الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Électrotechnique

Option : commande Électriques

THEME

Détection de défaut de la machine asynchrone triphasé

Proposé et dirigé par,

Mr, BOUCHHIDA Ouahid

Mr, BOULKHRECHEF Saleh

Préparé et présenté par,

TAILEB Mounira

YOUSRI Hadda

Remeciement

Nous tenons en premier lieu le dieu clément et miséricordieux de nous avoir donné la force, le courage et la patience durant nos études pour arriver à ce jour –là.

Et exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Mr BOUCHHIDA .OUAHID, qui a bien voulu nous encadrer pour de notre projet de fin d'étude.

Nous tenons à remercier sincèrement notre Co promoteur BOULKHRAHEF .S, pour leur conseille, Mr MOUALDIA.H pour nous avoir aidé de notre projet et Mr BOUDANA.D pour leur encouragement.

Enfin, que toutes celles et tous ceux qui, de prés ou de loin nous ont généreusement offert leurs concours à l'élaboration de ce travaille, trouvant ici l'expression de notre profonde sympathie.

Pour toute merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, **maman** que j'adore.

A mes fleurs **Amira** et **Baylassan.**

A mes frères, **Mohamed, Abd El Karim, Youssef et Hakim.**

A mes sœurs, **Djamila** et **Safeya.**

A mes amies pondant 5 ans, **Hadda, Meriem, Messouda, Naima, Nabila, Sihem, Imene.**

A mes amies d'étude de spécialité ELT sans exception.

A tout qu'est ma connu.

A toute la famille **TAILEB.**

MOUNIRA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes sœurs, mes Frère

A toute ma famille, et toute mis amis

A mon binôme Mounira

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loi pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

HADDA

ملخص:

ان تغيير سرعة المحركات الكهربائية كان من بين الاهداف الرئيسية للعديد من الدراسات في السنوات الاخيرة و هذا راجع للتطور التكنولوجي الذي تشهده المبادلات الساكنة التي تمثل المكون الرئيسي لأي جهاز كهربائي .

ان الربط بين المبدلات الساكنة و المحركات الكهربائية غير المتزامنة يشكل مجموعة محركات متغيرة السرعة الكهربائية مع الابقاء على المزايا المعروفة لهذا النوع من المحركات , وهي منخفضة التكلفة ومتينة و ذات صيانة منخفضة التكلفة.غير ان هذه المزايا لها تعقيدات فيزيائية كبيرة متعلقة بالاشتراك بين الجزء الثابت و الدوار في المحرك (تعقيدات في الازدواجية بين التدفق و العزم) من اجل الانقاص من هذه التعقيدات نستعمل التحكم المباشر و وضع الانزلاق عن طريق المموج ,بهدف تبسيط الالة الكهربائية غير المتزامنة.

العمل المنجز في هذه المذكرة يهدف الى الكشف وتحديد الموقع و اعادة التشكيل لخلل مموج التوتر ثنائي المستوى المستعمل في التحكم في المحرك غير متزامن , الاعطاب المعتبرة هي (خلل في الدارة المفتوحة و خلل في الدارة القصيرة). هناك عدة طرق لإعادة الهيكلة قد اقترحت و التي تعطي امكانية التشغيل في وضع متدهور. يستند موضوع تشخيص الاعطاب على طريقة التحويل ذو البعدين كونكورد يا ,حيث لديها تحليل دقيق جدا يستخدم لاستخراج المعلومات
الازمة من تيار الجزء الثابت للمحرك.

الكلمات المفتاحية : الة كهربائية لا متزامنة, تحكم شعاعي, مموج, عطب, دارة مفتوحة, دارة قصيرة, تشخيص, تحديد الموقع.

Résumé :

L’entraînement à vitesse variable des machines électriques est l’objectif de plusieurs études dans ces dernières années, et cela grâce à l’évolution technologique des convertisseurs statiques, qui représentent le composant principal de tout équipement électrique.

L’association des convertisseurs statiques (DC/AC) aux moteurs asynchrones permet de réaliser un ensemble d’entraînements électriques à vitesse variable tout en conservant les avantages bien connus de ce type de moteur, à savoir le faible coût, robustesse et entretient réduit.

Malheureusement, ces nombreux avantages s’accompagnent d’une grande complexité physique liée aux interactions entre le stator et le rotor. (Complexité de couplage entre le flux et le couple) pour réduire ces complexité on utilise la commande vectoriel à orientation de flux rotorique à l’objectif de simplifie le modèle de la machine.

Le travail réalisé dans ce mémoire, s’inscrit sur la détection, la localisation et la reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande des moteurs asynchrones. On considère deux types de défaut (défaut de circuit ouvert et défaut de court

circuit). Pour maintenir un fonctionnement tolérant d'un moteur asynchrone en présence d'un défaut onduleur, plusieurs méthodes de reconfiguration ont été proposées, ces méthodes permettent la possibilité d'un fonctionnement en mode dégradé. Le diagnostic des défauts se base sur l'analyse bidimensionnelle du vecteur de Concordia qui offre une analyse très fine des signaux bidimensionnels.

Mot clés : machine asynchrone, commande vectoriel, onduleur, défaut, court circuit, circuit ouvert, diagnostic, détection, Concordia.

ABSTRACT:

The variable speed drive of electric machines is the aim of several studies in the last years. Thanks to the technological evolution of static converters, the association of static converters to the induction motor lets achieve electromechanical variable-speed while keeping the much known advantages of this type of motor, such as: the low cost, robustness and reduced maintenance.

Unfortunately, these numerous advantages are accompanied by a great physical complexity related to the interactions between the stator and the rotor. (Coupling Complexity between Flux and Torque) To reduce this complexity, the rotor-oriented vector control is used to simplify the model of the machine.

The work carried out in this memory is based on the detection, localization and reconfiguration of two-level inverter faults applied in the control of asynchronous motors. Two types of fault are considered (open circuit fault and short circuit fault). To maintain a tolerant operation of an asynchronous motor in the presence of an inverter fault, several methods of reconfiguration have been proposed, these methods allow the possibility of operation in degraded mode. The fault diagnosis is based on the two-dimensional analysis of the Concordia vector which offers a very fine analysis of two-dimensional signals

.

Key words: asynchronous machine, vector control, inverter, fault, short circuit, open circuit, diagnostics, detection, Concordia.

Liste des figure

Chapitre I :

Figure I. 1 constitution de la machine asynchrone 4
Figure I. 2 Le stator de la machine asynchrone..... 4
Figure I. 3 Le rotor de la machine asynchrone 5
Figure I. 4 rotor bobiné 5
Figure I. 5 cage d'écureuil..... 6
Figure I. 6 Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace 7
Figure I. 7 Modèle de la machine après transformation de Park..... 10
Figure I. 8 Représentation de l'ensemble onduleur + machine asynchrone..... 14
Figure I. 9 Schéma bloc de l'onduleur MLI..... 16
Figure I. 10 Détermination des instants de commutation dans le cas d'une MLI 16
Figure I. 11 forme d'onde de la tension simple de l'onduleur 17
Figure I. 12 schéma bloc global de simulation MAS-réseau..... 18
Figure I. 13 Réponses de la machine asynchrone alimentée par un réseau triphasé équilibré, suivie d'une introduction d'un couple de charge (Cr=10 N.m à t=2 s)..... 19
Figure I. 14 schéma bloc global de simulation MAS-onduleur..... 20
Figure I. 15 Réponses de la machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension, avec l'application d'un couple de charge (Cr=10N.m à t=2 s)..... 21

Chapitre II :

Figure II. 1 principe de la commande vectorielle de la MAS. 25
Figure II. 3 Représentation vectorielle de la stratégie d'orientation de flux rotorique 26
Figure II. 4 Bloc de commande (FOC) 29
Figure II. 5 Schéma de la commande vectorielle indirecte. 31
Figure II. 6 Schéma bloc de régulateur du courant Iqs. 32
Figure II. 7 Schéma bloc de régulateur de la vitesse de rotation 33
Figure II. 8 Résultats de simulation de MAS pour un fonctionnement à vide avec couple de charge 35
Figure II. 9 Résultats de simulation de MAS pour un fonctionnement à vide suivi par une variation de charge et inversion de sens de vitesse. 37

Chapitre III :

Figure III. 1 court-circuit sur un interrupteur d'un des bras 40
Figure III. 3 circuit ouvert sur interrupteur d'un bras 40
Figure III. 4 Schéma bloc de simulation des défauts d'onduleur 42
Figure III. 5 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A) 43
Figure III. 6 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A) 43
Figure III. 7 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A) 44
Figure III. 8 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A) 44
Figure III. 9 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A) 45
Figure III. 10 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A) 45
Figure III. 11 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A) 46
Figure III. 12 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A) 46
Figure III. 13 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B) 46
Figure III. 14 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B) 47
Figure III. 15 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B) 47
Figure III. 16 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B) 47
Figure III. 17 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2) 48
Figure III. 18 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2) 48
Figure III. 19 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2) 49
Figure III. 20 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2) 49

Figure III. 21 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5) 50
Figure III. 22 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5) 50
Figure III. 23 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5) 50
Figure III. 24 Courant statorique Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5) 51
Figure III. 25 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5) 51
Figure III. 26 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5) 52
Figure III. 27 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5) 52
Figure III. 28 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5) 52
Figure III. 29 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4) 53
Figure III. 30 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4) 53
Figure III. 31 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4) 53
Figure III. 32 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4) 54
Figure III. 33 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs du bras (A) 55
Figure III. 34 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs du bras (A) 55
Figure III. 35 Courants statoriques lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs de bras (A) 55
Figure III. 36 Courant statorique Isa lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs de bras (A) 56
Figure III. 37 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A) 56
Figure III. 38 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteure de même bras (A) 57

Figure III. 39 Courants statoriques lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A)..... 57
Figure III. 40 Courant de ligne lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A) 58
Figure III. 41 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A) 59
Figure III. 42 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A)..... 59
Figure III. 43 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A) 60
Figure III. 44 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A) 60
Figure III. 45 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)..... 61
Figure III. 46 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)..... 61
Figure III. 47 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)..... 62
Figure III. 48 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)..... 62
Figure III. 49 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)..... 63
Figure III. 50 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B) 63
Figure III. 51 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)..... 63
Figure III. 52 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)..... 64
Figure III. 53 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)..... 64
Figure III. 54 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)..... 65
Figure III. 55 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)..... 65
Figure III. 56 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)..... 65

Figure III. 57 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)..... 66
Figure III. 58 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)..... 66
Figure III. 59 Courant statorique Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de **déférent bras** (T4 et T5)..... 66
Figure III. 60 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)..... 67
Figure III. 61 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)..... 67
Figure III. 62 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)..... 68
Figure III. 63 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)..... 68
Figure III. 64 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)..... 68
Figure III. 65 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)..... 69
Figure III. 66 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)..... 69
Figure III. 67 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)..... 69
Figure III. 68 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs du bras (A)70
Figure III. 69 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs du bras (A)..... 71
Figure III. 70 Courant statorique Isa lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs de bras (A) 71
Figure III. 71 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A) 72
Figure III. 72 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A)..... 72
Figure III. 73 Courants statoriques lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A)..... 72
Figure III. 74 Courant de ligne lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A) 73
Figure III. 75 Représentation bidimensionnelle des courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert..... 75

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau 1 Les Paramètres de machine asynchrone triphasée :..... 82
Tableau 2 paramètre de régulateur de vitesse 83

LISTE DES SYMBOLES :

Liste des symboles :

n_s	Vitesse de synchronisme de la machine en(tr/min)
f_s	Fréquence
p	Nombre de pair de pole
g	Glissement de moteur
R_S	Résistance statorique
R_r	Résistance rotorique
θ	Angle électrique entre le stator et le rotor
i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}	Courant statorique suivants les axes a_s b_s c_s
i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}	Courant rotorique suivants les axes a_r b_r c_r
v_{sa}, v_{sb}, v_{sc}	Tension statorique suivants les axes a_s b_s c_s
v_{ra}, v_{rb}, v_{rc}	Tension rotorique suivants les axes a_r b_r c_r
$\varphi_{sa}, \varphi_{sb}, \varphi_{sc}$	Flux statorique suivants les axes a_s b_s c_s
$\varphi_{ra}, \varphi_{rb}, \varphi_{rc}$	Flux rotorique suivants les axes a_r b_r c_r
$[\varphi_s]$	Vecteur flux statorique
$[\varphi_r]$	Vecteur flux rotorique
L_s	Inductances propres par phase statorique.
L_r	Inductances propres par phase rotorique
M_s	Inductances mutuelles statoriques.
M_r	Inductances mutuelles rotoriques.
$[M_{sr}]$	Inductance mutuelle entre stator et rotor
J	Moment d'inertie
Ω	Vitesse mécanique de rotation du rotor
$W=p\Omega$	Pulsation électrique correspondante à la vitesse de rotation Ω
W_s	Pulsation électrique statorique
W_r	Pulsation électrique rotorique
C_{em}	Couple électromagnétique
C_r	Couple résistant
f_v	Coefficient de frottements visqueux
d q	Indices pour les composantes de Park directe et en quadrature
θ_s	angle de rotation du champ statorique tournant (angle entre le

	stator et l'axe d)
θ_r	angle de glissement (angle entre le rotor et l'axe d)
$V_{sd,q}$, $V_{rd,q}$	Tension statorique(respectivement rotorique) suivant l'axe suivant d(ou q)
φ_{ds} , φ_{qs}	Composantes du flux statorique dans le référentiel (d,q)
φ_{dr} , φ_{qr}	Composantes du flux rotorique dans le référentiel (d,q)
$\partial = 1 - \frac{Lm^2}{Ls\ Lr}$	Coefficient de dispersion de blondel.
$Tr = \frac{Lr}{Rr}$	Constant de temps rotorique.
$Ts = \frac{Ls}{Rs}$	Constant de temps statorique.
i_a	Courant induit.
i_f	Courant d'excitation
$[X_{dq0}]$ /$[X_{abc}]$	Matrice de transformation de park
$[p(\theta)]$	Matrice de transformation de Park.
$[p(\theta)]^{-1}$	Matrice de Park inverse
S_{abc}	L'interrupteur du bras a, b ou c d'onduleur (deux niveaux).
v_{sa} , v_{sb}, v_{sc}	Tension simple d'onduleur
E	Tension à l'entrée d'onduleur.
K_p	Le gain proportionnel de l'estimateur PI
K_i	Le gain intégral de l'estimateur PI

Indice

a, b, c	Variables exprimées dans le repère fixe triphasé
d, q	Variables exprimées dans le repère (*d,q*)
(α, β)	Variables exprimées dans le repère fixe biphasé
s,r	Indice relatif au stator et du rotor respectivement.

ABRÉVIATIONS

MAS	Machine asynchrone
MCC	Machine à courant continu
MLI	Modulation par largeur d'impulsion
PWM	Pulse Width Modulation
IFOC	Indirect Field oriented control

DFOC	direct Field oriented control
PI	Régulateur proportionnel intégral
CV	Commande vectorielle

Table de matière

Table de matière

Liste des figures :.....A
Liste des tableaux :.....G
Liste des symboles :.....H
Introduction général.....1

Chapitre I : modélisation d'une MAS avec un onduleur

I.1 Introduction.....3
I.2 constitution de la machine asynchrone.....4
I.3 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone.....6
I.4 modélisation de la machine asynchrone.....7
I.4.1 Hypothèses simplificatrices.....7
I.4.2 Mise en équations de la machine asynchrone.....7
I.4.2.1 Les équations électriques.....8
I.4.2.2 Les équations magnétiques :.....9
I.4.2.3 L'équation mécanique.....9
I.5 Transformation triphasé- biphasé.....10
I.5.1 Principe de la transformation de Park.....10
I.5. 2 Transformation de Park.....10
I.5.3 Application de la transformation de Park à la machine asynchrone.....11
I.5.3.1Equations électriques.....12
I.5.3.2 Equations magnétiques.....12
I.5.3.3 Équations mécaniques.....12
I.5.4Équations d'état de la machine asynchrone triphasée.....13
I.6 Modélisation de l'alimentation de Machine asynchrone par onduleur.....14
I.6.1 Modélisation de l'onduleur de tension.....14
I.6.2 Commande par MLI sinus-triangle.....15
I.7 Validation par simulation numérique.....17
I.7.1 Association MAS-réseau.....18
I.7.2 Association MAS-onduleur.....20
I.8 Interprétation des résultats.....22
I.8.1 Association MAS-réseau.....22

I.8.2 Association MAS-onduleur 22
I.9 Conclusion.....23

Chapitre II commande vectorielle d'une MAS

II.1 Introduction 24
II.2 Principe de commande vectorielle 25
II.3 Orientation du flux rotorique 27
II.4 Etude des méthodes directe et indirecte du contrôle à flux rotorique orienté 28
II.4.1.Le contrôle direct (DFOC) 28
II.4.2 Le contrôle indirect (IFOC) 28
II.5 Structure d'une commande par orientation du flux 29
II.6 Découplage 30
II. 7 les Régulateur.....31
II.7.1.Régulateur de courant Iqs 31
II.7.2.Régulateur de courant Ids 32
II.7.3.Régulateur de vitesse.....33
II.8.Résultat de simulation 36
II.9.Interprétation des résultats.....37
II.10 Conclusion 38

Chapitre III : détection des défauts d'onduleur

III.1 Introduction 39
III.2 Description du système à étudier 39
III.3 Diffèrent type de défaut d'onduleur 39
III.3.1 Court-circuit sur un interrupteur 39
III.3.2 Circuit ouvert sur un interrupteur 40
III.3.3 Court circuit de deux interrupteurs 41
III.3.4 Circuit ouvert de deux interrupteurs 41
III.4 Simulation du moteur asynchrone en présence de défauts d'onduleur 41

III.4.1 Défaut de circuit ouvert 42
III.4.1.1 Configuration de défauts circuit-ouvert 42
III.4.1.2 Résultats de simulation de défaut (C-O) 43
III.4.2 Défaut de court-circuit 54
III.4.2.1 Configuration de défauts court-circuit 54
III.4.2.2 Résultats de simulation de défaut (C-C) 56
III.5 Simulation de la commande vectorielle en présence des défauts d'onduleur 58
III.5.1 défaut de circuit ouvert 58
III.5.1.1 Configuration de défauts circuit-ouvert 58
III.5.1.2 Résultats de simulation de défaut (C-O) 59
III.5.2 défaut de court-circuit 69
III.5.2.1 Configuration de défauts court-circuit: 70
III.5.2.2 Résultats de simulation de défaut (C-C) 70
III.6 Synthèse des résultats pour les deux types de défauts (C-O et C-C) 73
III.7 Diagnostic des défauts dans le repère de Concordia 74
III.8 Conclusion 76
Conclusion général : 78
Bibliographie 81
Annexe 83

Introduction général

Introduction général :

Après avoir passé un certain nombre d'années à travailler à comprendre le fonctionnement des machines électriques, il m'est apparu nécessaire, afin de contribuer à leur amélioration [1]. Au cours de ces dernières années, les machines asynchrones à cage d'écureuil est largement utilisée dans plusieurs domaines industriels, cette machine occupent une grande place dans les entraînements électriques à vitesse variable à cause aux sa simple composition, sa robustesse et sont faible cout dans le marché [2-6]. Malheureusement, ces nombreux avantages s'accompagnent d'une grande complexité physique liée aux interactions entre le stator et le rotor. (Complexité de couplage entre le flux et le couple) [5].

Il y'a de nombreuses techniques de contrôle de la machine asynchrone, telles que les techniques de contrôle à flux orienté ou de contrôle vectoriel. La commande vectorielle consiste à rendre le contrôle de la machine asynchrone analogue à celui de la machine à courant continu à excitation séparé où il existe un découplage naturel entre le contrôle du flux et le contrôle du couple. La commande vectorielle impose généralement le pilotage d'un convertisseur de puissance à travers un modulateur de puissance. On parle alors de techniques de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) [5] [7-9].

La machine asynchrone est souvent connectée au réseau ou un onduleur de tension. Les onduleurs fonctionnent par commutations successives des interrupteurs électroniques qui les composent créant ainsi des tensions ou courants d'amplitudes et de fréquences variables qui sont nécessaires pour la commande de la machine [10]. Un convertisseur tel que l'onduleur deux niveau à MLI (Modulation en Largeur d'Impulsions) est susceptible de présenter des défauts structurels tels que les défauts d'ouverture/fermetures des interrupteurs (semi-conducteur) et par conséquent, ce type de disfonctionnement peut induire des endommagements pour le système entier. Les variables mesurables telles que les courants, les tensions, la vitesse, et le couple peuvent fournir des informations significatives sur les défauts et ainsi servir à déterminer un ensemble de paramètres représentant les signatures de défauts de la machine [3] [10-11].

Le travail réalisé dans ce mémoire est à l'objectif de détection et de reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à

cage. L'analyse et le diagnostique des défauts sont à basé du l'utilisation de la transformé de Concordia.

Dans le premier chapitre, nous commencerons par la modélisation du système machine asynchrone onduleur. Dans la première partie on donnera la représentation mathématique de la machine asynchrone dans un référentiel triphasé avant d'utiliser la transformation de Park pour réduire sa représentation à des référentiels biphasés. Dans la seconde partie on procèdera à la modélisation de l'onduleur deux niveaux. Plusieurs simulations seront présentées pour étudier le fonctionnement de machine.

Le deuxième chapitre concerne l'étude de la commande vectorielle en particulier la commande vectorielle indirecte et son application à la machine. Le dimensionnement des régulateurs de courants ainsi que celui de la vitesse, ainsi que les résultats de la simulation obtenues par MATLAB/ SIMULINK.

Le troisième chapitre, consacré à l'étude du comportement du système, proposé, aux présences de défauts interrupteurs de l'onduleur deux niveaux. Deux types de défauts sont considérés : le défaut circuit-ouvert et le défaut court-circuit. Des scénarios de défauts interrupteurs seront créés a fin d'analyser les conséquences de ces défauts et voir le comportement du système proposé à partir des réponses des grandeurs électriques et mécaniques (courants, vitesse, couple…), on utilise aussi la transformation de Concordia pour détecte la signature de défaut. Ainsi que les résultats de la simulation obtenue.

ChapitreI : modélisation de la MAS avec onduleur

I.1 Introduction :

La machine asynchrone à cage est très répandue dans l'industrie en raison d'absence de contacts électrique glissants, ce qui conduit à une structure simple et robuste facile à construire, et son faible coût de fabrication et de maintenance [2-6].

L'objectif de ce chapitre est de représenté la modélisation de la machine asynchrone triphasé à cage d'écureuil qui est une phase indispensable pour comprendre le fonctionnement de cette machine. La modélisation de la MAS permet aussi de développer des lois de commande à partir de plusieurs modèles d'état selon le choix de repère, ces modèles sont définis dans un référentiel diphasé, soit tournant (d, q), soit fixe au stator (α, β) [10] [19].

Ensuite, nous décrivons la modélisation de l'alimentation de la machine, qui est l'onduleur de tension à deux niveaux commandé par la méthode MLI sinus-tringle(STPWM). On développe le modèle du MAS à partir des équations général pour obtenir la représentation d'état du modèle [25].

Pour obtenir le modèle d'un système, trois tâches doivent être accomplies [3] :

- Choisir le modèle.
- Déterminer ses paramètres.
- Vérifier sa validité.

Dans ce chapitre on présente la modélisation de PARK d'une MAS-réseau et d'une MAS-onduleur, suivi d'une vérification par simulation numérique du modèle de la machine à l'aide du logiciel MATLAB /SIMULINK. Enfin on arrive à faire l'interprétation de ces résultats.

I.2 constitution de la machine asynchrone :

Une machine asynchrone est constituée deux parties, la partie fixe (stator), une partie mobile (rotor) et les organes mécaniques comme la montre la figure ci-dessous [16] :

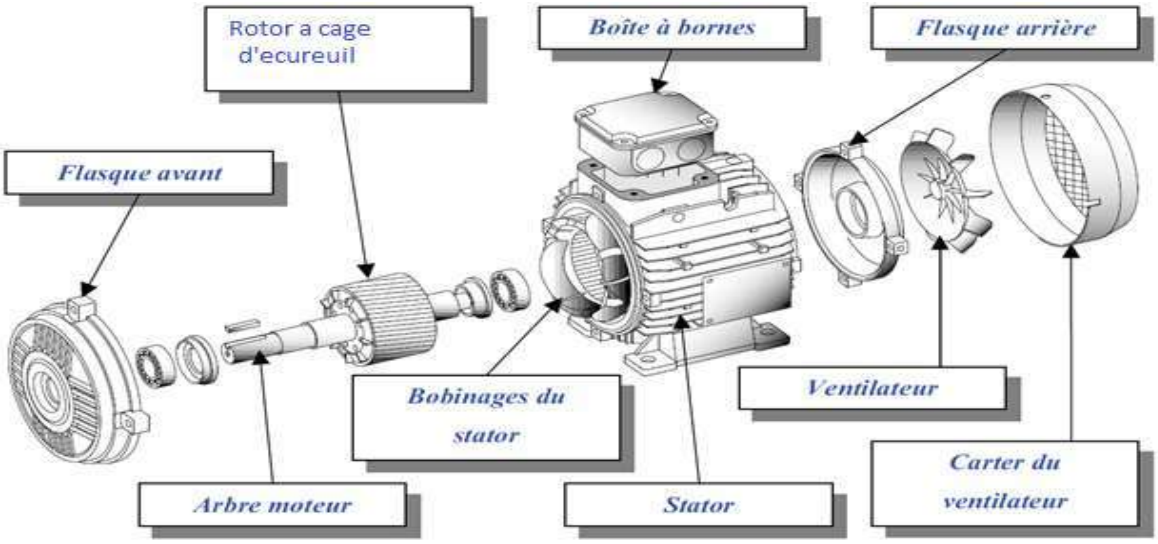


Figure I. 1 constitution de la machine asynchrone [10]

a) Le stator :

Partie fixe de la machine, composé d'un enroulement triphasé classique et possédant nombre de paires de pôles, il est constitué de trois enroulements couplés en étoile ou en triangle et décalés entre eux de 2π/3 qui sont alimenté par un système de tensions équilibrées [3-4] [25-27].La figure (I.2)



Figure I. 2 Le stator de la machine asynchrone [3] [4]

b) Le rotor :

Partie tournante qui permet la transmission du mouvement et de mettre en rotation la charge mécanique voir la figure (I,3), le rotor n'est relié à aucune alimentation [26-27] .

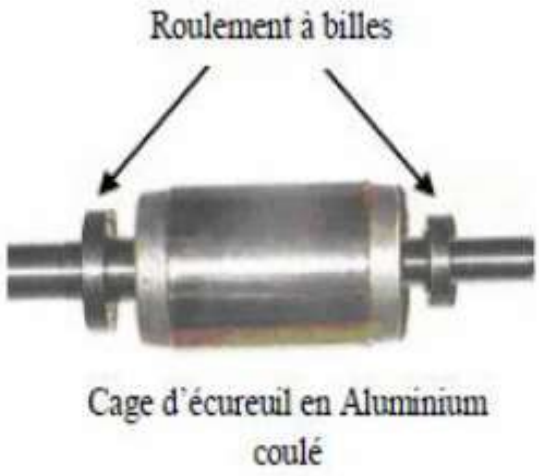


Figure I. 3 Le rotor de la machine asynchrone [3] [4]

- **On trouve deux types de rotor** : rotor bobiné ou à cage d'écureuil.

- **Rotor bobine** :

  Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés de conducteurs formant des bobinages. On peut accéder à ces bobinages par l'intermédiaire de trois bagues et trois balais. Ce dispositif permet de modifier les propriétés électromécaniques du moteur [5] [26-27].voir la figure(I.4).

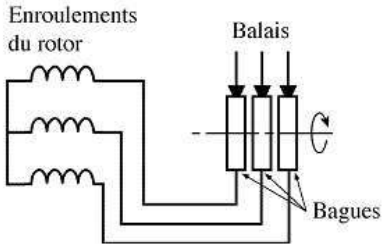


Figure I. 4.rotor bobiné [6]

- **Cage d'écureuil** :

Le rotor est constitue de barreaux de cuivre ou d'aluminium relies aux extrémités par deux couronnes conductrices. On dit que le rotor est en court-circuit. Sa résistance électrique est très faible [5].voir la figure si dessous.

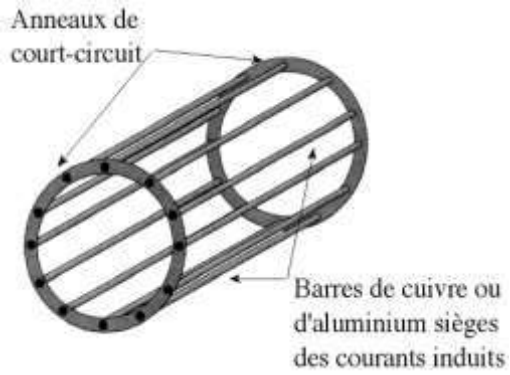


Figure I. 5.cage d'écureuil [6]

I.3 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant crée par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur : le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire [26-27]:

L'interaction électromagnétique des deux parties d'une machine asynchrone (sans collecteur) n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant *n*1 diffère de celle du rotor *n*, c'est-à-dire, lorsque (n ≠ n1), car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque (n = n1), le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique [25] [28].

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \qquad (I.1)$$

A l'arrêt : g = 1 car n = 0 (Ω= 0).

g: Est appelé glissement d'une machine asynchrone.

I.4 modélisation de la machine asynchrone :

I.4.1 Hypothèses simplificatrices [19] [21] [25] [28] :

Les hypothèses généralement admises pour la modélisation de la machine asynchrone sont les suivantes :

1. le circuit magnétique est linéaire et non saturé.
2. La saturation de circuit magnétique l'hystérésis et les courants de Foucault peuvent être négligés.
3. L'entrefer a une épaisseur uniforme.
4. Les inductances mutuelles entre deux enroulements varient sinusoïdalement en fonction de l'angle entre les axes magnétique.
5. On néglige l'effet peau et les effets thermiques.

I.4.2 Mise en équations de la machine asynchrone [11] [12] [25] :

Les enroulements des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques dans l'espace peuvent être représentés comme indiqué en figure (I.6).L'angle Θ représente l'angle entre l'axe de la phase rotorique r_a et l'axe fixe de la phase statorique s_a. Les phases rotoriques sont court- circuitées sur elles mêmes.

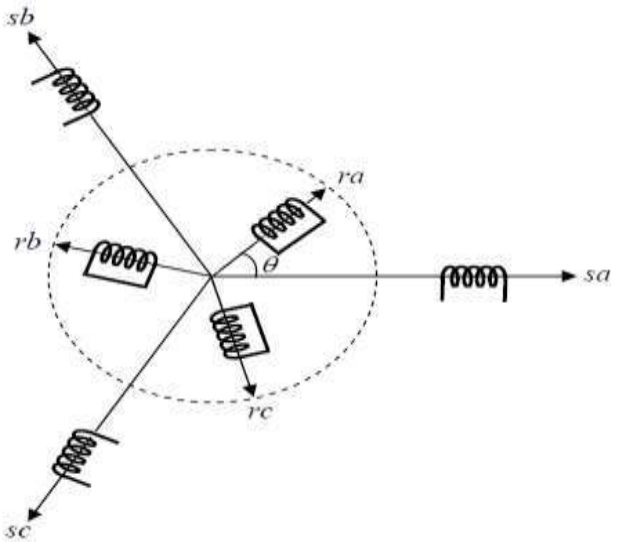


Figure I. 6 Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace [11]

I.4.2.1 Les équations électriques :

Par application de la loi de Faraday a chaque enroulement, on peut écrire [3] [22] :

- **Au Stator**

$$\begin{cases} V_{sa} = R_s I_{sa} + \frac{d\varphi sa}{dt} \\ V_{sb} = R_s I_{sb} + \frac{d\varphi sb}{dt} \\ V_{SC} = R_s I_{sc} + \frac{d\varphi sc}{dt} \end{cases} \quad (I.2)$$

- **Au Rotor :**

$$\begin{cases} V_{ra} = 0 = RrIra + \frac{d\varphi ra}{dt} \\ V_{rb} = 0 = RrIrb + \frac{d\varphi rb}{dt} \\ V_{rc} = 0 = R_r I_{rc} + \frac{d\varphi rc}{dt} \end{cases} \quad (I.3)$$

Avec : $[V_s] = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix}$; $[I_s] = \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix}$; $[\varphi_s] = \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix}$ (I.4)

$$[V_r] = \begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = 0 \quad ; \quad [I_s] = \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} \quad ; \quad [\varphi_r] = \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

Les équations (1) et (2) peuvent s'écrire sous forme matricielle [3] [22-23] :

- Stator

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d[\varphi s]}{dt} \quad (I.6)$$

- Rotor

$$[V_r] = [R_r][I_s] + \frac{d[\varphi r]}{dt} = 0 \quad (I.7)$$

I.4.2.2 Les équations magnétiques :

Ces fonctions sont donnant la relation liant les flux et les courants [3] [13]

$$\begin{bmatrix}\varphi_s\\ \varphi_s\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}L_s & M_{sr}\\ M_{rs} & L_r\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_s\\ I_r\end{bmatrix} \tag{I.8}$$

Ou $[L_s]$,$[L_r]$,$[M_{sr}]$et $[M_{rs}]$ sont des sous-matrices de dimension (3*3) et $[\varphi_s]$,$[\varphi_r]$ $[I_s]$ et $[I_r]$ des vecteurs colonnes de dimension (3) [3] [13]

$$[L_s] = \begin{bmatrix}L_s & M_s & M_s\\ M_s & L_s & M_s\\ M_s & M_s & L_s\end{bmatrix} \tag{I.9}$$

D'où :

$$[L_r] = \begin{bmatrix}L_r & M_r & M_r\\ M_r & L_r & M_r\\ M_r & M_r & L_r\end{bmatrix} \tag{I.10}$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}] = M_{sr}\begin{bmatrix}\cos(\theta) & \cos(\theta+2\pi) & \cos(\theta-2\pi)\\ \cos(\theta-2\pi) & \cos(\theta) & \cos(\theta+2\pi)\\ \cos(\theta+2\pi) & \cos(\theta-2\pi) & \cos(\theta)\end{bmatrix} \tag{I.11}$$

I.4.2.3 L'équation mécanique :

En appliquant les lois fondamentales de la dynamique à la machine, l'équation mécanique sera donnée par la relation suivante [22] :

$$\begin{cases} J\dfrac{d\Omega r}{dt} = Cem - C_r - f\Omega_r\\ \Omega = \dfrac{\omega}{p}\\ C_f = f_v.\Omega\end{cases} \tag{I.12}$$

I.5 Transformation triphasé- biphasé :

I.5.1 Principe de la transformation de Park

On peut réaliser un changement de base sur les grandeurs physiques (tension, flux et courant) qui conduit à une relation matricielle indépendante de l'angle ɵ.

Le changement de base est appelé transformation de PARK. Cette transformation repose sur l'utilisation de deux axes (*d, q)* (système biphasé) au lieu de trois axes statoriques et rotoriques (système triphasé) [23]. Figure (I.2).

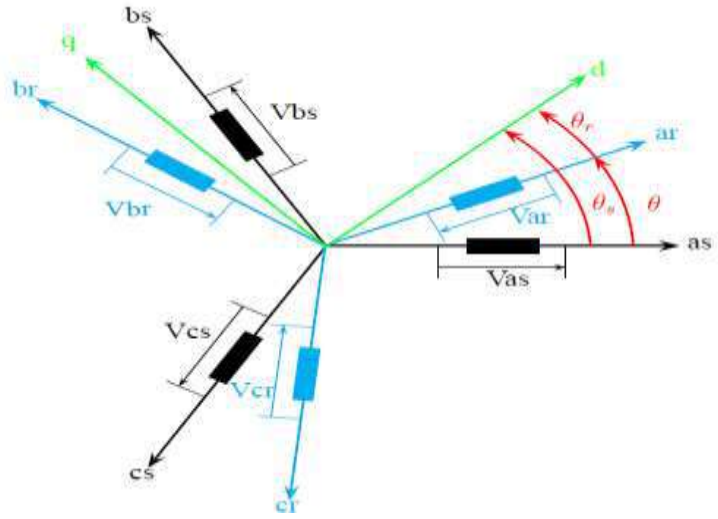


Figure I. 7 Modèle de la machine après transformation de Park [23]

Nous transformons, ainsi, l'enroulement triphasé a, b, c en trois enroulements orthogonaux d, q, O dénommés : [23]

- Axe direct (indice d),
- Axe quadrature (indice q),
- Axe homopolaire (indice O).

I.5. 2 Transformation de PARK :

L'idée de Park repose sur le fait qu'un champ tournant crée par un système triphasé peut l'être aussi à l'identique par un système biphasé de deux bobines a π/2 alimentée par deux courants Id et Iq. La transformation qui traduit ce passage est donnée par [22-23] [28] :

:

$$[X_{dq0}] = [p(\theta)][X_{abc}] \qquad (I.13)$$

$$[P] = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad \text{(I.14)}$$

La matrice inverse $[P]^{-1}$ est donnée par [22-23] :

$$[P]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad \text{(I.15)}$$

$\theta = \theta_s - \theta_r$, (l'angle entre l'axe de la phase a_s et la phase a_r)

Le passage du système triphasé au système diphasé est définit par le système d'équations suivantes : [22-23]

$$[X_{dq0}] = [p(\theta)][X_{abc}] \quad \text{(I.16)}$$

$$[X_{abc}] = [p(\theta)]^{-1}[X_{dq}] \quad \text{(I.17)}$$

Ainsi, nous avons :

$$\begin{cases} [P]^{-1}[V_{sdq}] = [R_S][P]^{-1}[I_{sdq}] + \frac{d}{dt}([P]^{-1}[\varphi_{sdq}]) \\ [P]^{-1}[V_{rdq}] = [R_r][P]^{-1}[I_{rdq}] + \frac{d}{dt}([P]^{-1}[\varphi_{rdq}]) \end{cases} \quad \text{(I.18)}$$

I.5.3 Application de la transformation de Park à la machine asynchrone :

En appliquant la transformation de PARK sur les équations électrique et magnétique et en admettant que le rotor étant en court-circuit, il en résulte : [22]

I.5.3.1Equations électriques [22-23] :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_S I_{sd} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{sd} - \omega_s \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_S I_{sq} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{sq} + \omega_s \varphi_{sd} \\ V_{rd} = 0 = R_r I_{rd} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{rd} - (\omega_s - \omega)\varphi_{rq} \\ V_{rq} = 0 = R_r I_{rq} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{rq} + (\omega_s - \omega)\varphi_{rd} \end{cases} \quad (I.19)$$

I.5.3.2 Equations magnétiques [22-23] :

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s I_{sd} + M I_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s I_{sq} + M I_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r I_{rd} + M I_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r I_{rq} + M I_{sq} \end{cases} \quad (I.20)$$

I.5.3.3 Équations mécaniques [22-23] :

Le couple électromagnétique développé par la machine est donné par :

$$C_{em} = \frac{PM}{L_r}(\varphi_{rd} I_{sq} - \varphi_{rq} I_{sd}) \quad (I.21)$$

$$C_{em} = p(\varphi_{sd} I_{sq} - \varphi_{sq} I_{sd}) \quad (I.22)$$

L'équation mécanique de la machine asynchrone à p paire de pôle est donnée par :

$$J\frac{d\Omega r}{dt} Cem - Cr - f\Omega_r \quad (I.23)$$

Avec:

$$\Omega_r = \frac{Wr}{P} \quad (I.24)$$

I.5.4Équations d'état de la machine asynchrone triphasée [22-23] :

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_{rq}}{dt} = \frac{M}{T_r} I_{sq} - \left(\frac{1}{T_r}\right)\varphi_{rq} - \omega_d \varphi_{rd} \\ \frac{d\varphi_{rd}}{dt} = \frac{M}{T_r} I_{sd} - \left(\frac{1}{T_r}\right)\varphi_{dq} + \omega_d \varphi_{rq} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) I_{sq} - \frac{Mp\Omega}{\sigma L_s L_r}\varphi_{rd} + \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r}\varphi_{rq} - \omega_s I_{sd} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{sq} \\ \frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) I_{sd} + \frac{M}{\sigma L_s L_r T_r}\varphi_{rd} - \frac{Mp\Omega}{\sigma L_s L_r}\varphi_{rq} + \omega_s I_{s\,q} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{sd} \end{cases} \quad (I.25)$$

- **Sous forme matricielle [22-23] :**

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (I.26)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sigma L_s}\left(R_s + \frac{L_M^2}{L_r T_r}\right) & \omega_S & \frac{L_M}{\sigma L_s L_r T_r} & \frac{L_M \omega_r}{\sigma L_s L_r} \\ -\omega_S & \frac{-1}{\sigma L_s}\left(R_s + \frac{L_M^2}{L_r T_r}\right) & \frac{-L_M \omega_r}{\sigma L_s L_r} & \frac{L_M}{\sigma L_s L_r T_r} \\ \frac{L_M}{T_r} & 0 & \frac{-1}{T_r} & (\omega_S - \omega_r) \\ 0 & \frac{-L_M}{T_r} & -(\omega_S - \omega_r) & \frac{-1}{T_r} \end{bmatrix} \quad (I.27)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\sigma \mathbf{L_s}}}\begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (I.28)$$

- **L'équation du mouvement est [22] :**

$$\frac{d}{dt}\Omega_r = \frac{1}{J}\left[P\frac{L_M}{L_r}\left(\varphi_{rd} I_{qs} - \varphi_{rq} I_{ds}\right) - Cr - f\Omega_r\right] \quad (I.29)$$

I.6 modélisation de l'alimentation de Machine asynchrone par onduleur :

Les onduleurs de tension, associés aux machines à courant alternatif, sont de nos jours très largement utilisés dans les systèmes d'entraînement industriels. L'alimentation de la machine dans la modélisation précédente se fait à travers une source de tension sinusoïdale équilibrée (donc avec un démarrage direct). Dans la suite de notre étude, on l'alimente à partir d'un onduleur de tension, l'onduleur alimente le stator de la machine par l'intermédiaire des tensions triphasées, carrées de largeurs variables mais dont la composante fondamentale est sinusoïdale, qui permettent de réaliser les variations de la vitesse de la machine. [16][17]

I.6.1 modélisation de l'onduleur de tension

L'onduleur de tension est constitué de trois bras de commutation à transistors. Chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor [25].voir la figure (I.8)

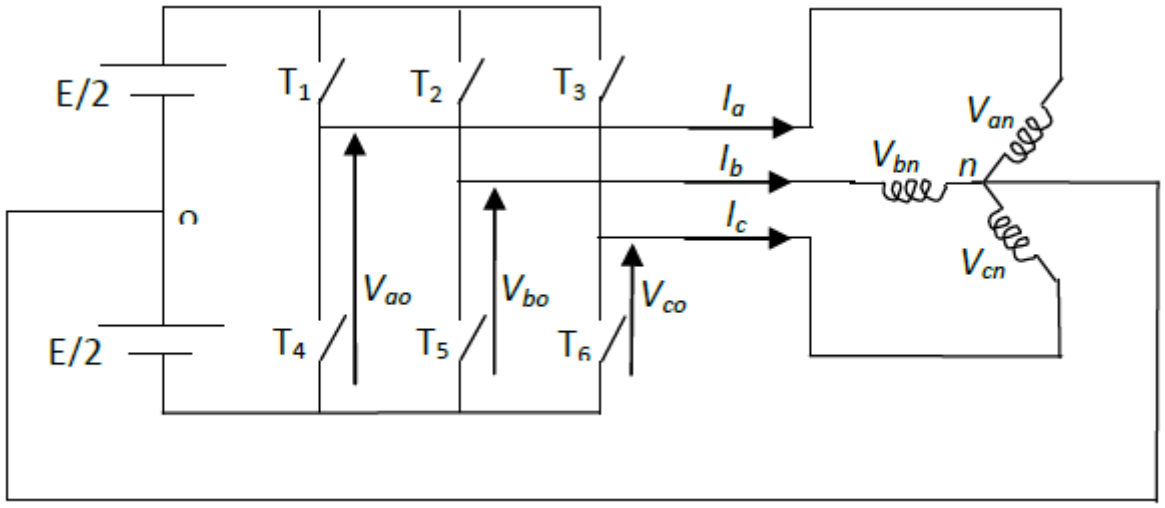


Figure I. 8 Représentation de l'ensemble onduleur + machine asynchrone [24]

On peut montrer que les tensions simples s'écrivent en fonction des tensions composées Uab,Ubc et Uca sous la forme suivante [17] :

$$\begin{cases} v_{sa} = \frac{1}{3}(u_{sab} - u_{sca}) \\ v_{sb} = \frac{1}{3}(u_{sbc} - u_{sab}) \\ v_{sc} = \frac{1}{3}(u_{sca} - u_{sbc}) \end{cases} \quad (I.30)$$

Les tensions simples en fonction des signaux de commande sont données comme suit [17] [25]

$$\begin{cases} v_{sa} = \frac{E}{3}(2s_a - s_b - s_c) \\ v_{sb} = \frac{E}{3}(-s_a + 2s_b - s_c) \\ v_{sc} = \frac{E}{3}(-s_a - s_b + 2s_c) \end{cases} \quad (I.31)$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} = \frac{E}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \end{bmatrix} \quad (I.32)$$

Les couples d'interrupteurs d'onduleur, doivent être commandés de manière complémentaire pour assurer la continuité des courants. Plusieurs méthodes sont utilisées pour commander les interrupteurs d'un onduleur. La stratégie la plus utilisée est la Modulation de Largeur d'Impulsions qu'est présenté dans le cadre de ce travail. (MLI). [17] [29]

I.6.2 Commande par MLI sinus-triangle :

Dans notre travail, l'onduleur est commandé par la technique de Modulation de la largeur d'Impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM)

Qu'est est basée sur la comparaison entre une onde modulante, de forme sinusoïdale à faible fréquence, et une autre onde porteuse de forme triangulaire à fréquence plus élevée. Les points d intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation [16]. L'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance. Cependant, cette technique ne résout pas totalement le Problème des harmoniques de courant [11].

Le schéma bloc de la commande MLI de l'onduleur est donné dans la figure si dessous :

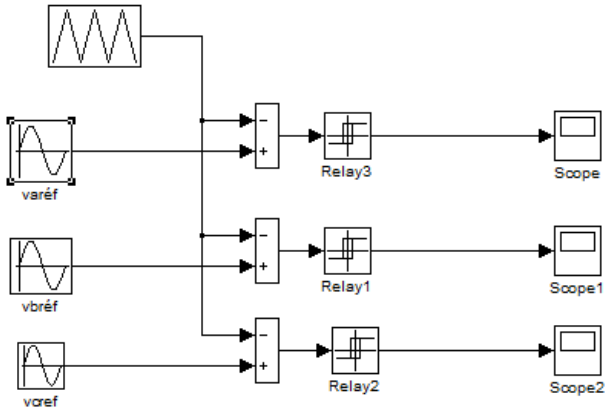


Figure I. 9 Schéma bloc de l'onduleur MLI

La détermination des instants de commutation dans le cas d'une MLI est donnée par la figure si dessous :

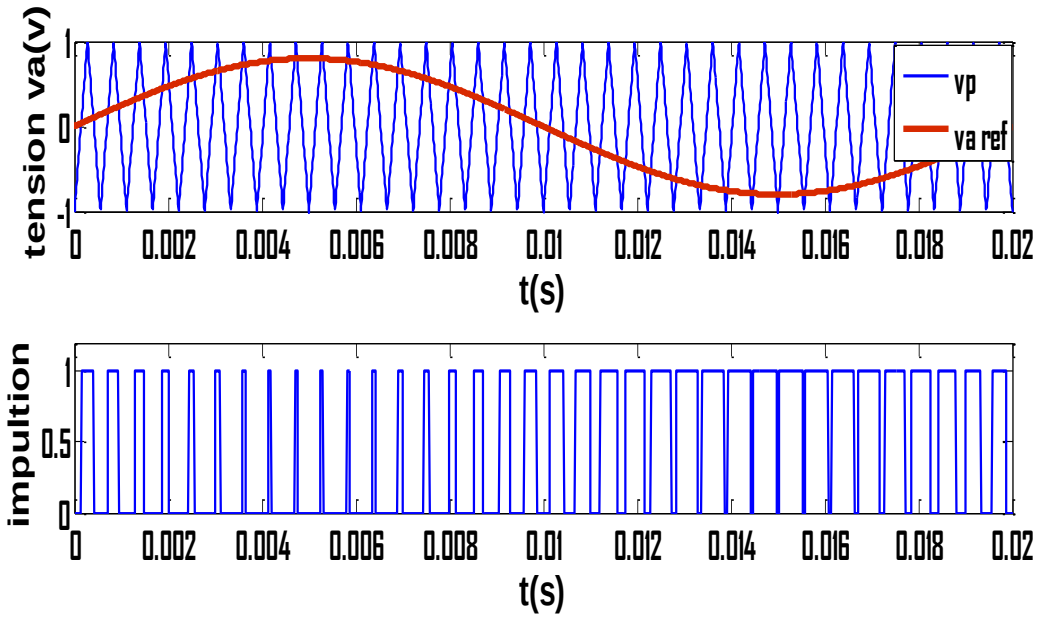


Figure I. 10 Détermination des instants de commutation dans le cas d'une MLI

La tension simple de l'onduleur est représentée à la figure (I.11)

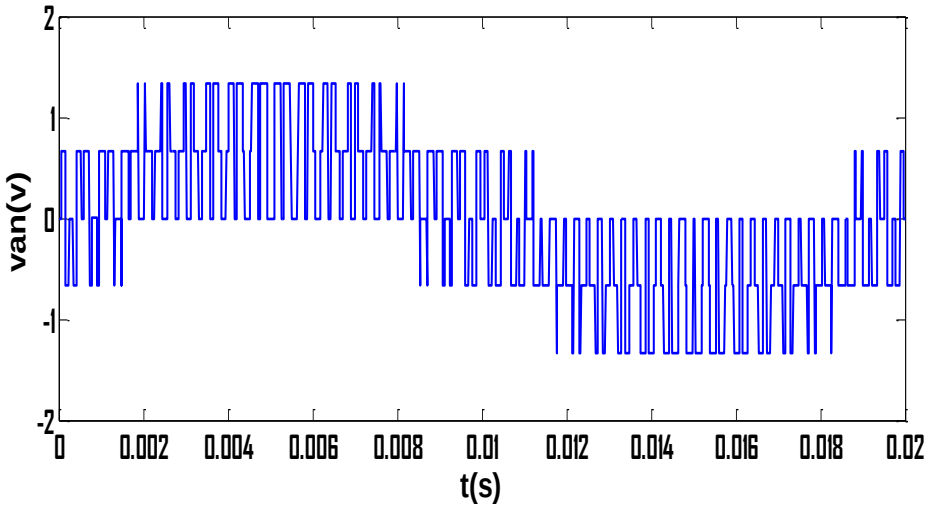


Figure I. 11 forme d'onde de la tension simple de l'onduleur

I.7 Validation par simulation numérique

Le but de cette simulation est de validé le modèle adopté de la machine asynchrone, et d'analyser le comportement lorsque la machine est alimenté directement par le réseau standard, et puis à travers l'onduleur de tension commandé par modulation de largeur d'impulsion STPWM qui sera considéré par la suite :

I.7.1 Association MAS-réseau :

Nous simulons le modèle de la machine raccordée directement au réseau électrique (MAS sans convertisseur, avec et sans l'application de la charge).

Les conditions de simulation sont :

- Le réseau électrique est de tension *220/380V, fs=50Hz.*
- Après un fonctionnement à vide pendant *2 s,* nous appliquons un couple de charge de *10 N.m.*

I.7.1.1 Schéma de simulation

La structure en schéma-bloc de cette simulation est présentée par la figure ci-dessus :

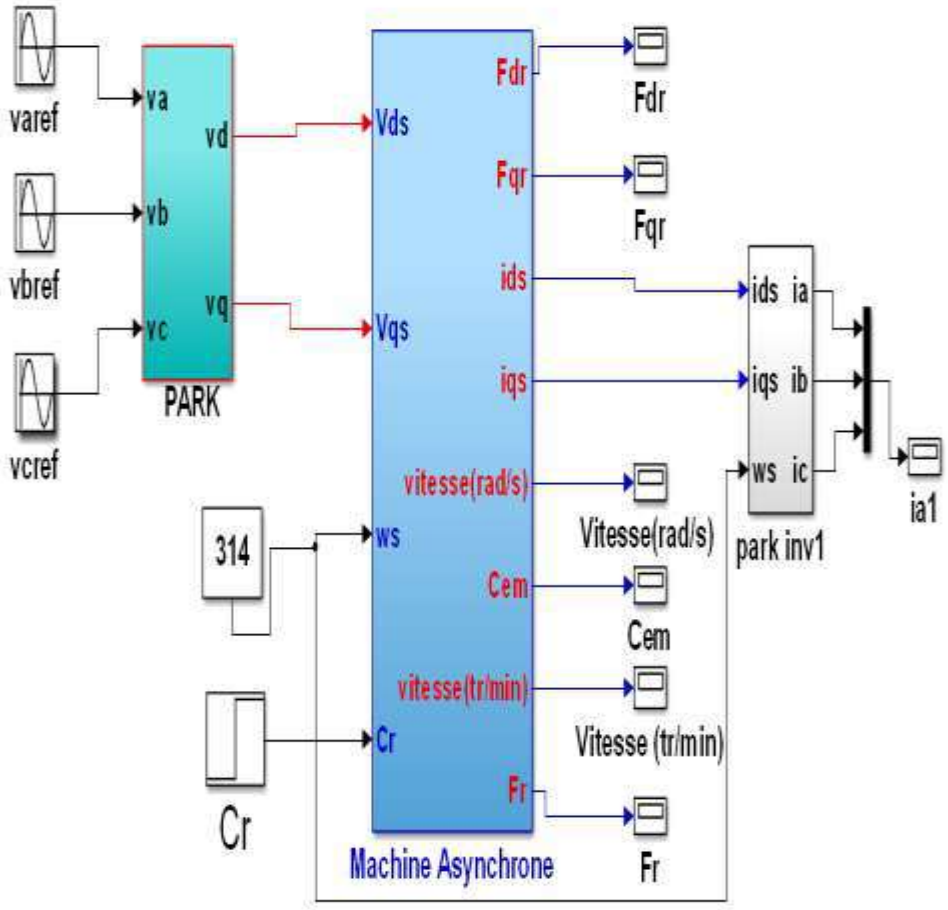


Figure I. 12 schéma bloc global de simulation MAS-réseau

I.7.1.2 Résultats de simulation :

Les résultats obtenus sont représentés dans les graphes de la figure (II.26).

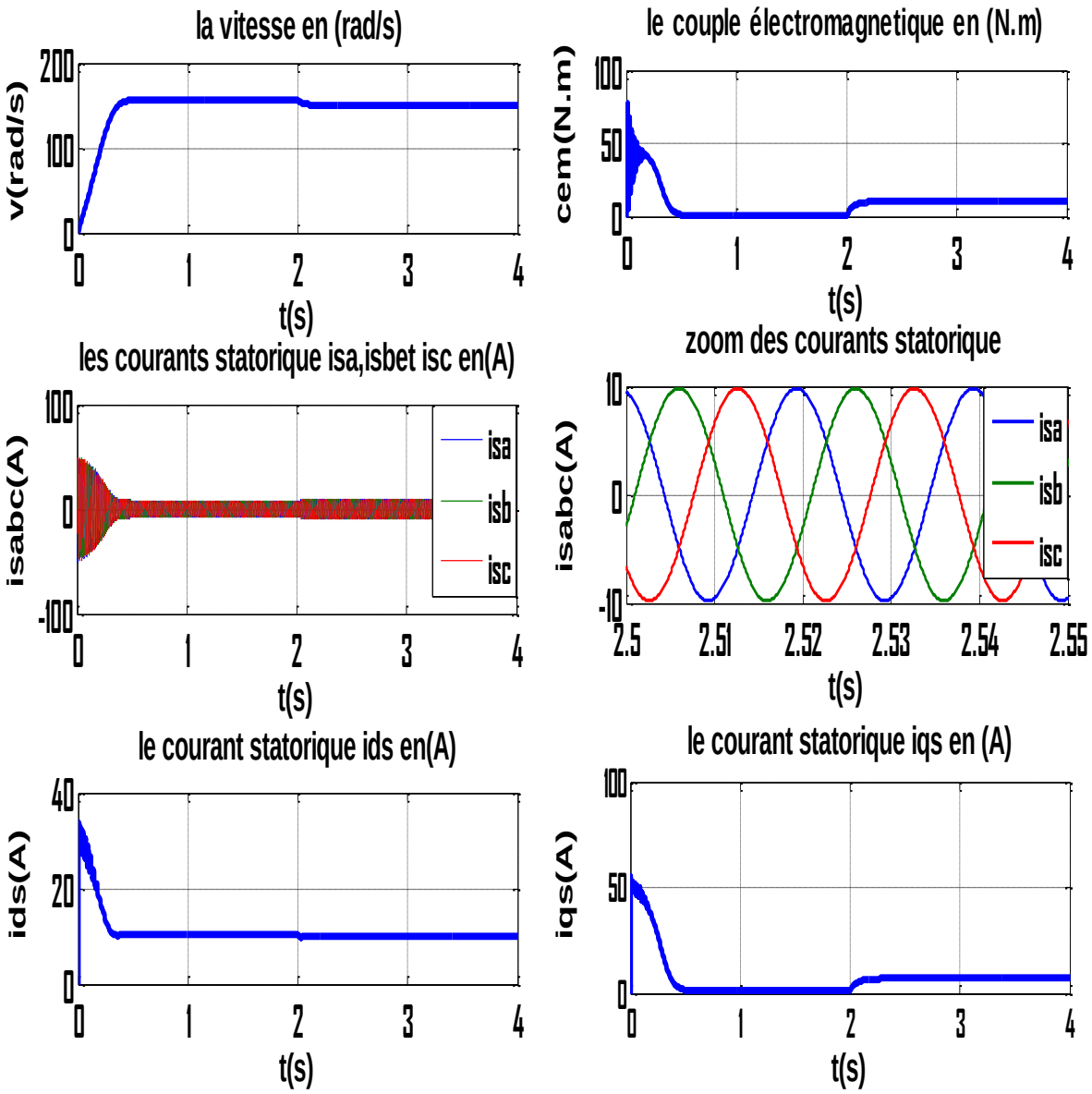


Figure I. 13 Réponses de la machine asynchrone alimentée par un réseau triphasé équilibré, suivie d'une introduction d'un couple de charge (Cr=10 N.m à t=2 s)

I.7.2 association MAS-onduleur

Dans cette partie nous associons la MAS avec l'onduleur de tension commandé par la technique MLI.

Les conditions de simulation sont :

- La tension du bus continu E=514V.
- L'amplitude du signal de référence est Ar=0.8.
- L'amplitude de la porteuse est Ap= 1.
- Après un fonctionnement à vide pendant 2 s, nous appliquons un couple de charge de 10 N.m.

I.7.2.1 Schéma de simulation

La structure en schéma-bloc de cette simulation est présentée par la figure ci-dessus :

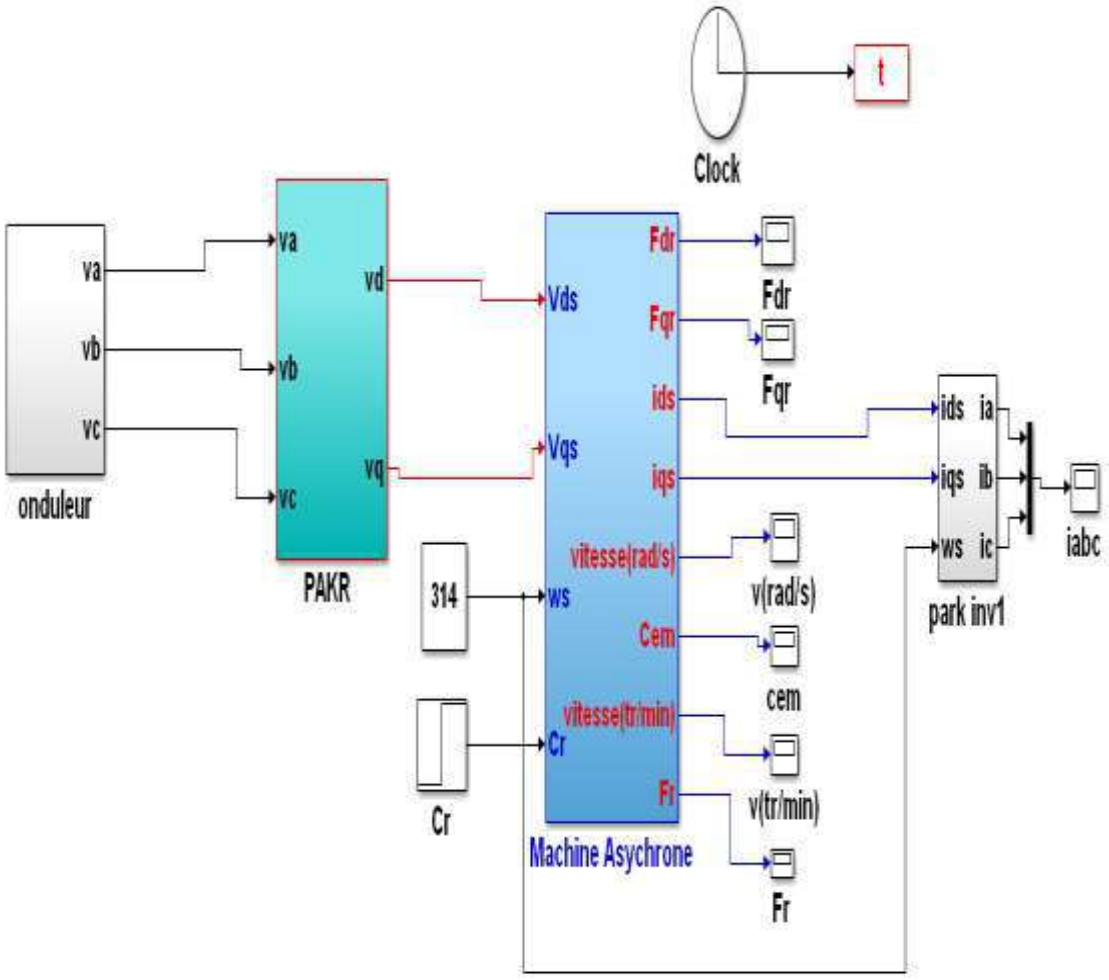


Figure I. 14 schéma bloc global de simulation MAS-onduleur

I.7.2.2 Résultats de simulation :

Les résultats obtenus sont représenté dans les graphes de la figure (II.28)

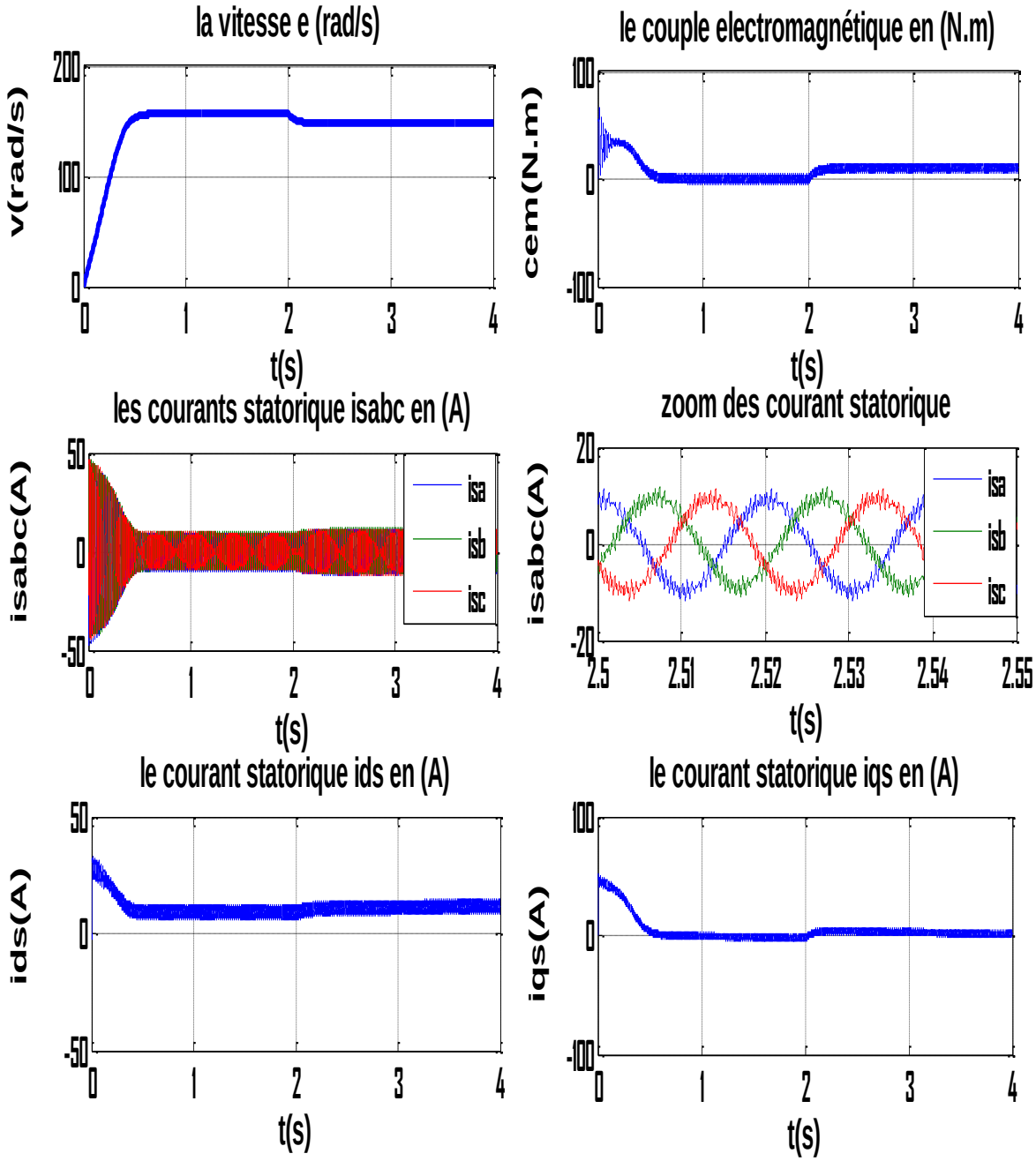


Figure I. 15 Réponses de la machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension, avec l'application d'un couple de charge (Cr=10N.m à t=2 s)

I.8 Interprétation des résultats :

A l'instant t=2s on appliquant une couple résistant C_r=10N.m

I.8.1 association MAS-réseau :

- **Evolution de la vitesse :**

La vitesse atteint une vitesse très proche de celle du synchronisme [157 rad/s], avec un accroissement presque linéaire. A l'application d'une charge nominale, on constate un goun décroissement de la vitesse rotorique

- **Evolution du couple électromagnétique :**

Le couple présente aux premiers instants de démarrage des battements importants, ce qui explique le bruit engendré par la partie mécanique. En régime stationnaire, le couple électromagnétique s'annule. Lorsqu'on applique une couple résistant on remarque un croisement de la valeur de charge du couple électromagnétique.

- **Evolution du courant :**

Lorsque le démarrage les courants statorique présente des dépassements excessifs de phase mais qui disparaissent rapidement pour donnée une forme sinusoïdal avec une amplitude constante. Si on applique une charge, on remarque une augmentation de courant ce qui implique un échauffement des enroulements de moteur.

I.8.2 association MAS-onduleur :

- **Evolution de la vitesse**

La Figure montrent le démarrage avec un onduleur de tension de la machine asynchrone à vide permet d'avoir un comportement pratiquement identique par rapport au démarrage sous la pleine tension.

- **Evolution du couple électromagnétique**

La courbe de variation du couple électromagnétique montre une forte pulsation de ce dernier au début du démarrage, puis il continue avec des oscillations moins importantes dues à la modulation autour d'une valeur moyenne correspond aux pertes par frottements et ventilation.

- **Evolution du courant**

  La forme du courant de ligne absorbé est proche d'une sinusoïde.

I.9 Conclusion:

Ce chapitre comporte deux parties :

Dans la première partie de ce chapitre, il a été présenté la machine asynchrone, sa description, sa modélisation Vectorielle et sa représentation par un modèle d'état. Les résultats obtenus démontrent la Justesse et la validité du modèle choisi.

Dans la deuxième partie de ce chapitre on a présenté l'étude par simulation de l'association machine asynchrone - onduleur triphasé de tension en pont complet à deux niveaux.

La machine seule ne répond pas toujours aux exigences des systèmes d'entraînements à vitesse variable. Afin d'avoir de hautes performances dans le régime dynamique, on a recours aux techniques de commande, telle que la commande vectorielle qui sera l'objet du deuxième chapitre.

Chapitre II : la commande vectoriel d'une MAS

II.1 Introduction :

La machine asynchrone présente un couplage entre le couple et le flux, ce couplage rend la commande très difficile car il n'est pas possible de contrôler directement le flux et le couple à partir des courants d'alimentation comme c'est le cas pour les moteurs à courant continu (MCC) à excitation séparée. La commande vectorielle n'a été introduite qu'au début des années 70 par Blaschke. Elle est basée sur l'orientation du repère de Park (d-q) de manière à annuler une des composantes du flux afin de simplifier l'expression mathématique du couple.

Le couple peut être réglé de façon indépendante du flux. Pour réaliser ces conditions, une commande vectorielle nécessite la connaissance de la position du flux à orienter. Ceci peut être réalisé par une estimation indirecte [30]. Le but de la commande vectorielle est d'arriver à découpler orthogonalement le flux et le couple, d'une manière astucieuse [28].

Ce chapitre consiste à introduire la méthode du contrôle vectoriel indirecte par orientation du flux rotorique d'une MAS alimentée par un onduleur de tension deux niveaux MLI.

II.2 Principe de commande vectorielle :

La commande par orientation du flux, consiste à régler le flux par une composante directe du courant et le couple par la composante en quadrature. Le principe du la méthode du flux, orienté est basé sur la connaissance du modèle dynamique (modèle de Park) de la machine lié an champ tournant, le contrôle vectoriel du flux permet d'imposer à la machine asynchrone un mode de fonctionnement analogue à une machine à courant continu pour lequel le couple électromagnétique est proportionnel à deux grandeurs indépendantes (le flux inducteur et le courant d'induit) [6] [31].

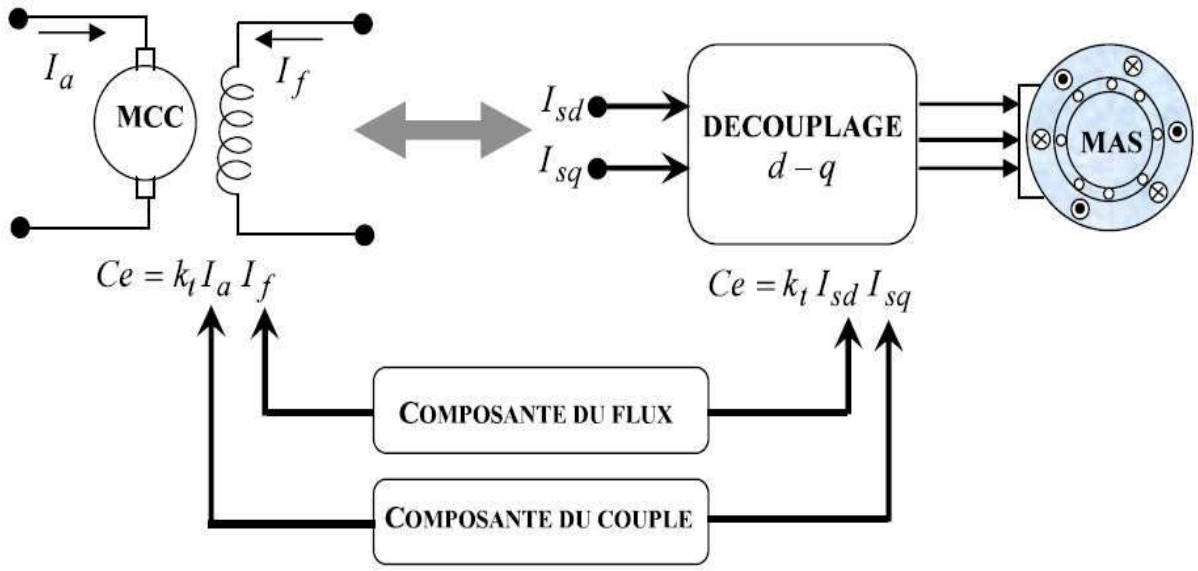


Figure II. 1 principe de la commande vectorielle de la MAS.

La relation du couple électromagnétique est donnée par :

$$Ce = K.\Phi.i_a = K'.i_f.i_a \qquad (II.1)$$

Avec Φ: Flux imposé par le courant d'excitation i_f

i_a : Courant d'induit.

Le courant d'induit i_a est la grandeur génératrice du couple et le courant d'excitation i_f est la grandeur génératrice du flux. Ainsi, dans une machine à courant continu tout se passe, comme si les variables des commandes i_a et i_f étaient orthogonales. C'est à dire que le flux commandé par le courant i_f et le couple par le courant i_a. On dit que l'induit et l'inducteur sont découplés [6].

Pour une machine asynchrone, la relation du couple électromagnétique est donnée par l'équation suivant :

$$Cem = \frac{PM}{L_r}(\Phi_{dr} I_{qs} - \Phi_{qr} I_{ds}) \qquad (II.2)$$

II.3 Orientation du flux rotorique :

La commande vectorielle à orientation du flux rotorique est la plus utilisée, car elle élimine l'influence des réactances de fuite rotorique et statorique est donnée de meilleurs résultats que les méthodes basées sur l'orientation du flux statorique ou d'entrefer **.**Cette commande est aligner le vecteur de flux rotorique suivant l'axe direct *d* du repère tournant, tels que [25] [29] [33] :

$$\begin{cases} \Phi_{dr} = \Phi_r \\ \Phi_{qr} = 0 \end{cases} \quad \text{(II.3)}$$

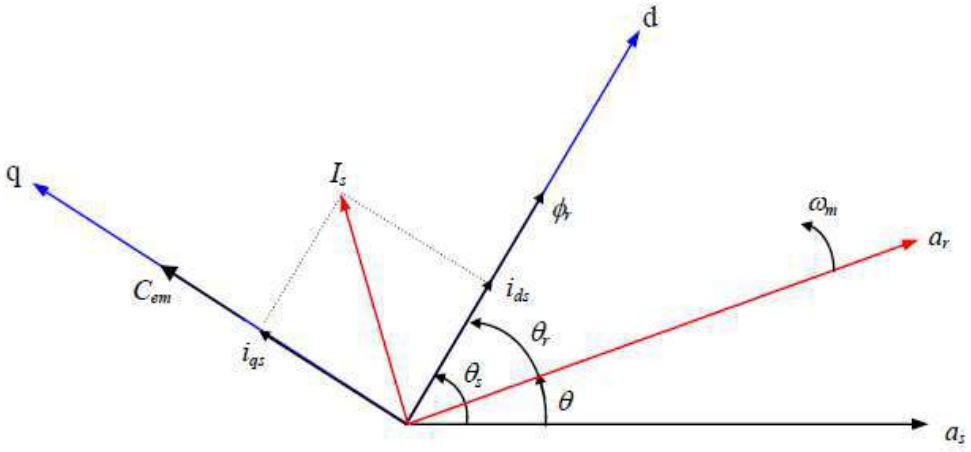


Figure II. 2 Représentation vectorielle de la stratégie d'orientation de flux rotorique

L'expression du couple électromagnétique est proportionnelle au produit du flux par la composante du courant statorique en quadrature avec le flux [3] [32] :

$$C_{em} = \frac{PL_M}{L_r}\left(\Phi_r\, I_{qs}\right) \quad \text{(II.4)}$$

Et le flux est donnée par :

$$\begin{cases} T_r \dfrac{d\Phi r}{dt} + \Phi_r = L_M\, I_{ds} \\ w_r = \dfrac{L_M I_{qs}}{L_r \Phi_{r\,réf}} \end{cases} \quad \text{(II.5)}$$

La position du flux rotorique est déterminée par l'expression suivante :

$$\theta_s = \int w_s \, dt \tag{II.6}$$

Avec w_s la pulsation statorique, obtenue à partir de la somme des deux pulsations.

$$w_s = w + w_r \tag{II.7}$$

Alors (II.6) devient :

$$\theta_s = \int (P\Omega + \frac{L_M I_{qs}}{L_r \Phi_{r\,réf}}) dt \tag{II.8}$$

II.3.1.Choix de référentielle :

On peut à priori choisir les axes de référence selon l'un des flux de la machine. A savoir le flux statorique , Le flux rotorique ou le flux d'entrefer et vérifier le degré de découplage entre le flux et le couple selon ce choix : [32]

- Flux statorique avec des conditions :$\Phi_{ds} = \Phi_s; \Phi_{qs} = 0$.
- Flux rotorique avec des conditions :$\Phi_{dr} = \Phi_r; \Phi_{qr} = 0$.
- Flux entrefer (magnétisant) avec des conditions :$\Phi_{dm} = \Phi_m; \Phi_{qm} = 0$.

Dans les trois cas, le couple est proportionnel au produit du flux par la composante quadrature du courant statorique avec le flux, un choix du flux rotorique permet un découplage naturel indépendance du flux par rapport la composante quadrature du courant statorique. [31-33].

La synthèse d'une commande vectorielle se déroule en plusieurs phases :

- Choisir la machine et son alimentation (source, convertisseur….).
- Choix la nature des consigne (flux et couple, flux et glissement….).
- Détermination de repère d, q et les natures de l'orientation (flux rotorique sur l'axe d).
- Détermination la position du flux (directe, indirecte) [31].

II.4 Etude des méthodes directe et indirecte du contrôle à flux rotorique orienté :

II.4.1.Le contrôle direct (DFOC) :

Cette méthode consiste à mesuré directement le flux de la machine à l'aide de capteur positionnées dans l'entrefer et en déduire l'amplitude et la phase. (Détermination instantanée de l'amplitude et la position du flux) [6] [25] [31].

II.4.2. Le contrôle indirect (IFOC) :

La commande à flux orienté indirect, proposé par Hass en 1968. C'est la technique la plus utilisé dans les systèmes d'entrainement à vitesse variable de haut performances de la machine asynchrone, le principe de cette méthode consiste à estimer uniquement la position du flux est déduire de la relation donnant la vitesse de glissement à partir du model de machine en régime dynamique [6] [33] **.**

Le modèle de la machine Asynchrone en fonction des variables d'états :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}I_{ds} = \frac{1}{\partial L_s}\left[-\left(R_s + \frac{LM^2}{L_r T_r}\right)I_{ds} + w_s\ \partial\ L_s\ I_{qs} + \frac{L_M}{L_r}\Phi_{dr} + \frac{L_M}{L_r}w_r\Phi_{qr} + V_{ds}\right] \\ \frac{d}{dt}I_{ds} = \frac{1}{\partial L_s}\left[-w_s\ \partial\ L_s\ I_{ds} - \left(R_s + \frac{LM^2}{L_r T_r}\right)I_{qs} + \frac{L_M}{L_r}w_r\Phi_{dr} + \frac{L_M}{L_r T_r}\Phi_{qr} + V_{qs}\right] \\ \frac{d}{dt}\Phi_{dr} = \frac{L_M}{T_r}I_{ds} - \frac{1}{T_r}\Phi_{dr} + (w_s - w_r)\ \Phi_{qr} \\ \frac{d}{dt}\Phi_{qr} = \frac{L_M}{T_r}I_{qs} - (w_s - w_r)\Phi_{dr} - \frac{1}{T_r}\Phi_{qr} \\ \frac{d}{dt}\ \Omega_r = \frac{1}{J}\left[P\frac{L_M}{L_r}\ (\Phi_{dr}I_{qs} - \Phi_{qr}I_{ds}) - C_r - f\Omega_r\right. \end{cases} \quad \text{(II.9)}$$

L'équation de couple électromagnétique déterminé par l'expression suivant :

$$cem_{réf} = \frac{PM}{L_r}\left(I_{qs}\Phi_{réf}\right) \quad \text{(II.10)}$$

II.5 Structure d'une commande par orientation du flux :

En considérant le couple électromagnétique Cem et le flux rotorique comme références de commande et en inversant le modèle de la machine, nous obtenons les équations de commande suivantes :

$$\begin{cases} I_{qs\,réf} = \dfrac{L_r\, cem_{réf}}{PM\Phi_{r\,réf}} \\ I_{ds\,réf} = \dfrac{1}{M}\left(T_r \dfrac{d\ \Phi_{r\,réf}}{dt} + \Phi_{r\,réf}\right) \\ w_s = w_r + \dfrac{MI_{qs}}{L_r\Phi_{réf}} \end{cases} \quad \text{(II.11)}$$

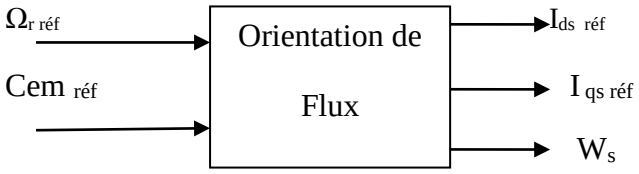


Figure II. 3 Bloc de commande (FOC)

II.5.1 Bloc de dé fluxage :

Pour obtenir un variateur de vitesse, il suffit d'adjoindre à la boucle ouverte d'un régulateur de flux et un régulateur de couple. La vitesse et mesurée et il est donc possible de faire sa régulation. Par contre le flux ne peut pas être mesuré directement et son contrôle, le plus simple est du type réaction le bloc de dé fluxage est défini par le non linéarité suivante :

$$\Phi_r^* = \begin{cases} \Phi_{r\,n}\ si\ |\Omega| \le \Omega_n \\ \dfrac{\Omega_n}{|\Omega|}\Phi_{r\,n}\ \ si\ |\Omega| > \Omega_n \end{cases} \quad \text{(II.12)}$$

Φ_r^*: Flux rotorique de référence.

$\Phi_{r\,n}$: Flux rotorique nominal.
Ω_n : Vitesse mécanique nominale.

Il assure le fonctionnement à couple constant pour les vitesses inférieures à la vitesse nominale et au-delà de cette valeur il permet de diminuer le couple. Dans ce cas, il assure un fonctionnement à tension ou à la puissance constante [32].

II.6 Découplage : [9]

Différentes techniques de découplage existent : découplage par retour d'état, découplage statique ou découplage par compensation, que nous allons présenter maintenant.

Les tensions statoriques sont obtenus à partir du système suivant : [19]

$$\begin{cases} V_{ds} = R_S\, I_{ds} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{ds}}{dt} + \left(\dfrac{L_M}{L_r}\right)\dfrac{d\Phi_{réf}}{dt} - w_s\ \partial L_s\, I_{qs} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{qs}}{dt} + w_s\left(\dfrac{L_M}{Lr}\Phi_{réf} + \partial L_s\, I_{ds}\right) \end{cases} \quad \text{(II.13)}$$

$$\begin{cases} V_{ds} - \left(\dfrac{L_M}{L_r}\right)\dfrac{d\Phi_{réf}}{dt} + w_s\ \partial L_s\, I_{qs} = R_S\, I_{ds} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{ds}}{dt} \\ V_{qs} - w_s\left(\dfrac{L_M}{Lr}\Phi_{r\,réf} + \partial L_s\, I_{ds}\right) = R_s I_{qs} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{qs}}{dt} \end{cases} \quad \text{(II.14)}$$

II.6.1.Découplage par compensation :

Pour découpler ces équations, nous introduisons deux nouvelles variables Vds1 et Vqs1(les tensions à la sortie des régulateurs) sont :

$$\begin{cases} V_{ds1} = R_S\, I_{ds} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{ds}}{dt} \\ V_{qs1} = R_s I_{qs} + \partial L_s \dfrac{d\, I_{qs}}{dt} \end{cases} \quad \text{(II.15)}$$

Pour compenser l'erreur introduite lors du découplage, les valeurs Vds1 et Vqs1 sont corriges, donnant ainsi les tensions statoriques de références $V_{ds\,réf}$ et $V_{qs\,réf}$ à flux constant.

$$\begin{cases} V_{ds\,réf} = V_{ds1} - w_s\ \partial L_s\, I_{qs} + \dfrac{L_M}{L_r}\dfrac{d\Phi_r}{dt} \\ V_{qs\,réf} = V_{qs1} + w_s\left(\dfrac{L_M}{Lr}\Phi_{r\,réf} + \partial L_s\, I_{ds}\right) \end{cases} \quad \text{(II.16)}$$

Le schéma représentatif de la commande vectorielle indirecte de machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension à deux niveaux donné par la figure suivant :

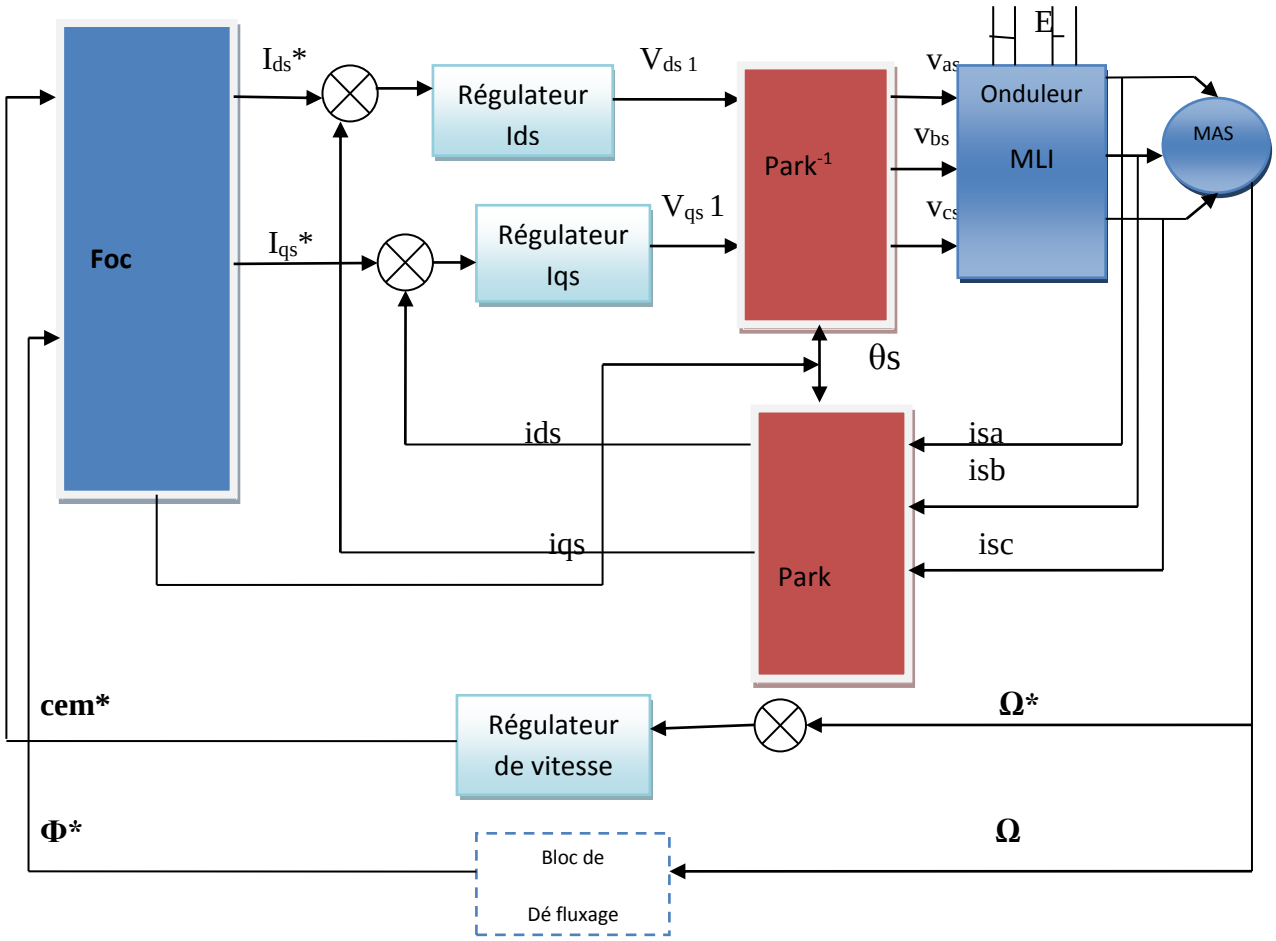


Figure II. 4 Schéma de la commande vectorielle indirecte.

II. 7 les Régulateur

Les régulateurs utilisés dans ce travail sont des régulateurs simples de type PI qui combine l'action proportionnelle et intégrale pour améliorer le régime permanent et transitoire des réponses du système. La méthode utilisée pour calculer ces régulateurs est la méthode de compensation pôle et zéro, c.-à-d. que le zéro de correcteur compense le pôle le plus lent du système [28].

II.7.1.Régulateur de courant Iqs :

Le régulateur de courant Iqs fournit la tension Vqs1 nécessaire pour maintenir le couple à sa valeur de référence.

La fonction de transfert $\frac{I_{qs}}{V_{qs1}}$ est donnée par :

$$\frac{I_{qs}}{V_{qs1}} = \frac{1}{R_s + \partial L_s S} \quad \textbf{(II.17)}$$

la régulateur de courant est représentée par la figure (II.5)

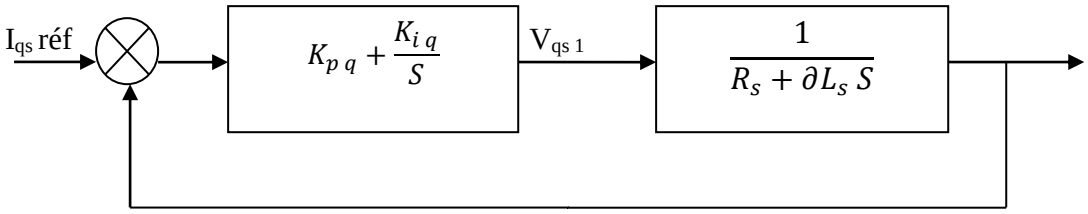


Figure II. 5 Schéma bloc de régulateur du courant Iqs**.**

La fonction de transfert en boucle fermée est donnée comme suit :

$$\frac{\left(K_{p\,q} + K_{iq}\right)\frac{1}{\partial L_s S}}{S^2 + \frac{R_s + K_{p\,q}}{\partial L_s} + \frac{k_{i\,q}}{\partial L_s}} \quad \textbf{(II.18)}$$

L'équation caractéristique est du deuxième ordre, donc en imposant deux pôles complexes pour assurer la stabilité en boucle fermée :

$$\begin{cases} k_{i\,q} = 2\,\partial L_s \rho^2 q \\ k_{p\,q} = 2\rho q\,\partial L_s - R_s \end{cases} \quad \text{(II.19)}$$

II.7.2.Régulateur de courant Ids :

Le régulateur de courant Ids fournit la tension Vds1 nécessaire pour maintenir le flux à sa valeur de référence

La fonction de transfert $\frac{I_{ds}}{V_{ds\,1}}$ est donnée par :

$$\frac{I_{ds}}{V_{ds\,1}} = \frac{1}{Rs + \partial Ls\,S} \quad \textbf{(II.20)}$$

Les mêmes calculs effectués pour le régulateur du courant sont appliqués à ce régulateur :

$$\begin{cases} K_{iq} = 2\partial L_s \rho^2 q \\ K_{P\,q} = 2\rho\partial L_s - R_s \end{cases} \quad \text{(II.21)}$$

II.7.3.Régulateur de vitesse:

L'équation mécanique de la machine asynchrone est de la forme :

$$\mathrm{J}\frac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{dt}} + \mathrm{f_r}\Omega = \mathrm{C_{em}} - \mathrm{C_r} \quad \text{(II.22)}$$

Ce régulateur est donné par la fonction de transfert suivant :

$$G = K_{Pw} + \frac{K_{i\,w}}{S} \quad \text{(II.23)}$$

A partir de l'équation mécanique et la fonction de transfert du régulateur, En considérant le couple de charge comme perturbation:

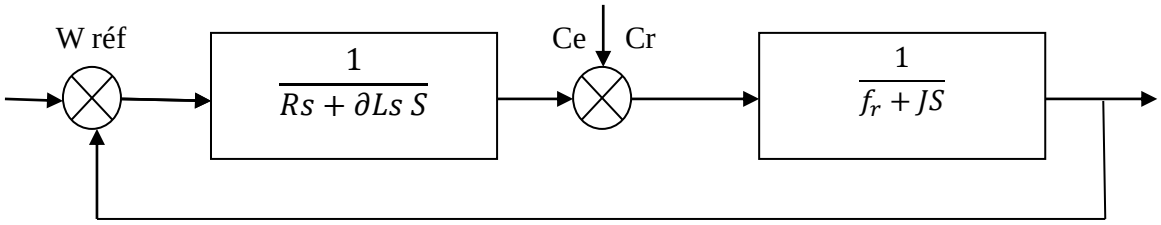


Figure II. 6 Schéma bloc de régulateur de la vitesse de rotation

La fonction de transfert en boucle fermée avec un couple résistant nul est donnée :

$$\frac{\mathrm{w}}{\mathrm{w_{réf}}} = \frac{\frac{1}{\mathrm{J}}(\mathrm{K_{p\,w}s} + \mathrm{K_{iw}})}{\mathrm{S^2} + \frac{\mathrm{f_r} + \mathrm{K_{p\,w}}}{\mathrm{J}}\mathrm{S} + \frac{\mathrm{K_{iw}}}{\mathrm{J}}} \quad \text{(II.24)}$$

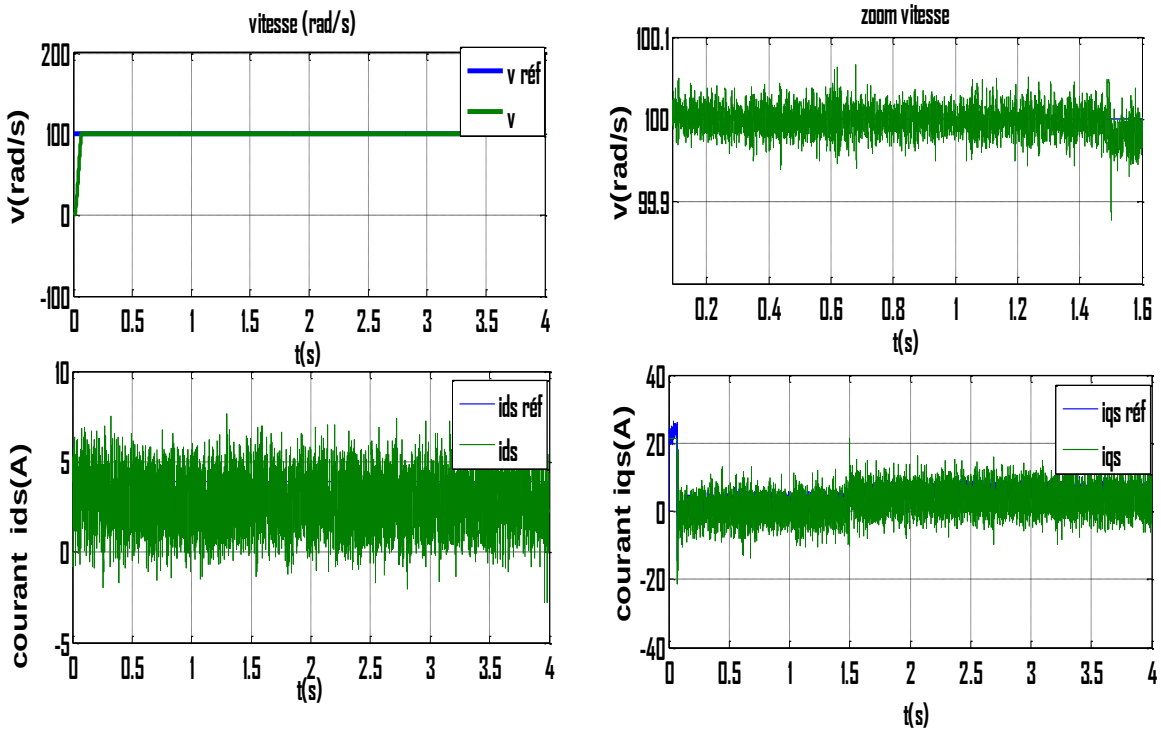
On imposant des pôles en boucle fermée, nous obtenons les paramètres de régulateur [28] :

$$\begin{cases} \mathrm{K_{p\,w}} = 2\mathrm{J}\rho - \mathrm{f_r} \\ \mathrm{K_{i\,w}} = 2\mathrm{J}\rho^2 \end{cases} \quad \text{(II.25)}$$

II.8.Résultat de simulation :

La commande vectorielle indirecte d'une MAS avec onduleur deux niveaux, a été implantée numériquement sur Simulink/Matlab. Dans ce cas nous devrons signaler que la simulation est effectuée dans les conditions suivantes, la vitesse de référence 150rad/s et un couple de charge nominale de 10N. Appliqué à l'instant t=1.5s.

- **Démarrage à vide suivi de l'application d'une charge :** représenté dans la figure (II.7)



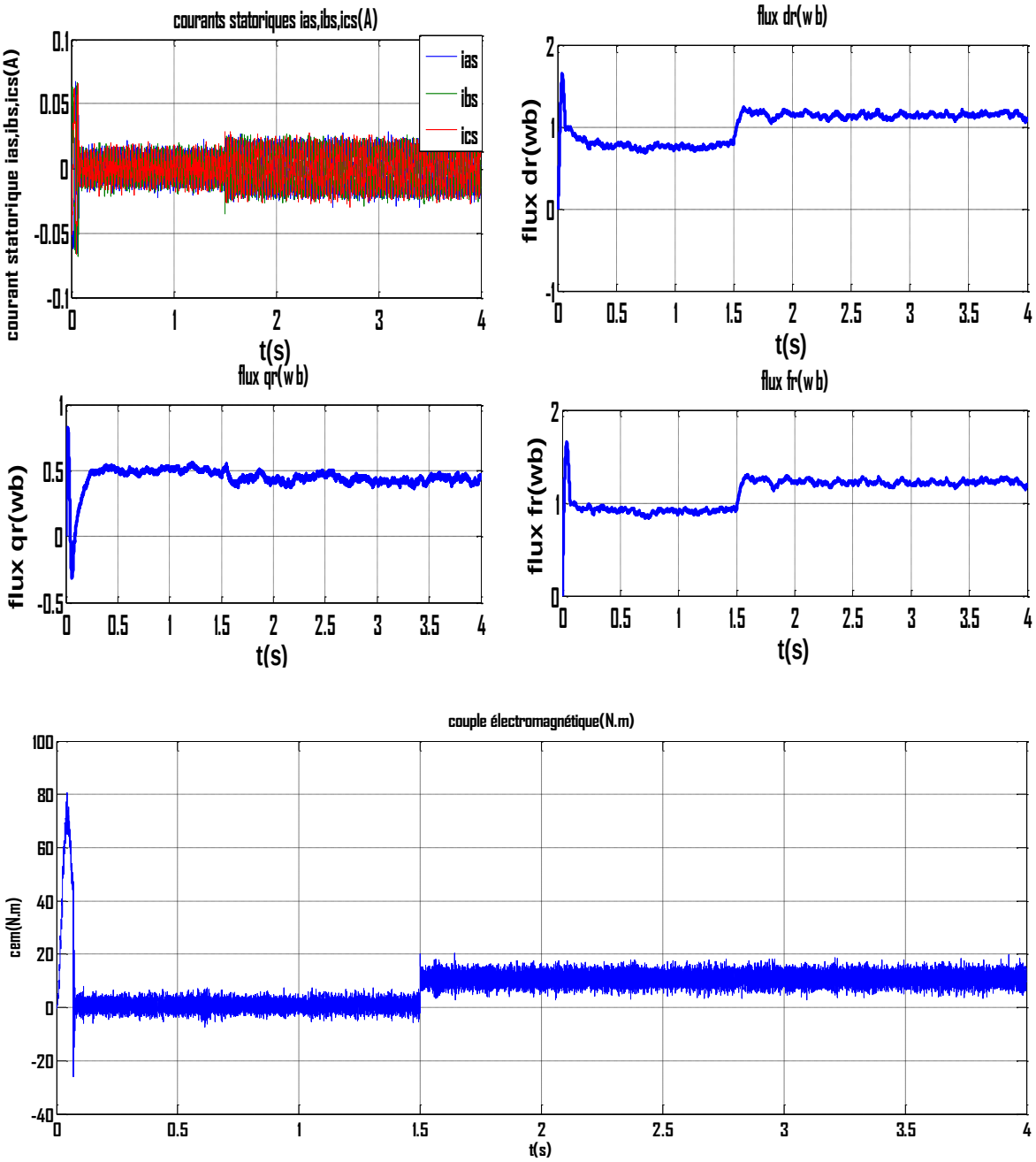
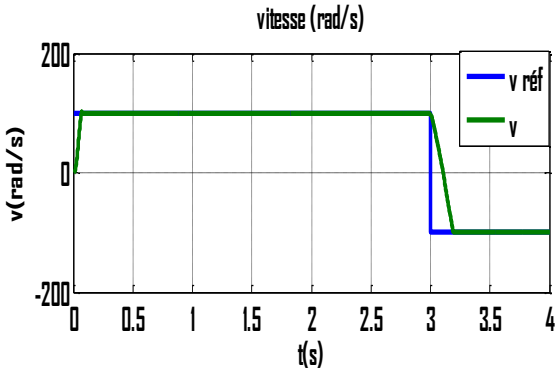
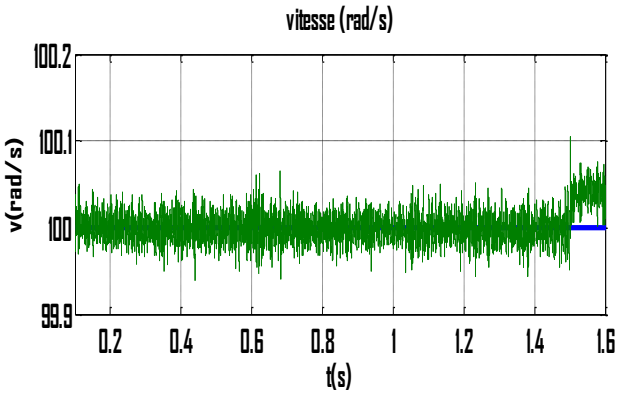


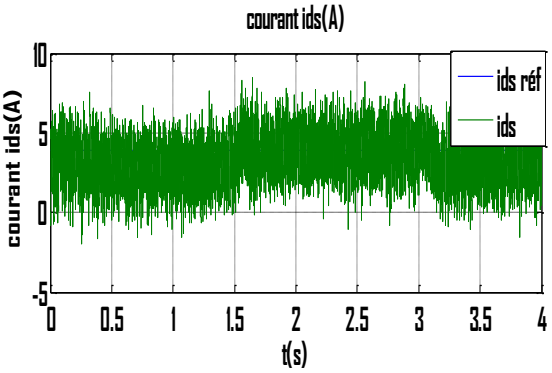
Figure II. 7 Résultats de simulation de MAS pour un fonctionnement à vide avec couple de charge

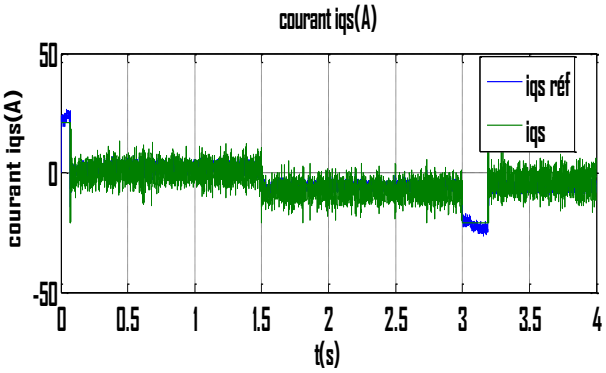
- **Influence de la variation du couple de charge et l'inversion de la vitesse :**

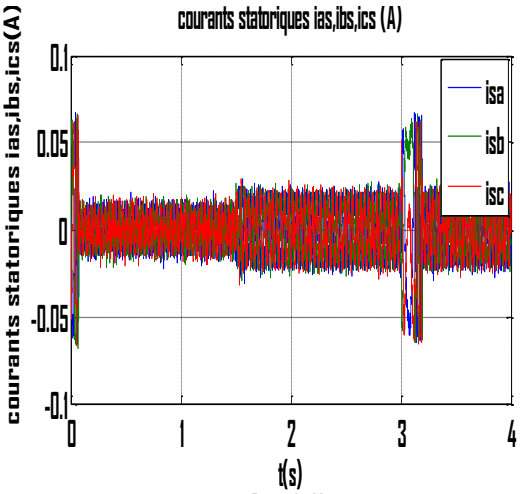
Dans cette partie, on démarre la machine à vide puis on applique et élimine d'un couple de charge de 10 (N.m) aux instants 1.5s respectivement; à l'instant t=3s on fait l'inversion du sens de rotation de [+100 à –100] rad/s. nous avons obtenus les résultats suivants voir la figure (II, 8) :

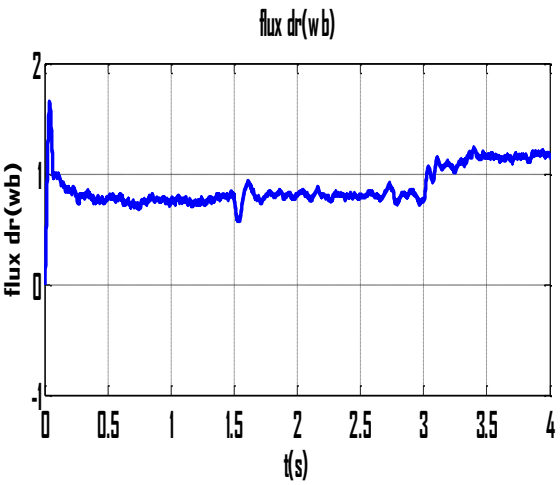

vitesse (rad/s)
v(rad/s)
t(s)
v réf
v

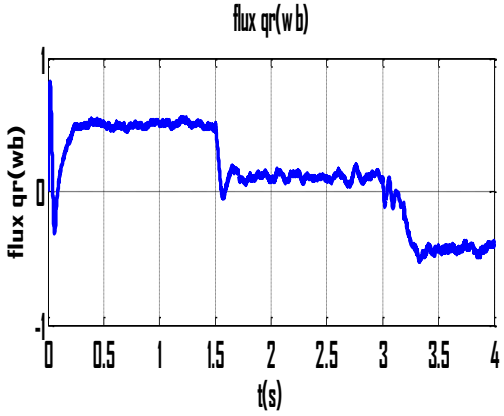

vitesse (rad/s)
v(rad/s)
t(s)

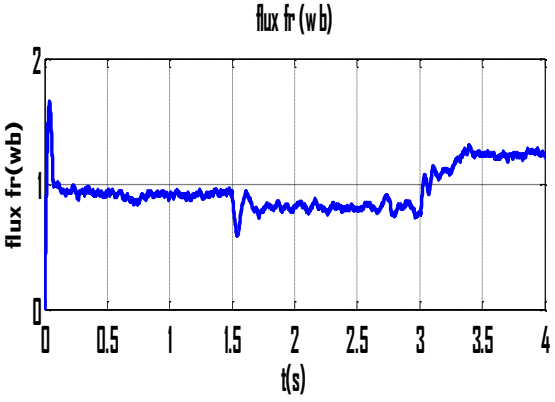

courant ids(A)
courant ids(A)
t(s)
ids réf
ids


courant iqs(A)
courant iqs(A)
t(s)
iqs réf
iqs


courants statoriques ias,ibs,ics (A)
courants statoriques ias,ibs,ics(A)
t(s)
isa
isb
isc


flux dr(wb)
flux dr(wb)
t(s)


flux qr(wb)
flux qr(wb)
t(s)


flux fr (wb)
flux fr(wb)
t(s)

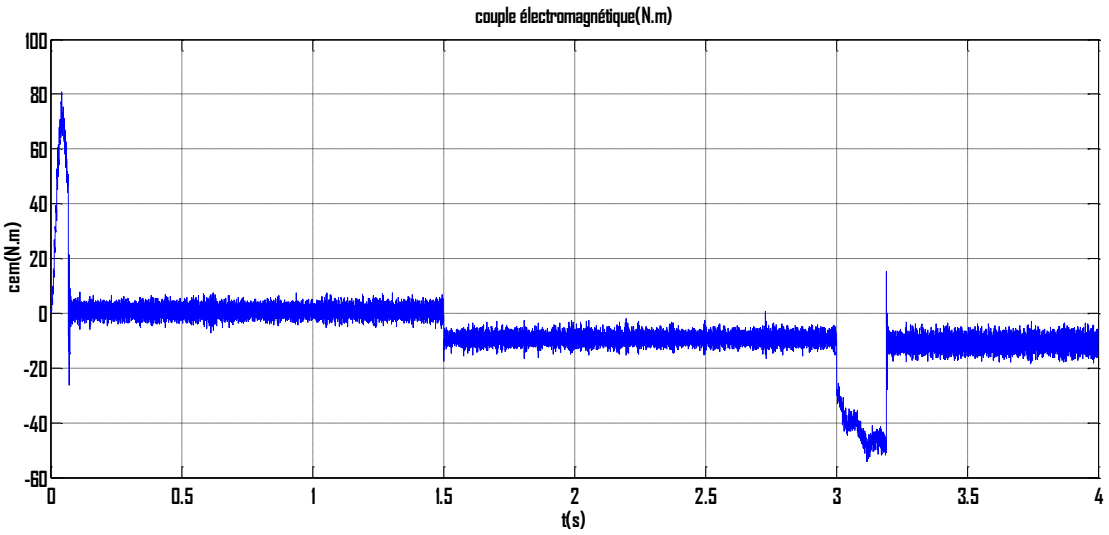


Figure II. 8 Résultats de simulation de MAS pour un fonctionnement à vide suivi par une variation de charge et inversion de sens de vitesse.

II.9.Interprétation des résultats

D' après les figures (II.7-II.8), on peut noter que :

- **Démarrage à vide avec couple de charge 10N**

La figure (II.7) représenté les réponses de la vitesse, du couple, les deux courants (I_{ds} et I_{qs}) et les courants de phase statoriques. Au démarrage la vitesse augmente d'une façon linéaire puis se stabilise à la valeur de référence, sans erreur statique. L'échelon de couple de charge ne perturbe pas le courant Ids grâce à une parfaite compensation des termes de couplage entre les deux axes d et q. Un découplage entre le flux et le couple est bien réalisé.

- **L'inversion de sens de rotation**

D'après la figure (II.8) on fait l'inversion du sens de rotation de [+150 à –150] rad/s à l'instant t=3s, on à une vibration de la vitesse mais elle rejoint par la suite sa référence, ce qui montre la robustesse des correcteurs.

Les correcteur sont traduit une bonne performance pour les deux sens de rotation.

II.10 Conclusion :

La commande vectorielle est pour objectif d'aboutir à un modèle simple de la MAS qui permet de commander indépendamment le flux et le couple de la machine.

Avec ce découplage, la MAS se comporte alors comme une machine à courant continu à excitation indépendante ou il y a un découplage naturel entre la grandeur commandant le flux et celle commandant le couple permettant, Par ailleurs l'utilisation du réglage à base de régulateur proportionnel intégrateur donne de bonnes performances malgré les échelons du couple de charge, ce qui montre le bon rejet de perturbation de la commande. Ainsi d'obtenir de hautes performances.

La commande vectorielle indirecte repose sur le principe de maintenir le courant i_{ds} , constant et égal à la référencei_{ds}.

Chapitre III : détection des défauts d'onduleur

III.1 Introduction

Les onduleurs de tension, associés aux machines à courant alternatif, sont de nos jours très largement utilisés dans les systèmes d'entraînement industriels. Actuellement un grand axe de recherches est orienté vers la surveillance de l'état du convertisseur (onduleur) alimentant le moteur asynchrone. En effet, un onduleur présente des défauts structurels tels que les défauts d'ouverture/fermetures des interrupteurs par conséquence ce type des défauts peut induire des endommagements pour le système entier [2-4] [10-11].

Avant tout on étudie les défauts de l'association MAS-onduleur, leurs effets, leurs conséquences et leurs impact sur les réponses du système (courants, vitesse, couple…).

III.2 Description du système à étudier :

Le système à étudier est représenté par la suite :

- Un réseau électrique triphasé
- Un onduleur de tension deux niveau à MLI.
- Une commande vectorielle par orientation indirecte du flux rotorique (CV-OFR) du moteur asynchrone.

III.3 Diffèrent type de défaut d'onduleur :

Les défauts de l'onduleur consistent essentiellement dans le fonctionnement défectueux des composants de puissance et de la commande des semi-conducteurs et sont dus à des dépassements de différentes natures .on distingue [10-11]:

- Court-circuit d'un interrupteur.
- Circuit ouvert d'un interrupteur.
- Court-circuit sur deux interrupteurs.
- Circuit ouvert sur deux interrupteurs.

III.3.1 court-circuit sur un interrupteur :

Un court-circuit sur un interrupteur (Figure III .1) Prévient tout fonctionnement. Ce court-circuit rend un bras inutilisable si le second interrupteur est commandé pour le même bras, la source serait alors court-circuitée [10-11].

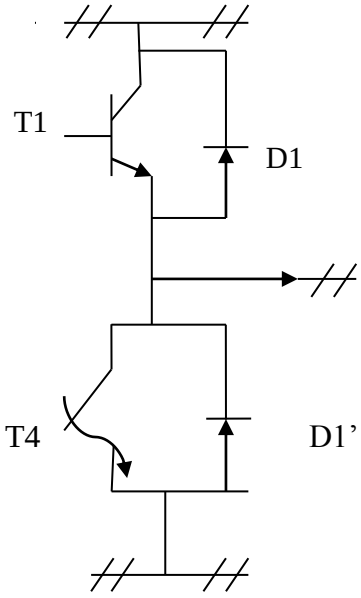


Figure III. 1 court-circuit sur un interrupteur d'un des bras

III.3.2 circuit ouvert sur un interrupteur :

Un interrupteur bloqué en ouverture (figure III.2) n'a pas les mêmes conséquences qu'un interrupteur en court-circuit. Ce cas présente l'avantage de ne pas court-circuiter, n'empêchant donc pas complètement le fonctionnement du moteur [2-4] [10-11].

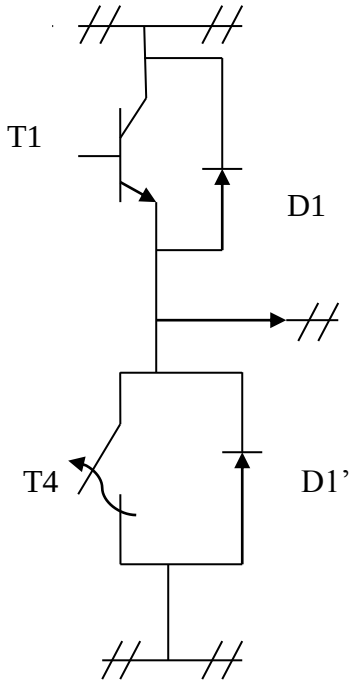


Figure III. 2 circuit ouvert sur interrupteur d'un bras

III.3.3 Court-circuit de deux interrupteurs :

Dans ce cas on a une double faute sur l'onduleur qui différencier deux cas [10-11] :

- courts-circuits sur deux bras différents, cela signifie l'arrêt inévitable du moteur qui ne peut plus être alimenté.
- les courts-circuits de deux interrupteurs sur un même bras, la source se trouve alors en court-circuit, ce qui pourrait, en plus de neutraliser la machine électrique, dégradé le fonctionnement d'un autre partie du système. En effet, il est plus grave que le défaut de court-circuit.

III.3.4 circuit ouvert de deux interrupteurs :

Ce mode de défaut correspond à la perte de la commande d'un bras, ses deux interrupteurs restant ouverts. Le courant dans la phase concernée est assez faible, presque nul, selon la commande effectuée et les courants dans les phases saines ont leurs fondamentaux en opposition de phase [10-11].

III.4 Simulation du moteur asynchrone en présence de défauts d'onduleur :

Dans cette partie nous proposons une simulation de l'ensemble (MAS + onduleur) avec application du couple de charge, le but est de comprendre et de connaitre les conséquences de présence d'un défaut circuit-ouvert (C-O) et court-circuit (C-C) sur les grandeurs électriques (courants) et mécaniques (vitesse et couple). Pour cela nous allons met en évidence l'application de couple de charge (Cr=10 N.m).

Le schéma bloc de simulation de défauts d'onduleur est donné par la figure (III.3):

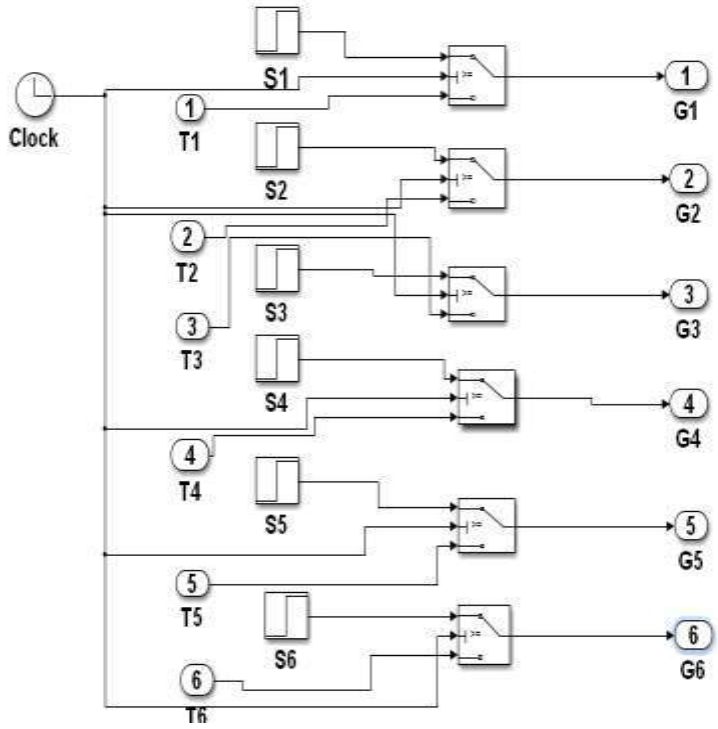


Figure III. 3 Schéma bloc de simulation des défauts d'onduleur

III.4.1 Défaut de circuit ouvert :

III.4.1.1 Configuration de défauts circuit-ouvert :

Il existe de multiple cas de défaut circuit ouvert (C-O), nous présenterons l'essentiel de ces défauts, on note :

- **DF1 :** défauts d'ouvertures d'un des six interrupteurs (T1∨T2∨T3∨T4).
- **DF2 :** défauts d'ouvertures des deux interrupteurs du même bras (T1∧T4) ou (T2∧T5).
- **DF3 :** défauts d'ouvertures des interrupteurs de potentiel positives et négatives de deux bras différents (T1∧T2) et (T4∧T5).
- **DF4 :** défauts d'ouvertures des interrupteurs des deux bras différents (T1∧T5) et (T2∧T4).

III.4.1.2 Résultats de simulation de défaut (C-O) :

Les défauts appliqués (C-O) sont limités seulement sur un ou deux bras (A ou B), et on généralise l'analyse sur les autres bras, car on considère que les mêmes phénomènes se reproduisent. Dans ce cas les interrupteurs sont forcés à "0" à l'instant d'application de défaut [10]. Les résultats de simulations représentées dans les figures (III.4 à III.31).

- **DF1 : C-O d'un interrupteur (T1 ou T4) :** voir les figures (III.4-III .7)

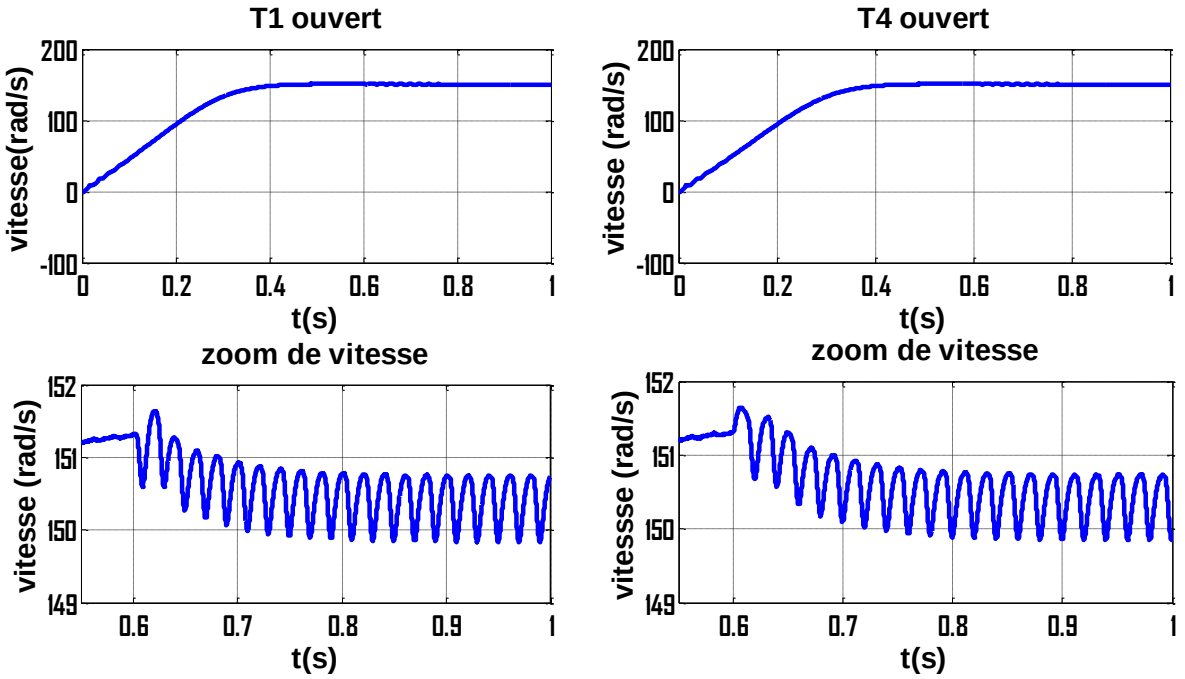


Figure III. 4 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A)

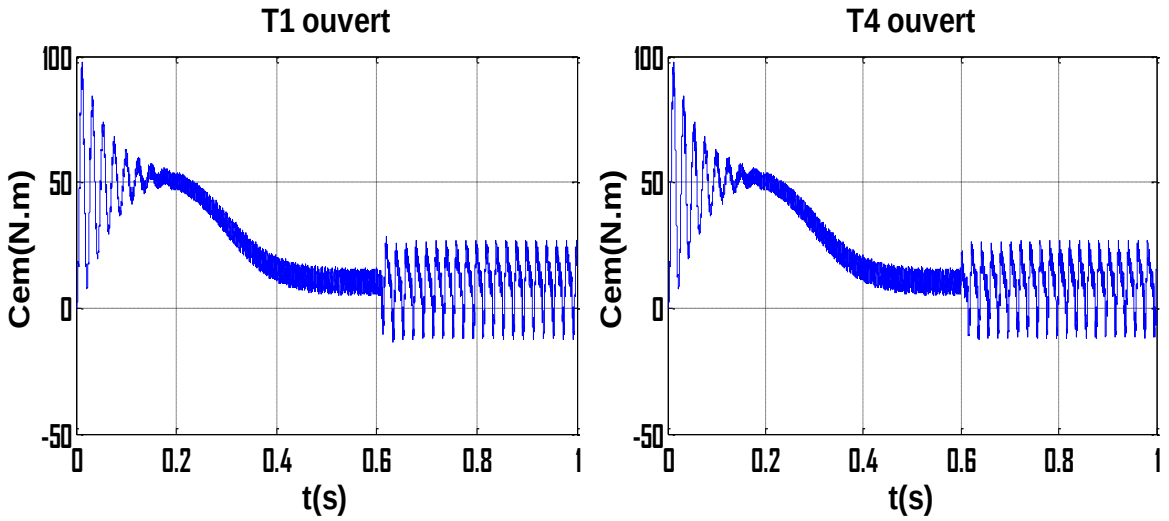


Figure III. 5 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A)

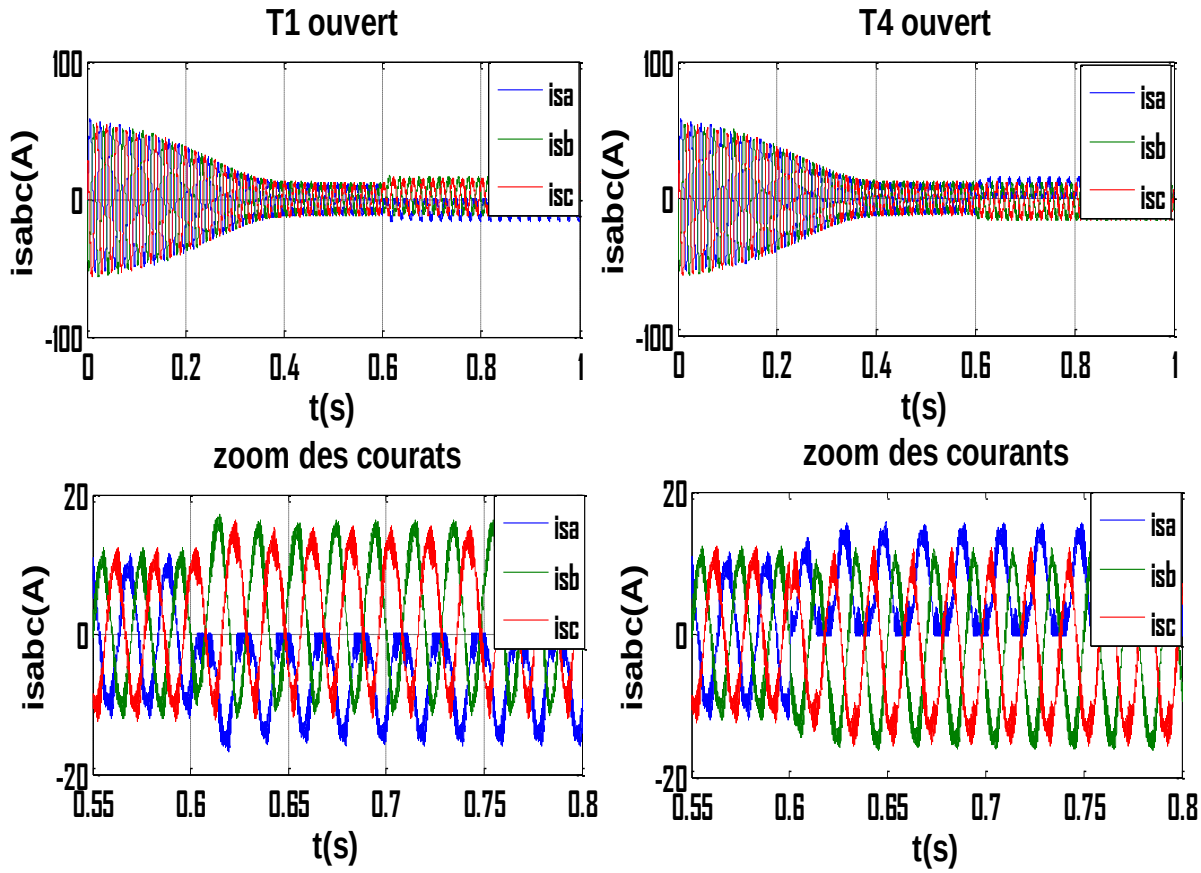


Figure III. 6 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A)

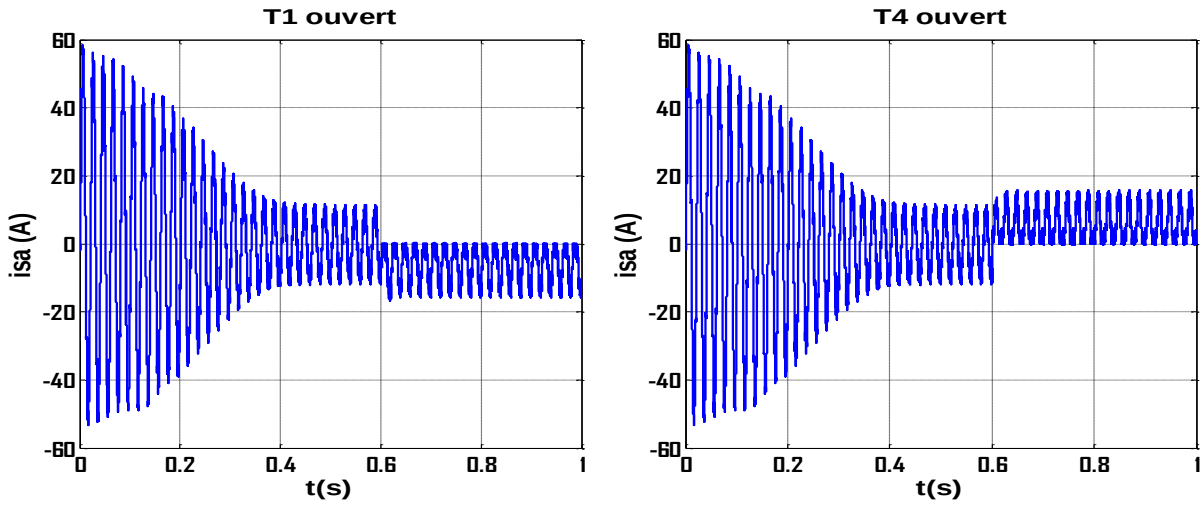


Figure III. 7 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A)

- **Interprétation des résultats de DF1 :**

Ce type de défaut consiste à la mise en ouverture de l'un des interrupteurs de bras A (T1 ou T4), qui éliminer l'alternance positive ou négative du courant de phase de ce bras. Ce

défaut provoque des perturbations dans le système. En effet le courant I_{sa} est déformée et les deux courants des autres phases prendront des valeurs élevées.la variation de vitesse conséquente des pulsations importantes sur le couple.

- **DF2 : C-O de deux interrupteur de même bras (T1 et T4) (T2 et T5)**

a) Défaut sur le bras A : C-O (T1 et T4) : voir les figures (III.8-III.11)

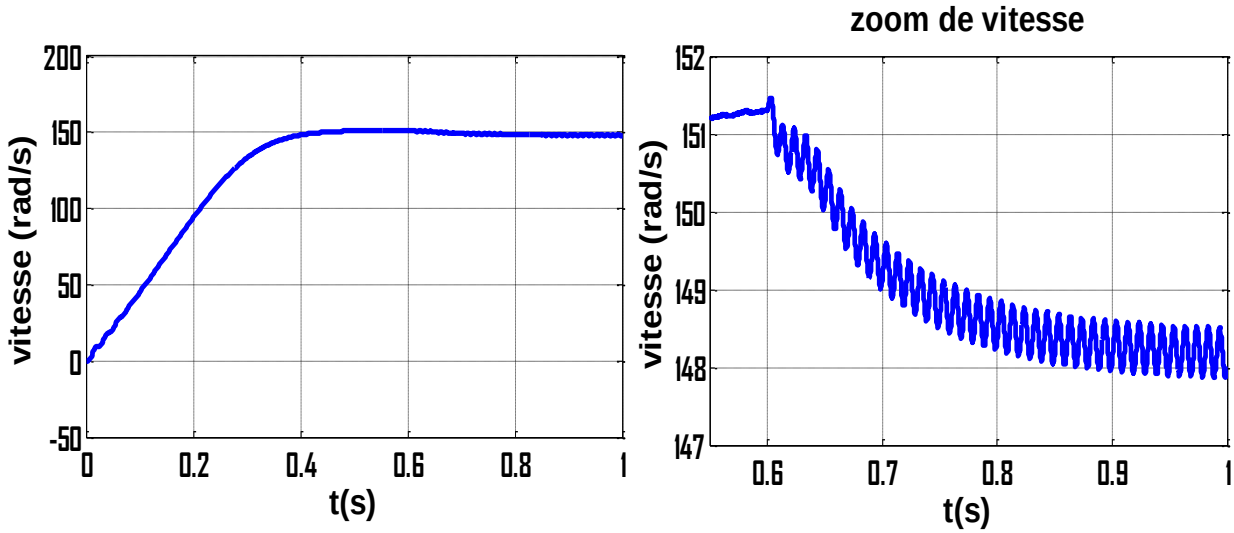


Figure III. 8 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

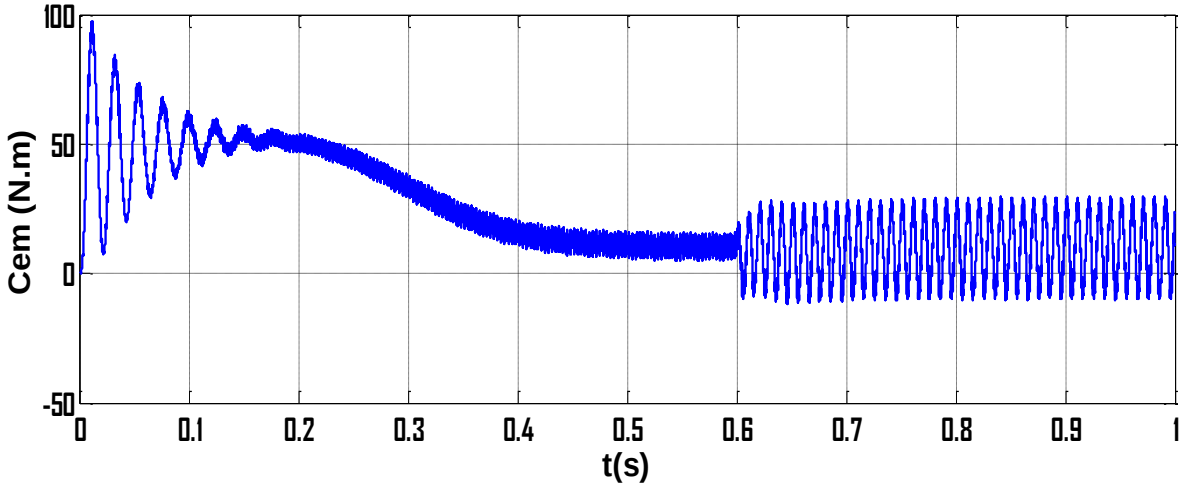


Figure III. 9 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

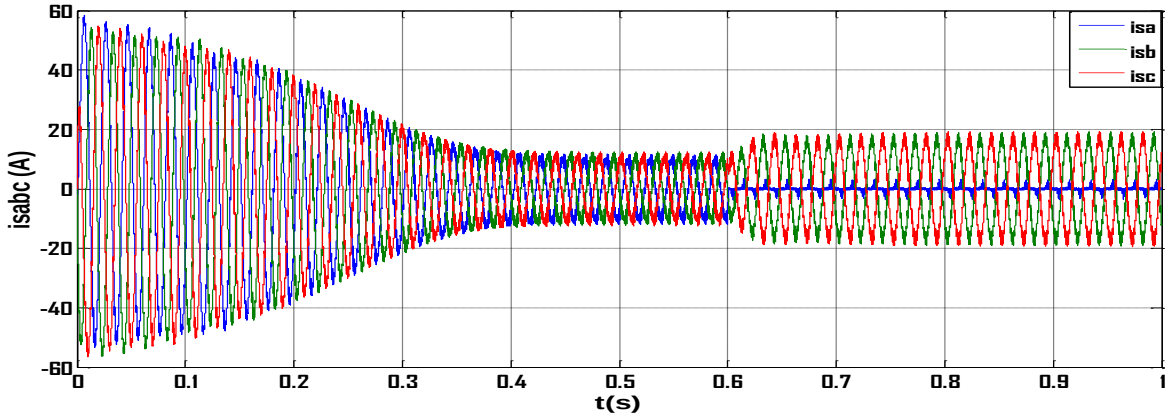


Figure III. 10 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

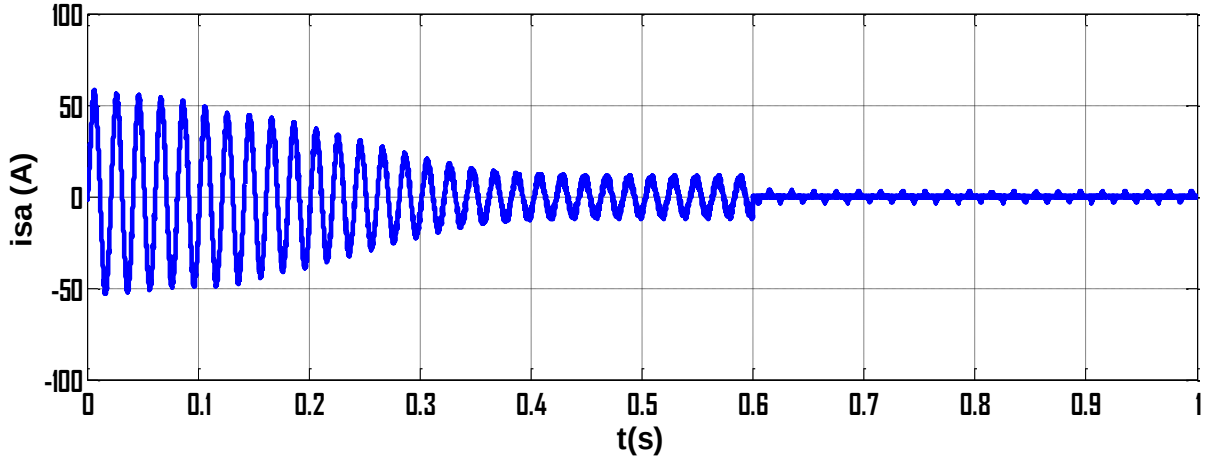


Figure III. 11 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

b) Défaut sur le bras B: (T2 et T5) : voir les figures (III.12-III.15)

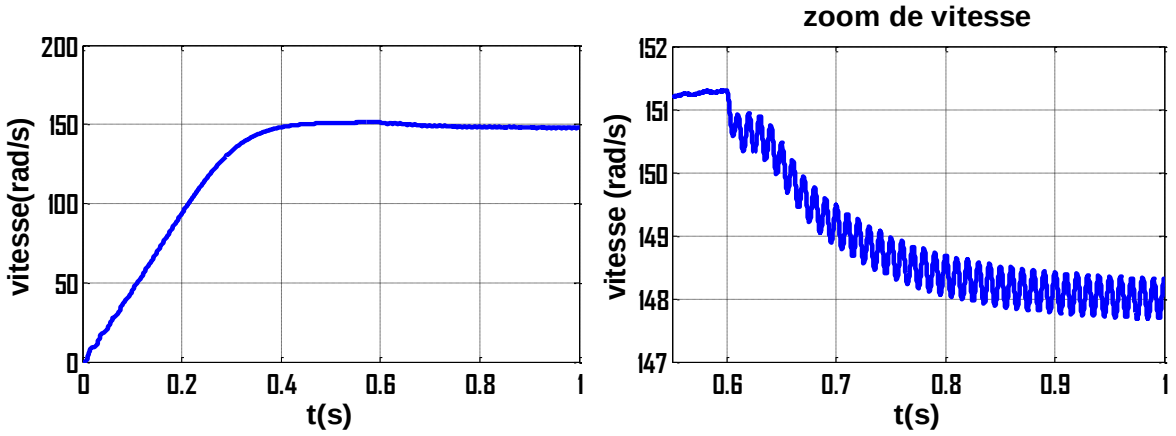


Figure III. 12 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

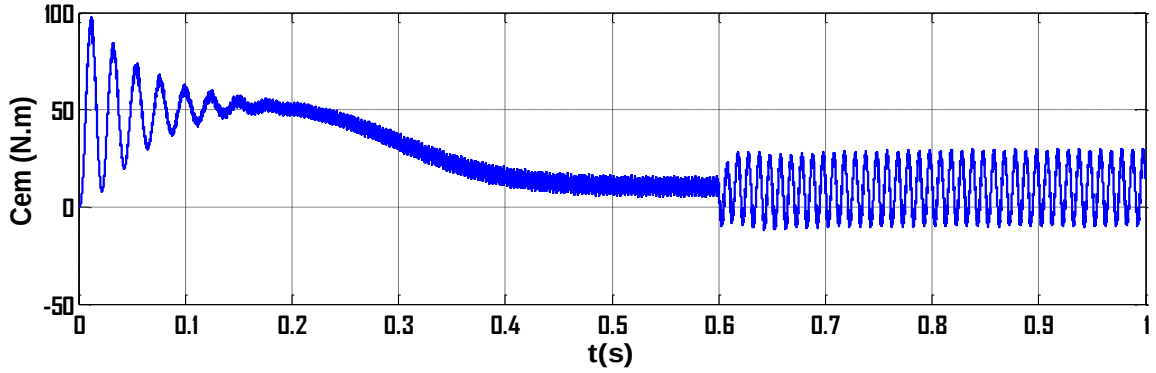


Figure III. 13 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

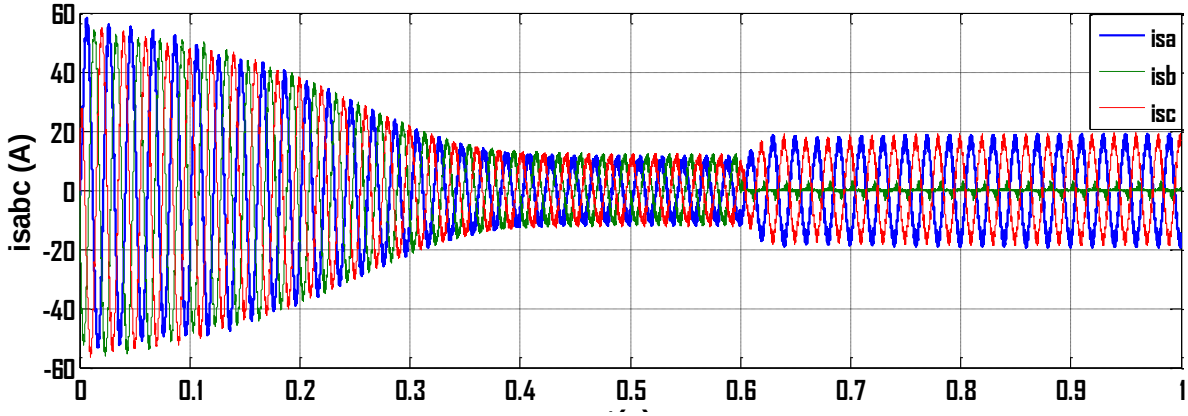


Figure III. 14 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

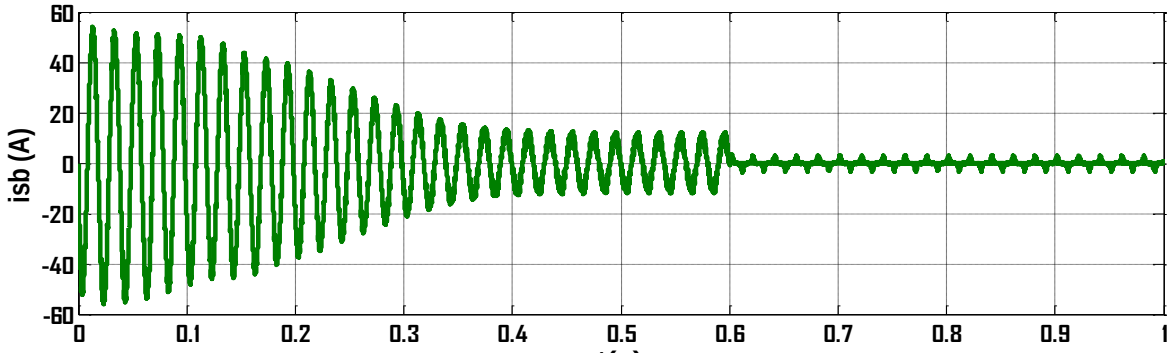


Figure III. 15 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

➢ **Interprétation des résultats de DF2 :**

Le défaut d'ouverture des deux interrupteurs de la phase (A ou B) est l'équivalent de la déconnexion d'une phase pendant le fonctionnement, ce défaut provoque la perturbation de système (couple et vitesse), ainsi que l'annulation du courant de la phase défectueuse et une augmentation importante de la valeur efficace de courants des deux autres phases.

- **DF3 : C-O sur deux interrupteurs de différent bras :**

a) C-O (T1 et T2) : voir les figures (III.16-III.19)

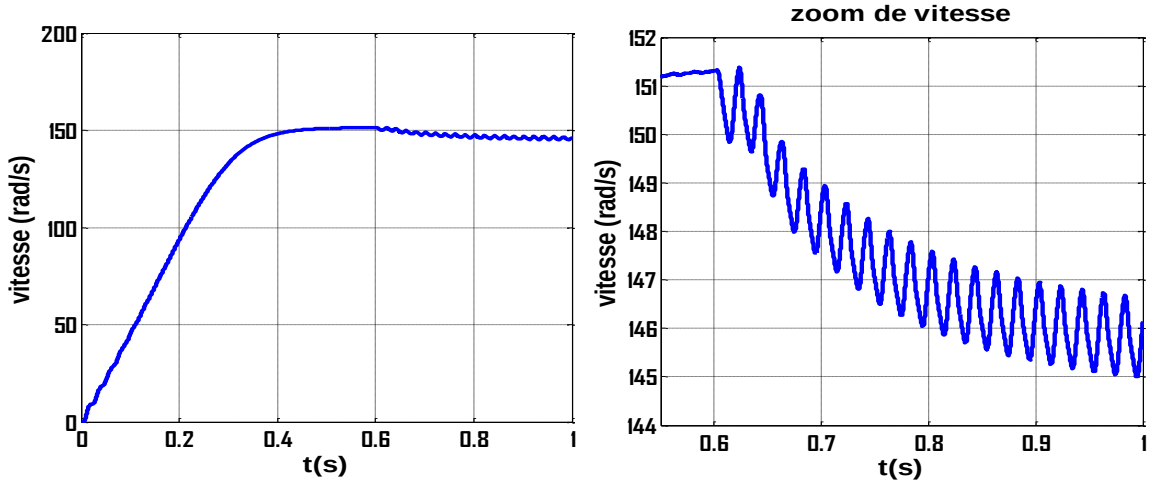


Figure III. 16 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)

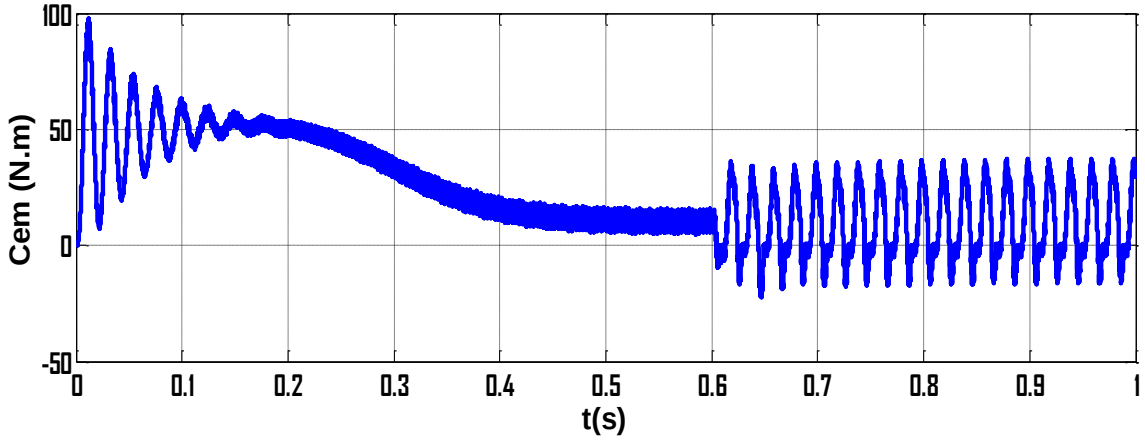


Figure III. 17 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)

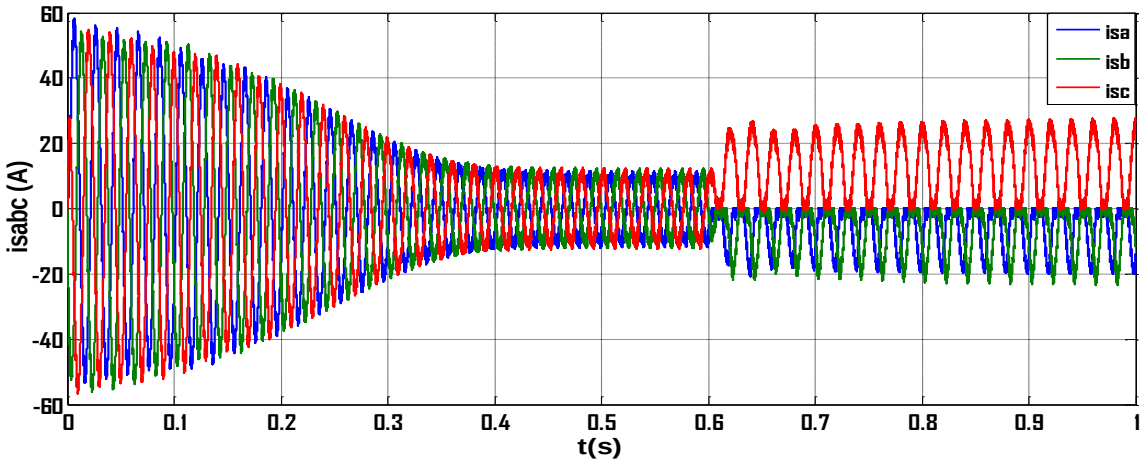


Figure III. 18 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)

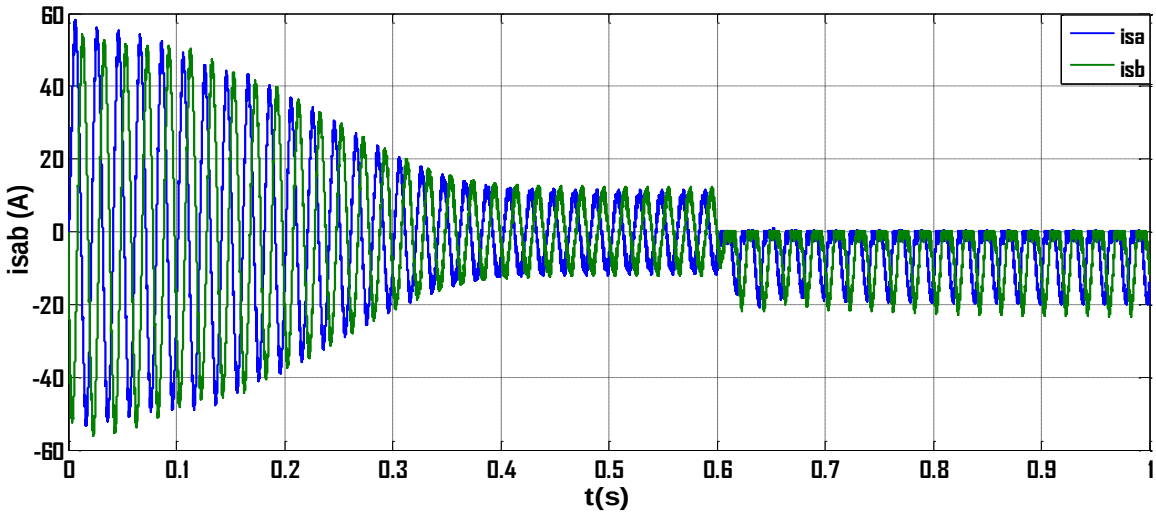


Figure III. 19 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)

b) C-O (T4 et T5) : voir les figures (III .20-III.23)

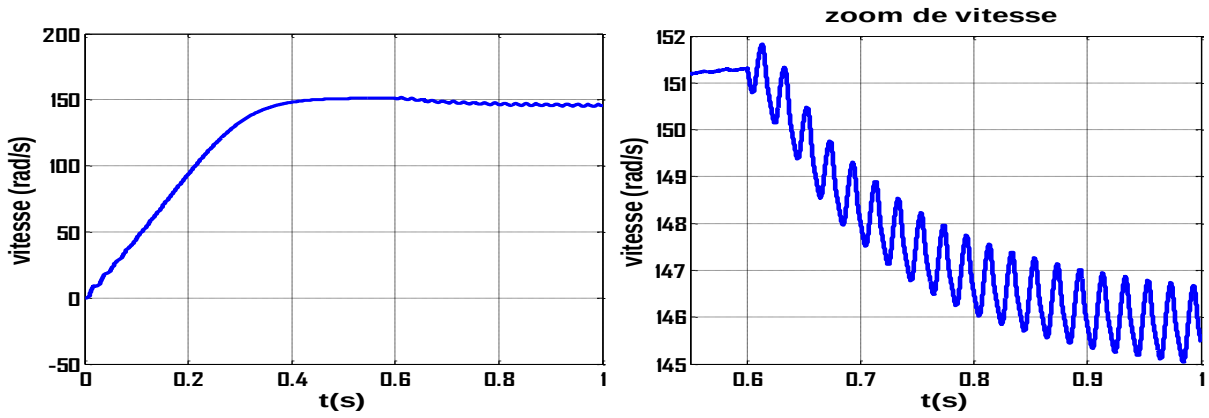


Figure III. 20 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

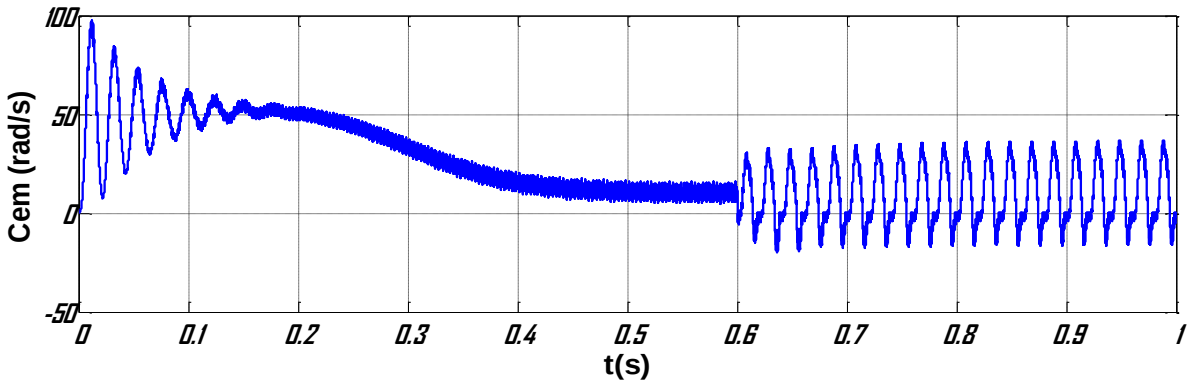


Figure III. 21 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

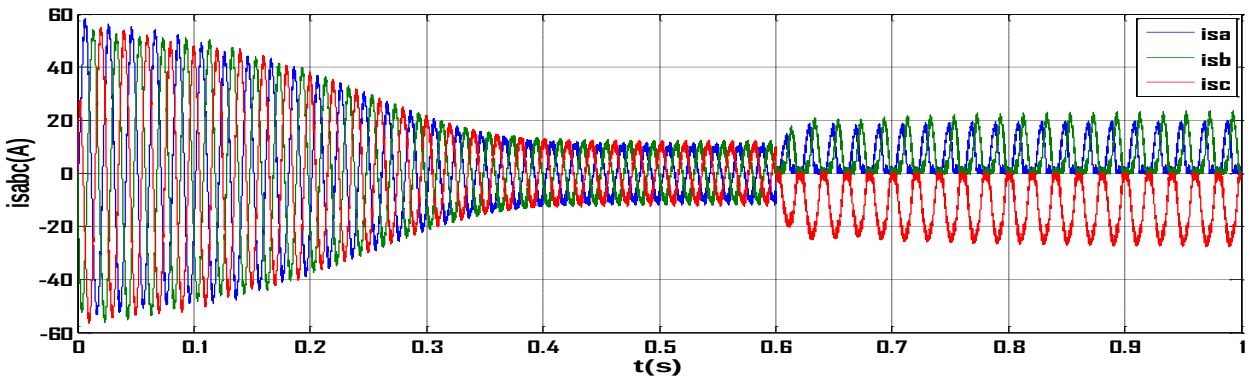


Figure III. 22 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

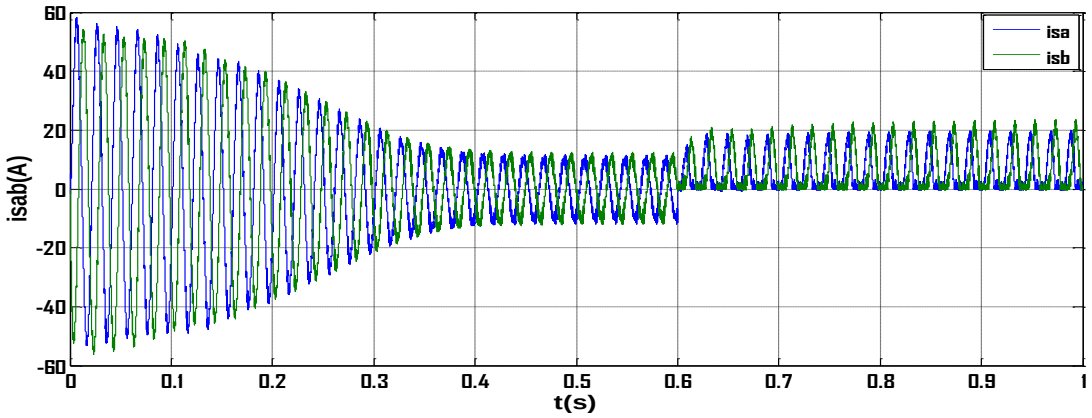


Figure III. 23 Courant statorique Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

- **Interprétation des résultats de DF3 :**

Ce défaut consiste à la mise en ouverture des deux interrupteurs de potentiel positive ou négative des deux bras (*A* ou *B*), ce mode de défaut introduit une déformation de courant des 3 phases, aussi une augmentation importante de la valeur efficace de ces courants. La discontinuité des courants créés des variations importantes des grandeurs électromécaniques (couple et vitesse), et l'annulation des courants dans certaine période provoquent l'annulation du couple.

- **DF4 : Circuit ouvert sur deux interrupteurs de déférant bras :**

a) C-O (T1 et T5) : voir les figures (III.24-III.27)

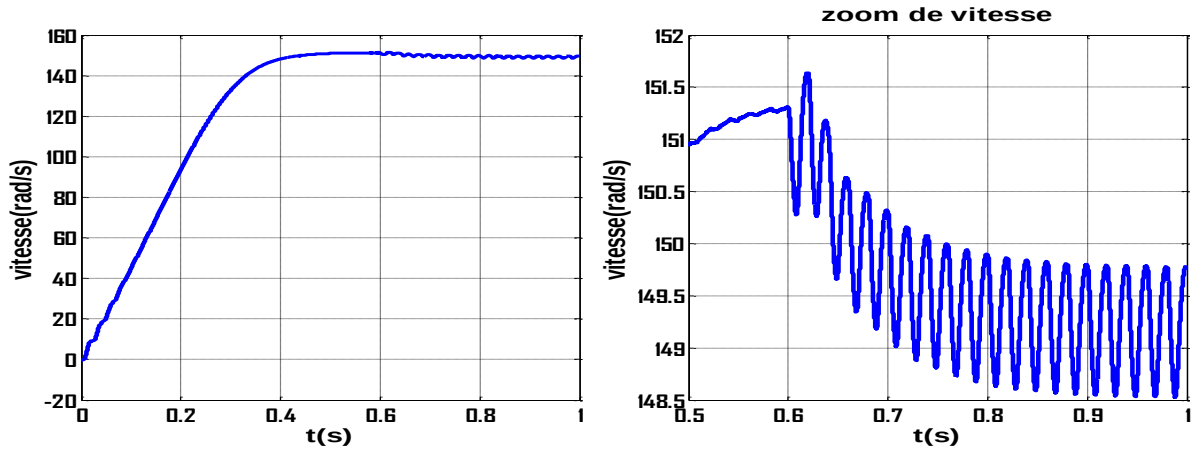


Figure III. 24 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

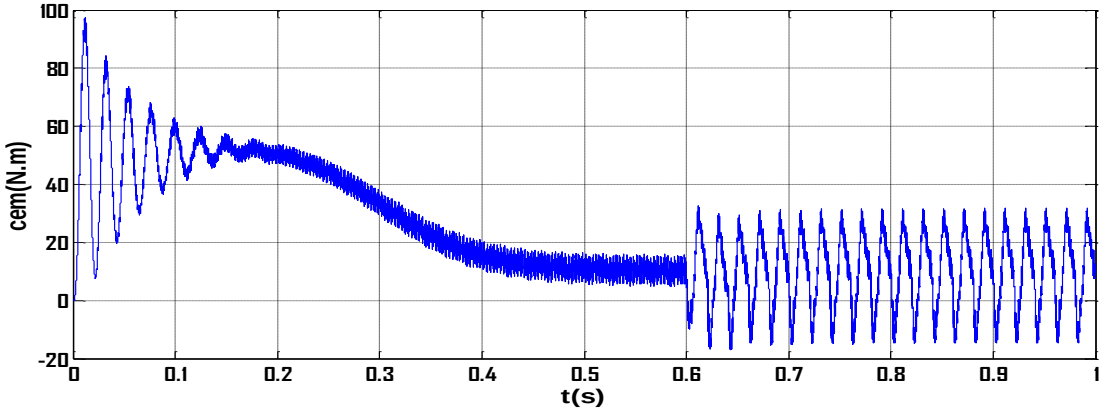


Figure III. 25 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

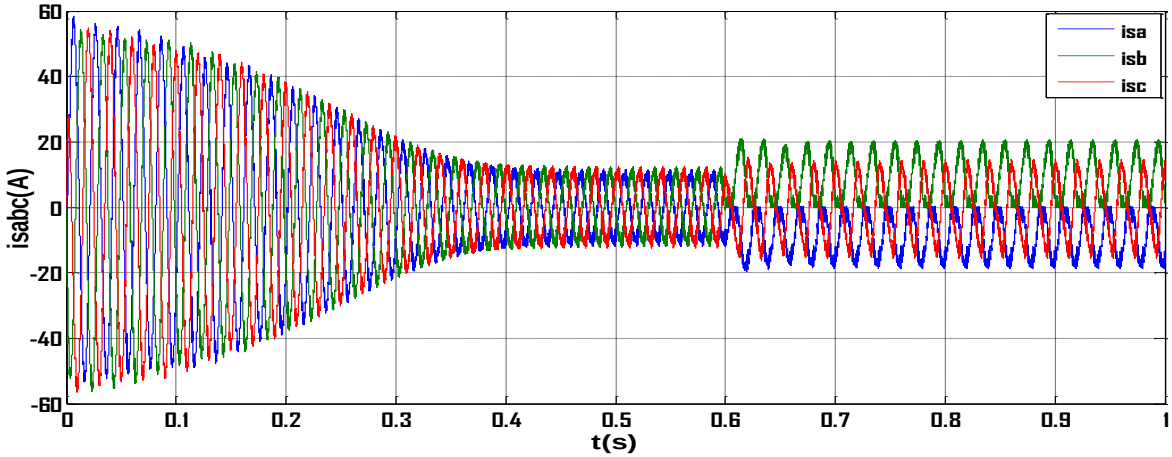


Figure III. 26 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

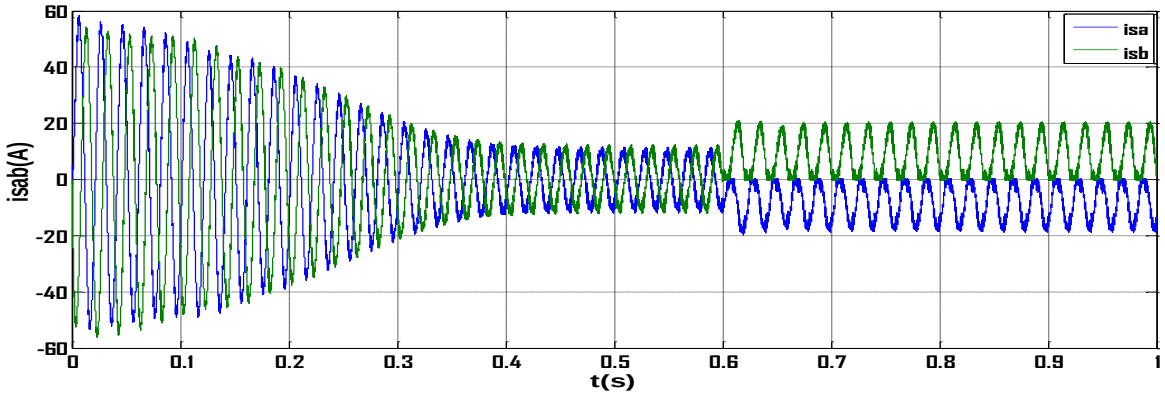


Figure III. 27 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

b) C-O (T2 et T4) : voir les figure (III.28-III.31)

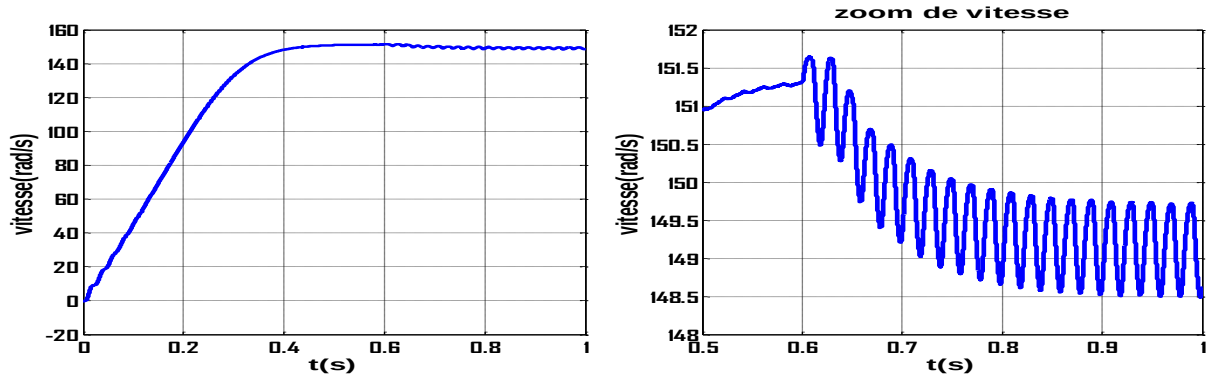


Figure III. 28 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

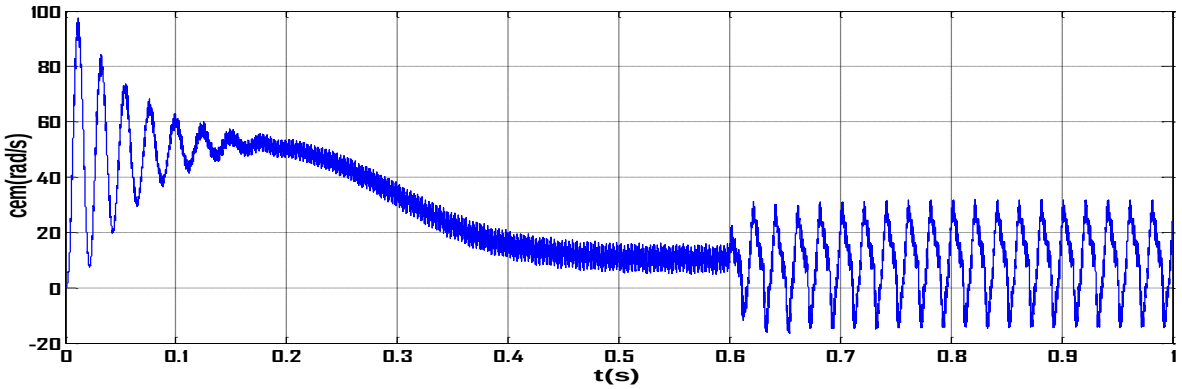


Figure III. 29 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

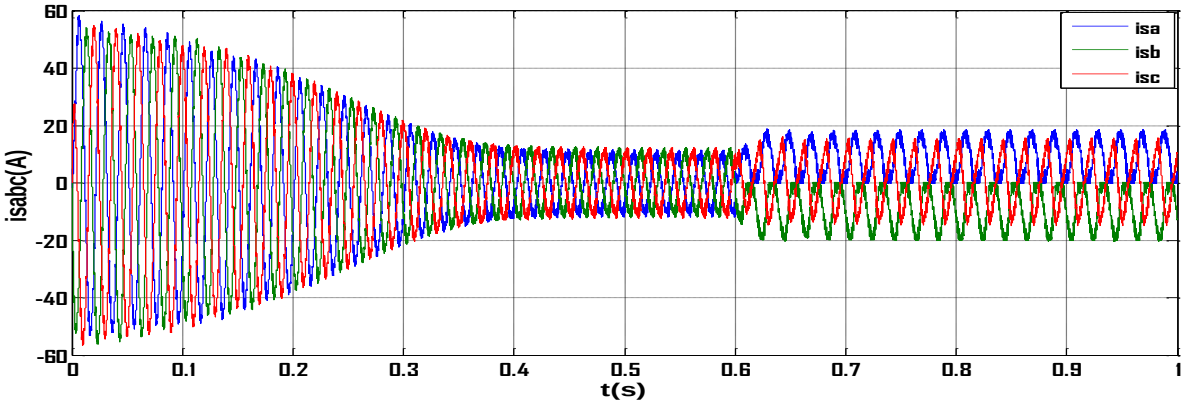


Figure III. 30 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

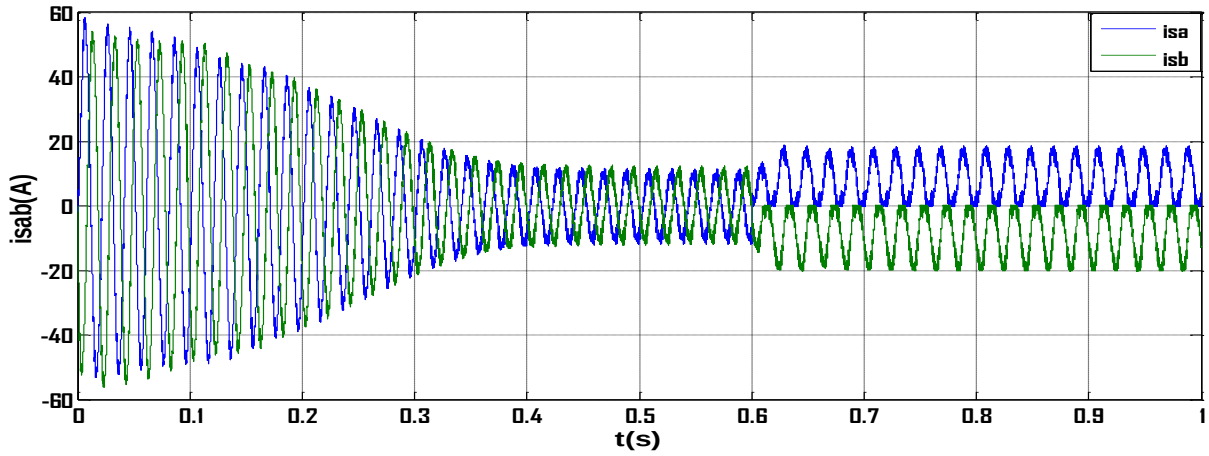


Figure III. 31 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

- **Interprétation des résultats de DF4 :**

Ce défaut consiste à la mise en état ouvert des deux interrupteurs de différents potentiels au niveau des deux bras 'A' et 'B', qui a créé une déformation et une discontinuité des courants dans les trois phases. Cette discontinuité de courants produit des changements sur le couple et la vitesse et ainsi une annulation du couple électromagnétique lorsque les périodes où les courants restent nuls.

III.4.2 Défaut de court-circuit :

III.4.2.1 Configuration de défauts court-circuit:

Il existe aussi plusieurs scénarios de défaut court-circuit, nous présenterons l'essentiel de ces défauts, on note [10-11] :

- **DF1 :** défauts de fermeture d'un des six interrupteurs (T1∨T2∨T3∨T4).
- **DF2 :** défauts de fermeture des deux interrupteurs du même bras (T1∧T4) ou (T2∧T5).

III.4.2.2 Résultats de simulation de défaut (C-C) :

Les défauts appliqués (C-C) sont limités seulement sur un bras (A), et on généralise l'analyse sur les autres bras, car on considère que les mêmes phénomènes se reproduisent. Dans ce cas les interrupteurs sont forcés à "1" à l'instant d'application de défaut [10-11]. Les résultats de simulations représentées dans les figures (III.32-III.38).

- **DF1 : C-C sur un interrupteur (T1 ou T2) :** voir les figures (III.32-III.35)

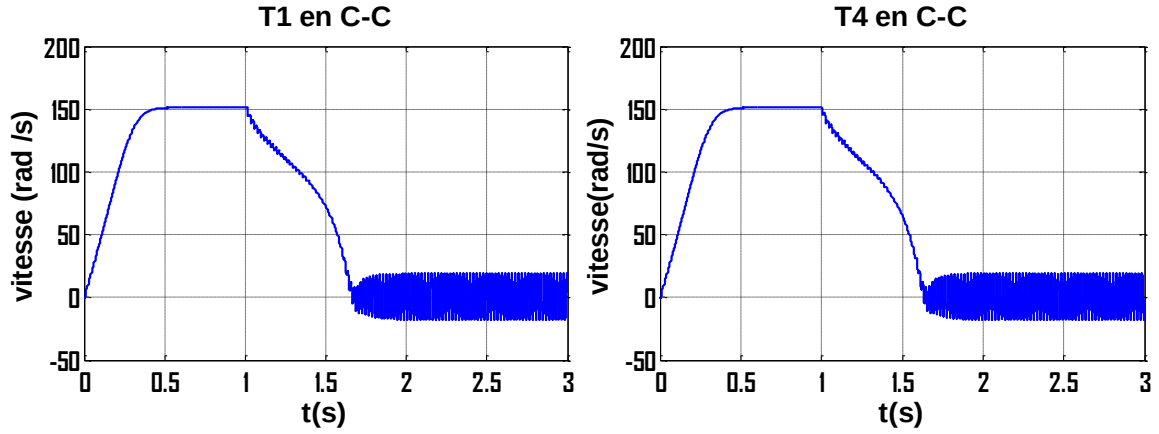


Figure III. 32 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs du bras (A)

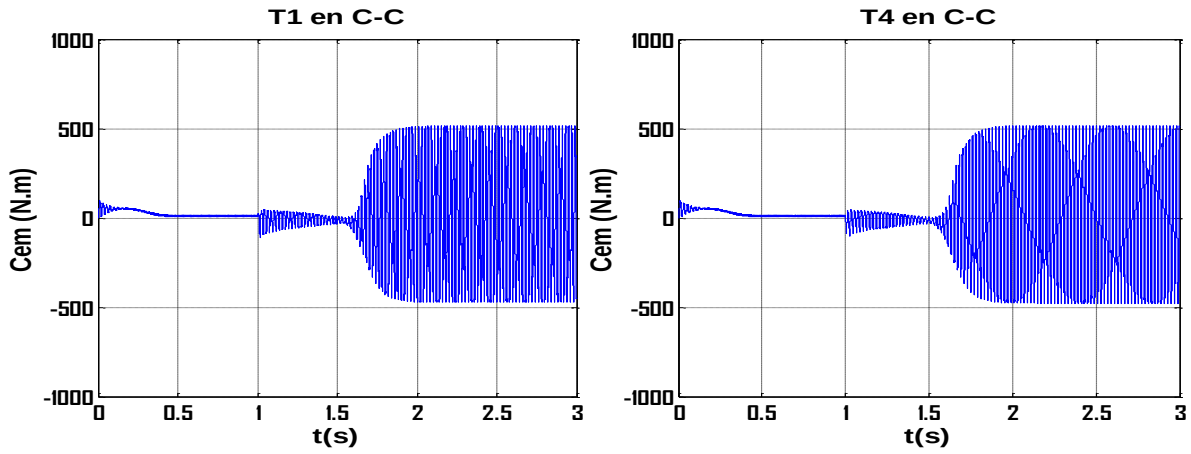


Figure III. 33 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs du bras (A)

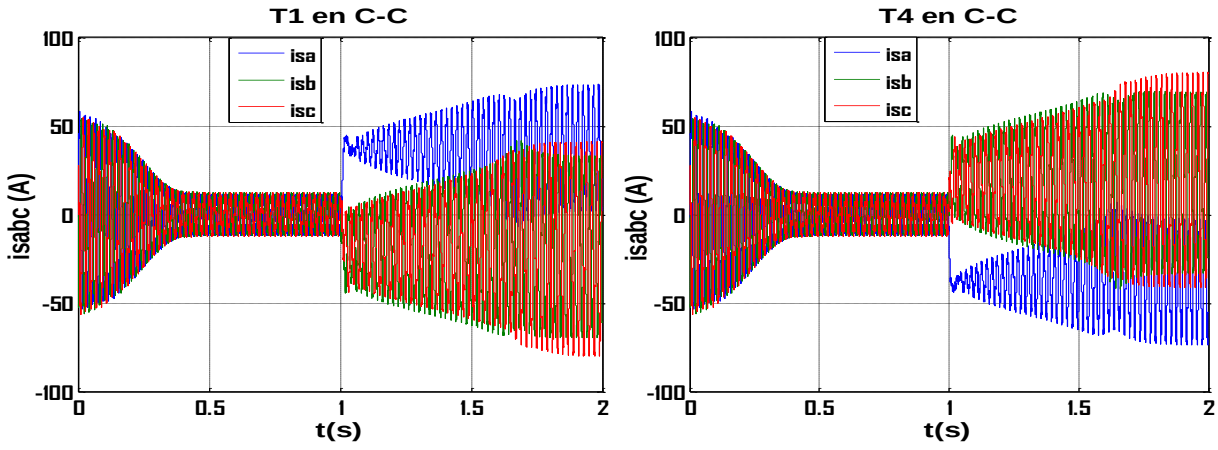


Figure III. 34 Courants statoriques lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs de bras (A)

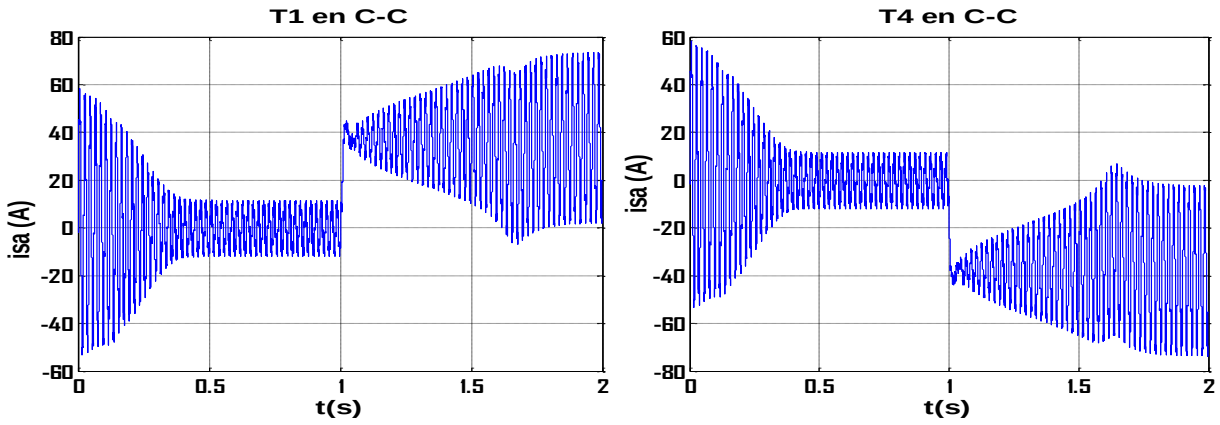


Figure III. 35 Courant statorique Isa lors d'un défaut de court-circuit d'un des interrupteurs de bras (A)

➢ **Interprétation des résultats d'une C-C d'un interrupteur :**

Ce défaut consiste à la mise en états fermé de l'un des interrupteurs du bras 'A' (T1 ou T4), ce type de défaut provoque un fonctionnement perturbé et instable du système. En effet le courant de la phase défectueuse est augmenté à des niveaux intolérables. Les courants de phases deviennent déséquilibrés et leurs amplitudes très supérieurs au courant nominal. On remarque aussi des fortes ondulations sur le couple et la vitesse, dans ce cas la vitesse est diminuée à une valeur presque nulle.

- **DF2 C-C sur deux interrupteurs de même bras (A) :** voir les figures (III.36-III.39)

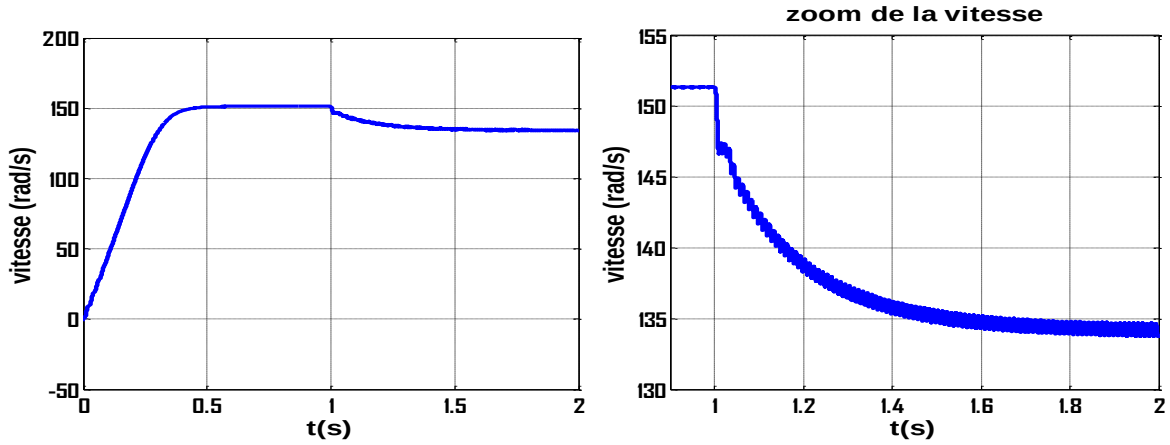


Figure III. 36 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

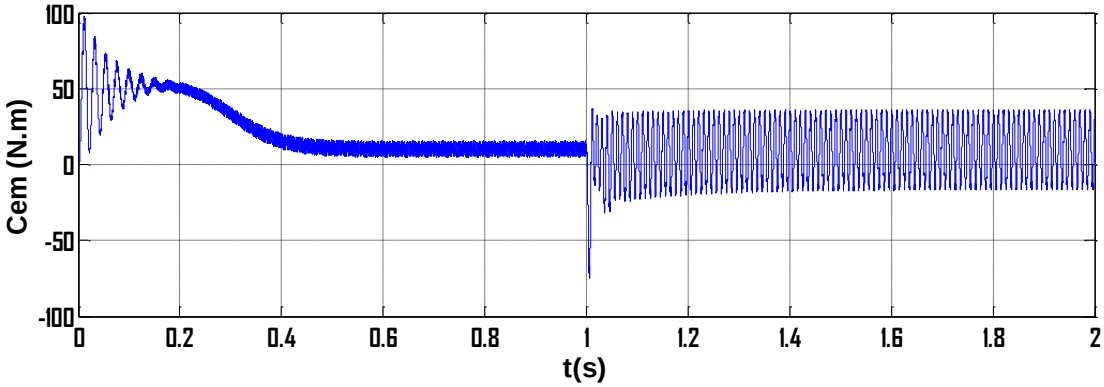


Figure III. 37 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteure de même bras (A)

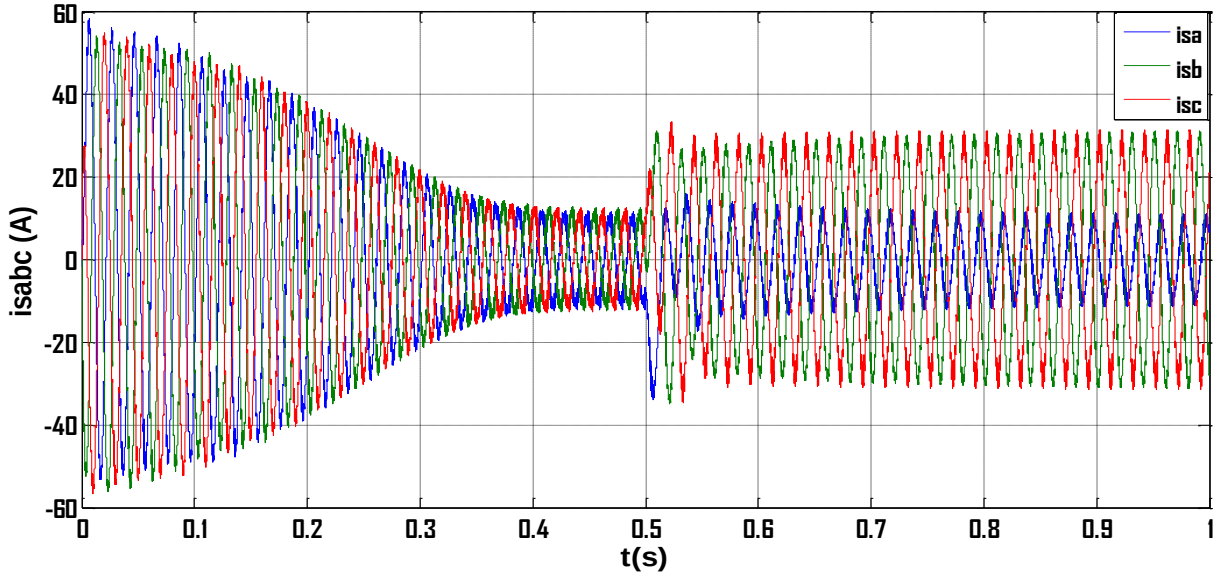


Figure III. 38 Courants statoriques lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

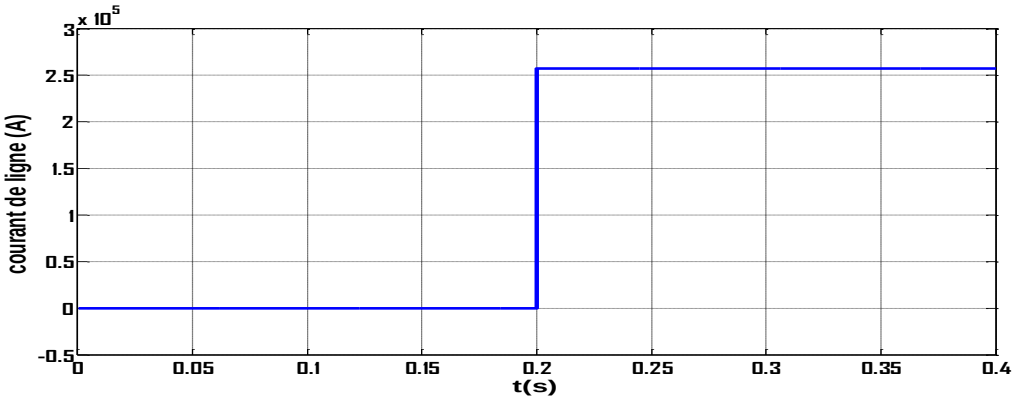


Figure III. 39 Courant de ligne lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

- **Interprétation des résultats d'une C-C de deux interrupteurs :**

Ce défaut consiste à la mise en états fermé de deux interrupteurs du bras 'A' (T_1 et T_4), ce type de défaut provoque un fonctionnement perturbé et instable du système. En effet on remarque une augmentation sur les valeurs des courants statorique qui deviennent déséquilibrés. On remarque aussi une diminution de vitesse qui conséquent des ondulations sur le couple. Le courant de ligne est augmenté jusqu'à l'infinie après le défaut.

III.5 Simulation de la commande vectorielle en présence des défauts d'onduleur :

III.5.1 défaut de circuit ouvert :

III.5.1.1 Configuration de défauts circuit-ouvert :

Il existe de multiple cas de défaut circuit ouvert (C-O), nous présenterons l'essentiel de ces défauts, on note [10-11] :

- **DF1 :** défauts d'ouvertures d'un des six interrupteurs ($T1 \vee T2 \vee T3 \vee T4$).
- **DF2 :** défauts d'ouvertures des deux interrupteurs du même bras ($T1 \wedge T4$) ou ($T2 \wedge T5$).
- **DF3 :** défauts d'ouvertures des interrupteurs de potentiel positives et négatives de deux bras différents ($T1 \wedge T2$) et ($T4 \wedge T5$).
- **DF4 :** défauts d'ouvertures des interrupteurs des deux bras différents ($T1 \wedge T5$) et ($T2 \wedge T4$).

III.5.1.2 Résultats de simulation de défaut (C-O) :

Dans ce cas les interrupteurs sont forcés à "0" à l'instant d'application de défaut [10-11]. Les résultats de simulations représentées dans les figures (III.40- III.66).

- **DF1 : C-O d'un interrupteur (T1 ou T2) :** voir les figures (III.40-III.43)

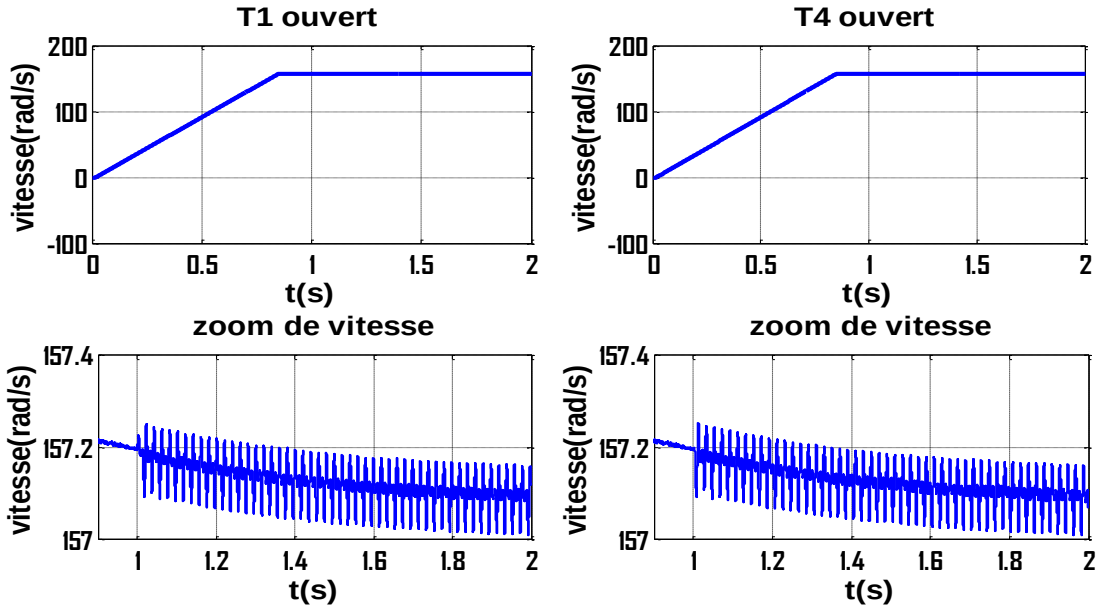


Figure III. 40 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A)

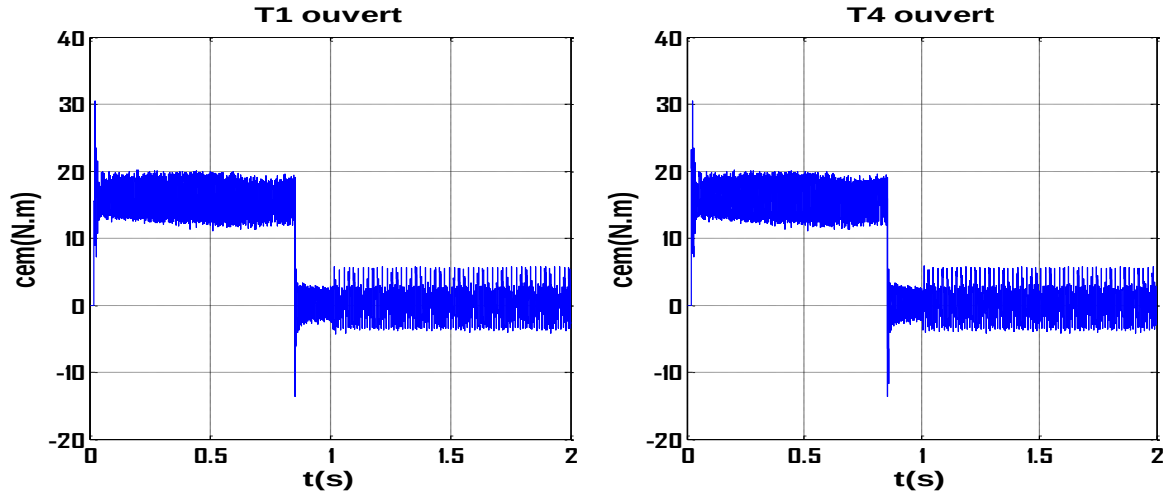


Figure III. 41 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs du bras (A)

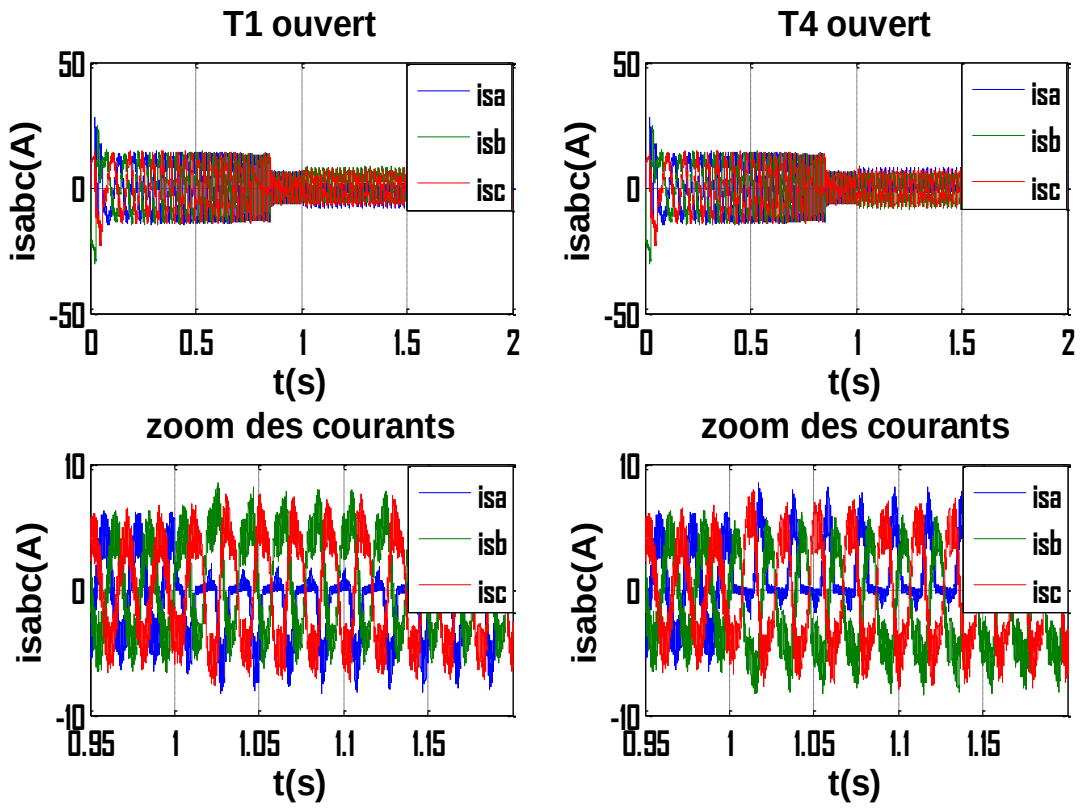


Figure III. 42 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A)

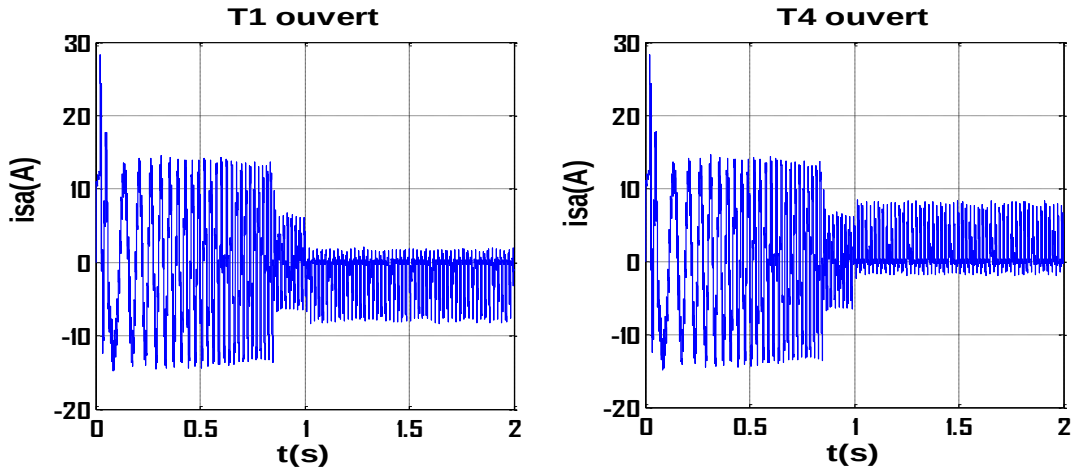


Figure III. 43 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert d'un des interrupteurs de bras (A)

- **Interprétation des résultats de DF1 :**

Ce défaut provoque des perturbations dans le système. En effet le courant I_{sa} est déformée et les deux courants des autres phases prendront des valeurs élevées.la variation de vitesse conséquente des faibles pulsations sur le couple.

- **DF2 : C-O sur deux interrupteur de même bras (T1 et T4) (T2 et T5)**

a) Défaut sur le bras A : C-O (T1 et T4) : voir les figures (III.44-III.47)

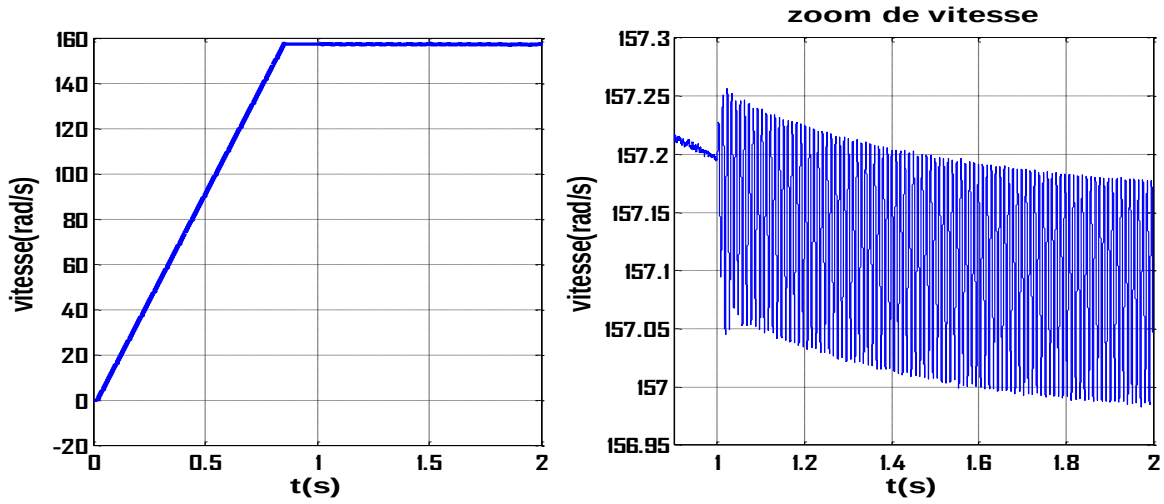


Figure III. 44 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

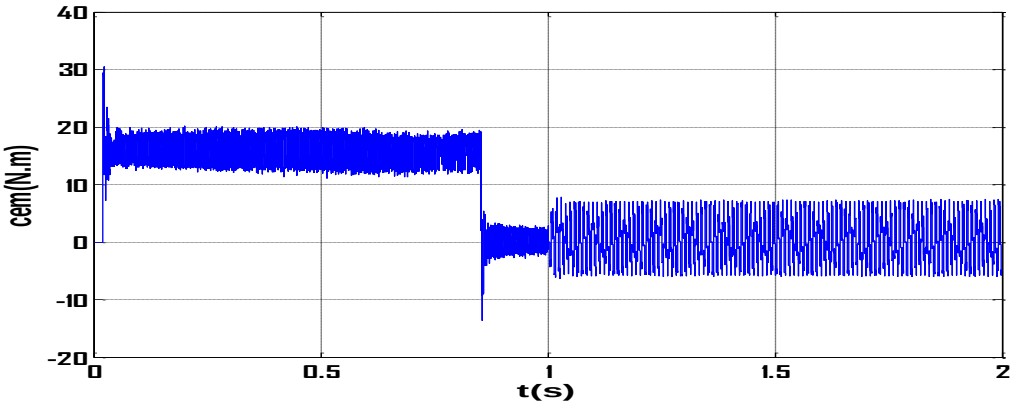


Figure III. 45 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

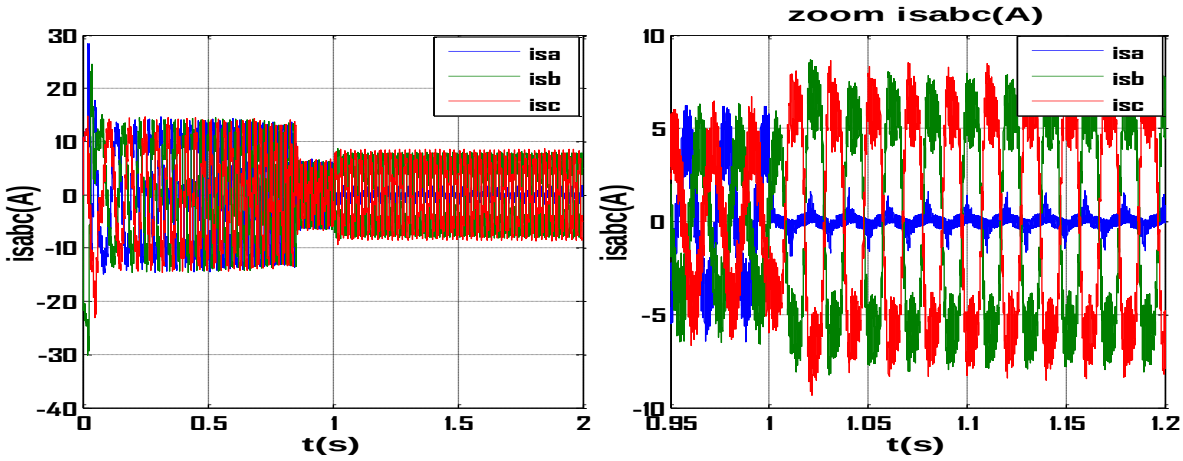


Figure III. 46 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

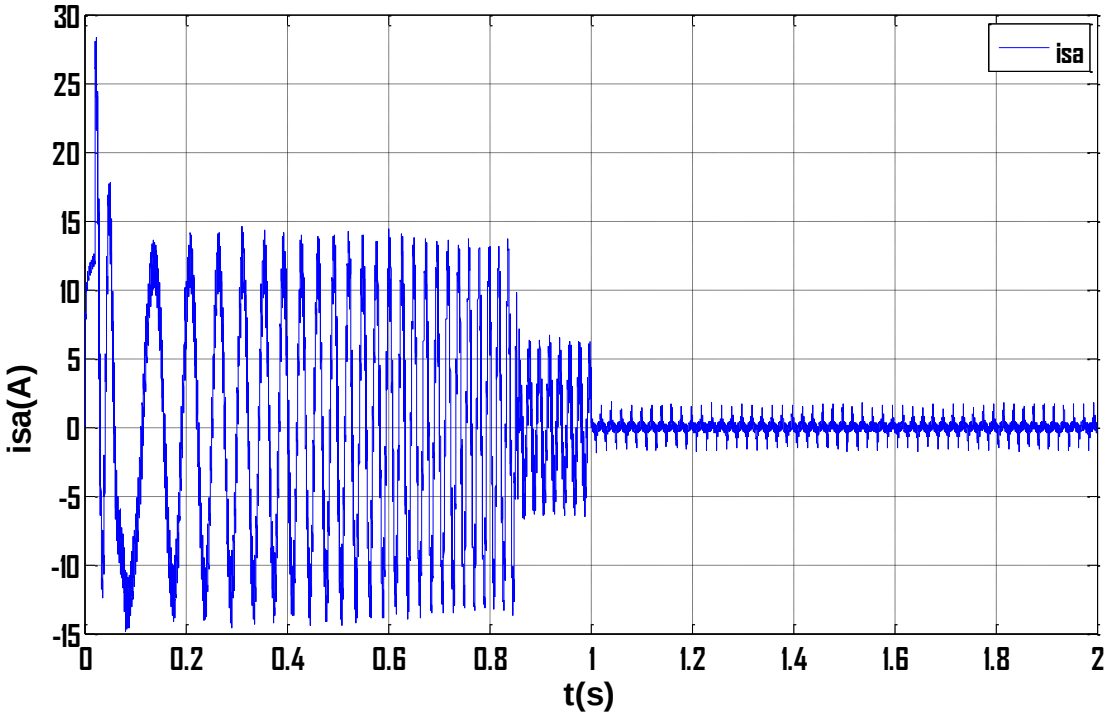


Figure III. 47 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (A)

b) Défaut sur le bras B: (T2 et T5) : voir les figures (III.48-III.50)

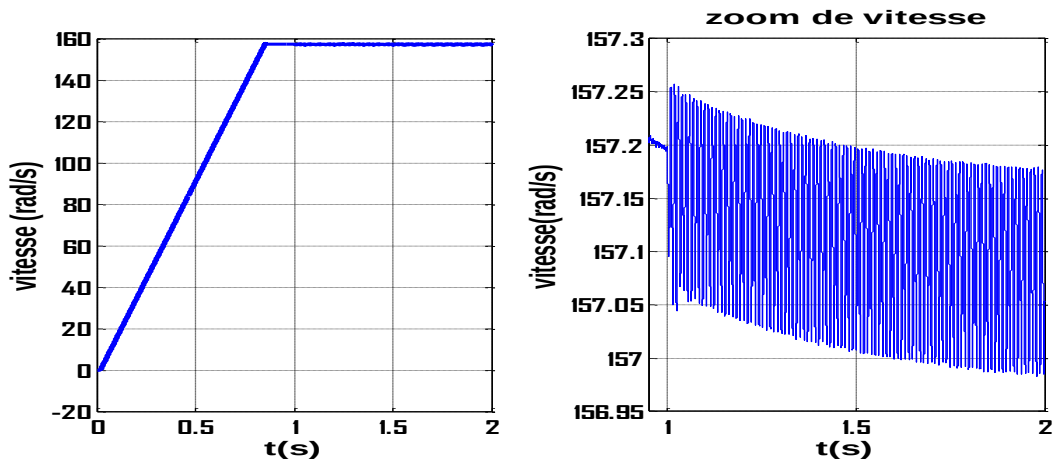


Figure III. 48 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

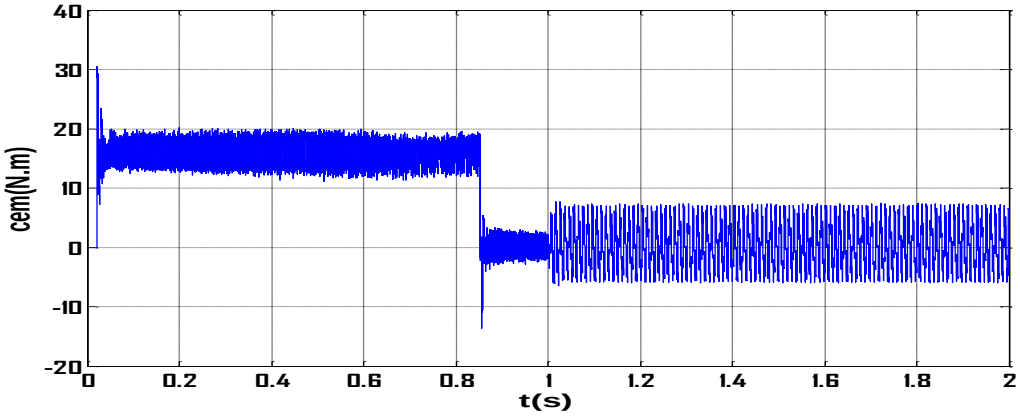


Figure III. 49 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

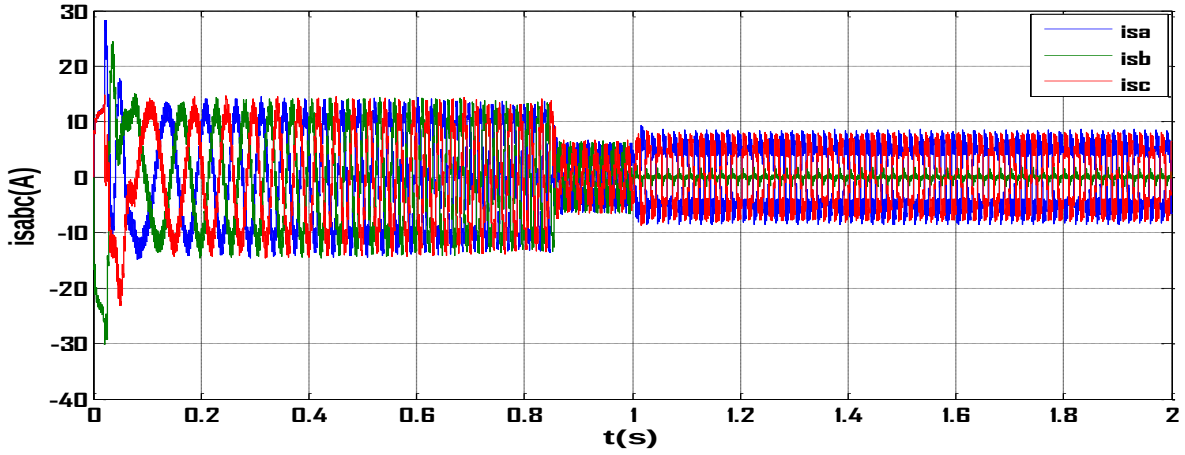


Figure III. 50 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de même bras (B)

➢ **Interprétation de DF2**

Ce défaut provoque la perturbation de système (couple et vitesse) mais avec une faible pulsation, ainsi que l'annulation du courant de la phase défectueuse et une faible augmentation de la valeur efficace de courants des deux autres phases.

- **DF3 : C-O sur deux interrupteurs déférents :**
  - **a) C-O (T1 et T2) :** voir les figures (III.51-III.54)

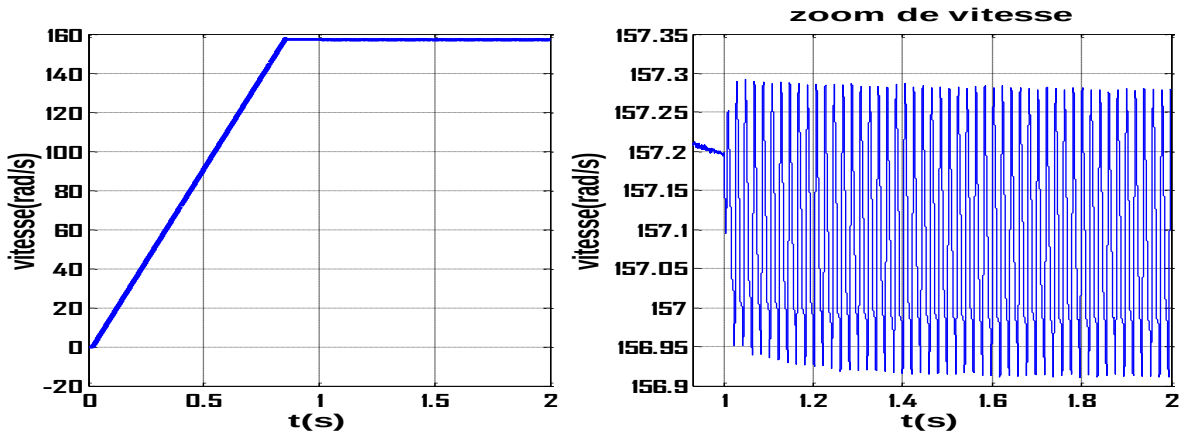


Figure III. 51 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)

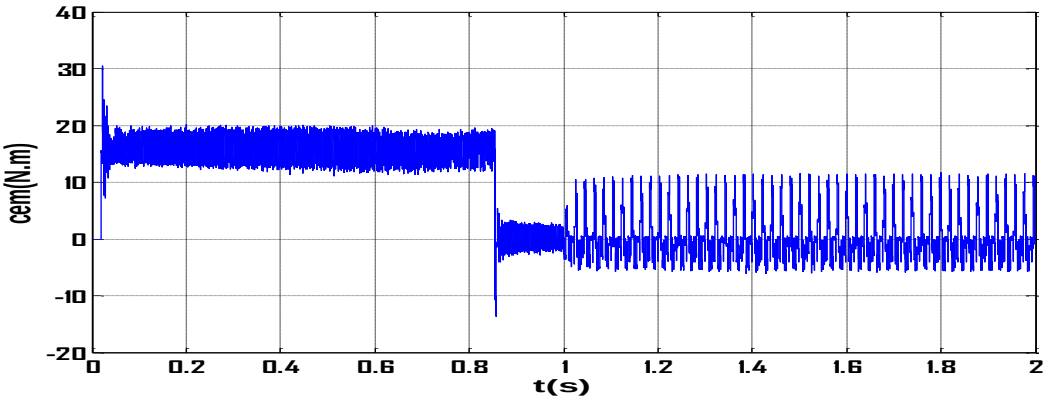


Figure III. 52 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)

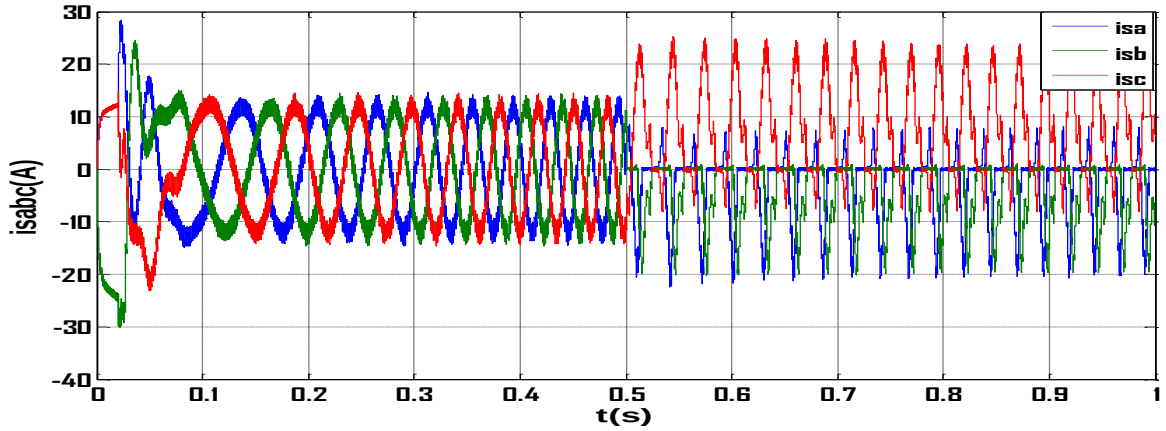


Figure III. 53 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1etT2)

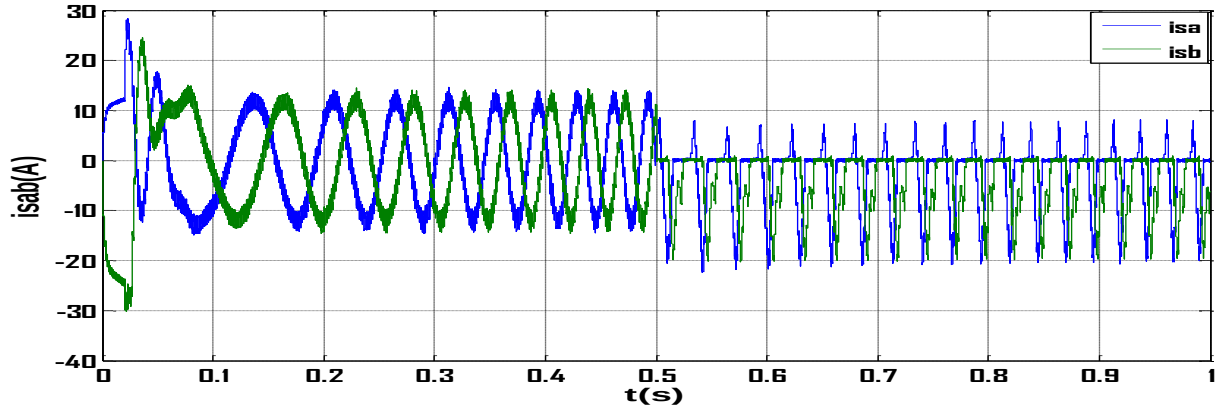


Figure III. 54 Courant statorique Isa lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T2)

b) C-O (T4 et T5) : voir les figures (III.55-III.58)

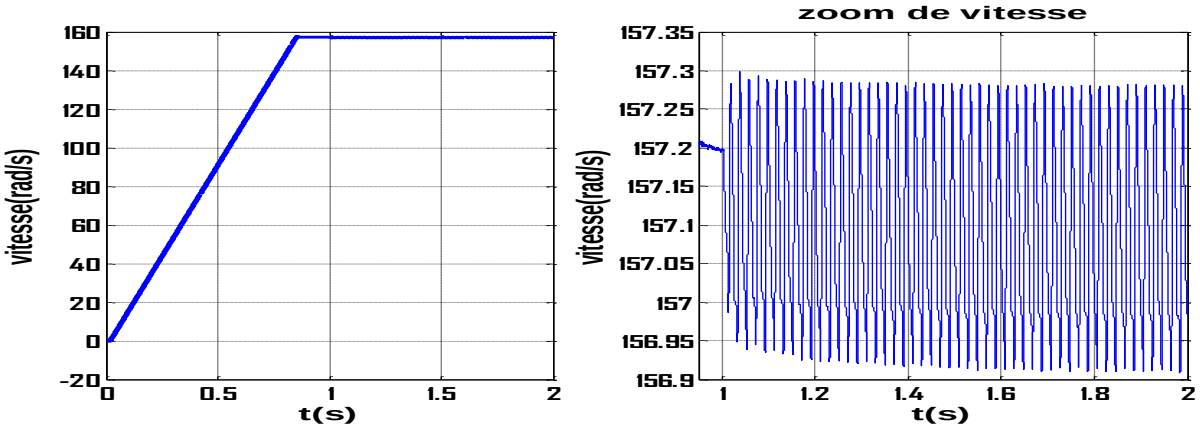


Figure III. 55 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

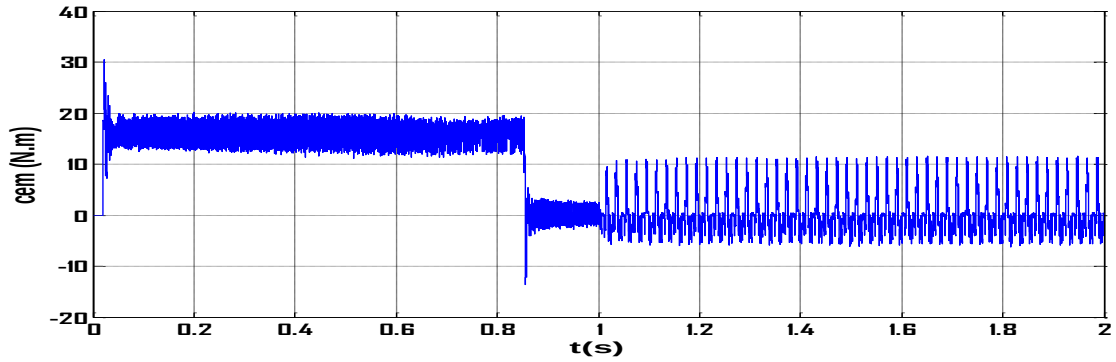


Figure III. 56 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

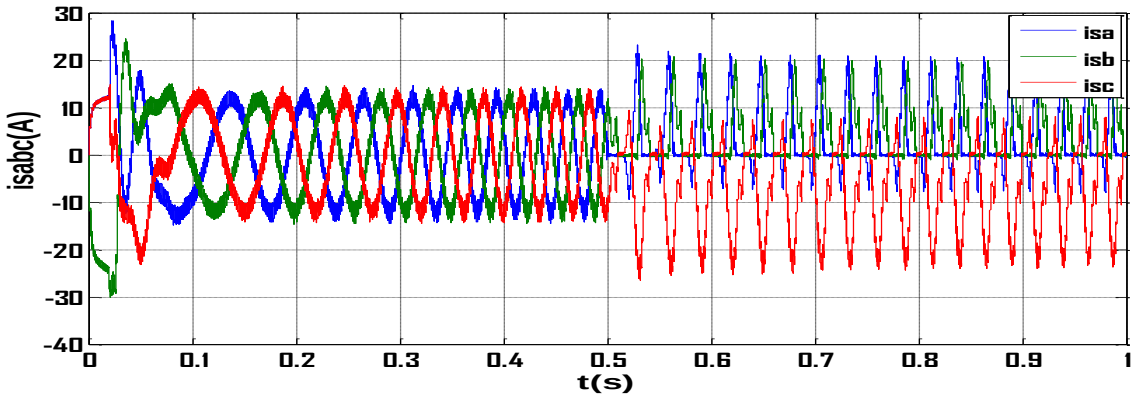


Figure III. 57 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

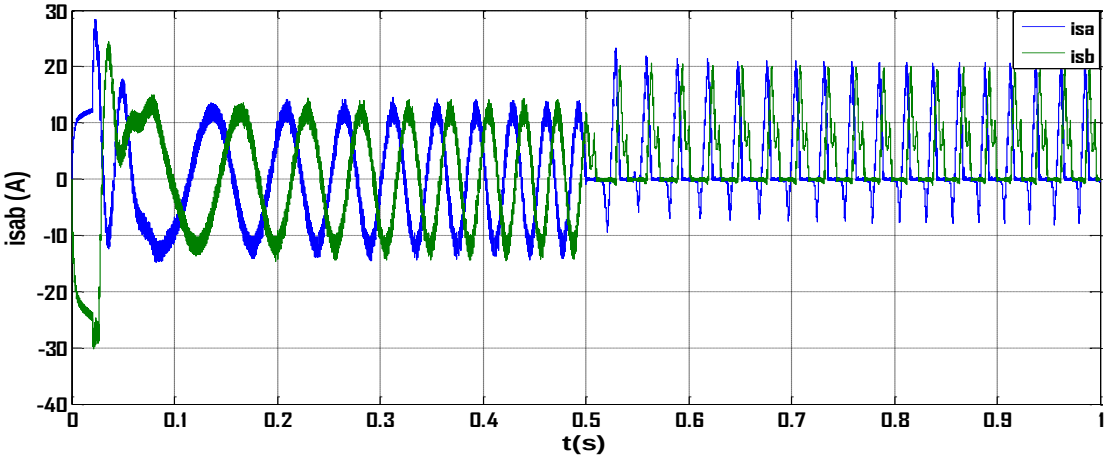


Figure III. 58 Courant statorique Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T4 et T5)

➢ **Interprétation de DF3 :**

On remarque une déformation de courant des 3 phases, aussi une augmentation importante de la valeur efficace de ces courants. En effet une variation sur les grandeurs électromécaniques (couple et vitesse), et l'annulation des courants dans certaine période provoquent l'annulation du couple.

- **DF4 :**

a) C-O (T1 et T5) : voir les figures (III.59-III.62)

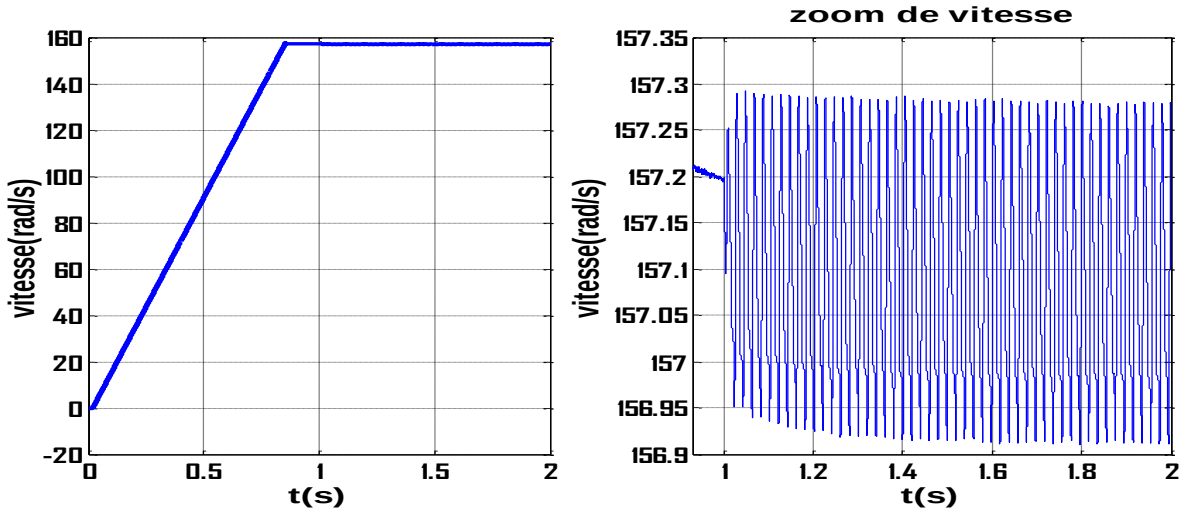


Figure III. 59 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

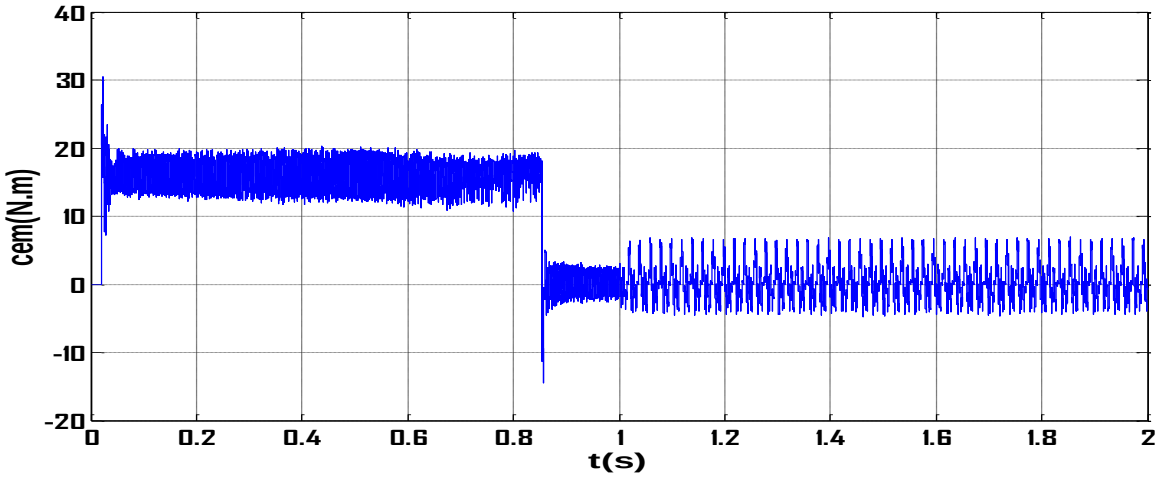


Figure III. 60 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

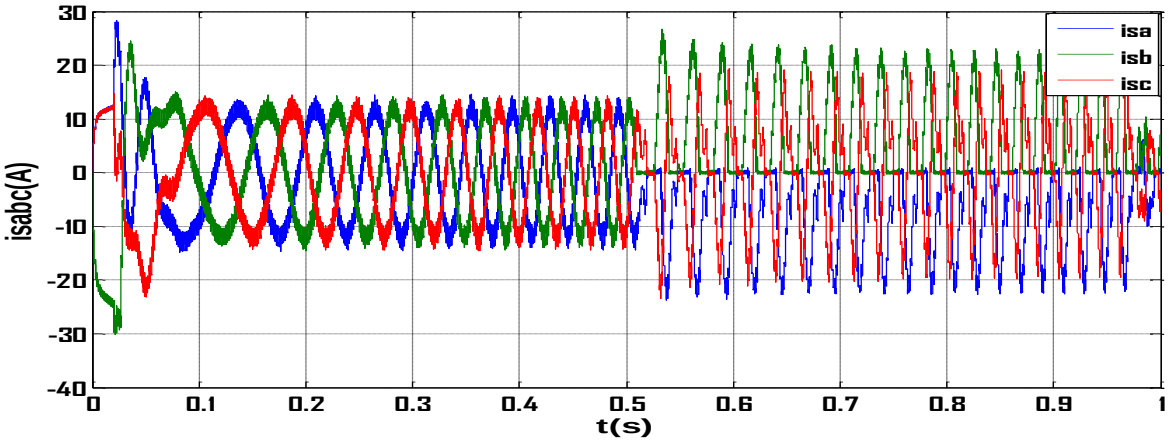


Figure III. 61 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

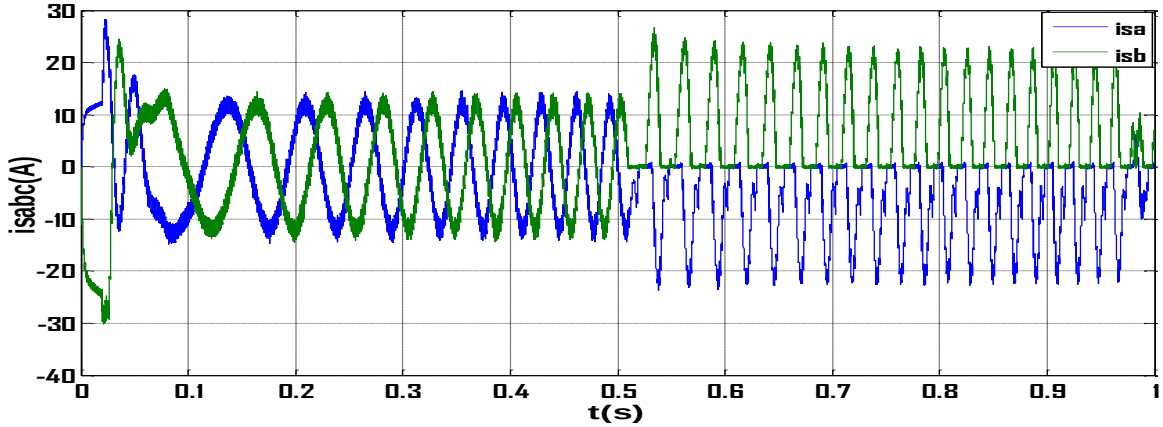


Figure III. 62 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T1 et T5)

b) C-O (T2 et T4) : voir les figures (III.63-III.66)

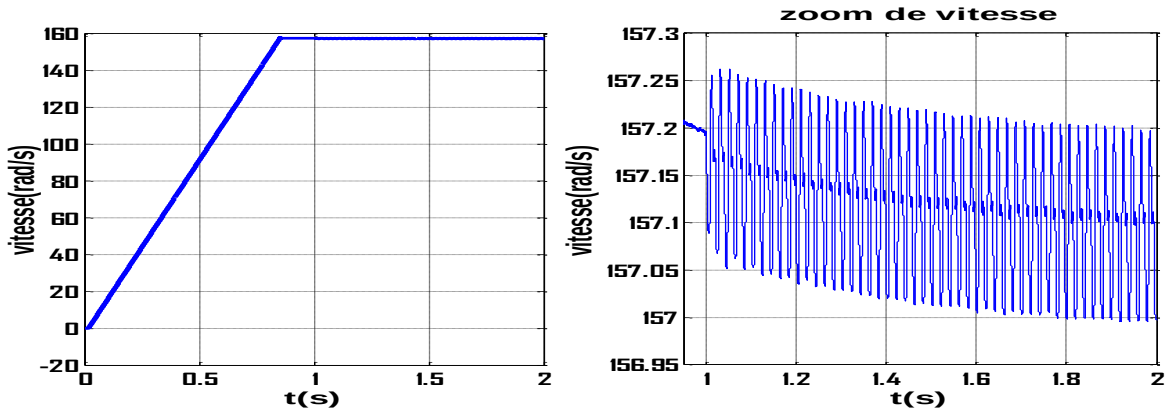


Figure III. 63 Vitesse de rotation lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

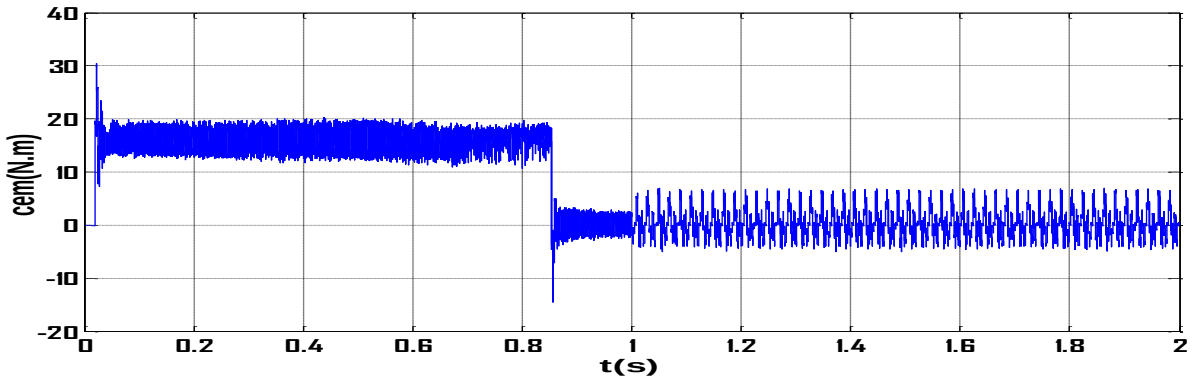


Figure III. 64 Couple électromagnétique lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

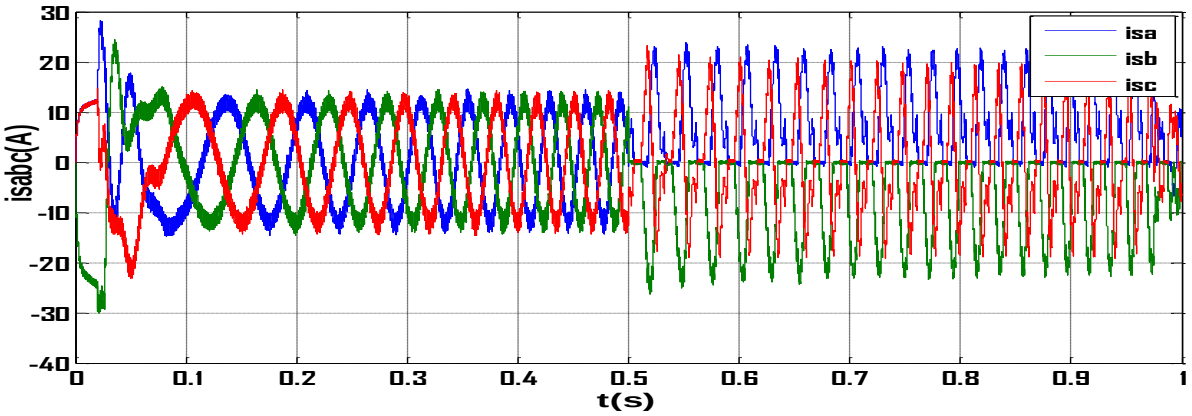


Figure III. 65 Courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

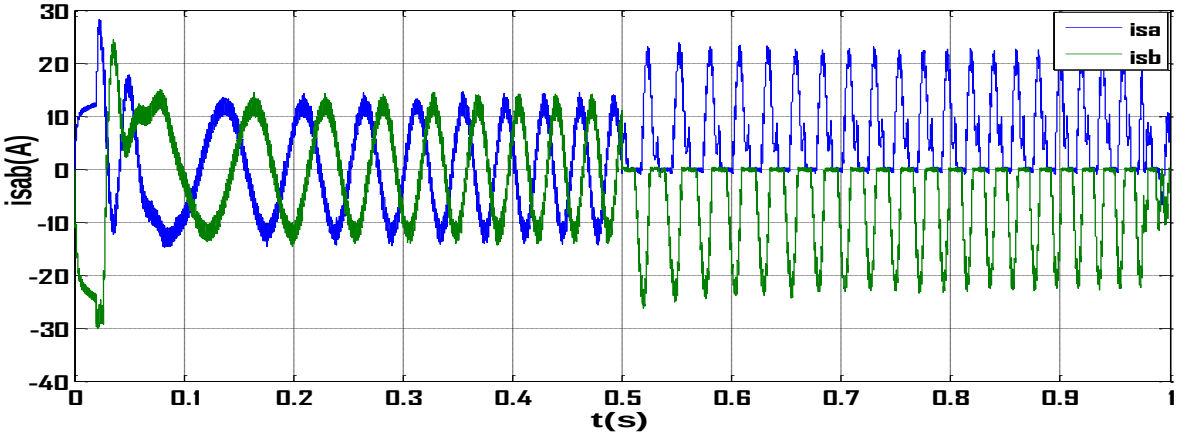


Figure III. 66 Courants statoriques Isa et Isb lors d'un défaut de circuit ouvert de deux interrupteurs de déférent bras (T2 et T4)

- **Interprétation de DF4 :**

Ce type de défaut créé une déformation et une discontinuité des courants dans les trois phases. Cette discontinuité de courants produit des changements pas important sur le couple et la vitesse.

III.5.2 défaut de court-circuit :

III.5.2.1 Configuration de défauts court-circuit:

Il existe aussi plusieurs scénarios de défaut court-circuit, nous présenterons l'essentiel de ces défauts, on note :

- **DF1 :** défauts de fermeture d'un des six interrupteurs (T1∨T2∨T3∨T4).
- **DF2 :** défauts de fermeture des deux interrupteurs du même bras (T1∧T4) ou (T2∧T5).

III.5.2.2 Résultats de simulation de défaut (C-C) :

Les défauts appliqués (C-C) sont limités seulement sur un bras (A), et on généralise l'analyse sur les autres bras, car on considère que les mêmes phénomènes se reproduisent. Dans ce cas les interrupteurs sont forcés à "1" à l'instant d'application de défaut. Les résultats de simulations représentées dans les figures (III.32-III.38).

- **DF1 : C-C sur un interrupteur de bras (A) (T1 ou T2):** voir les figures (III.67-III.69)

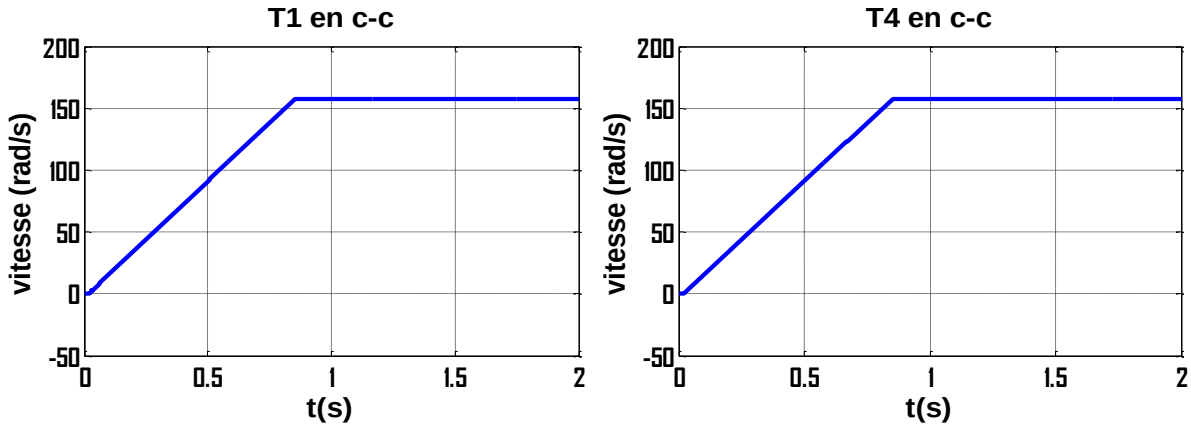


Figure III. 67 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs du bras (A)

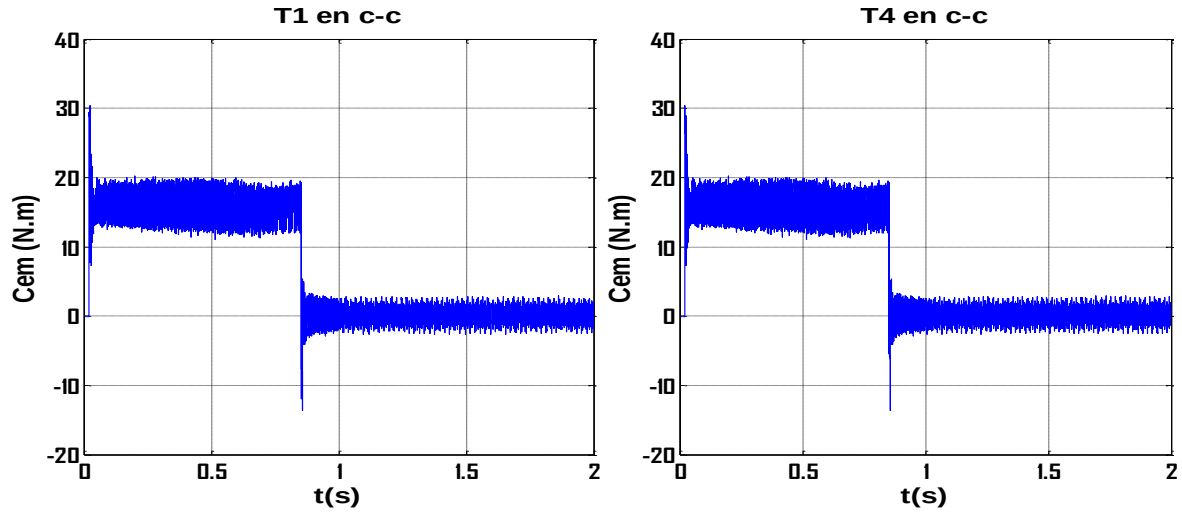


Figure III. 68 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs du bras (A)

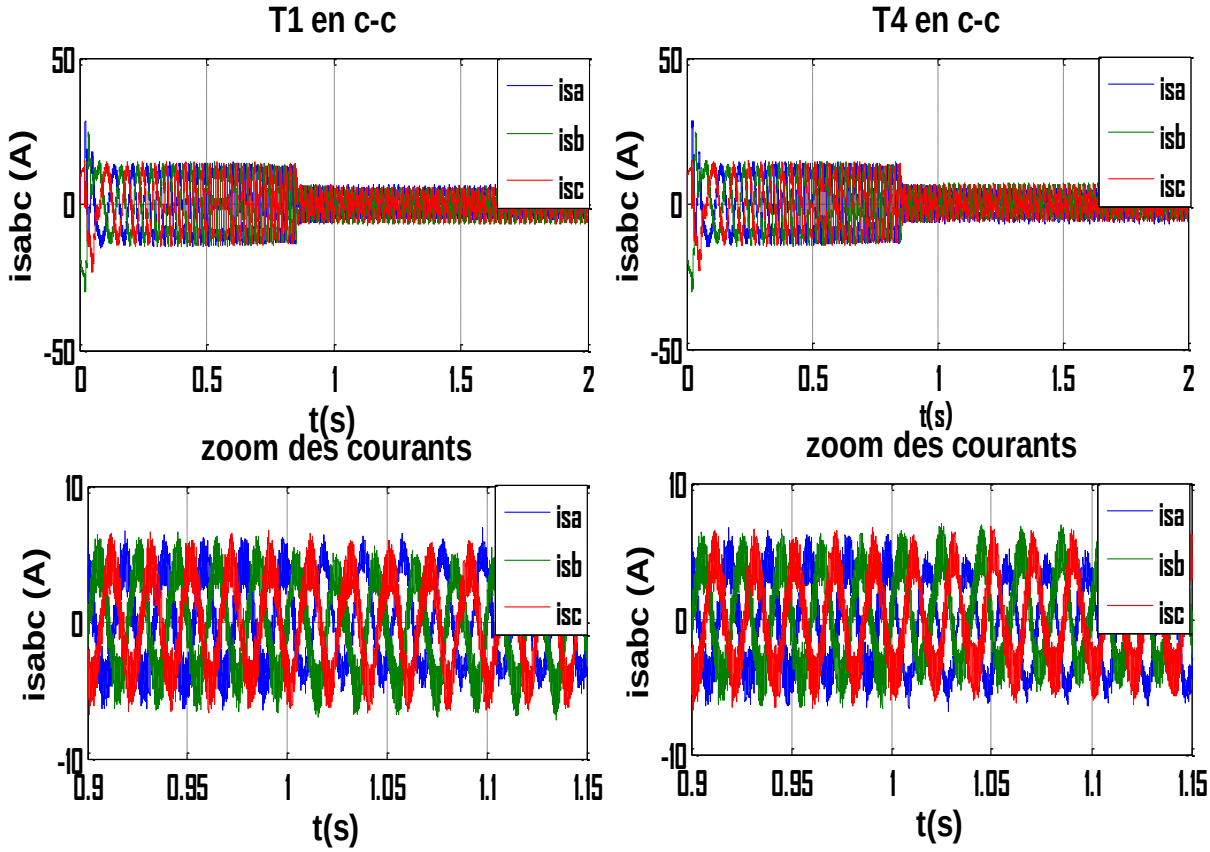


Figure III. 69 Courant statorique Isa lors d'un défaut de court circuit d'un des interrupteurs de bras (A)

DF2 : C-C sur deux interrupteurs de même bras (A) (T1 et T2): voir les figures (III.70-III.73)

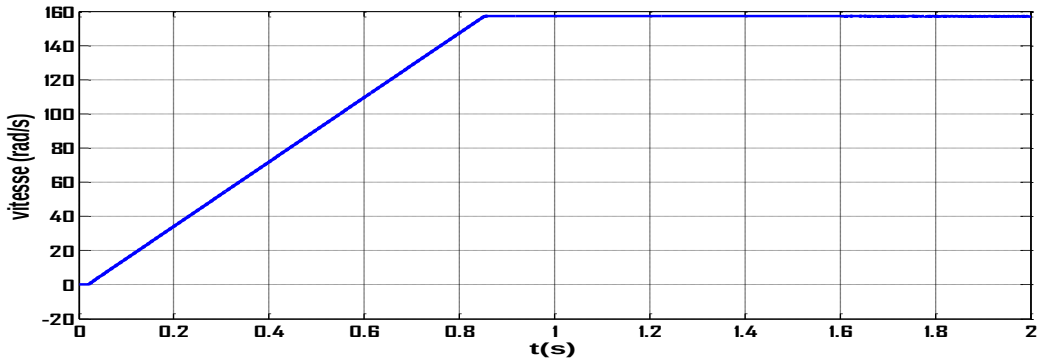


Figure III. 70 Vitesse de rotation lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

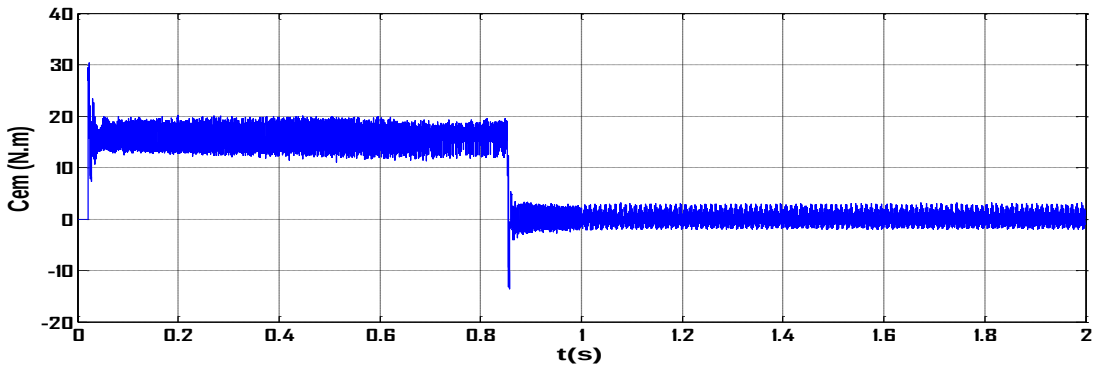


Figure III. 71 Couple électromagnétique lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

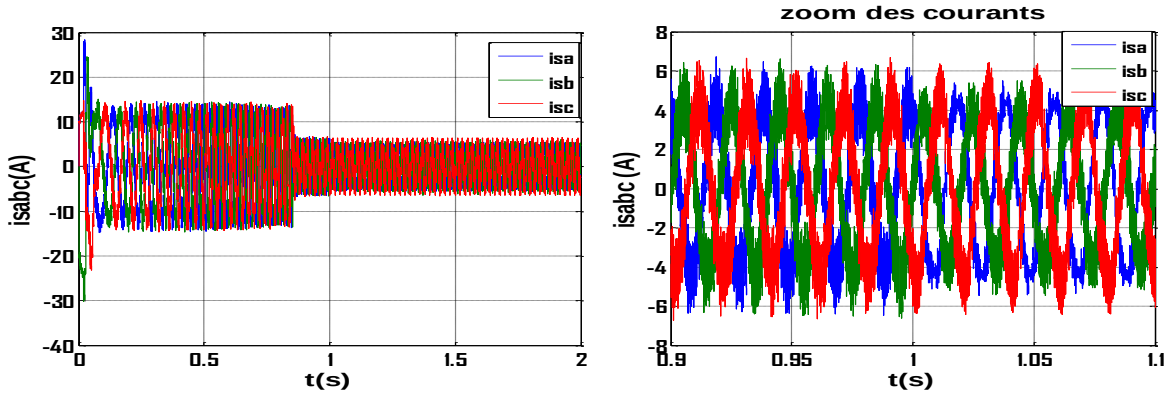


Figure III. 72 Courants statoriques lors d'un défaut de court circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

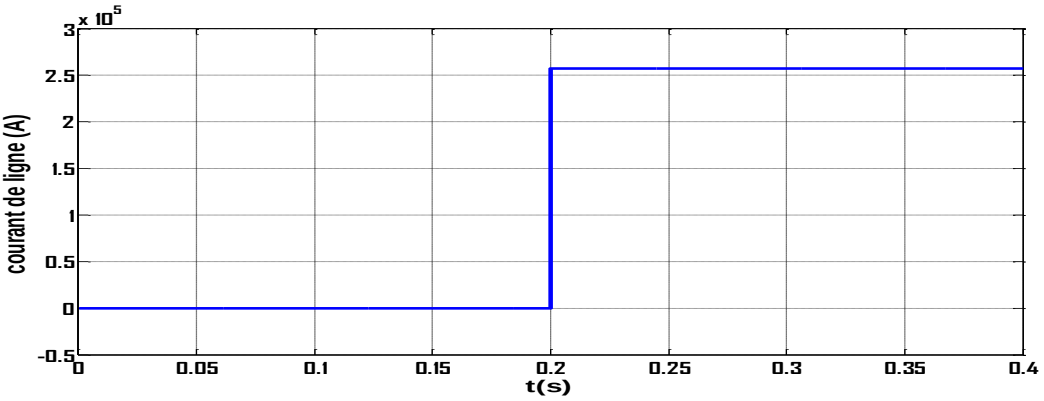


Figure III. 73 Courant de ligne lors d'un défaut de court-circuit de deux interrupteurs de même bras (A)

- **Interprétation des résultats de court-circuit :**

Dans ce cas lorsque on applique un défaut de c-c sur la machine en boucle fermé (CV), on remarque que n'ya pas des changements très important soit sur les courants statorique ou bien sur les grandeurs électromécaniques (couple et vitesse). Par contre le courant de ligne et augmente vers l'infinie après l'application de défaut.

III.6 Synthèse des résultats pour les deux types de défauts (C-O et C-C)

Partie 1 : MAS en boucle ouvert :

- Le défaut de type (circuit-ouvert) n'affecte pas beaucoup les composants du système d'entraînement (MAS + onduleur), mais le système continuera à fonctionner avec des performances dégradées (fonctionne avec déséquilibre au niveau des grandeurs électriques et mécaniques et avec un faible gain).
- Par contre, le défaut de type court-circuit dans l'un des interrupteurs de l'onduleur peut provoquer d'énorme dégâts. Les courants de phase du système d'entraînement deviennent fortement déséquilibrés avec des amplitudes qui ont été trop grandes avec celles des valeurs nominales

Partie 2 : MAS en boucle fermé (MAS+onduleur+CV) :

Dans le cas de la commande vectoriel, on remarque une amélioration très importante sur les résultats obtenue par rapport à la boucle ouvert.

- Lorsque d'une C-O on observe une diminution des perturbations de la vitesse et de couple par rapport BO
- Dans le cas de C-C, les résultats avant et après le défaut presque les même (presque pas de changement).

III.7 Diagnostic des défauts par analyse des courants statoriques dans le repère de Concordia :

Pour décrire le phénomène de machines Asynchrones triphasées on peut être utilisée Une représentation en deux dimensions, qui repose sur le calcul des courants dits de Concordia. Elle utilise les grandeurs biphasées qui sont calculées à partir des trois courants et tensions d'alimentation. Les courants biphasés sont donnés par l'expression suivante : [11-34]

$$\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad \text{(III.1)}$$

Le changement de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut. La figure(III.74) montre les signatures de défaut qui sont basées sur une représentation bidimensionnelle des courants statoriques.

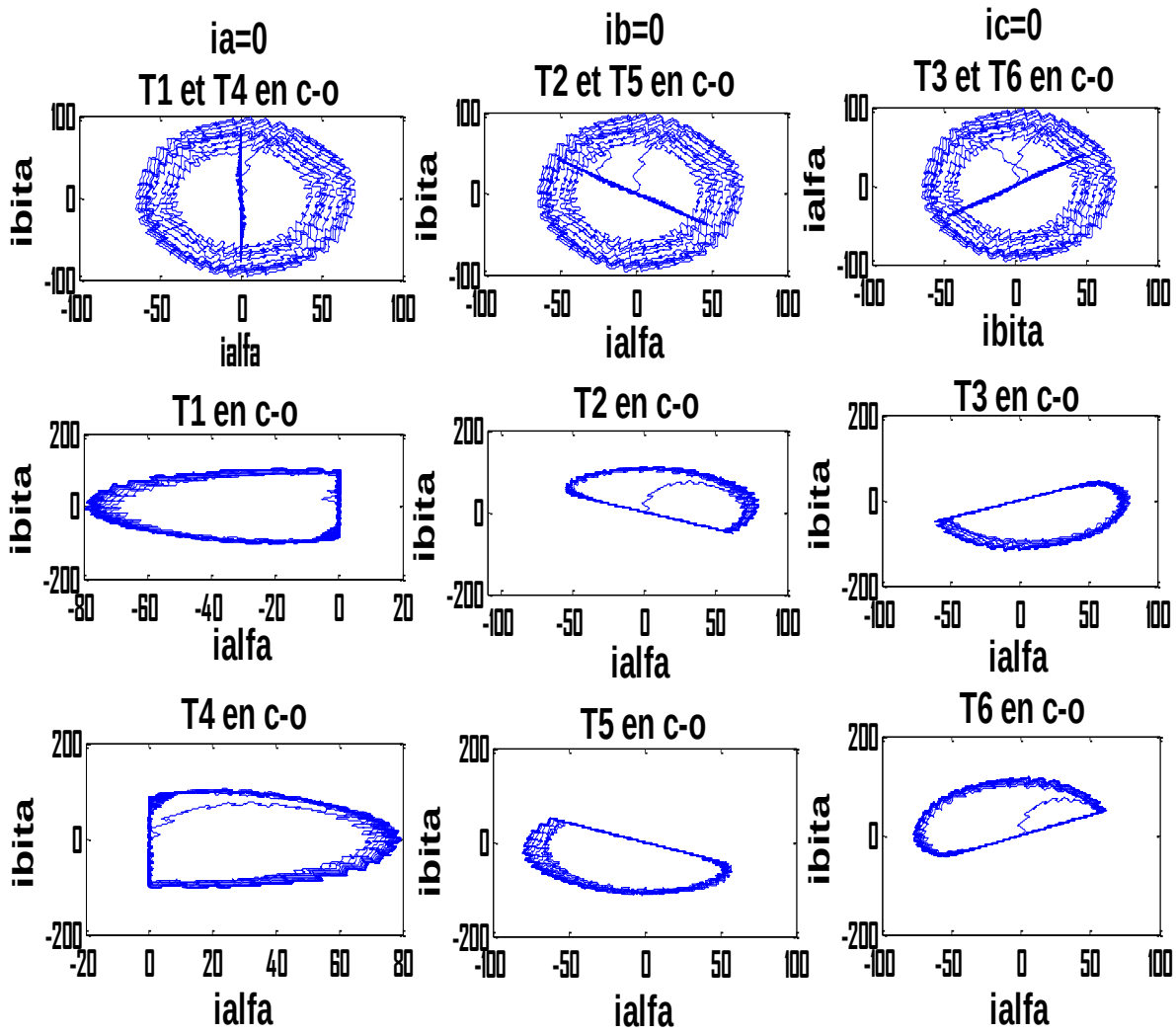


Figure III. 74 Représentation bidimensionnelle des courants statoriques lors d'un défaut de circuit ouvert

III.8 Conclusion :

Danse ce chapitre, nous avons validé par simulation le fonctionnement du moteur asynchrone en présence de défaut d'onduleur de tension à MLI, et nous avons évalué aussi les performances de la commande vectorielle lorsqu'un défaut.

Dans notre étude deux types de défauts ont été considérés : le défaut circuit-ouvert et le défaut court-circuit. Nous avons créé plusieurs de défauts interrupteurs afin d'analyser les

conséquences de ces défauts et voir le comportement de la machine à partir des réponses du système (courants, vitesse, couple…).

Les résultats de simulations montrent le degré de danger de défauts type court-circuit par rapport au défaut de type circuit-ouvert (augmentation très rapide du courant de charge, ondulations importantes au niveau couple…).

Dans la 2eme partie on conclure que l'application de la commande vectoriel conséquent des améliorations très important sur le système étudie.

Dans ce chapitre nous avons présenté aussi la méthode de détection des défauts qui peuvent survenir au niveau du stator de la machine, cette méthode est basée sur la représentation bidimensionnelle des courants statoriques,

Conclusion général :

Conclusion général :

Ce mémoire présente une étude intitulée « détection des défauts d'une machine asynchrone triphasé». L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la disponibilité des entraînements électriques à vitesse variable, et de développer des méthodes de diagnostic de défauts adaptés pour obtenir une commande tolérante aux défauts.

Le travail présenté dans ce mémoire basé sur le diagnostic des défauts dans les MAS triphasées. Nous avons focalisé notre étude sur les MAS à cage, parce que ces la machine la plus utilisée actuellement, à raison de leur simplicité, leur faible coût, leur robustesse, et leur fonctionnement à vitesse variable grâce à l'avancée de l'électronique de puissance.
Pour notre système, la machine asynchrone est alimentée à travers un réseau électrique triphasé avec un onduleur triphasé de deux niveaux.

Le premier chapitre est divisé en deux partie, dans la première partie on a représenté la modélisation de la MAS à partir des équations mathématique dans le repère diphasé, en utilise la matrice de Park, les résultats de simulation obtenus ont montré l'effet de l'application de la charge .dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons faire l'alimentation de la MAS avec onduleur à deux niveaux commandé par MLI. Les résultats de simulation montrent que la commande MLI présente des meilleures performances de fonctionnement.

La commande vectorielle à flux rotorique orienté de la MAS a été présentée dans la deuxième chapitre, dans cette partie on assuré le découplage entre le flux et le couple avec cette commande. Ce découplage est prouvé par une série de simulations de la MAS associé à la commande vectorielle. Les tests de robustesse ont prouvé que la commande vectorielle permet de faire fonctionner la machine avec bonnes performances dynamiques et statiques. Cette étude à été terminé par des simulations de l'ensemble machine-commande. Les résultats de simulations obtenus ont montré l'efficacité de la commande vectorielle proposée dans toutes les gammes de vitesse malgré la présence des perturbations.

Le troisième chapitre, concerne la détection des défauts d'onduleur à l'association avec la MAS .deux types de défauts interrupteur ont été considérés, les défauts court-circuit et circuit ouvert (simple et multiple) sur les interrupteurs d'un onduleur. Lorsqu'on appliquant

ces défauts en remarque une perturbation très important dans le système (courant statorique, la vitesse et le couple).les résultats de simulation montre que le défaut de C-C et plus dangereux que le défaut de C-O.L'utilisation de la commande vectoriel en temps de défaut de C-C et C-O d'onduleur montre des meilleurs performances sur le fonctionnement de système (moins perturbation que le système sans CV).

Les résultats de simulation numérique montrent la validité se la méthode proposé pour la détection, la localisation et la configuration des défauts d'onduleur .cette méthode est basé sur la transformation de Concordia.

Bibliographie :

Bibliographie

[1] BERNARD MULTON, « Historique des machines électriques et plus particulièrement des machines à réluctance variable ». Revue 3EI, 1995, pp.3-8.

[2] BAZI SMAIL, « contribution à la détection et au diagnostic des défauts dans un système machine à induction –convertisseur », thèse doctorat en science université, Batna, 2016.

[3] YOUNES HADJIYASSER GADI, « Détection de défauts dans le convertisseur à MLI d'une machine asynchrone », thèse master, université Ouargla, 2014.

[4] CHAOUCHE RIADH et CHEYYI SIF EDDINE, « Détection et diagnostic de défauts statorique externe d'un moteur asynchrone triphasé à l'aide de la carte ARDUINO MEGA 2560 », thèse master, université Ouargla, 2016.

[5] BUCHE GABRIEL «commande vectorielle de machine asynchrone en environnement temps réel MATLAB/SIMULINK », Grenoble, 2001.

[6] TOUFOUTI RIAD, « constitution à la commande direct de couple de la machine asynchrone », magister, université Constantine ; 2008.

[7] J.M RETIF, commande vectorielle de la machine asynchrone et asynchrone, institut national des sciences appliqué de Lyon, édition 2008.

[8] LASHAB ABDEREZAK, **«** Commande Vectorielle de la Machine Asynchrone sous la Carte DS1104 », thèse master université Constantine 2012.

[9] MOUSSA ZERBO « Identification des paramètres et commande vectorielle adaptative à orientation du flux rotorique de la machine asynchrone à cage », thèse doctorat université de Québec 2008.

[10] AOUANE NASSEREDINE et CHAMKHA SALIM, « Détection, localisation et reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à cage », thèse master, université Boumerdes, 2017.

[11] SADKI NOUR ELHOUDA, « simulation des défauts statorique d'un moteur asynchrone », master Ouargla, 2015.

[12] GUTTAB ABD ELKADER, « effet de l'alimentation sur la détection des défauts et dans une machine asynchrone à cage basé sur l'analyse de signal du courant », thèse magister, Chlef, 2011.

[13] ROLAND COSIMIR, « diagnostic des défauts des machines asynchrone par reconnaissance des formes », l'école centrale de Lyon, 2003.

[14] DAMECH ZAKARIA et MOKHTARI BRAHIM, « modélisation et simulation d'une génératrice asynchrone en saturation », thèse master, Ouargla, 2012.

[15] MOUED OUBADAR et SEDIK BOUDAOUD, « machine synchrone et asynchrone », projet fin d'étude en ingénieur, 2010.

[16] MEBARKI MOURAD, « commande de la machine asynchrone (étude comparaissant) », thèse master, université de Bejaia, 2017.

[17] BOUKHALIFA HADJA et SID RADJA, « commande direct de couple (DTC) d'un moteur asynchrone », thèse master, université Ouargla, 2015.

[18] RADOUNE BOUSSEKSOU, « modélisation analytique des machines asynchrone application diagnostique », thèse magister, Université Constantine, 2007.

[19] REZGUI SALEH EDDINE, « commande de machine électrique en enivrement matlab/simulink et temps réel », thèse magister, Constantine, 2009.

[20] BENABDALLAH KAMEL, « conception de la commande d'une machine asynchrone », thèse magister, université Oran, 2015.

[21] BOUBACAR HOUSSEINI, « Prototypage rapide à base de FPGA d'un algorithme de contrôle avancé pour le moteur à induction», université du QUÉBEC, 2010.

[22] Khelifa KHELIFI OTMANE, « Analyse d'une commande prédictive sous contraintes pour la conduite d'une machine asynchrone triphasé », thèse magister, CHLEF, 2006.

[23] ALI IBRAHIM, « contribution au diagnostic de machine électromagnétique : exploitation des signaux électrique et de la vitesse instantanée », thèse doctorat, université de Saint Etienne, 2009.

[24] TEGGAR AYOUB, « Etude comparative entre la commande vectorielle a flux oriente et la commande directe du couple de la machine asynchrone », thèse master, université Ouargla, 2016.

[25] BEDDIAR IBRAHIM et HIDEB YOUSEF, « commande par mode glissement d'un moteur asynchrone alimenté par onduleur à 3 niveaux », thèse master, université Ouargla, 2017.

[26] DOUI AZZEDIN et FERTASSI DJAMILA, « étude des machines tournante à courant alternatif machine synchrone, asynchrone triphasé », Mémoire D.E.U.A, université de Médéa, 2000.

[27] DAMECH AKARIA et MOKHTARI BRAHIM, « modélisation et simulation d'une génératrice asynchrone en saturation », Thèse mastère, université Ouargla, 2012.

[28] DAHMANE HOUSSEM et SOUISI SALAH EDDINE, « Commande et diagnostic de la machine asynchrone à l'aide d'observateur », thèse master, université Ouargla, 2016.

[29] ILYES AIT MOHAED SAID, « commande plate de machine asynchrone », thèse magister, université Batna, 2013.

[30] BEN ABD ALLAH Kamel « conception de la commande d'une MAS », thèse Magister, université Oran, 2015.

[31] DAMKHI SIHEM, « commande sans capteur de vitesse d'un moteur asynchrone par la SFG (signal flou graphies de Holtz », thèse Magister, université Batna, 2004.

[32] CHERS FATHI, « application des techniques de commande intelligente pour le contrôle d'une machine asynchrone », thèse doctorat, université Constantine, 2008.

[33] HAMID CHAIKHY, « contribution au développement l'implantation des stratégie commande évoluées des machine asynchrone », thèse doctorat, université Hassani Casablanca(Maroc), 2013.

[34] KARAOUI ABD ELMONAIM et BRAHIMI AMOUR, « détection de défaut statorique pour suivi paramétrique d'un moteur synchrone à aimant permanant », thèse master, université Ouargla, 2014.

ANNEXE

ANNEXE I :

Les paramètres de simulation :

Tableau 1 Les Paramètres de machine asynchrone triphasée :

Puissance nominale	$P_n=3kw$
Tension nominale	$V_n=220/380v$
Résistance statorique	$R_s=2.3\Omega$
Résistance rotorique	$R_r=0.35H$
Inductance cyclique statorique	$L_S=0.084819H$
Inductance cyclique rotorique	$L_r=0.0162H$
Inductance cyclique mutuelle	$L_m=0.0354H$
Moment d'inertie	$J=0.084819H$
Le couple résistant	$C_r=10N$
Fréquence nominale	$F_n=50HZ$
Nombre de paires de pôles	$P_n=2$
La vitesse nominale	$\Omega_n=1500tr/min$
Coefficient de frottement	$f=0.00178I.S$
Flux nominal	$F=1wb$
Amplitude	$A=1$
Module du flux rotoriqu	$\rho=2500$

ANNEXE II :

Paramètre de régulateur de vitesse

Tableau 2 paramètre de régulateur de vitesse

Régulateur	**valeur**
$K_{p\,w}$	100
K_{iw}	0.1