

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



Ecole Nationale Polytechnique
Département D'Automatique



Bibliographie

MEMOIRE

Pour l'obtention du

DIPLÔME DE MASTER
EN AUTOMATIQUE

**Diagnostic Et Commande Tolérante Aux
Défauts De La MADA Intégrée Dans Une
Chaine Éolienne**

Proposé et dirigé par:

Dr.O.Benzineb

Pr.M.Tadjine

Etudié par:

BOUDJELLAL Mustapha

BOULTIFAT Chaouki Nacer Eddine

Effectué au sein du laboratoire de commande des processus

Promotion Juin-2013

Remerciement

Louange à Allah, Seigneur de l'univers, Le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, pour nous avoir accordé le savoir, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et les obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin, durant toutes nos années d'études.

En présentant ce travail Nous profitons l'occasion de remercier vraiment du fond du cœur nos deux promoteurs Mr O.BENZINEB et Mr M.TADJINE pour leur disponibilité, soutien, aide, ainsi que leurs bonne humeur durant toutes les étapes de ce projet .

Nous exprimons aussi en parallèle notre sincère gratitude à Mr MS.BOUCHERIT pour ses précieux conseils et pour accepter de juger notre travail en tant que président de jury.

Notre sincère remerciement vont également à Mr K.BENMANSOUR pour l'honneur qu'il nous accorde , en acceptant de juger notre travail en tant que examinateur.

Et enfin, merci à tout ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail, et en particulier à l'ensemble de nos enseignants, qui sont à l'origine de tout notre savoir.

Je dédie ce modeste mémoire :

A mes parents, qui ont toujours cru en moi et qui m'ont accompagné moralement tout au long de ce parcours. L'éducation, soin et conseils qu'ils m'ont prodigués, m'ont toujours guidé pour faire les bons choix dans ma vie, que grâce à Allah puis à leurs soutien, encouragement et prières, rien n'aurait été possible.

A mon frère et à mes sœurs,

A mes enseignants,

A mes amis,

A mes camarades de classe,

A toutes les personnes qui m'ont aidé durant le Parcours de ma formation.

Chaouki Nacer Eddine

Dédicace

A mes précieux parents.

A mes frères et ma chère sœur.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous ceux qui me connaissent.

Mustapha

Table des matières

Introduction générale	2
1 La Synthèse D'estimateur De Fréquences Des Défauts En Ligne	7
1.1 introduction	7
1.2 principe	7
1.3 Application du filtre de Kalman étendu au modèle de la MADA	8
1.3.1 La linéarisation	8
1.3.2 Estimation de la fréquence seule	8
1.3.3 La discrétisation	9
1.3.4 Algorithme du filtre de Kalman étendu	10
1.4 Le choix des matrices de covariance Q et R	11
1.5 implémentation de l'algorithme du filtre de Kalman étendu	12
1.5.1 Cas d'un défaut statorique	12
1.5.2 Cas d'un défaut rotorique	14
1.5.3 Cas de deux défauts un au stator et l'autre au rotor	16
1.6 Résultats de simulation et interprétation :	18
1.6.1 Présence d'un seul défaut au stator	18
1.6.2 Présence d'un seul défaut au rotor	18
1.6.3 Présence de deux défauts (stator et rotor)	19
1.7 Conclusion :	20
2 La Mise En Place D'un Système Actif Tolérant Aux Défauts (AFTC)	21
2.1 Introduction	21
2.2 Stratégie de reconfiguration	21
2.3 Position du problème	22
2.3.1 un défaut au stator	23
2.3.2 Un défaut au rotor	24
2.3.3 Un défaut au niveau du stator et un au niveau du rotor	24
2.4 Synthèse de la loi de commande AFTC	24
2.4.1 Technique MPPT avec asservissement de vitesse :	24
2.4.2 Technique de commande découplée en P et Q :	26

2.5	Résultats de simulation et interprétation :	27
2.5.1	Présence d'un seul défaut au stator	27
2.5.2	Présence d'un seul défaut au rotor	29
2.5.3	Présence de deux défauts (stator et rotor)	31
2.6	Conclusion	33
	Conclusion générale	34

Table des figures

1.1	Principe du filtre de Kalman	8
1.2	Pulsation w_{1est} en (rad/s)	18
1.3	Pulsation w_{1est} en (rad/s)	19
1.4	Pulsation w_{2est} en (rad/s)	19
1.5	Pulsation w_{1est} en (rad/s)	19
1.6	Pulsation w_{2est} en (rad/s)	19
1.7	Pulsation w_{3est} en (rad/s)	20
2.1	Structure d'une commande explicitement tolérante aux défauts.	22
2.2	Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)	27
2.3	La tension rotorique V_{qr} (V)	27
2.4	Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)	28
2.5	La tension rotorique V_{dr} (V)	28
2.6	La tension rotorique V_{ar} (V)	28
2.7	Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)	29
2.8	Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)	29
2.9	Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)	29
2.10	La tension rotorique V_{qr} (V)	29
2.11	Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)	30
2.12	La tension rotorique V_{dr} (V)	30
2.13	La tension rotorique V_{ar} (V)	30
2.14	Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)	31
2.15	Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)	31
2.16	Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)	31
2.17	La tension rotorique V_{qr} (V)	31
2.18	Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)	32
2.19	La tension rotorique V_{dr} (V)	32
2.20	La tension rotorique V_{ar} (V)	32
2.21	Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)	33
2.22	Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)	33

ملخص: يصب هذا العمل في ميدان تشخيص الأعطاب و التحكم المتحمل للخلل المطبق على الآلة الامتزازنة ذات التغذية المزدوجة المدمجة في النظام المروحي ,الهدف منه هو إنجاز تقنية التحكم المتحمل للخلل لهذا الجهاز المحدد منهجية العمل يمكن تقسيمها إلى , نظرا للعجز الملاحظ في أن هذه التقنيات لا تلغي آثار الخلل في النظام المدروس, دعت الحاجة إلى إنجاز أداة كشف الخلل المتمثل في ترشيح كالمن الممدد, المرحلة الأخيرة تتمحور حول الغاية الأساسية لهذا العمل المذكورة آنفا

كلمات مفتاحية: طرق التحكم المتحمل للخلل, المولد الكهربائي الامتزازن ذو التغذية المزدوجة, ليايوف, التحكم بالنظام الانزلاقي, التحكم بالنظام الانزلاقي الغامض المتأقلم, ترشيح كالمن الممدد.

Résumé : Ce travail s'inscrit dans le domaine du diagnostic et commande tolérante aux défauts (FTC) appliqué à la machine asynchrone à double alimentation dans une chaîne éolienne , Il a pour objectif de synthétiser une commande active tolérante aux défauts (AFTC) pour cette machine spécifique ,La méthodologie du travail s'effectue en deux étapes,La première étape synthétise un bloc FDD pour la détection et localisation des défauts. Ceci est assuré par un filtre de Kalman étendu, la dernière étape fait partie de l'objectif principal cité dans ci-avant.

Mots clé : commande tolérante aux défauts, machine asynchrone à double alimentation Lyapunov , mode glissant, mode glissant-floue , mode glissant-floue-adaptative, détection et isolation des défauts par filtre de Kalman.

Abstract: This work falls under the field of the diagnosis of fault tolerant control (CTF) applied to the Doubly Fed Inductive Generator in one wind turbines' chain', It aims to synthesize a tolerant Active faults tolerant control (AFTC) for this specific machine. This work's methodology is carried out in two steps, the first stage synthesizes a block FDD for the detection and localization of the faults. This is ensured by a wide Kalman filter, the last stage belongs to the principal objective quoted in here before.

Key words: fault tolerant control, DFIG, Lyapunov, slipping mode, sliding-fuzzy mode, sliding-fuzzy-adaptive mode, filter of Kalman.

Abréviations et symboles

Abréviations

LPV	Linear Parameter Varying
CCM	Convertisseur coté machine
CCR	Convertisseur coté réseau
FDP	Fonction dénie positive
FDN	Fonction dénie Négative
PFTC	Passive Fault Tolerant Control
AFTC	Active Fault tolerant Control
MADA	Machine Asynchrone à Double Alimentation
BF	boucle fermée
FDD	Fault Detection and Diagnosis
CLR	Control Law Re-scheduling
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
MPPT	Poursuite du Point de Puissance Maximale (Maximum Power Point Tracking)

Symboles romains

		unité
C	capacité	F
C_p	coefficient de puissance	
C_{aero}	couple aérodynamique	$N.m$
C_{arbre}	couple de l'arbre	$N.m$
C_{em}	couple électromagnétique	$N.m$
C_{mec}	couple mécanique	$N.m$
C_{visq}	couple des frottements visqueux	$N.m$
C_g	couple de la génératrice	$N.m$

d	rapport cyclique	
e_i	Erreur de poursuite	
f_a	fréquence du signale d'alimentation	Hz
D	Diode	
f	coefficient du frottement visqueux	$N.m.s/rad$
f_{ro}	fréquences detectables dans le spectre du courant	Hz
G	gain du multiplicateur de vitesse	
g	glissement	
I	courant	A
I_r	courant rotorique	A
I_s	courant statorique	A
J_g	inertie de la génératrice	$kg.m^2$
J	inertie totale	$kg.m^2$
J_t	inertie de la turbine	$kg.m^2$
L_r	inductance cyclique rotorique	H
L_s	inductance cyclique statorique	H
M	inductance mutuelle entre stator rotor	H
m	masse d'air	Kg
n_d	l'ordre d'excentricité	
N_b	nombre de billes	
n_f	le nombre des harmoniques générées par tous les défauts	
p	nombre de paire de pôles	
P	puissance	W
P_{aero}	puissance aérodynamique	W
P_m	puissance mécanique	W
P_n	puissance nominale	W
P_{max}	puissance maximale	W
P_r	puissance active au niveau rotor	W
P_s	puissance active au niveau stator	W
P_t	Puissance extraite du vent	W
P_v	puissance du vent	W
q	charge de l'électron	C
Q_r	puissance réactive au niveau rotor	VAR
Q_s	puissance réactive au niveau stator	VAR
r_i	Degre relatif de la sortie y_i	
R_r	résistance rotorique	Ω
R_s	résistance statorique	Ω
R_t	longueur d'une pale	m

S	surface balayée par l'éolienne	m^2
V	vitesse du vent	m/s
V	tension	V
V_1	la vitesse du vent en amont de l'aérogénérateur	m/s
V_2	la vitesse du vent en aval de l'aérogénérateur	m/s
V_r	tension rotorique	V
V_s	tension statorique	V

Symboles grecques

β	angle d'inclinaison des pales(l'angle de calage)	$(^\circ)$
Δ	perturbation paramétrique	s
φ_r	flux rotorique	Wb
φ_s	flux statorique	Wb
λ	ratio de vitesse	
Ω	vitesse mécanique de la génératrice	rad/s
Ω_r	vitesse mécanique du rotor	rad/s
Ω_t	vitesse de rotation de la turbine	rad/s
ω_r	pulsation des courants rotoriques	rad/s
ρ	masse volumique de l'air	kg/m^3
θ	l'angle entre le repère statorique et le repère rotorique	rad
θ_r	angle électrique rotorique	rad
θ_s	angle électrique statorique	rad

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, l'évolution des études dans le domaine d'automatique permet de présenter des systèmes de plus en plus performants. Dans les secteurs de pointe comme l'aéronautique, le nucléaire ou bien l'équipement militaire, la sécurité, la fiabilité et la rentabilité sont devenues des concepts fondamentaux. Malgré toute cette évolution, nul système n'est à l'abri d'une défaillance. Pour cela, on porte aujourd'hui un grand effort sur la surveillance et le diagnostic des systèmes. Voire la commande tolérante aux défauts.

Dans ce contexte, de nombreuses approches sont développées, en vue d'empêcher la propagation de défauts et limiter leurs conséquences qui peuvent être nocives aussi bien au niveau économique qu'au niveau environnemental et humain . une technique de détections et d'isolation (FDI) s'avère nécessaire pour ce fait . Le diagnostic, à l'image du domaine médical, consiste à ausculter le système en comparant les données courantes aux données provenant d'un fonctionnement normal . Ces indicateurs permettent en général, de déterminer des symptômes amenant alors la détection et l'isolation de la ou des partie (s) défaillante(s) du système.

Un système tolérant aux défauts se caractérise par son aptitude à maintenir ou retrouver des performances en dysfonctionnement (dynamiques ou statiques) proches de celles qu'il possède en régime normal de fonctionnement. De nombreux travaux pour garantir un certain degré de « tolérance » aux défauts sont issus de techniques classiques de commande robuste (approches dites passives). Plus récemment, on le monde technique a commencé de découvrir de nouvelles approches dites « actives », qui se caractérisent par la présence d'un module de diagnostic (FDI Fault Detection and Isolation). En fonction de la sévérité du défaut, un nouvel ensemble de paramètres de commande ou une nouvelle structure de commande peuvent être appliqués après que le défaut ait été détecté et localisé. L'objectif de la commande FTC est de fournir une solution à la fréquence des problèmes et de réduire les coûts de leurs traitements. Ainsi, le problème qui se pose n'est pas tellement de discuter quelle technique de contrôle de la machine à utiliser mais surtout comment assurer un niveau de performances minimales du système d'entraînement faisant l'objet d'un défaut de fonctionnement par exemple un défaut partiel ou complet des capteurs de courant, de vitesse etc.

Avec l'objectif de la mise en place d'un système actif tolérant aux défauts et une méthodologie de détection et d'isolation des défauts surgissant sur la machine asynchrone à double alimentation.

Le présent mémoire comporte deux chapitres articulés comme suit :

- **Chapitre 1** : Ce chapitre est dévolu à la synthèse d'un filtre de Kalman étendu permettant d'estimer les fréquences des défauts en ligne. Les performances du filtre sont illustrées à travers différentes simulations. Qui vise à proposer une méthodologie de diagnostic permettant de détecter les défauts affectant la machine asynchrone et aux étage de conversions utilisés.
- **Chapitre 2** : Ce chapitre est consacré à la mise en place d'un système actif tolérant aux défauts (AFTC). Une commande par la méthode de Lyapunov génère, à partir des informations issues du bloc FDI élaboré dans le chapitre précédent, un terme additif à la commande nominale pour compenser l'effet des défauts.

A la fin de cette thèse, un paragraphe sera consacré aux conclusions et perspectives des travaux présentés.

Chapitre 1

La Synthèse D'estimateur De Fréquences Des Défauts En Ligne

1.1 introduction

Rudolph E. Kalman a publié en 1960 un article intitulé "A new Approach to Linear Filtering and Prediction Problems" décrivant une solution récursive du problème de filtrage linéaire discret sous forme d'un ensemble d'équations mathématiques, qui permet une meilleure estimation de l'état futur d'un système malgré l'imprécision des mesures et de la modélisation et qui sera connu par la suite : le filtre de Kalman. [1] Le filtre de Kalman et ses filtres dérivés ont connu une application dans plusieurs domaines, notamment le diagnostic. Notre approche consiste principalement en la surveillance des fréquences de défauts affectant la machine asynchrone à double alimentation par observateur de Kalman étendu. Afin d'expliquer son principe, nous présentons tout d'abord son application à la machine asynchrone à double alimentation puis son algorithme, nous fournissons et expliquons les équations mathématiques permettant sa mise en pratique et on termine par des simulations. Une approche est proposée, à savoir, estimation de la fréquence seule.

1.2 principe

Dans la famille des observateurs, le filtre de Kalman présuppose la présence de bruits sur l'état et sur la sortie. La présence naturelle de bruits lorsque la MADA est pilotée par un onduleur représente un argument pour ce choix. On distingue deux étapes principales pour la réalisation d'un filtre de Kalman, une phase de prédiction qui consiste à évaluer les variables d'état à partir des équations du modèle, et une phase de correction qui consiste à corriger l'erreur de prédiction sur les variables en utilisant les différences existantes entre les variables observées et celles mesurées. [2],[3]

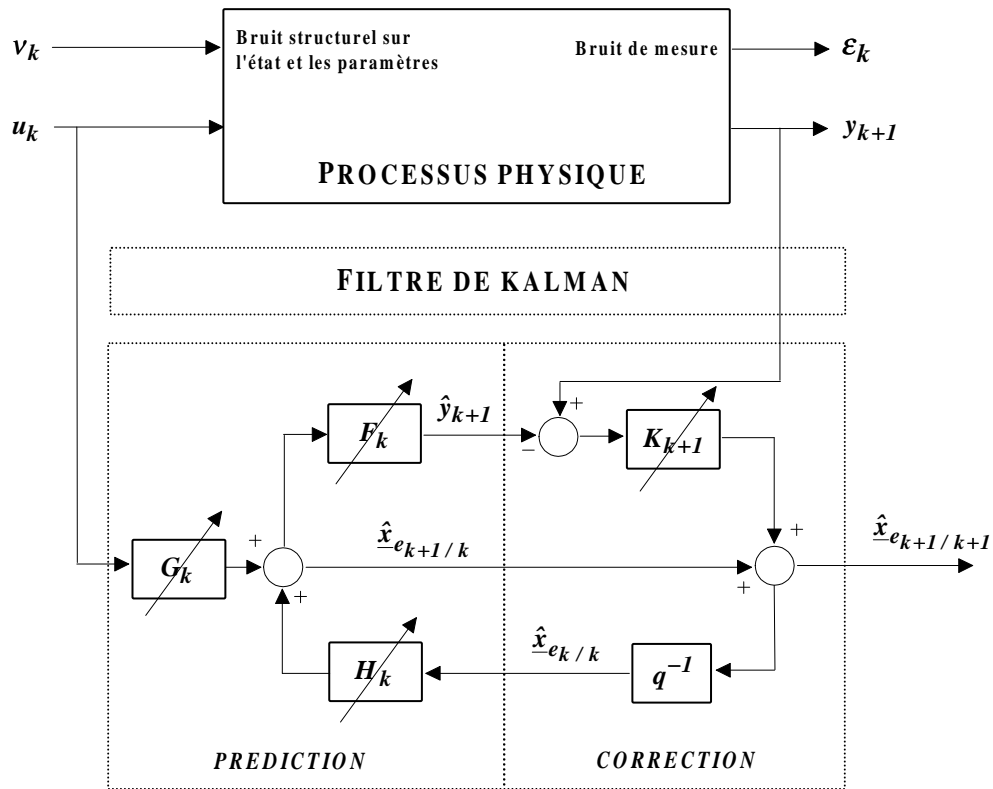


Figure 1.1: Principe du filtre de Kalman

1.3 Application du filtre de Kalman étendu au modèle de la MADA

Notre travail vise à élaborer un outils de détection de défaut basé sur l'observateur de Kalman étendu pour l'estimation des fréquences des défauts. Le filtre de Kalman étendu n'est que l'application du filtre de Kalman dans le cas d'un système non linéaire, ce système doit être linéarisé et discrétisé autour du point de fonctionnement actuel (vecteur d'état estimé).

1.3.1 La linéarisation

1.3.2 Estimation de la fréquence seule

Dans cette partie, on considère que le système est équipé, ainsi on adapte une méthode qui nous permet à la fois l'estimation des fréquences de défauts .

Pour ce fait, on utilise le modèle de la MADA en présence de défauts sans la cinquième équation correspondante à la vitesse mécanique (2.86), décrit dans le repère (d, q) et le système (2.70) qui permet d'introduire les harmoniques dues aux défauts dans le système d'état, on aura ainsi le système augmenté de la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = G(X) + B_c U \\ Y(t) = CX(t) \end{cases} \quad (1.1)$$

Tel que :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x) + b_1 u_1 + V_1 \\ \dot{x}_2 = f_2(x) + b_2 u_2 + V_2 \\ \dot{x}_3 = f_3(x) + V_3 \\ \dot{x}_4 = f_4(x) + V_4 \end{cases} \quad (1.2)$$

Avec :

$$X^T = \left[i_{sd} \quad i_{sq} \quad \phi_{sd} \quad \phi_{sq} \quad z_1 \quad z_2 \quad z_3 \quad \dots \quad z_n \right] \quad (1.3)$$

On linéarise le système précédent autour du point de fonctionnement qui correspond au vecteur d'état estimé, on obtient donc un système linéaire de la forme :

$$\frac{dX(t)}{dt} = A_c X(t) + B_c U_t \quad (1.4)$$

Sachant que :

$$A_c = \frac{\partial G}{\partial X} \quad (1.5)$$

1.3.3 La discrétisation

Le filtre de Kalman est un algorithme récursif de traitement de données. Etant donné que ce filtre doit être utilisé en temps réel, et pour les besoins d'implémentation, le modèle linéaire du système défaillant doit être discrétisé est écrit sous la forme :

$$\begin{cases} X[k+1] = A_d X[k] + B_d U[k] \\ Y[k] = CX[k] \end{cases} \quad (1.6)$$

$$A_d = e^{A_c T_e} \simeq I + A_c T_e + \frac{(A_c T_e)^2}{2} \quad (1.7)$$

$$B_d = (e^{A_c T_e} - 1)B_c \simeq T_e A_c \left(I + \frac{A_c T_e}{2} \right) B_c \quad (1.8)$$

1.3.4 Algorithme du filtre de Kalman étendu

L'implémentation du filtre de Kalman étendu consiste en l'exécution des étapes suivantes :

1. Initialisation du vecteur d'état et des matrices de covariance P_0, Q et R . La valeur initiale de P_0 reflète le degré de connaissance concernant l'état initial du système. Une grande valeur de P_0 signifie une moindre information concernant les états suscités et ceci peut créer une divergence de l'estimation et même des oscillations des états estimés.
2. Prédiction des états : la prédiction des états $x(k+1)$ est basée seulement sur la connaissance de l'état précédent du système et le vecteur d'entrée.

$$\left\{ \begin{array}{l} X[k+1 | k] = A_d[k]X[k] + B_d[k]U[k] \\ w_1[k+1 | k] = w_1[k] \\ \vdots \\ w_i[k+1 | k] = w_i[k] \end{array} \right. \quad (1.9)$$

3. Prédiction de la matrice de covariance

$$P[k+1 | k] = F[k]P[k | k]F[k]^T + Q \quad (1.10)$$

$$F[k] = \begin{bmatrix} A_d[k] & \frac{\partial}{\partial w_1}(X[k+1 | k])_{w_1[k|k]} & \dots & \frac{\partial}{\partial w_i}(X[k+1 | k])_{w_i[k|k]} \\ 0 & I & & \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

4. Calcul du gain de Kalman

$$K[k+1] = P[k+1 | k]H^T(HP[k+1 | k]H^T + R)^{-1} \quad (1.12)$$

$$H = \begin{bmatrix} C & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

5. Correction du vecteur d'état

$$\begin{bmatrix} X[k+1 | k+1] \\ w_1[k+1 | k+1] \\ \vdots \\ w_i[k+1 | k+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X[k+1 | k] \\ w_1[k+1 | k] \\ \vdots \\ w_i[k+1 | k] \end{bmatrix} + K[k+1](Y[k+1] - CX[k+1 | k]) \quad (1.13)$$

6. Correction de la matrice de covariance

$$P[k+1 | k+1] = P[k+1 | k] - HP[k+1 | k] \quad (1.14)$$

L'algorithme du filtre de Kalman continu en revenant à l'étape (2) et ainsi de suite avec ($k = k + 1$)

1.4 Le choix des matrices de covariance Q et R

Ce sont via ces matrices que passeront les différents états mesurés, prédits et estimés. Leurs but est de minimiser les erreurs liées à une modélisation approchée et à la présence de bruits sur les mesures. Ce réglage requiert une attention particulière. La matrice Q liée aux bruits entachant l'état, permet de régler la qualité estimée de notre modélisation et de sa discrétisation. Une forte valeur de Q réduit l'importance de la modélisation et de la dynamique du filtre. Cependant une trop forte valeur de Q peut créer une instabilité de l'observation. La matrice R règle quant à elle le poids des mesures. Une forte valeur indique une grande incertitude de la mesure. Par contre, une faible valeur permet de donner un poids important à la mesure. Néanmoins, il faut faire attention au risque d'instabilité pour les faibles valeurs de R .

La valeur du gain ne change pas en multipliant Q, R par un scalaire. En plus les composantes (d, q) du courant statorique ou du flux statorique sont considérés orthogonaux statistiquement, donc il y a aucune raison de les traiter séparément. Donc les matrices Q et R sont considérés en tant que des matrices diagonales. Ces valeurs ont été réglées de façon à favoriser la stabilité par rapport au temps de convergence.[4]

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_n \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad (1.15)$$

1.5 implémentation de l'algorithme du filtre de Kalman étendu

1.5.1 Cas d'un défaut statorique

Le système (4.1) devient :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1x_1 + a_2w_r x_2 + a_3x_3 + a_4W x_4 + a_1z_1 + (a_2w_r - w_1)z_2 \\ \dot{x}_2 = a_7w_r x_1 + a_6x_2 + a_9W x_3 + a_8x_4 + (a_7w_r + w_1)z_1 + a_6z_2 \\ \dot{x}_3 = a_{11}x_1 + a_{12}w_s x_4 + a_{11}z_1 \\ \dot{x}_4 = a_{14}x_2 + a_{15}w_s x_4 + a_{14}z_2 \\ \dot{z}_1 = w_1z_2 \\ \dot{z}_2 = -w_1z_1 \end{cases} \quad (1.16)$$

Le système linéaire continu est donc :

$$A_c = \begin{bmatrix} a_1 & a_2w_r & +a_3 & a_4W & a_1 & (a_2w_r - w_1) \\ a_7w_r & a_6 & a_9W & a_8 & (a_7w_r + w_1) & a_6 \\ a_{11} & 0 & 0 & a_{12}w_s & a_{12}w_s & 0 \\ 0 & a_{14} & 0 & a_{15}w_s & 0 & a_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -w_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_c = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

Tel que Les matrices A_d et B_d sont données par la méthode d'exponentielle, à l'aide du MATLAB on tape :

$$Ad = (\text{eye}(6,6) + (Ac * Te) + (Ac^2) * (Te^2) / 2);$$

$$Bd = Te * ((\text{eye}(6,6) + (Ac * Te / 2))) * Bc;$$

les matrices F et H sont données par :

$$F[k] = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 w_r & a_3 & a_4 W & a_1 & (a_2 w_r - w_1) & f_1 \\ a_7 w_r & a_6 & a_9 W & a_8 & (a_7 w_r + w_1) & a_6 & f_2 \\ a_{11} & 0 & 0 & a_{12} w_s & a_{12} w_s & 0 & 0 \\ 0 & a_{14} & 0 & a_{15} w_s & 0 & a_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_1 & -f_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -w_1 & 0 & -f_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H[k] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

avec

$$f_1 = z_1[k | k] T_e^2 w_1[k | k] - z_2[k | k] T_e$$

$$f_2 = z_2[k | k] T_e^2 - w_1[k | k] - z_1[k | k] T_e$$

Les matrices de covariances sont :

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_7 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

1.5.2 Cas d'un défaut rotorique

Le système (4.1) devient :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = a_1x_1 + a_2w_r x_2 + a_3x_3 + a_4Wx_4 + a_1z_1 + (-w_1 - a_2w_r)z_2 + a_1z_3 + (-w_2 - a_2w_r)z_4 \\ \dot{x}_2 = a_7w_r x_1 + a_6x_2 + a_9Wx_3 + a_8x_4 + (a_7w_r + w_1)z_1 + a_6z_2 + (a_7w_r + w_1)z_3 + a_6z_4 \\ \dot{x}_3 = a_{11}x_1 + a_{12}w_s x_4 + a_{11}z_1 + a_{11}z_3 \\ \dot{x}_4 = a_{14}x_2 + a_{15}w_s x_4 + a_{14}z_2 + a_{14}z_4 \\ \dot{z}_1 = w_1z_2 \\ \dot{z}_2 = -w_1z_1 \\ \dot{z}_3 = w_2z_4 \\ \dot{z}_4 = -w_2z_3 \end{array} \right. \quad (1.20)$$

On aura ainsi

$$A_c = \begin{bmatrix} a_1 & a_2w_r & +a_3 & a_4W & a_1 & (a_2w_r - w_1) & a_1 & (-w_2 - a_2w_r) \\ a_7w_r & a_6 & a_9W & a_8 & (a_7w_r + w_1) & a_6 & (a_7w_r + w_1) & a_6 \\ a_{11} & 0 & 0 & a_{12}w_s & a_{12}w_s & 0 & a_{11} & 0 \\ 0 & a_{14} & 0 & a_{15}w_s & 0 & a_{14} & 0 & a_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -w_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -w_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_c = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

pour les matrices A_d et B_d on utilise les mêmes relations dans les équations (4.7),(4.8) respectivement.

Les matrices F et H sont :

$$H[k] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F[k] = \begin{bmatrix} A_d & f \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

Tel que :

$$f = \begin{bmatrix} z_1[k | k]T_e^2 w_1 - z_2[k | k]T_e & z_3[k | k]T_e^2 w_2 - z_4[k | k]T_e \\ z_2[k | k]T_e^2 w_1 - z_1[k | k]T_e & z_4[k | k]T_e^2 w_2 - z_3[k | k]T_e \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ z_1[k | k]T_e^2 w_1 - z_2[k | k]T_e & 0 \\ -z_2[k | k]T_e^2 w_1 - z_1[k | k]T_e & 0 \\ 0 & -(z_3[k | k]T_e^2 w_2 - z_4[k | k]T_e) \\ 0 & -(z_4[k | k]T_e^2 w_2 - z_3[k | k]T_e) \end{bmatrix}$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

Les matrices de covariances sont données par :

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{10} \end{bmatrix} \quad .R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

1.5.3 Cas de deux défauts un au stator et l'autre au rotor

Le système (4.1) devient :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = a_1x_1 + a_2w_r x_2 + a_3x_3 + a_4Wx_4 + a_1z_1 + (-w_1 - a_2w_r)z_2 + a_1z_3 + (-w_2 - a_2w_r)z_4 \\ \quad + a_1z_5 + (-w_3 - a_2w_r)z_6 \\ \dot{x}_2 = a_7w_r x_1 + a_6x_2 + a_9Wx_3 + a_8x_4 + (a_7w_r + w_1)z_1 + a_6z_2 \\ \quad + (a_7w_r + w_1)z_3 + a_6z_4 + (a_7w_r + w_3)z_5 + a_6z_6 \\ \dot{x}_3 = a_{11}x_1 + a_{12}w_s x_4 + a_{11}z_1 + a_{11}z_3 + a_{11}z_5 \\ \dot{x}_4 = a_{14}x_2 + a_{15}w_s x_4 + a_{14}z_2 + a_{14}z_4 + a_{14}z_6 \\ \dot{z}_1 = w_1z_2 \\ \dot{z}_2 = -w_1z_1 \\ \dot{z}_3 = w_2z_4 \\ \dot{z}_4 = -w_2z_3 \\ \dot{z}_5 = w_3z_6 \\ \dot{z}_6 = -w_2z_5 \end{array} \right. \quad (1.25)$$

Le système obtenu est linéaire, avec

$$\begin{aligned} C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B_c &= \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \\ A_c &= \begin{bmatrix} a_1 & a_2w_r & a_3 & a_4W & a_1 & \beta_1 & a_1 & \beta_2 & a_1 & \beta_3 \\ a_7w_r & a_6 & a_9W & a_8 & \alpha_1 & a_6 & \alpha_2 & a_6 & \alpha_3 & a_6 \\ a_{11} & 0 & 0 & a_{12}w_s & a_{11} & 0 & a_{11} & 0 & a_{11} & 0 \\ 0 & a_{14} & 0 & a_{15}w_s & 0 & a_{14} & 0 & a_{14} & 0 & a_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -w_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -w_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -w_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.26) \end{aligned}$$

Tel que :

$$\alpha_1 = (a_7(w_r) + w_1) , \alpha_2 = (a_7(w_r) + w_2) , \alpha_3 = (a_7(w_r) + w_3)$$

$$\beta_1 = (-w_1 - a_2 w_r) , \beta_2 = (-w_2 - a_2 w_r) , \beta_3 = (-w_3 - a_2 w_r)$$

Pour les matrices A_d et B_d on utilise les même relations dans les équations (4.7),(4.8)respectivement.

Les matrices F et H sont :

$$H[k] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F[k] = \begin{bmatrix} A_d & f \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

(1.27)

Tel que :

$$f = \begin{bmatrix} z_1[k | k]T_e^2 w_1 - z_2[k | k]T_e & z_3[k | k]T_e^2 w_2 - z_4[k | k]T_e & z_5[k | k]T_e^2 w_3 - z_6[k | k]T_e \\ z_2[k | k]T_e^2 w_1 + z_1[k | k]T_e & z_4[k | k]T_e^2 w_2 + z_3[k | k]T_e & z_6[k | k]T_e^2 w_3 + z_5[k | k]T_e \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -z_1[k | k]T_e^2 w_1 + z_2[k | k]T_e & 0 & 0 \\ -z_2[k | k]T_e^2 w_1 - z_1[k | k]T_e & 0 & 0 \\ 0 & -z_3[k | k]T_e^2 w_2 + z_4[k | k]T_e & 0 \\ 0 & -z_4[k | k]T_e^2 w_2 - z_3[k | k]T_e & 0 \\ 0 & 0 & -z_5[k | k]T_e^2 w_3 + z_6[k | k]T_e \\ 0 & 0 & -z_6[k | k]T_e^2 w_3 - z_5[k | k]T_e \end{bmatrix} \quad (1.28)$$

et

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

Les matrices de covariance sont :

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_1 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

1.6 Résultats de simulation et interprétation :

1.6.1 Présence d'un seul défaut au stator

À $t = 3sec$ on introduit un seul défaut au niveau du stator génère une harmonique de fréquence $15Hz$, d'amplitude 5 et de phase nulle.

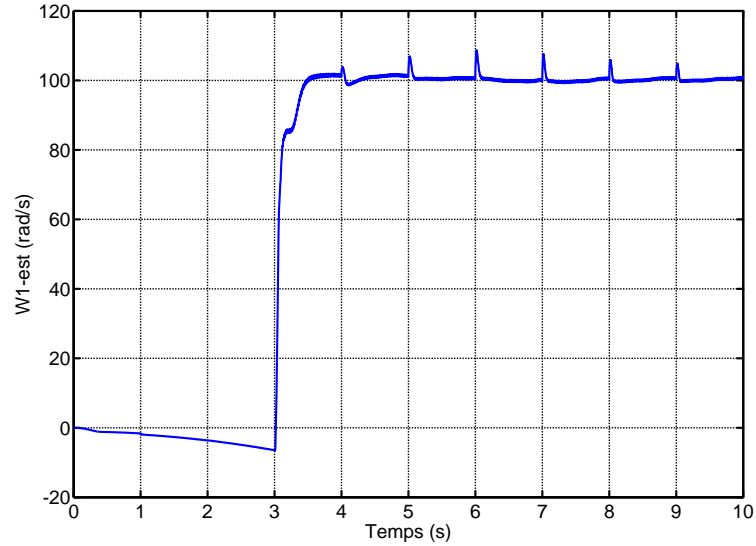


Figure 1.2: Pulsation w_{1est} en (rad/s)

1.6.2 Présence d'un seul défaut au rotor

À $t = 0sec$ on introduit un un seul défaut dans le rotor générant deux harmoniques de fréquences $30, 60Hz$ et d'amplitude 8, 10 respectivement et de phases nulles.

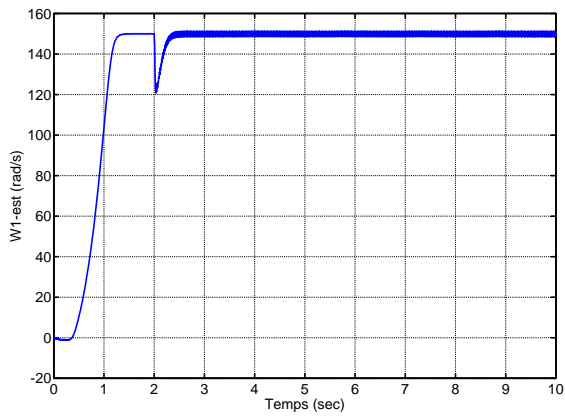


Figure 1.3: Pulsation w_{1est} en (rad/s)

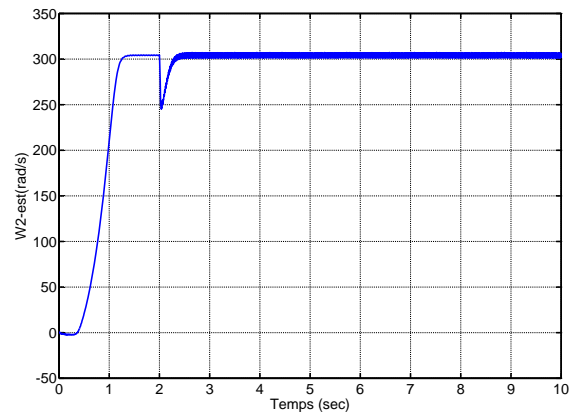


Figure 1.4: Pulsation w_{2est} en (rad/s)

1.6.3 Présence de deux défauts (stator et rotor)

À $t = 3sec$ on introduit deux défauts un au niveau du stator et l'autre au niveau du rotor générant trois harmoniques de fréquences $15Hz$, $30Hz$, $60Hz$ et d'amplitudes 5, 8, 10 respectivement et de phases nulles.

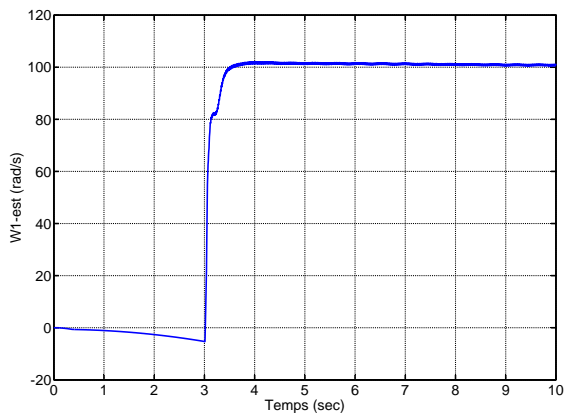


Figure 1.5: Pulsation w_{1est} en (rad/s)

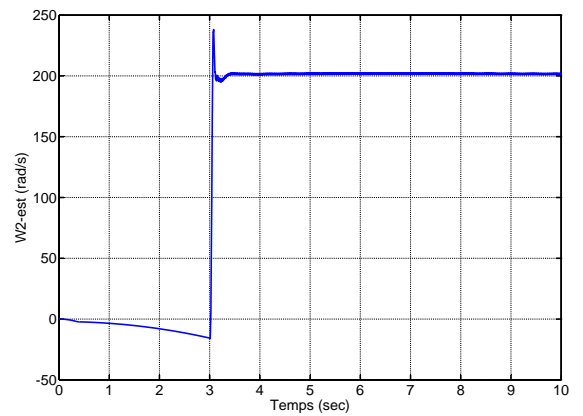


Figure 1.6: Pulsation w_{2est} en (rad/s)

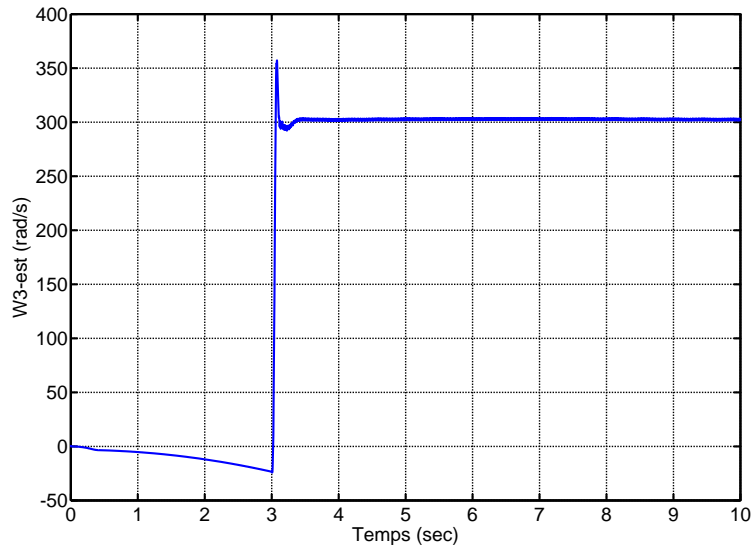


Figure 1.7: Pulsation w_{3est} en (rad/s)

1.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à réaliser un block FDD capable de détecter les défauts susceptibles d'affecter la machine dans un système éolien dès leurs présence. Pour ce cela , un filtre de Kalman étendu a été choisi comme estimateur de fréquences en ligne. Les simulations effectuées, montrent que le filtre de Kalman étendu a répondu au problème de détection et localisation des défauts. Néanmoins, ses performances sont liés aux choix des matrices R et Q ,Or un mauvais choix de ces deux matrices peut provoquer une mauvaise estimation.

Chapitre 2

La Mise En Place D'un Système Actif Tolérant Aux Défauts (AFTC)

2.1 Introduction

Vu que les commandes synthétisées dans le chapitre III ne rejettent pas totalement l'effet des défauts, une autre stratégie de commande s'impose qui est la commande active tolérante aux défauts (AFTC). Un système de commande active tolérant aux défauts (AFTC) est capable d'une part de détecter la présence de défauts et d'autre part d'adapter ou reconfigurer adéquatement le signal de commande afin de maintenir la stabilité et au mieux les performances nominales du système en présence de défauts. [4] La synthèse de la commande active tolérante aux défauts se fait en deux étapes. La première étape s'intéresse à la détection et diagnostic (ou isolation) des défauts (FDD : Fault Detection and Diagnosis ou FDI : Fault Detection and Isolation) et la deuxième à la reconfiguration de la loi de commande afin de compenser leurs effets. Dans ce chapitre, on décrit d'abord cette technique de commande, puis on présente son application à la MADA dans diverses situations défailtantes et on termine par des simulations.

2.2 Stratégie de reconfiguration

Dans le cas où les effets des défauts sur le système peuvent être convenablement modélisés, on procède à la recherche d'un régulateur capable de compenser ces effets reproduits explicitement. En d'autre terme, la reconfiguration de la commande passe par une unité FDD explicite qui assure la reproduction du signal représentant l'effet du défaut. En supposant que l'effet d'un défaut sur le système peut être modélisé par un signal exogène issu d'un système autonome stable appelé communément "exosystème", un terme aditif issu de la commande de Lyapunov des deux stratégies est ajouté à la commande nominale et sert à compenser l'effet du défaut (aspect FTC). L'objectif de ce chapitre est donc de synthétiser une loi de commande tolérante aux défauts en s'appuyant sur les informations fournies par le module de diagnostic (le filtre de Kalman étendu élaboré dans le chapitre IV) dont le rôle est d'estimer les pulsations caractéristiques des défauts c.à.d. les \hat{w}_i . [4],[5]

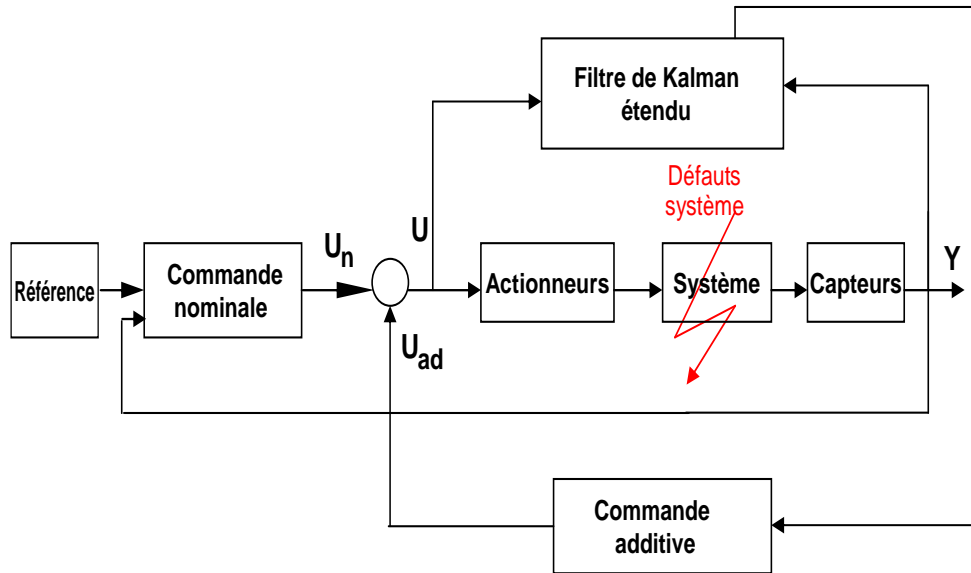


Figure 2.1: Structure d'une commande explicitement tolérante aux défauts.

2.3 Position du problème

Rappelons le modèle de la MADA en présence de défauts et des variations paramétriques qu'on a élaboré dans le chapitre II :

$$\dot{x} = f(x) + B.u + d.C_g + \Delta(x, \Delta a_i) + \sigma.V \quad (2.1)$$

Où :

$$x^T = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{sd} & i_{sq} & \varphi_{sd} & \varphi_{sq} & \omega_r \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}
f(x) &= \begin{bmatrix} a_1x_1 + a_2(\omega_s - x_5)x_2 + a_3x_3 + a_4x_4x_5 + a_5v_{ds} \\ a_6x_2 + a_7(\omega_s - x_5)x_1 + a_8x_4 + a_9x_3x_5 + a_{10}v_{qs} \\ a_{11}x_1 + a_{12}\omega_sx_4 + a_{13}v_{ds} \\ a_{14}x_2 + a_{15}\omega_sx_3 + a_{16}v_{qs} \\ a_{17}x_2x_3 + a_{18}x_1x_4 + a_{19}x_5 \end{bmatrix}; \Delta(x, \Delta a_i) = \begin{bmatrix} \Delta_1(x, \Delta a_i) \\ \Delta_2(x, \Delta a_i) \\ \Delta_3(x, \Delta a_i) \\ \Delta_4(x, \Delta a_i) \\ \Delta_5(x, \Delta a_i) \end{bmatrix} \\
B &= \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ d_1 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

On ne considère pas pour le moment le couple de charge et les perturbations paramétriques car leur effet est compensé par la commande nominale. Les fréquences des défauts sont estimées par le bloc FDD, notons aussi que les deux termes V_3 et V_4 sont multipliés par $R_s \simeq 0$, donc par la suite ils seront omis .

Le système étudié est de la forme :

$$\dot{x} = f(x) + B.u + \sigma.\hat{V} \tag{2.5}$$

2.3.1 un défaut au stator

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = a_1z_1 + (a_2(w_s - w) - \hat{w}_1) z_2 \\ V_2 = (a_7(w_s - w) + \hat{w}_1) z_1 + a_6z_2 \\ V_3 = a_{11}z_1 \\ V_4 = a_{14}z_2 \\ V_5 = a_{18}\varphi_{qs}z_1 + a_{17}\varphi_{ds}z_2 \end{array} \right. \tag{2.6}$$

2.3.2 Un défaut au rotor

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = a_1 z_1 - (a_2(w_s - w) + \hat{w}_1) z_2 + a_1 z_3 - (a_2(w_s - w) + \hat{w}_2) z_4 \\ V_2 = (-a_7(w_s - w) + \hat{w}_1) z_1 + a_6 z_2 + (-a_7(w_s - w) + \hat{w}_2) z_3 + a_6 z_4 \\ V_3 = a_{11} (z_1 + z_3) \\ V_4 = a_{14} (z_2 + z_4) \\ V_5 = a_{18} \varphi_{qs} (z_1 + z_3) + a_{17} \varphi_{ds} (z_2 + z_4) \end{array} \right. \quad (2.7)$$

2.3.3 Un défaut au niveau du stator et un au niveau du rotor

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = a_1 z_1 - (a_2(w_s - w) + \hat{w}_1) z_2 + a_1 z_3 - (a_2(w_s - w) + \hat{w}_2) z_4 + a_1 z_5 - (a_2(w_s - w) + \hat{w}_3) z_6 \\ V_2 = (-a_7(w_s - w) + \hat{w}_1) z_1 + a_6 z_2 + (-a_7(w_s - w) + \hat{w}_2) z_3 + a_6 z_4 + (-a_7(w_s - w) + \hat{w}_3) z_5 + a_6 z_6 \\ V_3 = a_{11} (z_1 + z_3 + z_5) \\ V_4 = a_{14} (z_2 + z_4 + z_6) \\ V_5 = a_{18} \varphi_{qs} (z_1 + z_3 + z_5) + a_{17} \varphi_{ds} (z_2 + z_4 + z_6) \end{array} \right. \quad (2.8)$$

2.4 Synthèse de la loi de commande AFTC

La commande tolérante aux défauts obtenue est constituée de trois termes :

$$u = u_n + u_{ad} \quad (2.9)$$

Tel que, Le terme u_n représente la commande nominale (lorsque le système est en fonctionnement normal), ce sont les commandes de Lyapunov robuste élaborée dans le chapitre précédant pour assurer la stabilité et la poursuite de la référence.

2.4.1 Technique MPPT avec asservissement de vitesse :

Rappelons l'expression de la commande nominale :

$$C_{emr\acute{e}f} = K_5 e_5 - f \Omega_g + C_g - J \dot{\Omega}_{r\acute{e}f} \quad (2.10)$$

Système d'erreur

l'erreur de poursuite entre la variable d'état et sa référence peut être exprimé par :

$$\bar{x}_5 = x_5 - x_5^r = e_5 \quad (2.11)$$

Sa dérivée par rapport au temps donne :

$$\dot{\bar{x}}_5 = \frac{p}{J}C_{em} + a_{19}x_5 + \hat{V}_5 - \dot{x}_5 \quad (2.12)$$

Qui devient en remplaçant l'expression de la commande (V.9) et (V.10) :

$$\dot{\bar{x}}_5 = -K_5\bar{x}_5 + \frac{p}{J}C_{emad} + \hat{V}_5 \quad (2.13)$$

synthèse de la loi de commande active par Lyapunov

Le but de la commande additive est d'annuler l'erreur sur la puissance active et sue celle réactive même en présence de défauts.

Soit la fonction de Lyapunov définie positive (FDP) sur \Re :

$$V = \frac{1}{2}\bar{x}_5^2 \quad (2.14)$$

Sa dérivée est donnée par :

$$\dot{V} = \bar{x}_5\dot{\bar{x}}_5 = \bar{x}_5 \left(-K_5\bar{x}_5 + \frac{p}{J}C_{emad} + \hat{V}_5 \right) \quad (2.15)$$

Si on choisit :

$$C_{emad} = -\frac{J}{p}\hat{V}_5 \quad (2.16)$$

On obtient donc :

$$\dot{V} = -k_5\bar{x}_5^2 \quad (2.17)$$

V_5 est une fonction de Lyapunov définie négative (FDN) sur \Re

2.4.2 Technique de commande découplée en P et Q :

Rappelons l'expression de la commande nominale :

$$\begin{cases} U_1 = v_{dr} = -\frac{f_1(x)}{b_1} + \frac{\dot{Q}_{sréf}}{v_{qs}b_1} - \frac{K_1 e_1}{v_{qs}b_1} \\ U_2 = v_{qr} = -\frac{f_2(x)}{b_2} + \frac{\dot{P}_{sréf}}{v_{qs}b_2} - \frac{K_2 e_2}{v_{qs}b_2} \end{cases} \quad (2.18)$$

Système d'erreur

Les erreurs de poursuite entre les différentes variables d'états et leurs références peuvent être exprimés par :

$$\bar{x} = x - x^r = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1^r \\ x_2^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Leurs dérivées par rapport au temps :

$$\dot{\bar{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\bar{x}}_1 \\ \dot{\bar{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x) + b_1 u_1 + \hat{V}_1 - \dot{x}_1^r \\ f_2(x) + b_2 u_2 + \hat{V}_2 - \dot{x}_2^r \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Qui deviennent en remplaçant l'expression de la commande (5.9) et (5.10) :

$$\dot{\bar{x}} = \begin{bmatrix} -K_1 \bar{x}_1 + b_1 u_{ad1} + \hat{V}_1 \\ -K_2 \bar{x}_2 + b_2 u_{ad2} + \hat{V}_2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

synthèse de la loi de commande active par Lyapunov

Le but de la commande additive est d'annuler l'erreur sur la puissance active et sue celle réactive même en présence de défauts.

Soit la fonction de Lyapunov définie positive (FDP) sur \mathfrak{R}^2 :

$$V = \frac{1}{2} \bar{x}_1^2 + \frac{1}{2} \bar{x}_2^2 \quad (2.22)$$

Sa dérivée est donnée par :

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \bar{x}_1 \dot{\bar{x}}_1 + \bar{x}_2 \dot{\bar{x}}_2 \\ &= \bar{x}_1 \left(-k_1 \bar{x}_1 + b_1 u_{ad1} + \hat{V}_1 \right) + \bar{x}_2 \left(-k_2 \bar{x}_2 + b_2 u_{ad2} + \hat{V}_2 \right)\end{aligned}\quad (2.23)$$

Si on choisit :

$$\begin{cases} u_{ad1} = -\frac{\hat{V}_1}{b} \\ u_{ad2} = -\frac{\hat{V}_2}{b} \end{cases}\quad (2.24)$$

On obtient donc :

$$\dot{V} = -K_1 \bar{x}_1^2 - K_2 \bar{x}_2^2\quad (2.25)$$

V est une fonction de Lyapunov définie négative (FDN) sur \mathfrak{R}^2

2.5 Résultats de simulation et interprétation :

2.5.1 Présence d'un seul défaut au stator

À $t = 3sec$ on introduit un seul défaut au niveau du stator génère une harmonique de fréquence $15Hz$, d'amplitude 5 et de phase nulle.

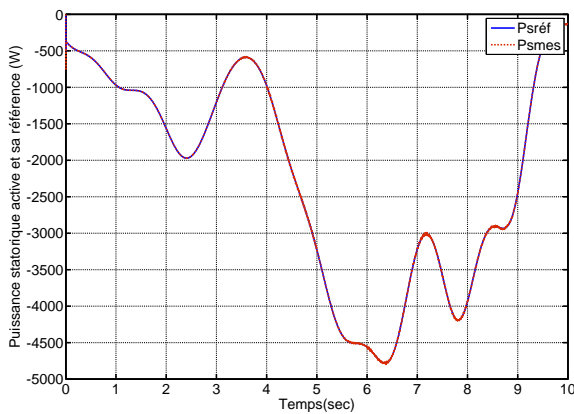


Figure 2.2: Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)

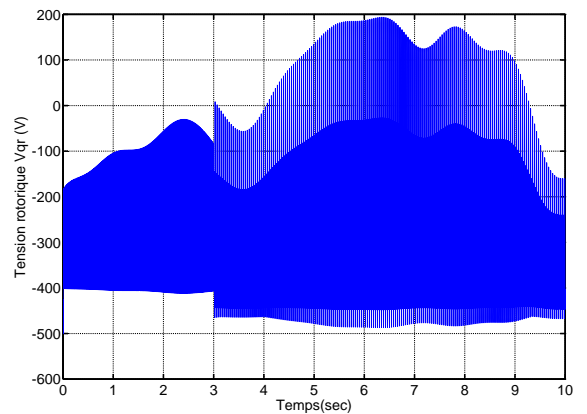


Figure 2.3: La tension rotorique V_{qr} (V)

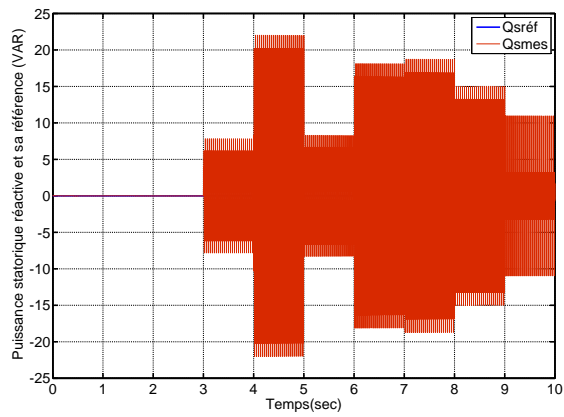


Figure 2.4: Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)

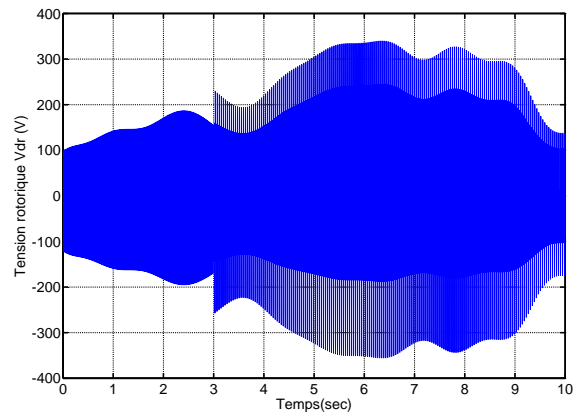


Figure 2.5: La tension rotorique Vdr (V)

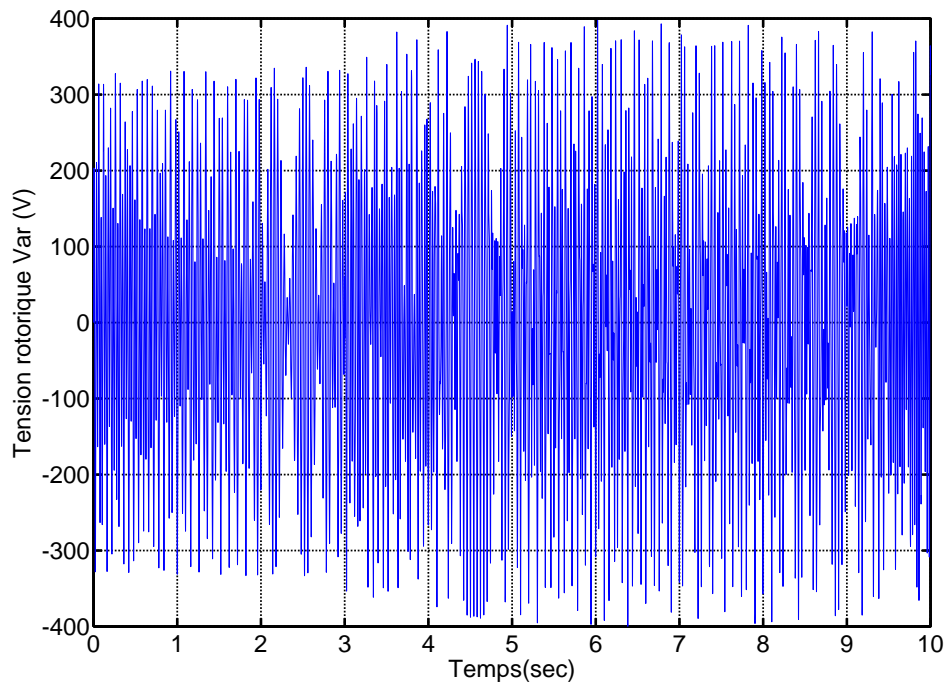


Figure 2.6: La tension rotorique Var (V)

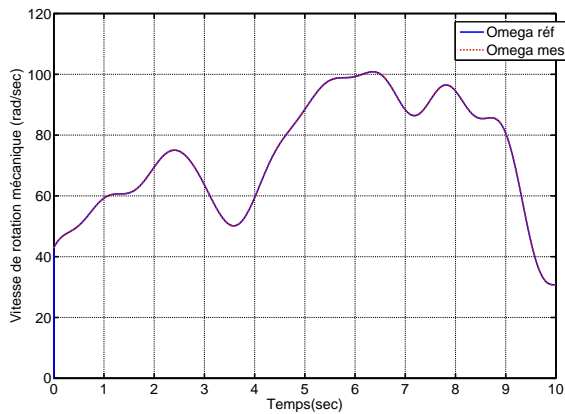


Figure 2.7: Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)

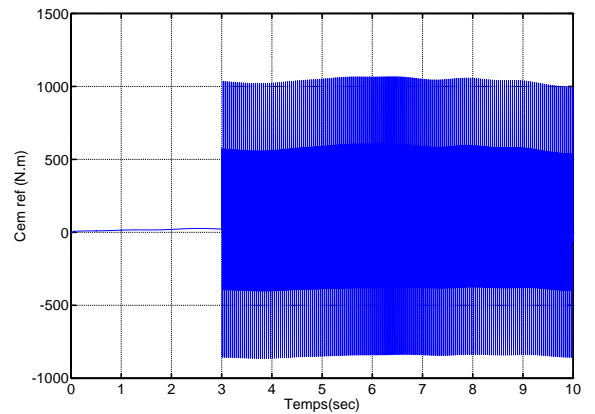


Figure 2.8: Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)

2.5.2 Présence d'un seul défaut au rotor

À $t = 3sec$ on introduit un un seul défaut dans le rotor générant deux harmoniques de fréquences $30, 60Hz$ et d'amplitude $8, 10$ respectivement et de phases nulles.

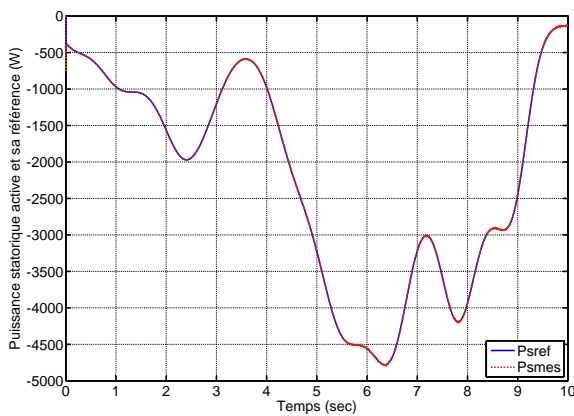


Figure 2.9: Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)

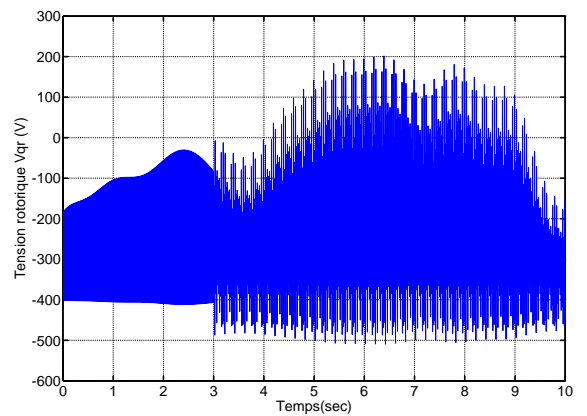


Figure 2.10: La tension rotorique V_{qr} (V)

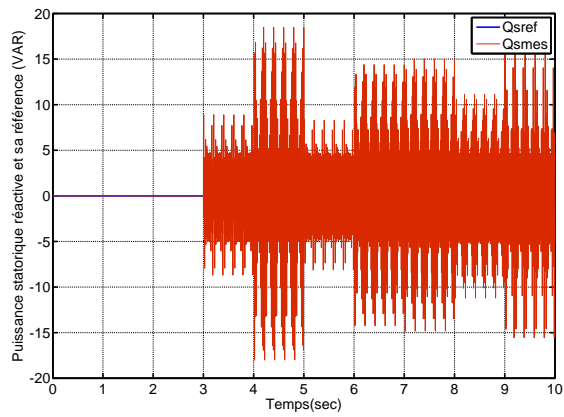


Figure 2.11: Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)

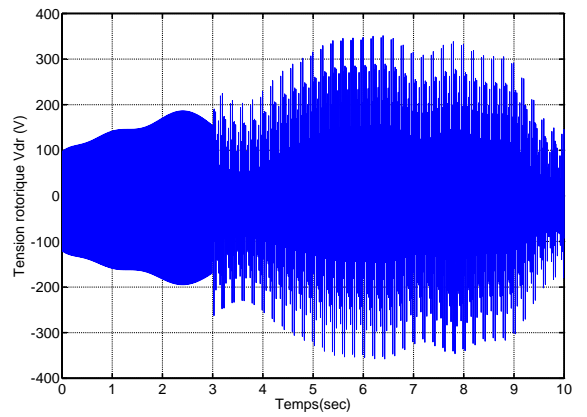


Figure 2.12: La tension rotorique V_{dr} (V)

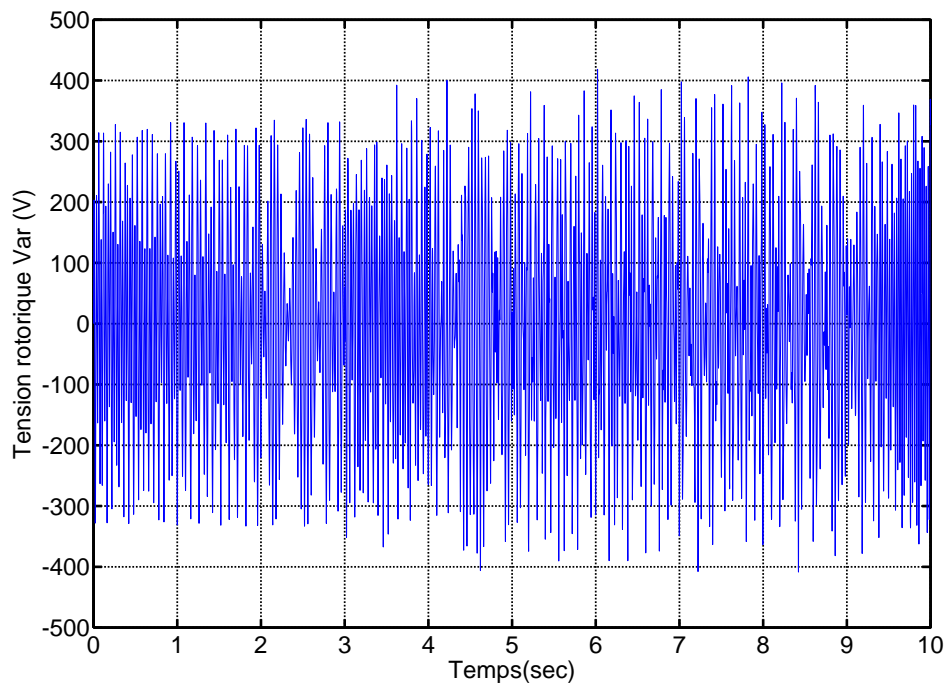


Figure 2.13: La tension rotorique V_{ar} (V)

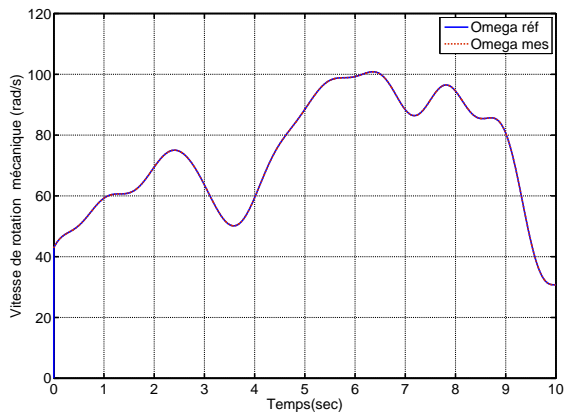


Figure 2.14: Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)

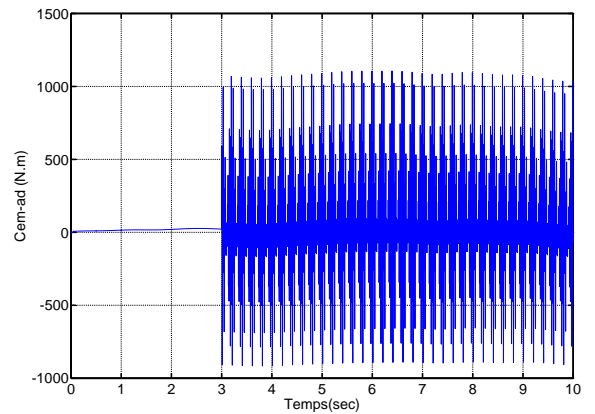


Figure 2.15: Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)

2.5.3 Présence de deux défauts (stator et rotor)

À $t = 3sec$ on introduit deux défauts un au niveau du stator et l'autre au niveau du rotor générant trois harmoniques de fréquences $15Hz$, $30Hz$, $60Hz$ et d'amplitudes 5, 8, 10 respectivement et de phases nulles.

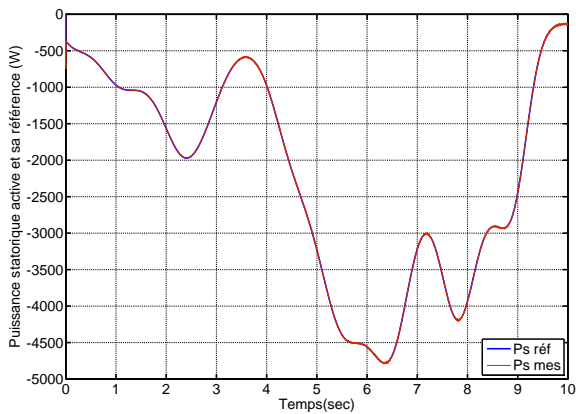


Figure 2.16: Puissance statorique active et sa référence du système AFTC (W)

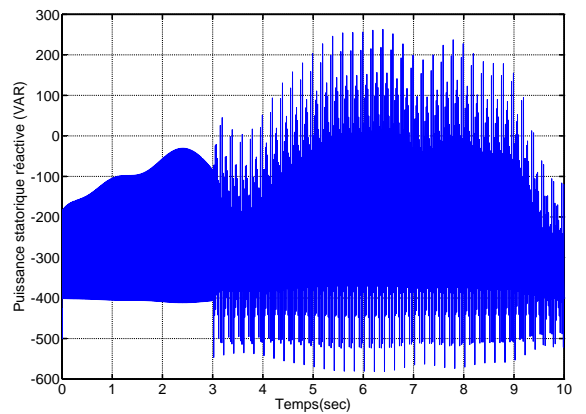


Figure 2.17: La tension rotorique V_{qr} (V)

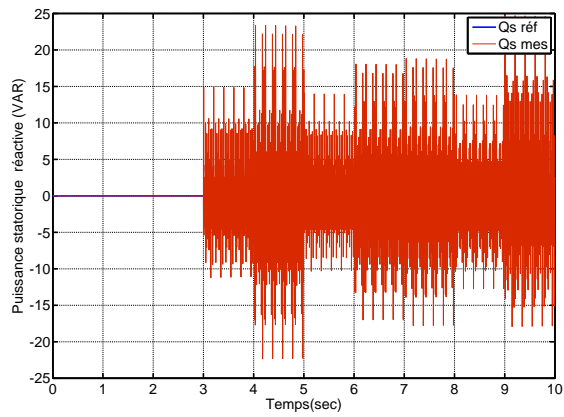


Figure 2.18: Puissance statorique réactive et sa référence du système AFTC (VAR)

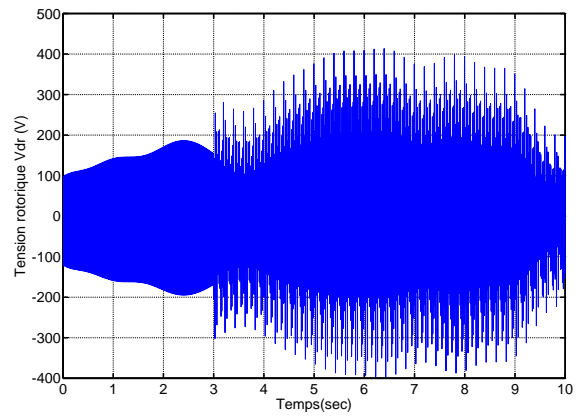


Figure 2.19: La tension rotorique V_{dr} (V)

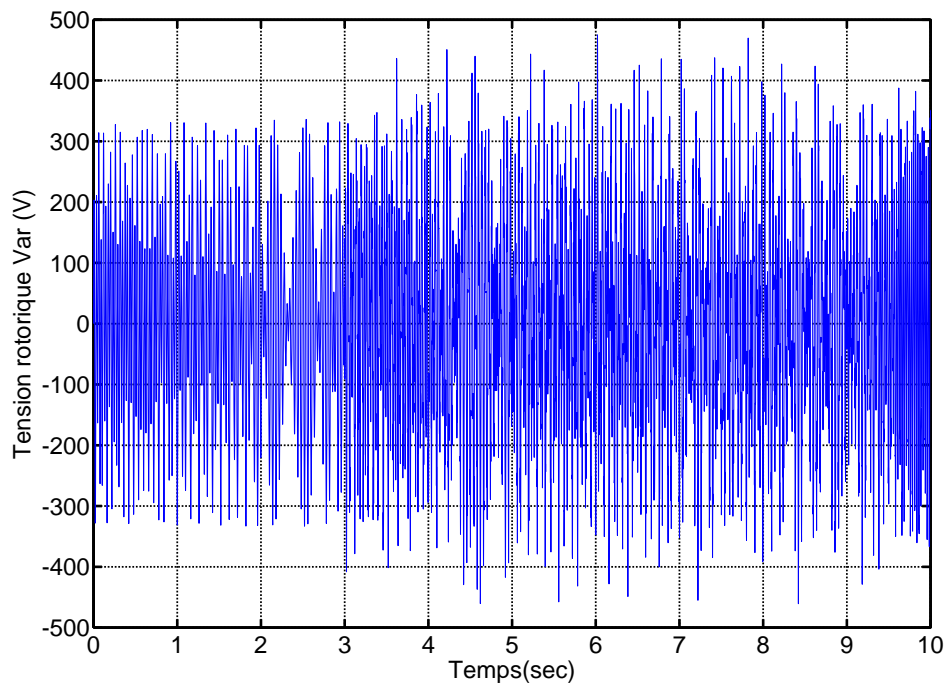


Figure 2.20: La tension rotorique V_{ar} (V)

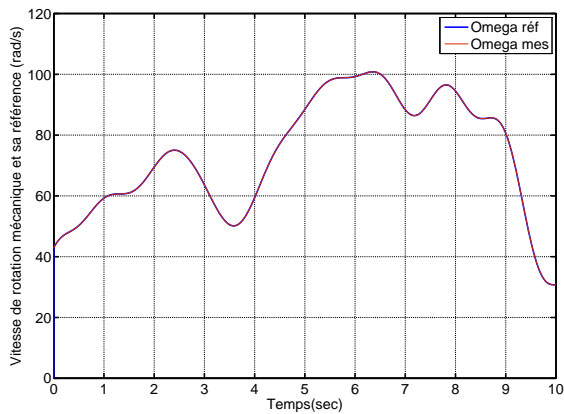


Figure 2.21: Vitesse de rotation mécanique et sa référence du système AFTC (rad/sec)

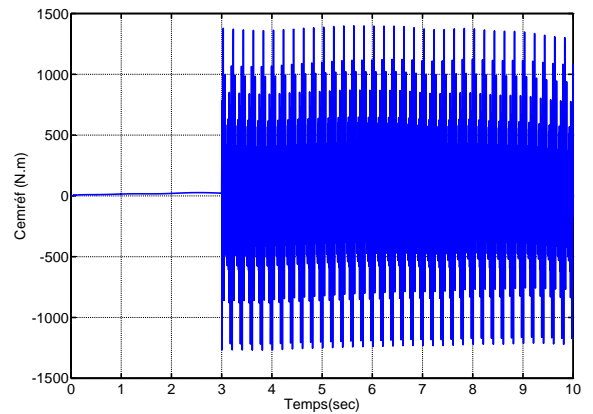


Figure 2.22: Le couple électromécanique $C_{emréf}$ (N.m)

2.6 Conclusion

Ce chapitre concerne l'application d'une commande explicitement tolérante aux défauts appliquée à la MADA dans une chaîne éolienne. Les résultats des chapitres précédents nous ont permis de modéliser les défauts additifs par un système externe stable et autonome. Dans ce cas, nous avons élaboré une commande par Lyapunov des deux techniques qui ne sont activées qu'en présence de défauts et qui sont ajoutées aux commandes nominales pour compenser leurs effets sur le système. A travers les simulations effectuées, cette commande a prouvé son aptitude à s'accommoder automatiquement des différents défauts qui surgissent sur la machine et à maintenir la stabilité et les performances dynamiques désirées du système défaillant. Cependant, dans la 1^{ère} technique elle présente un inconvénient qui réside dans le fait qu'elle est énergétique. En effet, le terme V_5 est très énergétique par rapport aux autres termes de défaut.

Conclusion générale et perspectives

L'objectif principal de ce mémoire était la mise en place d'un système tolérant aux défauts (AFTC) d'une machine asynchrone à double alimentation intégrée dans une chaîne de conversion éolienne .

Les méthodes de synthèse de la commande tolérante aux défauts sont classées en deux grandes familles avec d'une part les méthodes passives et d'autre part les méthodes actives. La majorité des méthodes développées sont issues de la théorie de la commande dont l'objectif est d'améliorer les performances de la génératrice dans un système éolien en présence de défauts.

La mise en place d'un système tolérant aux défauts (AFTC) nécessite un bloc FDD pour l'estimation des fréquences de défauts, ce qui nous a amené à synthétiser une loi d'adaptation pour estimer les harmoniques des défauts par le filtre de Kalman étendu avec un capteur de vitesse.

Perspective : Afin d'améliorer ce modeste travail , on propose quelques perspectives qui seront utiles pour les gens qui travailleront dans le même contexte du sujet traité dans ce mémoire.

- L'implémentation matérielle de la méthode proposée et sa vérification expérimentale constitue une extension importante qui pourra être apporté à ce travail. Une approche analogue pour la prise en compte des défauts mécaniques et magnétiques est une autre perspective d'ouverture.
- Développement des autres méthodes de diagnostic performantes afin d'obtenir une meilleur rapidité et précision sur l'estimation des fréquences des défauts.
- L'implémentation en temps réel de la commande du système étudié sur des cartes numériques.

Annexe

- Paramètres de la turbine éolienne utilisée :

- Nombre de pales : $= 3$;
- Longueur d'une pale : $R = 3m$;
- Inertie de la turbine : $J_{turbine} = 0.042kg.m^2$;
- Gain du multiplicateur : $G = 5.4$;
- Coefficient de viscosité : $f = 0.017$;
- Puissance nominale : $P_{elec} = 10kW$;
- Vitesse nominale : $\Omega_{mec} = 1500tr/min$.

- Paramètres de la MADA :

Valeurs nominales : 4,5 kW ; 220/380V-50Hz ; 15/8,6A ; 1440 tours/min ; p = 2

- Résistance statorique : $R_s = 1.2\Omega$;
- Résistance rotorique : $R_r = 1.8\Omega$;
- Inductance mutuelle : $M = 0.15H$;
- Inductance cyclique statorique : $L_s = 0.1554H$;
- Inductance cyclique rotorique : $L_r = 0.1568H$;
- Inertie de la MADA : $J_g = 0.2kg.m^2$;
- Coefficient de frottement : $f = 0.001N.m.s/rad$.

- Paramètres de la cascade éolienne :

- Les tensions du réseau sont équilibrées d'amplitude 220 V ;
- La ligne est caractérisée par une résistance $R = 0.25\Omega$ et une inductance $L = 1mH$;
- La tension référence du redresseur : $U_{red.ref} = 700V$;
- La largeur de la bande d'hystérésis est $\Delta i = 0.01A$;
- La capacité du filtrage C est $C = 1mF$;
- Le gain du multiplicateur de la turbine : 8.

Bibliographie

- [1]G. B. Kliman, W. J. Premerlani, R. A. Koegl, and D. Hoeweler. " *A new approach to on-line fault detection in ac motors. In Proc*".IEEE Industry Applications Soc. Annual Meeting Conf., pages pp. 687–693, San Diego, CA,1996.
- [2]L.jung , S. Soderstrom. " *Theory and Practice of Recursive Identification*".Cambridge : MIT Press, 1983.
- [3]M. Chakir. " *Commande Robuste Tolérante aux Défauts Application à la MSAP* ".Mémoire de fin d'étude, ENP, 2006.
- [4]M.LOUIBA, R.OUBELLIL . " *Diagnostic et Commande Tolérante aux Défauts d'une Machine Asynchrone* ".Mémoire de fin d'étude, ENP, 2012.
- [5]O.Benzineb. " *Diagnostic et Commande Tolérante aux Défauts de la Machine asynchrone et des Convertisseurs Multicellulaires Séries*".Thèse de doctorat, ENP,2010.