping. L'objectif est de concevoir une loi de commande hybride basée sur le backstepping-flou. Ainsi, nous récapitulons les principales contributions de cette étude de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à la modélisation de la génératrice asynchrone double alimentation (GADA) en utilisant la méthode de transformation de PARK pour représenter les différents régimes de fonctionnement de ce type de machine. D'après les résultats de la simulation de ce modèle sur Matlab, il est confirmé que la machine étudiée peut être alimentée à deux reprises grâce à la stabilité des différentes grandeurs, tant pour un fonctionnement générateur que moteur.

Dans le deuxième chapitre, on a exposé la méthode de commande par orientation de flux statorique. La machine asynchrone à double alimentation (GADA) est équipée d'une commande vectorielle en puissance active et réactive statorique.

Afin d'optimiser ces résultats, nous avons mis au point deux autres méthodes de commande qui ont été exposées dans le troisième chapitre. Tout d'abord, nous avons exposé la dimension théorique de la commande par backstepping afin de l'appliquer ensuite. On a examiné la commande hybride backstepping-floue dans le système, où nous avons rappelé les concepts fondamentaux de la théorie de la backstepping et de la logique floue. Ensuite, nous avons appliqué la commande : backstepping-floue sur la GADA.

Les résultats de simulations numériques obtenus montrent l'intérêt croissant de la commande : backstepping-floue dans les systèmes électriques. Les performances obtenues avec cette commande sont très satisfaisantes comme le montre la poursuite de trajectoire et la convergence rapide des grandeurs mesurées vers leur référence désirée.

Suggestions et perspectives

Suite à cette étude, quelques suggestions et perspectives peuvent être faites afin de pouvoir contribuer si possible à l'amélioration du fonctionnement du système considéré, à savoir :

- L'utilisation des autres techniques plus développées : réseaux de neurones, commande DPC, ...etc.
- L'utilisation des techniques hybride.
- L'établissement d'un modèle de la GADA tenant compte de la saturation magnétique

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] TOUAHRI abdelouaheb, « application de la DTC a un aérogénérateur asynchrone double alimente » magister en électrotechnique, l'université Batna 2,2016.
- [2] Y.A. Bencherif, « Modélisation et commande d'une machine asynchrone à double alimentation pour la production de l'énergie éolienne », Mémoire d'ingénieur d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 2008.
- [3] R. Rouabhi, , R. Abdessemed, A. Chouder, A. Djerioui, « Power Quality Enhancement of Grid Connected Doubly-Fed Induction Generator Using Sliding Mode Control ». International Review of Electrical Engineering, Vol: 10, N: 2, , pp. 266-276 , 2015,.
- [4] S. Peresada, A. Tilli and A. Tonielli, "Indirect Stator Flux-Oriented Output Feedback Control of a Doubly Fed Induction Machine", IEEE Transactions on Control Systems and Technology, Vol. 11, No. 6, pp. 875-888, 2003.
- [5] MEKHICHE Youcef , « L'optimisation de puissance des éoliennes à vitesse variable » Mémoire de Master, université de M'sila,2011/2012.
- [6] Bekakra, Y. Contribution à l'étude et à la commande robuste d'un aérogénérateur asynchrone à double alimentation, Thèse doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra,2014.
- [7] Ghennam, T. 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 doctorat, École Militaire Polytechnique d'Alger et École Centrale de Lille, France,2011.
- [8] Tamaarat, A. Modélisation et commande d'un système de conversion d'énergie éolienne à d'une MADA, Thèse Doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra,2017.
- [9] Roummani, K. Intitulé Contribution à des commandes robustes à des sources d'énergie nouvelle et à leur connexion aux réseaux électriques, Thèse doctorat, Université Mohammed Boudiaf, USTO, Oran,2020.
- [10] Cherfia, N. Etude d'une Chaîne de Conversion de l'Énergie Éolienne. Thèse doctorat, Université des Frères Mentouri de Constantine,2018.
- [11] F. BOUMARAF, « Commande intelligente d'une association convertisseur statique machine asynchrone à double alimentation », Thèse de magistère, Université de Batna,2009.
- [12] Allam, m. Contribution à la commande robuste d'une machine asynchrone à double alimentation appliquée au système éolien, Thèse doctorat,2019.

- [13] Locif, M. Synthèse de lois de commande non-linéaires pour le contrôle d'une machine asynchrone à double alimentation dédiée à un système aérogénérateur, Thèse doctorat, Université AboubakrBelkaïd, Tlemcen,2016.
- [14] Rouabhi, R. Contrôle des puissances générées par un système éolien à vitesse variable basé sur une machine asynchrone double alimentée, Thèse doctorat, Université de Batna 2,2016.
- [15] Houas brahim, Khaldi abderraouf, « Amélioration De La Commande Par Mode Glissant D'un Générateur Asynchrone A Double Alimentation » Mémoire de magister, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2019.
- [16] Sadaoui, R. Analyse et commande d'une machine asynchrone à double alimentation, Thèse Doctorat, Université Québec,2017.
- [17] Saihi, L., Berbaoui, B., Glaoui, H., Djilali, L., Abdeldjalil, S. Robust sliding mode H_{∞} controller of DFIG based on variable speed wind energy conversion system. PeriodicaPolytechnicaElectrical Engineering and Computer Science,2017.
- [18] ROUABHI Riyadh, « Étude et Commande d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation Application : Energie éolienne» Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Sétif 2012
- [19] OUKACI Assia, « Contribution a l'étude des techniques de commande avancées de la machine asynchrone », Thèse doctorat, Université des frères mentouri constantine , 2018.
- [20] F. Akel, « Etude et réalisation d'un émulateur de turbine éolienne », Mémoire De Magister En, Ecole Militaire Polytechnique, Algérie, 2009
- [21] A. Boyette, « Contrôle-commande d'un générateur asynchrone a double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne », Thèse de doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré, Nancy I, 11, France, 2006.
- [22] Imad MEZERZI , « Contribution à la modélisation et la commande d'une éolienne à base d'une génératrice asynchrone à double alimentation», Mémoire de Master, Université de M'sila, Algérie, 2013
- [23] Mohamed.Djafar, « Etude et contrôle de la machine asynchrone à double alimentation en vue de son utilisation comme aérogénérateur », Mémoire de Master, université de M'sila, Algérie, 2014.
- [24] DEHOUM Fawzi, « Commande vectorielle d'une génératrice asynchrone double alimentation « GADA » pour l'utilisation de l'énergie éolienne » mémoire d'ingénieur d'état, université de m'sila 2010/2011.
- [25] MERRAHI Farid, « Alimentation et commande d'une machine asynchrone à double alimentation (application à l'énergie éolienne) » Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique 2007.

- [26] R. Rouabhi, A. Djerioui, « Control of the power generated by variable speed wind turbine driving a doubly fed induction generator », *Journal of Electrical Engineering*, Vol: 14 , 2014-Edition:3, pp. 1-7.
- [27] Khalil, H.k., «Non linear Systems », Prentice Hall, 1996
- [28] Abder Rezak Benaskeur, « Aspects de l'application du backstipping adaptatif à la commande décentralisée des systèmes non linéaires », Thèse PhD, Université de Laval, 2000.
- [29] K. Belmokhtar, M. L. Doumbia and K. Agbossou, «Modelling and fuzzy logic control of dfig based wind energy conversion systems», *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, PP: 1888-1893, 2012
- [30] R. Bhavani, N.R. Prabha, C. Kanmani, «Fuzzy controlled UPQC for power quality enhancement in a DFIG based grid connected wind power system», *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, PP: 1-7, 2015.

ANNEXE

Annexe :**1-Les paramètres de la machine à induction double alimentée:**

Valeurs nominales:

Puissance nominale: $P_n = 4KW$.Tension nominale : $v/U = 220/380V - 50Hz$.Courant nominale : $i/l = 15/8.6A$.La vitesse nominale: $\Omega n = 1440tr/min$.Nombre de paires de pôles: $P = 2$.**Paramètre :**Résistance du stator: $R_s = 1.2\Omega$.Résistance du rotor: $R_r = 1.8\Omega$.Inductance stator: $L_s = 0.1554H$.Inductance du rotor: $L_T = 0.1568H$.Inductance Mutuelle: $M = 0.15H$.**Constantes mécaniques :**Moment d'inertie: $J = 0.2Kg, m^2$.Coefficient de frottement: $f = 0.001N. m. s/rd$.

Résumé

Résumé :

Ce travail a pour objectif la modélisation et la commande d'une machine asynchrone à double alimentation on utilisant une nouvelle technique de commande basé sur l'hybridation entre la théorie de Lyapunov (Backstepping) et l'intelligence artificielle (la logique floue type 1).

La modélisation dans le repère de Park de cette machine «GADA» a été présentée et simulé en utilisant MATLAB, ainsi que sa commande vectorielle, et en fin on a présenté une stratégie de commande par backstepping- floue appliquée au système. Cette technique trouve sa plus forte justification au problème d'utilisation d'une loi de commande non linéaire robuste aux incertitudes du modèle. L'objectif est d'appliquer cette commande pour contrôler indépendamment les puissances active et réactive générées par la machine asynchrone découplée par orientation du flux statorique.

Mots clés:

GADA - MADA- Modélisation- Commande vectorielle -Commande Backstepping – commande backstepping -floue.

Abstract:

This work aims to model and control a dual-supply asynchronous machine using a new control technique based on the hybridization between Lyapunov theory (Backstepping) and artificial intelligence (type 1 fuzzy logic).

The modeling in the Park reference frame of this “GADA” machine was presented and simulated using MATLAB, as well as its vector control, and finally we presented a control strategy by backstepping-fuzzy applied to the system. This technique finds its stronger justification for the problem of using a nonlinear control law robust to model uncertainties. The objective is to apply this command to independently control the active and reactive powers generated by the asynchronous machine decoupled by orientation of the stator flux.

Key words:

GADA - MADA- Modeling- Vector control - Backstepping control – backstepping control - fuzzy.

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى نمذجة آلة غير متزامنة مزدوجة العرض والتحكم فيها باستخدام تقنية تحكم جديدة تعتمد على التهجين بين نظرية ليابونوف (الرجوع الى الخلف) والذكاء الاصطناعي (المنطق الضبابي من النوع الأول). تم عرض النمذجة في الإطار المرجعي لآلة ومحاكاتها باستخدام ماطلاب، بالإضافة إلى التحكم في ناقلات الأمراض، وأخيراً قدمنا استراتيجية تحكم من خلال تطبيق الوضع الخلفي الغامض على النظام مشكلة استخدام قانون التحكم غير الخطي القوي لنموذج عدم اليقين. الهدف هو تطبيق هذا الأمر للتحكم بشكل مستقل في القوى النشطة والمتفاعلة الناتجة عن الآلة غير المتزامنة المنفصلة عن طريق اتجاه تدفق الجزء الثابت.

الكلمات المفتاحية:

مولد غير متزامن مزود بإمداد مزدوج، النمذجة، التحكم الشعاعي، التحكم عن طريق الرجوع للخلف، التحكم عن طريق الرجوع للخلف الغامض.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES

Proposé et dirigé par **Mme : BELOUNIS Ouassila**

Présenté par : **BOUGUERRA Faris & SOUADIA Tariq**

THÈME

COMMANDE BACKSTEPPING FLOUE D'UNE GENERATRICE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTAION

Résumé :

Ce travail a pour objectif la modélisation et la commande d'une machine asynchrone à double alimentation on utilisant une nouvelle technique de commande basé sur l'hybridation entre la théorie de lyapunov (Backstepping) et l'intelligence artificielle (la logique floue type 1).

La modélisation dans le repère de Park de cette machine «GADA» a été présentée et simuler en utilisant MATLAB, ainsi que sa commande vectorielle, et en fin on a présenté une stratégie de commande par backstepping- floue appliquée au système .Cette technique trouve sa plus forte justification au problème d'utilisation d'une loi de commande non linéaire robuste aux incertitudes du modèle. L'objectif est d'appliquer cette commande pour contrôler indépendamment les puissances active et réactive générées par la machine asynchrone découplée par orientation du flux statorique.

Mots clés:

GADA - MADA- Modélisation- Commande vectorielle -Commande Backstepping – Logique floue.

N° d'ordre : AUTO 08