



Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electrotechnique
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique



Mémoire de Master En Électrotechnique

Présenté par :
BOUKADOUM Redouane

Intitulé :

Etude de l'effet du creux de tension sur la machine asynchrone à double alimentation en régime linéaire

Directeurs du mémoire :

Mekhtoub Said	Professeur	École Nationale Polytechnique
Imadouchene Malika	Maitre assistante	Université UMM Tizi Ouzou

Président :

Ahmed Boubakeur	Professeur	École Nationale Polytechnique
-----------------	------------	-------------------------------

Examineurs :

Redouane Tahmi	Docteur	École Nationale Polytechnique
Lazahri Nezli	Professeur	École Nationale Polytechnique

ENP 2013

ملخص

تقدم هذه الأطروحة دراسة تأثير انخفاضات التوتر الكهربائي على المولد الكهربائي اللامتزامن المزدوج التغذية. بعد تذكير يشمل أنظمة إنتاج الطاقة الهوائية ونموذج المولد الكهربائي اللامتزامن المزدوج التغذية، سنقدم نتائج المحاكاة. اجريت المحاكاة على آلت ذات طاقات 3.5kW. اجريت المحاكاة في النظام الخطي.

الكلمات المفتاح: انخفاض التوتر. مولد. لامتزامن. مزدوج تغذية. نظام خطي.

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude de l'effet du creux de tension sur la machine asynchrone à double alimentation. Après de brefs rappels sur sa modélisation, les résultats de simulation sont présentés. Le travail concerne une machine asynchrone à double alimentation de 3.5kW. Nous avons considéré le cas linéaire.

Mots clés : Creux de tension. MADA. Génératrice. Asynchrone. Double alimentation. Régime linéaire.

Abstract

This thesis focuses on the study of the effect of voltage dips on the double-fed asynchronous machine. After brief reminders of its modeling, we expose our simulation results showing the effects of voltage dips on the DFIG. Simulations have been run for a machine of 3.5kW. The study has been done in the linear.

Key words: Voltage dip. DFIG. Generator. Asynchronous. Doubly fed. Linear state.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos plus vifs remerciements à nos promoteurs Said Mekhtoub et Malika Imadouchene qui nous ont orientés tout au long de notre travail.

Nous tenons à remercier les membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des enseignants de l'École Nationale Polytechnique d'Alger qui ont contribué à notre formation tout au long de nos cinq années à l'école.

SOMMAIRE

remerciements.....	3
Dédicaces.....	Erreur ! Signet non défini.
introduction générale.....	6
Chapitre 1 : modélisation linéaire de la machine asynchrone À double alimentation.....	8
Introduction	8
1.1 Description de la MADA.....	8
1.1.1 Constitution.....	8
1.1.2 Intérêt de la MADA	9
1.1.3 Modes de fonctionnement de la MADA.....	10
1.1.4 Avantages et inconvénients de la MADA	12
1.2 Modélisation de la MADA.....	12
1.2.1 Hypothèses simplificatrices.....	12
1.2.2 Equations DES tensions.....	13
1.2.3 Equations des flux.....	14
1.2.4 Equations mécaniques	15
1.3 Modélisation de Park de la machine asynchrone à double alimentation.....	16
2.3.1 Concept.....	16
1.3.2 Réalisation.....	16
1.3.3 Equations dans un repère quelconque.....	18
1.3.4 Choix du repère dq	19
1.3.5 Schémas équivalents de la machine selon les axes d et q.....	21
Conclusion.....	22
chapitre 2 : effet du creux de tension en régime linéaire	24
Introduction	24
2.1 Rappels sur les creux de tension.....	24
2.1.1 Définitions.....	24
2.1.2 Classification des creux de tension	25
2.2 Modèle Simulink.....	26
2.2.1 Modèle du système	26
2.2.1.1 Modèle de la machine.....	26
2.2.1.2 Commande de la machine asynchrone a double alimentation	27
2.2.1.3 Variation des paramètres, générateur de creux et mesures.....	28
2.3 Simulations pour des creux de courte durée	29
2.3.1 Simulations pour un creux de 30% d'une durée de 10ms	29
2.3.2 Simulations pour un creux de 80% d'une durée de 10ms	31
2.3.3 Superposition des creux de tension	33

2.3.3.1 Simulations pour des creux de profondeur variable	33
2.3.3.2 Simulations pour des creux de durées variables.....	35
2.3.4 Synthèse	37
2.4 Simulations pour des creux de longue durée.....	42
2.4.1 Simulations pour un creux de 30% et une durée de 2.5s	42
2.4.2 Simulations pour un creux de 70% et une durée de 600ms	44
Conclusion.....	46
conclusion générale	47
annexe.....	48
paramètres des machines.....	48
Références bibliographiques.....	49

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie, sous toutes ses formes, est indispensable à toute activité humaine. La demande augmente constamment et fortement depuis la révolution industrielle. En effet, entre 1973 et 2013, la consommation d'énergie a doublé [1].

Pour répondre à cette demande, les énergies fossiles (pétrole, gaz naturel,...) ont été largement exploitées et représentent 80,4% de la consommation mondiale en énergie [2]. Ces énergies fossiles sont soit utilisées directement (Combustible pour les moyens de transport par exemple) soit pour la production d'énergie électrique (68% de la production électrique mondiale) [3]. Cependant, ces ressources souterraines sont limitées et leur utilisation a un impact très néfaste sur l'environnement (Emission de gaz à effet de serre) ce qui n'en fait pas une option viable à long terme.

Pour répondre à ce double challenge, l'alternative proposée depuis quelques années est la production d'énergie à partir de sources renouvelables, qui présentent l'avantage d'être très diversifiées, elles ont une origine hydraulique, solaire, géothermique, éolienne ou encore la biomasse. Cette diversité est aussi source de défis technologiques pour l'extraction et l'exploitation de ces nouvelles énergies. Il faut obtenir des systèmes plus fiables et optimiser leurs coûts pour qu'on puisse se permettre de reposer largement sur la production d'électricité renouvelable (objectif de 30% d'énergies renouvelables à l'horizon 2030 proposé par l'ONU en 2011) [4].

Dans ce contexte, nous nous intéressons à l'étude de la machine asynchrone à double alimentation qui s'impose comme la génératrice la plus utilisée pour la production d'électricité éolienne. Après des rappels concernant la production d'énergie éolienne et la modélisation de la machine, notre étude portera sur la conséquence d'un défaut sur le réseau, l'apparition de creux de tension, afin de mieux comprendre les phénomènes qui s'y produisent. Cela a une grande importance pour la qualité de l'énergie.

CHAPITRE 1 : MODÉLISATION
LINÉAIRE DE LA MACHINE
ASYNCHRONE À DOUBLE
ALIMENTATION

INTRODUCTION

Depuis quelques années, la machine asynchrone à double alimentation (MADA) suscite un intérêt grandissant pour la production d'énergie électrique, dans les systèmes éoliens notamment pour laquelle nous réservons notre machine, cela au détriment des autres machines, en considérant ses excellentes performances, sa robustesse, sa souplesse d'utilisation et son coût assez faible.

Néanmoins, à côté de ses nombreux avantages, la machine asynchrone à double alimentation s'accompagne d'un modèle physique assez complexe à cause des multiples interactions électromagnétique entre le rotor et le stator de la machine. La mise en équations, les schémas équivalents simplifiés et les méthodes matricielles se sont développés et sont devenus la base pour une approche de modélisation et d'étude en général.

Dans ce chapitre nous décrirons la machine asynchrone à double alimentation à rotor bobiné, ses modes de fonctionnement et nous nous intéresserons à la modélisation et la simulation de la machine asynchrone, plus précisément selon le modèle de R.H PARK.

Nous utiliserons ce modèle triphasé-diphasé accompagné de certaines hypothèses simplificatrices qui nous permettront d'obtenir des équations mathématiques assez simples et qui traduisent fidèlement le comportement global de la machine.

1.1 DESCRIPTION DE LA MADA

1.1.1 CONSTITUTION

La machine asynchrone à rotor bobiné présente un stator similaire à celui des machines asynchrones triphasées classiques, constitué de tôles magnétiques pour permettre au courant de circuler uniquement dans les enroulements implantés dans les encoches creusées dans la culasse.

La différence présentée par ces machines vient de la constitution du rotor qui n'est plus une cage d'écureuil coulé dans les encoches des tôles, mais est constitué de trois bobinages connectés en étoile dont les extrémités sont reliées à des bagues conductrices sur lesquelles viennent frotter des balais lorsque la machine tourne.

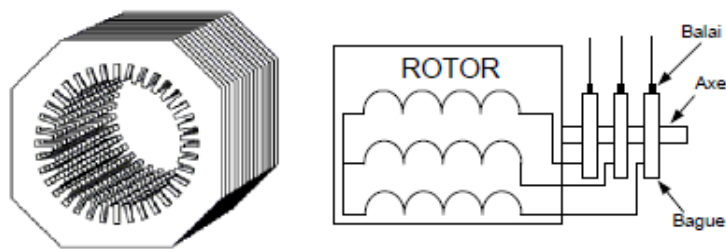


Fig.1.1 Représentation schématique du stator et du rotor de la MADA

Ces bagues permettent d'avoir une liaison électrique avec les bobines du rotor, ce qui dénote la double alimentation de la machine, ce type de rotor a été conçu pour permettre l'insertion de résistances en série avec celle du rotor et permettre le démarrage rotorique, cela permet aussi de contrôler la vitesse pour les fonctionnements moteur et générateur grâce à un dispositif appelé cascade hypo synchrone que nous verrons plus tard [5].

1.1.2 INTERET DE LA MADA

Une connexion directe au réseau oblige les machines asynchrones à garder une vitesse de rotation constante et proche du synchronisme.

Cette condition entraine une efficacité réduite pour des applications en éolienne du fait que les vitesses du vent soient très variables. Cependant l'évolution de l'électronique de puissance a permis l'introduction de convertisseurs de puissance entre le rotor et le réseau ce qui donne lieu à un découplage entre la fréquence du réseau et la vitesse de rotation de la machine et permet donc un fonctionnement à vitesse variable.

Toutefois, ce convertisseur doit être dimensionné pour faire transiter une partie de la puissance générée par la machine. Il doit donc être correctement refroidi et représente un encombrement non négligeable surtout dans le cas où il se trouve dans la nacelle de l'éolienne. De plus, il peut être générateur de perturbations harmoniques importantes.

Avec l'utilisation des machines asynchrones à double alimentation pilotées par le rotor, la plus grande partie de la puissance est directement distribuée au réseau par le stator et une partie de cette puissance (moins de 30% généralement) passe par ces convertisseurs de puissances à travers le rotor. Cela permet de tirer un maximum de puissance pour une plage de variation de 33% autour de la vitesse nominale de la machine [5].

1.1.3 MODES DE FONCTIONNEMENT DE LA MADA

Fonctionnement moteur

L'intérêt majeur du fonctionnement en moteur de la machine à double alimentation est de connecter des rhéostats aux bobinages rotoriques afin d'y limiter les courants de démarrage et d'augmenter le couple, ainsi que de pouvoir augmenter la plage de variation de vitesse tout en gardant des facteurs de puissance acceptables.

En plus du fait, que pour une vitesse inférieure à la vitesse du synchronisme, l'introduction de convertisseurs entre le rotor et le réseau permettra la récupération d'une certaine quantité de puissance (appelée puissance de glissement) normalement dissipée en effet Joule, le rendement est ainsi amélioré, c'est le principe de la cascade hyposynchrone.

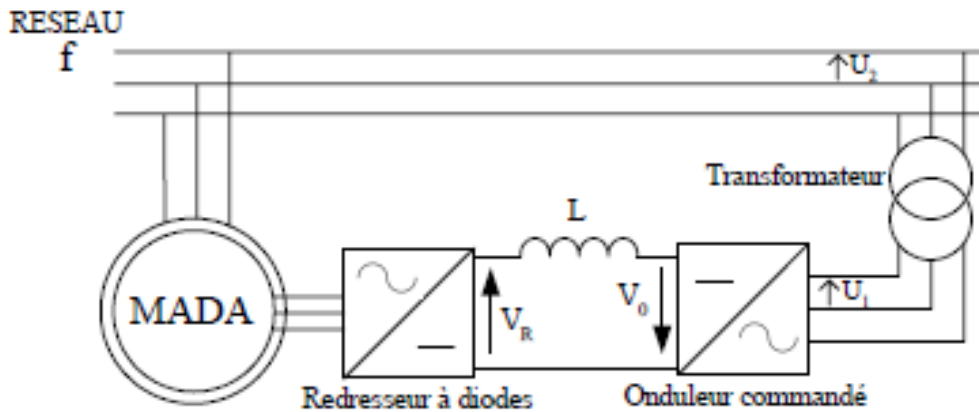


Fig1.2 Représentation de la MADA reliée au réseau à travers une cascade hyposynchrone au rotor

Fonctionnement génératrice

En fonctionnement génératrice, le comportement est similaire, la puissance fournie à la machine par le dispositif qui l'entraîne est une puissance mécanique.

En mode hyposynchrone, une partie de la puissance qui transite par le stator est réabsorbée par le rotor.

En mode hypersynchrone, la totalité de la puissance mécanique fournie à la machine est transmise au réseau aux pertes près. Une partie de cette puissance correspondant à $g \cdot P_m$ est transmise par l'intermédiaire du rotor.

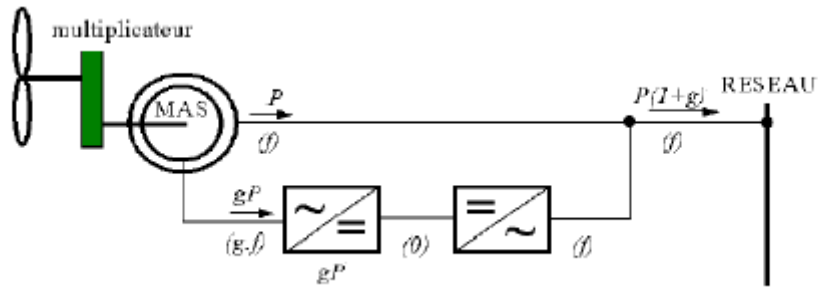


Fig.1.3 Représentation des écoulements de puissance de la MADA

En négligeant toutes les pertes, on peut expliquer très simplement le principe de la MADA alimentée à travers le montage onduleur redresseur d'une cascade hyposynchrone.

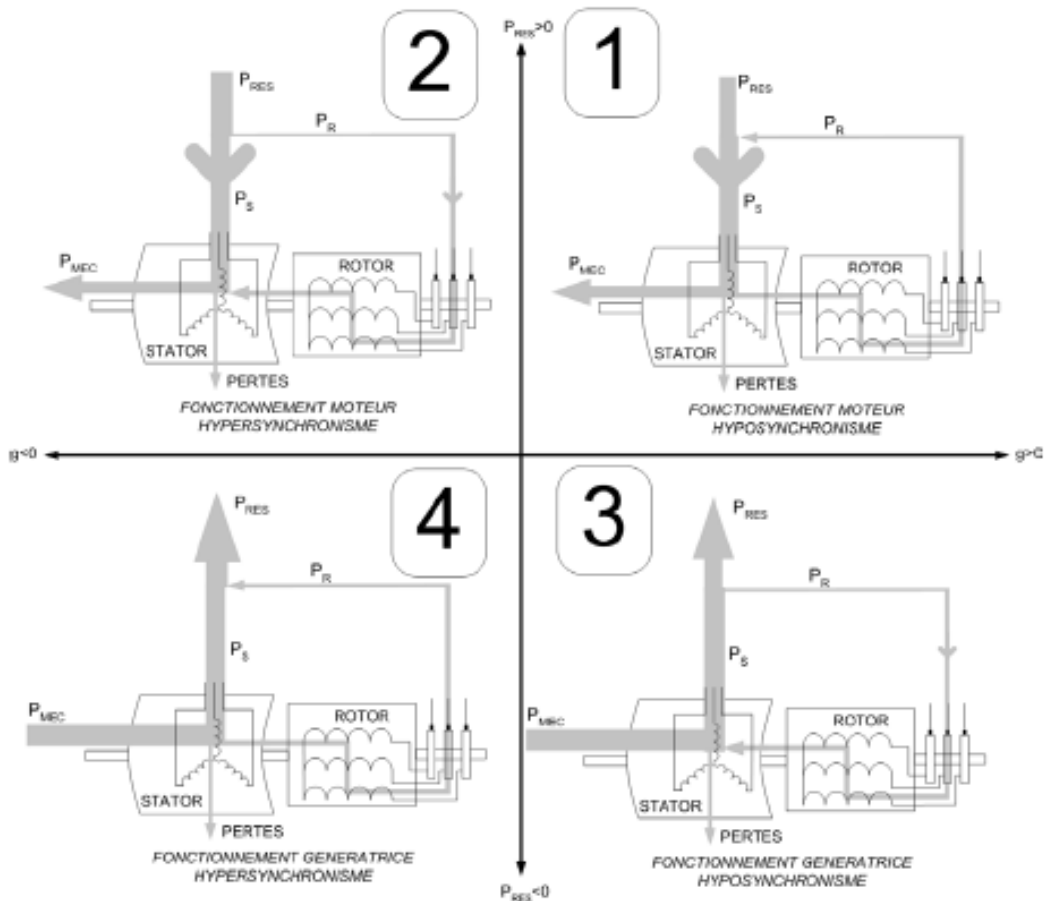


Fig.1.4 Récapitulatif des modes de fonctionnement en moteur et génératrice, en mode hypo ou hyper synchrone

Pour une utilisation dans un système éolien, nous intéresserons donc aux quadrants 3 et 4.

En effet si la plage de variation de vitesse ne dépasse pas $\pm 30\%$ de la vitesse du synchronisme (ce qui représente le compromis idéal entre la taille des convertisseurs et

la plage de variation de vitesse), la machine sera capable de débiter une puissance allant de 0.7 à 1.3 fois la puissance nominale, pour cela les convertisseurs seront dimensionnés pour faire transiter la puissance de glissement, c'est-à-dire 0.3 fois (maximum) de la puissance nominale.

1.1.4 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA MADA

Avantages

- La double alimentation de la machine facilite la mesure des courants statoriques et rotoriques, ce qui offre une meilleure flexibilité et précision pour le contrôle du flux et du couple électromagnétique.
- L'alimentation de la machine grâce à des convertisseurs permet un meilleur contrôle des fréquences, et ainsi augmenter le rendement.
- Comportement se rapprochant de celui des machines synchrones et donc simple à utiliser.
- Convertisseurs dimensionnés pour 30% de la puissance nominale.

Inconvénients

- Elle est généralement plus volumineuse que la machine à cage.
- Le coût et le nombre des convertisseurs à utiliser.
- Le coût de la machine assez élevé [6].

1.2 MODELISATION DE LA MADA

Il est nécessaire d'établir un modèle mathématique rigoureux, mais assez simple afin de faciliter les calculs de simulation, pour cela nous introduirons quelques hypothèses simplificatrices qui ne nous éloignent pas beaucoup du comportement réel de la machine.

1.2.1 HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

Pour notre étude nous considérerons les hypothèses suivantes [7,8]

- L'entrefer est supposé d'épaisseur uniforme et l'effet d'encoche négligeable.
- Les flux sont des fonctions linéaires des courants.
- Les pertes par hystérésis et courants de Foucault sont négligées.
- Les résistances ne varient pas avec la température et supposées constantes, l'effet de peau est négligé.
- La répartition des forces magnétomotrices est sinusoïdale.
- La machine est symétrique, l'addition des courants et tensions est nulle.

Parmi les conséquences de ces simplifications :

- L'additivité des flux.
- La constance des inductances propres.
- La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements du stator et du rotor en fonction de l'angle électrique et de leurs axes magnétiques.

Le schéma ci-dessous représente la disposition des enroulements statoriques et rotoriques, où la position du rotor par rapport au stator est en fonction de la vitesse de rotation Ω , tel que $\Omega = \frac{d\theta}{dt}$

Où θ représente l'angle entre les enroulements statoriques et rotoriques.

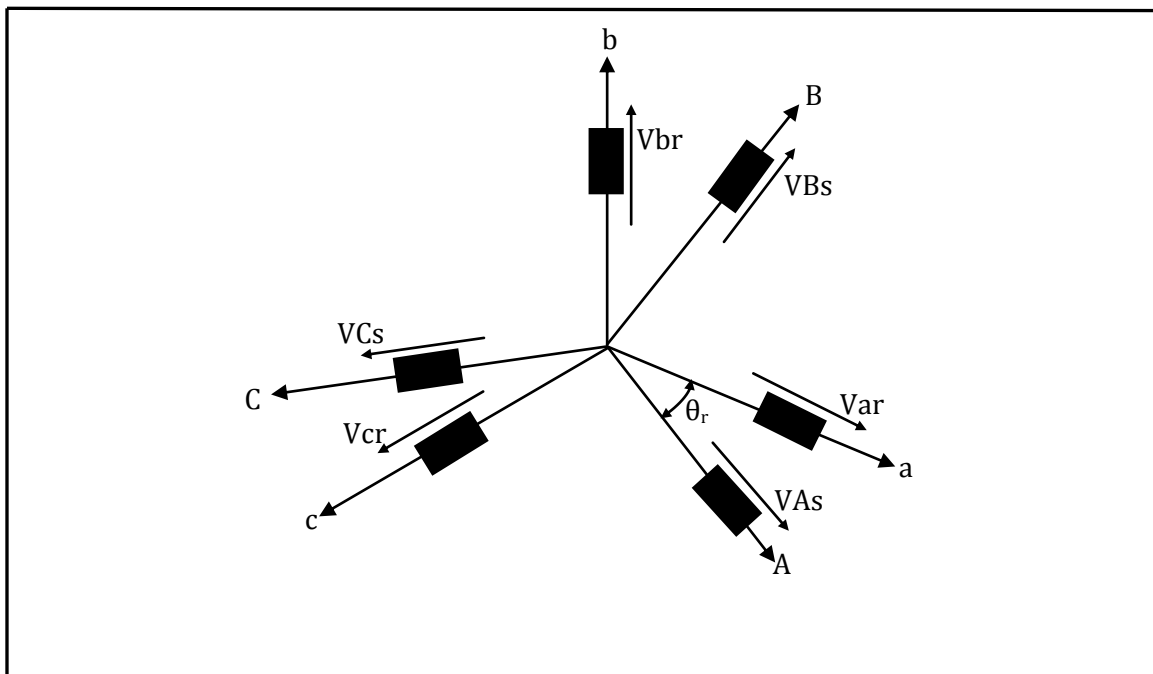


Fig.1.5 Représentation des enroulements triphasés statorique et rotorique et leurs positions relatives

Par application des lois d'ohm et de faraday et en tenant compte des hypothèses simplificatrices le comportement de la machine peut être décrit par les équations différentielles suivantes développées ci-dessous [9].

1.2.2 EQUATIONS DES TENSIONS

Les équations du modèle s'écrivent sous forme matricielle respectivement pour le stator et le rotor de la façon suivante :

$$\begin{aligned} V_s &= [R_s] \cdot [I_s] + \frac{d}{dt} [\Phi_s] \\ V_r &= [R_r] \cdot [I_r] + \frac{d}{dt} [\Phi_r] \end{aligned} \quad (1.1)$$

Avec : $[V_s] = [V_{sa} \ V_{sb} \ V_{sc}]^T$ Vecteur tension statorique.

$[I_s] = [i_{sa} \ i_{sb} \ i_{sc}]^T$ Vecteur courant statorique.

$[V_r] = [V_{ra} \ V_{rb} \ V_{rc}]^T$ Vecteur tension rotorique.

$[I_r] = [i_{ra} \ i_{rb} \ i_{rc}]^T$ Vecteur courant rotorique.

$[\Phi_s] = [\Phi_{sa} \ \Phi_{sb} \ \Phi_{sc}]^T$ Vecteur flux statorique.

$[\Phi_r] = [\Phi_{ra} \ \Phi_{rb} \ \Phi_{rc}]^T$ Vecteur flux rotorique

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad \text{matrice r\u00e9sistance statorique}$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \quad \text{matrice r\u00e9sistance rotorique}$$

Les \u00e9quations statorique et rotorique sont \u00e9crites respectivement dans les rep\u00e8res li\u00e9s au stator et rotor de la machine, ce qui justifie l'absence de tensions dues au mouvement.

1.2.3 EQUATIONS DES FLUX

De la m\u00eame mani\u00e8re que pour les \u00e9quations g\u00e9n\u00e9rales, on retrouve les \u00e9quations donnant les flux :

$$[\Phi_s] = [L_{ss}] \cdot [I_s] + [M_{sr}] \cdot [I_r] \quad (1.2)$$

$$[\Phi_r] = [L_{rr}] \cdot [I_r] + [M_{rs}] \cdot [I_s]$$

O\u00f9 $[L_{ss}]$: Matrice d'inductance statorique

$[L_{rr}]$: Matrice d'inductance rotoriques

$[M_{rs}]$ et $[M_{sr}]$: Matrices d'inductance mutuelle

Tel que $[M_{rs}] = [M_{sr}]$

Et $[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix}$, $[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$

$$[M_{sr}] = M \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

M_s, M_r : Inductances mutuelles statoriques et rotoriques

L_s, L_r : Inductances propres statorique et rotoriques

1..2.4 EQUATIONS MECANIQUES

L'expression générale du couple électromagnétique est donnée par :

$$\Gamma_e = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix}^t \cdot \frac{d}{dt} [M_{sr}] \cdot \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

L'équation du mouvement est régie par :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = \Gamma_e - \Gamma_r - f_g \cdot \Omega \quad (1.4)$$

1.3 MODELISATION DE PARK DE LA MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION

2.3.1 CONCEPT

La modélisation de la MADA en utilisant les équations présentées ci-dessus rend très complexe l'implémentation des simulations. En effet, on est en présence d'un nombre d'équations fortement couplées en plus d'un nombre de variables très important.

La solution la plus communément utilisée pour contourner ce problème est un changement de variable exprimant les grandeurs triphasées dans un repère diphasé tournant et à axes orthogonaux dans un repère dq mobile. Cette transformation s'appelle : Transformation de Park [10].

Cette transformation revient à substituer, conceptuellement, des enroulements biphasés selon les axes d et q aux enroulements triphasés réels de la machine. On a donc au final quatre enroulements : ds , qs , dr et qr .

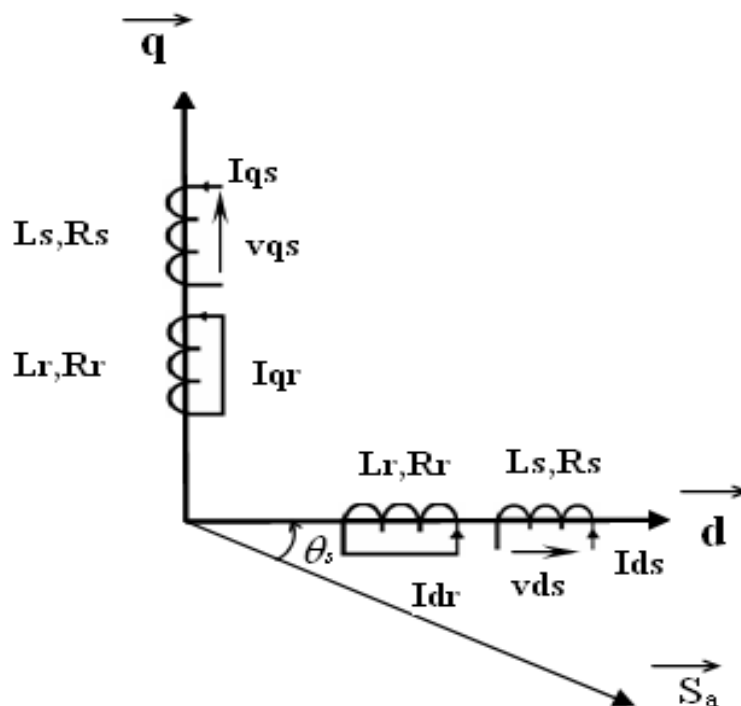


Fig.1.6 Représentation des enroulements fictifs selon d et q

1.3.2 REALISATION

Cette transformation se fait en deux étapes :

- L'écriture des grandeurs statoriques et rotoriques chacune dans un repère diphasé fixe (Repères $\alpha\beta_s$ et $\alpha\beta_r$ respectivement),

- L'expression de ces grandeurs transformées dans un repère commun dq mobile.

Ce repère dq commun nous permet de simplifier le modèle final en faisant coïncider les repères de transformation des grandeurs statoriques et rotoriques grâce à une relation simple entre les angles que leurs repères respectifs forment avec le repère dq commun (angles θ_s et θ_r respectivement) [5].

$$\theta_s = \theta + \theta_r$$

Il faut noter que le repère dq forme un angle quelconque avec les repères $\alpha\beta_s$ et $\alpha\beta_r$.

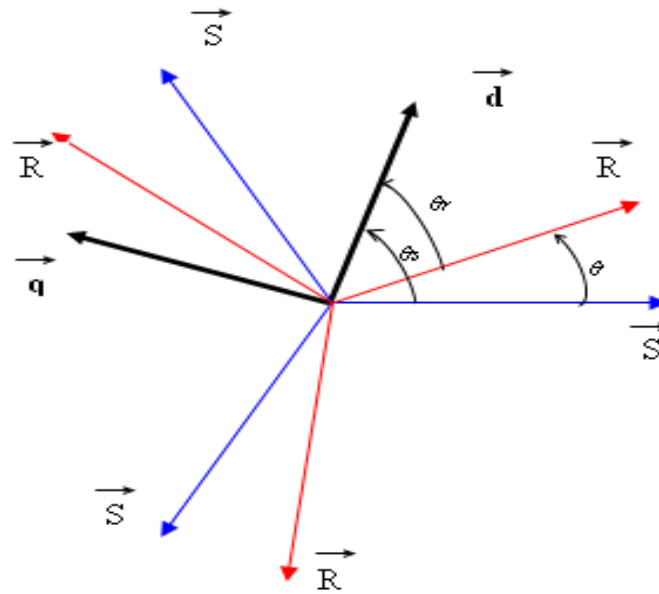


Fig.1.7 Représentation des axes d et q au stator et au rotor avec les angles θ , θ_s et θ_r

La matrice de passage du référentiel du triphasé fixe vers le référentiel diphasé mobile dq est :

$$P(\alpha) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \cos(\alpha - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\alpha + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\alpha) & -\sin(\alpha - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\alpha + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

L'angle α étant égal à θ_s pour les grandeurs statoriques et à θ_r pour les grandeurs rotoriques.

1.3.3 EQUATIONS DANS UN REPERE QUELCONQUE

- **Tensions**

$$\begin{cases} [Vdq, s] = [P(\theta_s)] * [Vsabc] \\ [Vdq, r] = [P(\theta_r)] * [Vrabc] \end{cases} \quad (1.5)$$

- **Courants**

$$\begin{cases} [Idq, s] = [P(\theta_s)] * [Isabc] \\ [Idq, r] = [P(\theta_r)] * [Irabc] \end{cases} \quad (1.6)$$

- **Flux**

$$\begin{cases} [\Phi dq, s] = [P(\theta_s)] * [\Phi sabc] \\ [\Phi dq, r] = [P(\theta_r)] * [\Phi rabc] \end{cases} \quad (1.7)$$

Le développement de ces écritures matricielles nous donne :

- **Les tensions statoriques**

$$\begin{cases} Vds = Rs * Ids + \frac{d}{dt} \Phi ds - \omega a * \Phi qs \\ Vqs = Rs * Iqs + \frac{d}{dt} \Phi qs + \omega a * \Phi ds \end{cases} \quad (1.8)$$

- **Les tensions rotoriques**

$$\begin{cases} Vdr = Rr * Idr + \frac{d}{dt} \Phi dr - (\omega a - \omega) * \Phi qr \\ Vqr = Rr * Iqr + \frac{d}{dt} \Phi qr + (\omega a - \omega) * \Phi dr \end{cases} \quad (1.9)$$

- **Les flux de la machine**

$$\begin{cases} \Phi dq, s = Ls * Idq, s + Msr * Idq, r \\ \Phi dq, r = Msq * Idq, s + Lr * Idq, r \end{cases} \quad (1.10)$$

Ces équations se résument à cette écriture matricielle :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{dq,s} \\ \Phi_{dq,r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_s & 0 \\ 0 & M & 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dq,s} \\ I_{dq,r} \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

1.3.4 CHOIX DU REPERE dq

Bien que le modèle de la machine présenté dans les équations précédentes soit simplifié, il est encore possible de fixer les angles θ_s et θ_r [10].

Trois choix « évidents » s'offrent à nous :

- Lier le repère dq au champ tournant
- Lier le repère dq au stator
- Lier le repère dq au rotor

Dans chacun de ces référentiels, les équations de la machine s'écrivent plus simplement que dans un repère dq quelconque. Nous présentons ci-après les différentes possibilités :

- **Référentiel dq lié au stator**

C'est un référentiel pratique pour étudier les variations importantes de la vitesse instantanée.

En pratique, cela s'écrit : $\omega_a=0$, $\omega_s=0$ et $\omega_r=-\omega$

Le système précédent s'écrira comme suit :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s * I_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} \\ V_{qs} = R_s * I_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} \end{cases} \quad (1.12)$$

$$\begin{cases} V_{dr} = R_r * I_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} + \omega * \Phi_{qr} \\ V_{qr} = R_r * I_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} - \omega * \Phi_{dr} \end{cases} \quad (1.13)$$

- **Référentiel dq lié au rotor**

C'est un référentiel pratique pour l'étude des régimes transitoires électriques pendant lesquels la vitesse est considérée comme constante.

En pratique, cela s'écrit : $\omega_a=\omega$, $\omega_s=0$ et $\omega_r=\omega$.

Le système précédent s'écrira comme suit :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s * I_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega * \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s * I_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega * \Phi_{ds} \end{cases} \quad (1.14)$$

$$\begin{cases} V_{dr} = R_r * I_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} \\ V_{qr} = R_r * I_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} \end{cases} \quad (1.15)$$

- **Référentiel dq lié au champ tournant**

C'est un référentiel pratique pour la régulation de la machine car il offre l'avantage de donner des grandeurs constantes en régime permanent

En pratique, cela s'écrit : $\omega_a = \omega_s$, $\omega_s = \omega_s$ et $\omega_r = \omega_r$

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s * I_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s * \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s * I_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s * \Phi_{ds} \end{cases} \quad (1.16)$$

$$\begin{cases} V_{dr} = R_r * I_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} - \omega_r * \Phi_{qr} \\ V_{qr} = R_r * I_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} + \omega_r * \Phi_{dr} \end{cases} \quad (1.17)$$

C'est ce système qui sera adopté lors de la conception des systèmes de simulation pour l'étude de la machine asynchrone à double alimentation, étant donné les simplifications qu'il apporte.

Expression du couple électromagnétique

Comme la transformation de Park conserve la puissance instantanée, l'expression de la puissance électrique totale est :

$$P_e = (V_{ds} \cdot I_{ds} + V_{qs} \cdot I_{qs}) + (V_{dr} \cdot I_{dr} + V_{qr} \cdot I_{qr}) \quad (1.18)$$

$$P_e = \omega_s(\varphi_{ds} \cdot I_{qs} - \varphi_{qs} \cdot I_{ds}) + (\omega_s - \omega_r)(\varphi_{dr} \cdot I_{qr} - \varphi_{qr} \cdot I_{dr}) \quad (1.19)$$

Les expressions des flux nous donnent :

$$(\varphi_{ds} \cdot I_{qs} - \varphi_{qs} \cdot I_{ds}) = -(\varphi_{dr} \cdot I_{qr} - \varphi_{qr} \cdot I_{dr}) \quad (1.20)$$

On sait aussi que :

$$\Gamma_e = P_e / \Omega_s$$

D'où l'expression finale du couple

$$\begin{aligned} \Gamma_e &= p \cdot (\varphi_{ds} \cdot I_{qs} - \varphi_{qs} \cdot I_{ds}) \\ \Gamma_e &= p \cdot M \cdot (I_{dr} \cdot I_{qs} - I_{qr} \cdot I_{ds}) \\ \Gamma_e &= p \cdot \frac{M}{L_r} \cdot (\varphi_{dr} \cdot I_{qs} - \varphi_{qr} \cdot I_{ds}) \\ \Gamma_e &= p \cdot \frac{M}{L_r} \cdot (\Phi_{dr} I_{qs} - q_s I_{dr}) \end{aligned} \quad (1.21)$$

1.3.5 SCHEMAS EQUIVALENTS DE LA MACHINE SELON LES AXES D ET Q

Les schémas équivalents suivant les axes d et q ainsi obtenus pour la MADA sont donc en tous points identiques à ceux de la machine asynchrone. La différence résidera dans le fait que ses tensions rotoriques sont non nulles [7].

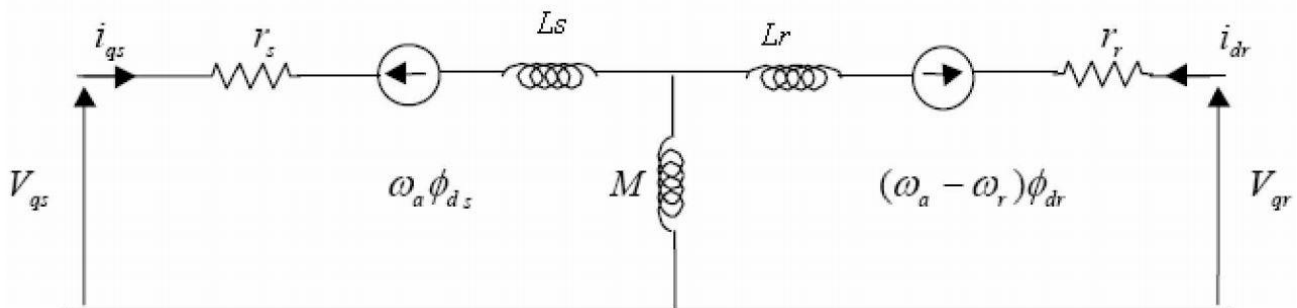


Fig.1.9 Schéma équivalent suivant l'axe d

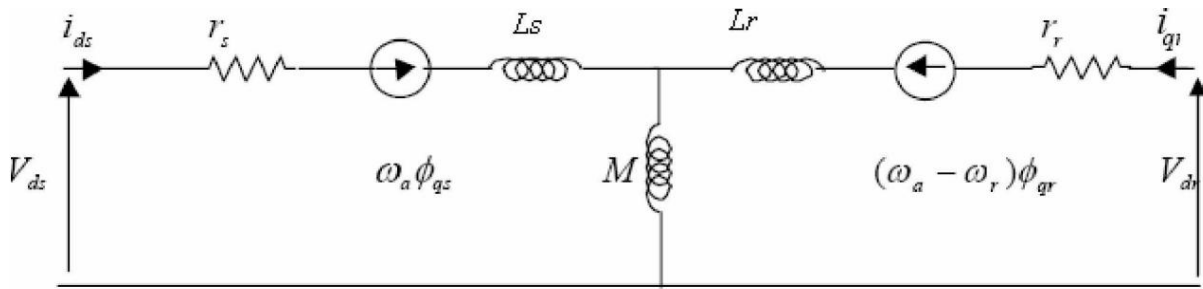


Fig.1.10 Schéma équivalent suivant l'axe q

Ces deux schémas équivalents sont valables pour tout repère dq qui tourne à une vitesse ω_a . Il suffit de remplacer la valeur de ω_a lorsque l'on définit les axes dq pour avoir les schémas équivalents correspondants.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la modélisation linéaire de la machine asynchrone à double alimentation. Les équations de la machine ont été développées dans le repère triphasé puis diphasé selon le modèle de Park.

Ce modèle sera ensuite implémenté sur le logiciel MATLAB SIMULINK en vue d'étudier les creux de tensions sur la machine à double alimentation.

CHAPITRE 2 : EFFET DES CREUX DE
TENSION SUR LA MADA-
SIMULATIONS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION

Un des principaux inconvénients rencontrés lors de l'exploitation de l'énergie éolienne est la sensibilité des génératrices électriques aux perturbations du réseau. Ce constat est d'autant plus flagrant pour les machines à vitesse variable qui sont généralement des MADA. Ces défauts peuvent mener à la déconnexion de l'éolienne du réseau pour éviter la détérioration des équipements (cascade hyposynchrone notamment), ce qui présente un risque grave pour la stabilité du réseau, comme le montre l'incident de l'écroulement du réseau Italien [11]. C'est pourquoi il est important d'étudier l'influence de ces défauts sur les génératrices électriques.

Dans le présent chapitre, nous allons étudier les effets des creux de tension sur deux machines asynchrones à double alimentation de 3.5kW.

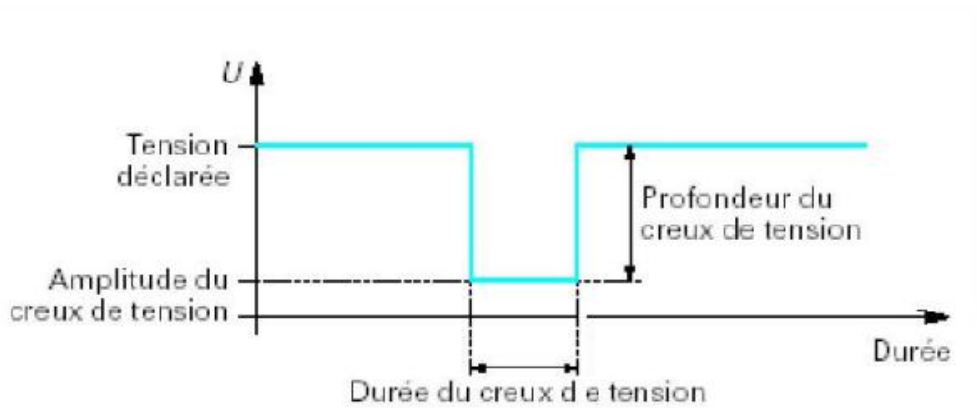
L'approche consiste à modéliser les deux machines sous Simulink et de les commander grâce à une commande vectorielle indirecte qui maintient P et Q à des valeurs constantes (à savoir P_n et 0 respectivement) avant de les soumettre à différents creux de tension pour voir l'évolution des grandeurs caractéristiques de la machine : Courants statoriques et rotoriques et couple.

La vitesse de rotation de la machine est considérée comme étant constante durant les simulations étant donné la très faible durée des creux (quelques centaines de millisecondes au maximum).

2.1 RAPPELS SUR LES CREUX DE TENSION

2.1.1 DEFINITIONS

Il s'agit d'une diminution brusque (10% à 90% de la tension nominale en général) de la tension du réseau à laquelle succède un retour à la tension nominale après une courte durée. Le schéma ci-dessous illustre la forme d'un creux de tension.



Variation de la valeur efficace de la tension

Fig.2.1 Forme et paramètres d'un creux de tension

L'amplitude du creux de tension ressentie par un élément est déterminée par sa distance avec le point de défaut. La durée du creux dépend du temps pendant lequel le défaut est maintenu : il est fonction de la rapidité de détection et de réaction des équipements de protection. En général, on considère les durées supérieures à 10ms pour l'étude.

La réglementation actuelle impose qu'une unité de production soit capable de supporter des creux de tension de 70% pendant 600ms et de 30% pendant 2.5s. C'est ces valeurs limites qui ont été considérées dans nos simulations de creux de longue durée [7].

2.1.2 CLASSIFICATION DES CREUX DE TENSION

Le tableau suivant présente les principaux types de creux de tension :

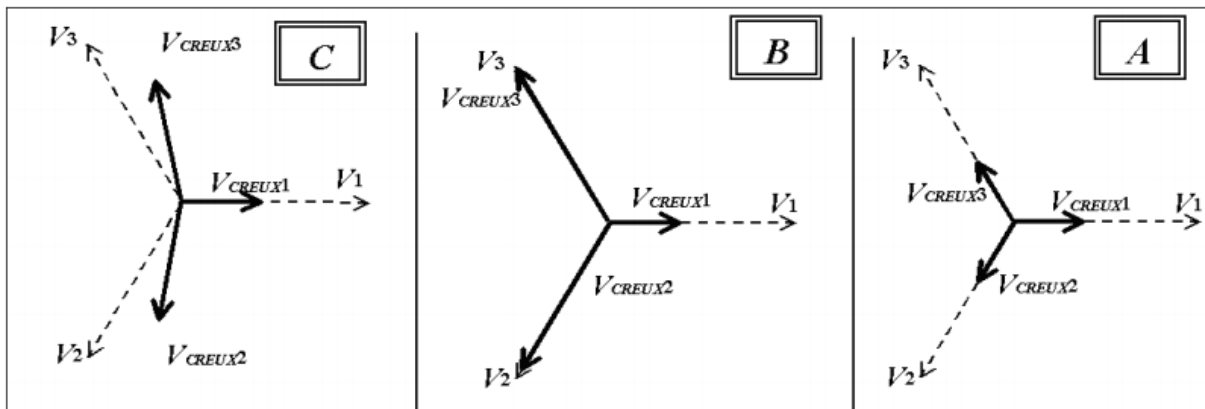


Tableau 2.1 Classification des principaux creux de tension

- **Classe A** : Creux triphasé équilibré
- **Classe B** : Creux monophasé
- **Classe C** : Creux biphasé avec saut de phase

Notre étude va porter sur les creux de classe A qui sont les plus fréquents et qui ont les plus fortes répercussions sur la machine.

2.2 MODELE SIMULINK

Dans cette partie, on présentera le schéma bloc du modèle de la MADA connectée au réseau en génératrice, de sa commande et des mesures qui sont associées au système.

Les courants générés en pratique par des creux de tension étant très importants, ils sont atténués grâce à un système de protection appelé CROWBAR qui évacue le surplus de courant dans une résistance spécialement dimensionnée et ainsi protéger les convertisseurs. On ne modélise cependant pas ce système pour visualiser l'influence réelle des creux de tension sur la machine.

2.2.1 MODELE DU SYSTEME

Le modèle de la machine a été fait sur trois niveaux qu'on montre et décrit ici :

2.2.1.1 MODELE DE LA MACHINE

C'est dans cette partie que la machine est modélisée. On utilise les expressions des équations linéaires de la machine suivant Park pour obtenir les courants statoriques et rotoriques.

Les paramètres de la machine (Résistances et inductances) sont insérés sous forme de matrices.

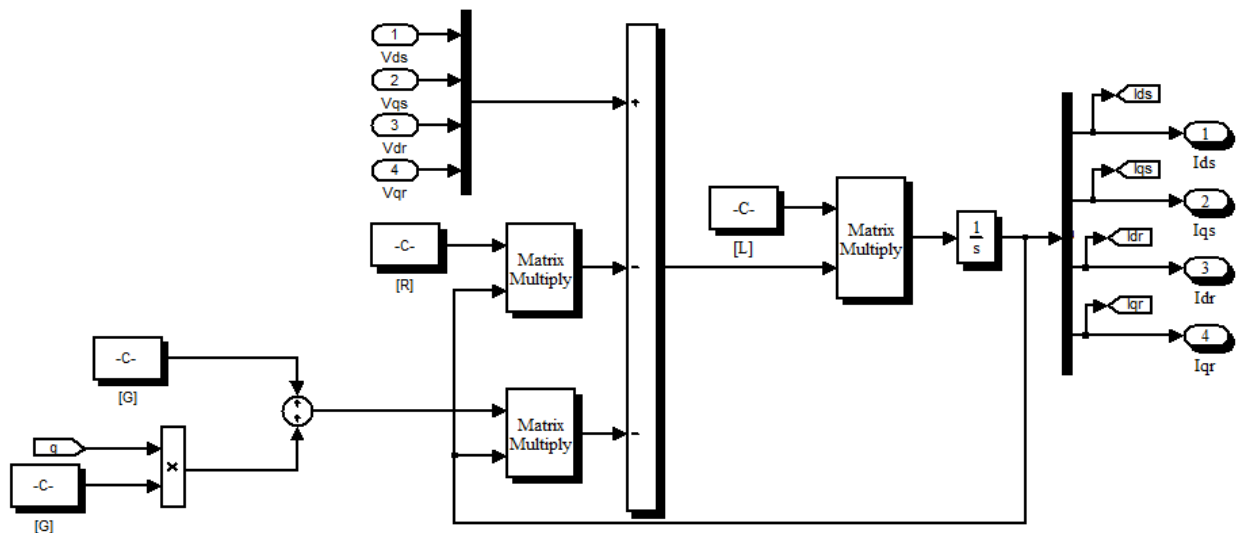


Fig.2.2 Modèle Simulink de la machine asynchrone à double alimentation

2.2.1.2 COMMANDE DE LA MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION

Dans cette partie, on voit la machine de l'extérieur avec en entrée ses tensions statoriques et rotoriques et un accès aux courants statoriques et rotoriques.

On montre ensuite le détail pour les blocs de commande indirecte, l'onduleur à MLI et l'estimateur de flux.

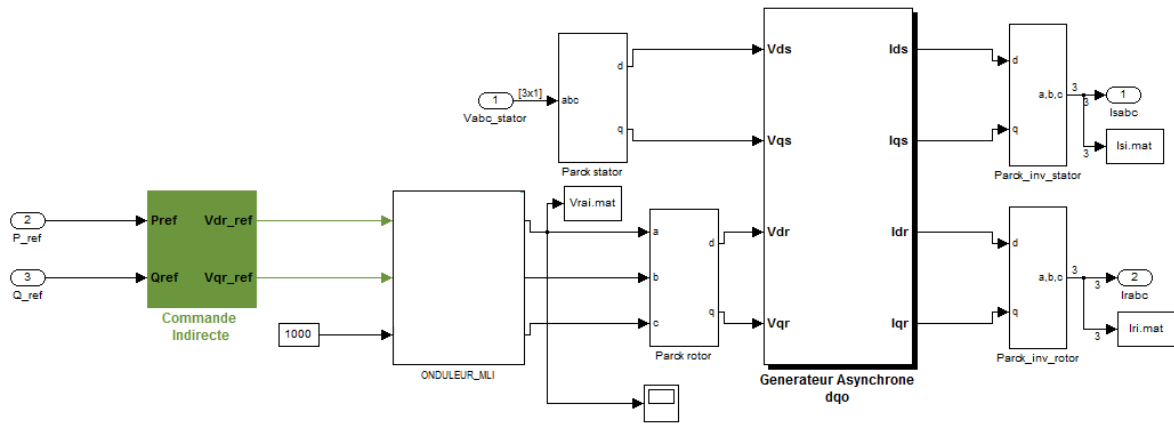


Fig.2.3 Modèle Simulink de la machine avec sa commande

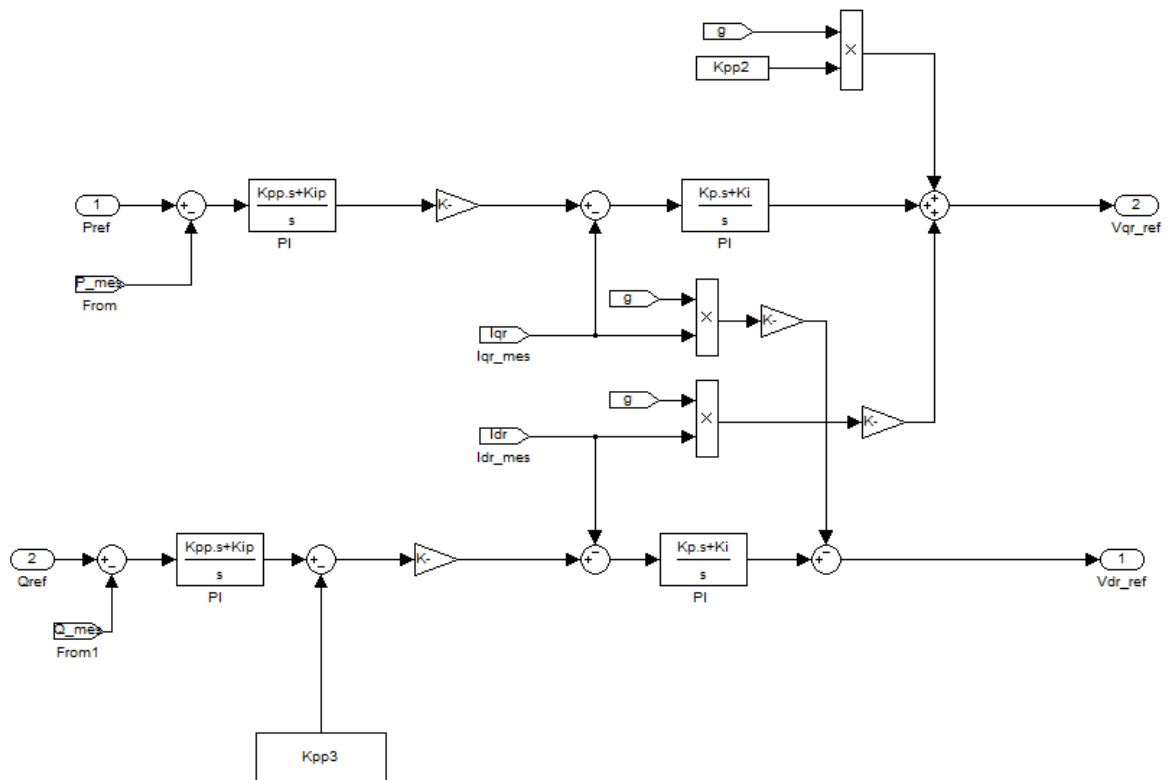


Fig.2.4 Modèle Simulink de la commande indirecte de la MADA

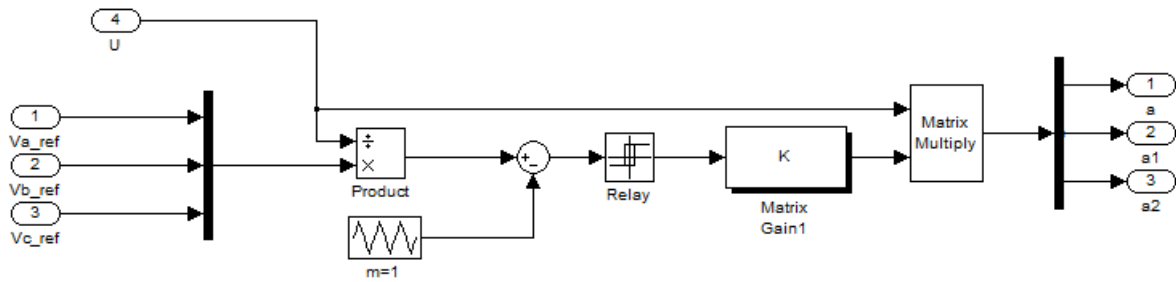


Fig.3.5Modèle SIMULINK de l'onduleur à MLI

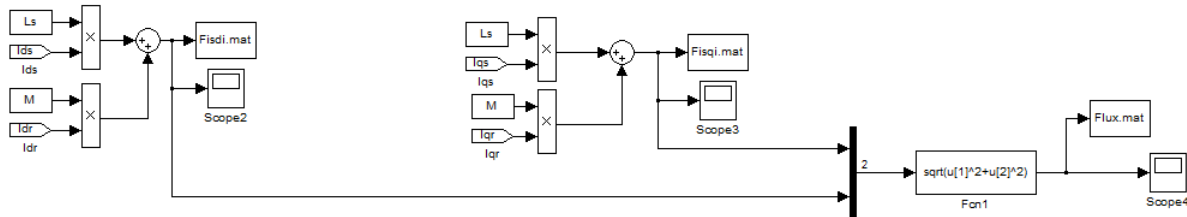


Fig.2.6Modèle SIMULINK de l'estimateur de flux

2.2.1.3 VARIATION DES PARAMETRES, GENERATEUR DE CREUX ET MESURES

Ce bloc permet d'agir directement sur les données principales qui influencent le fonctionnement de la machine qui sont le réseau, le creux de tension, les puissances active et réactive de référence et la vitesse d'entraînement.

Ce bloc nous donne accès aux courants statoriques et rotoriques, à la tension statorique et aux puissances statoriques et rotoriques.

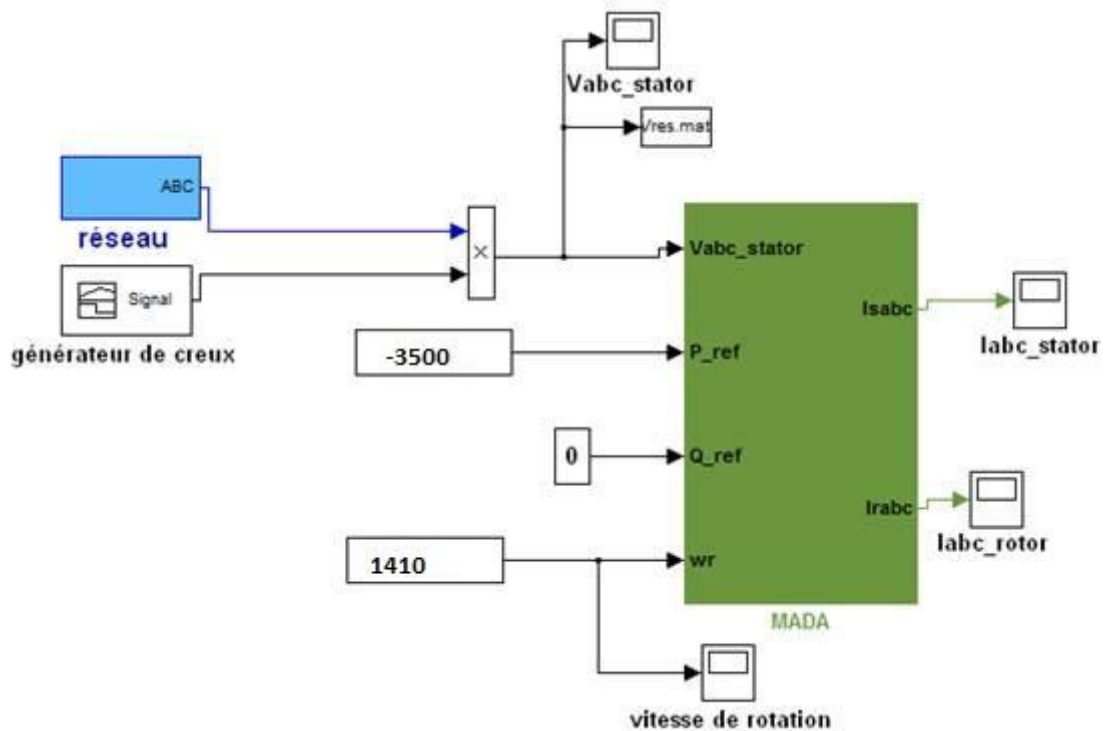


Fig.2.7Vue externe du modèle de la MADA avec ses entrées

Le bloc de mesure quant à lui nous permet de visualiser les puissances actives et réactives de la machine qu'il calcule en partant des courants et tensions directs et en quadrature.

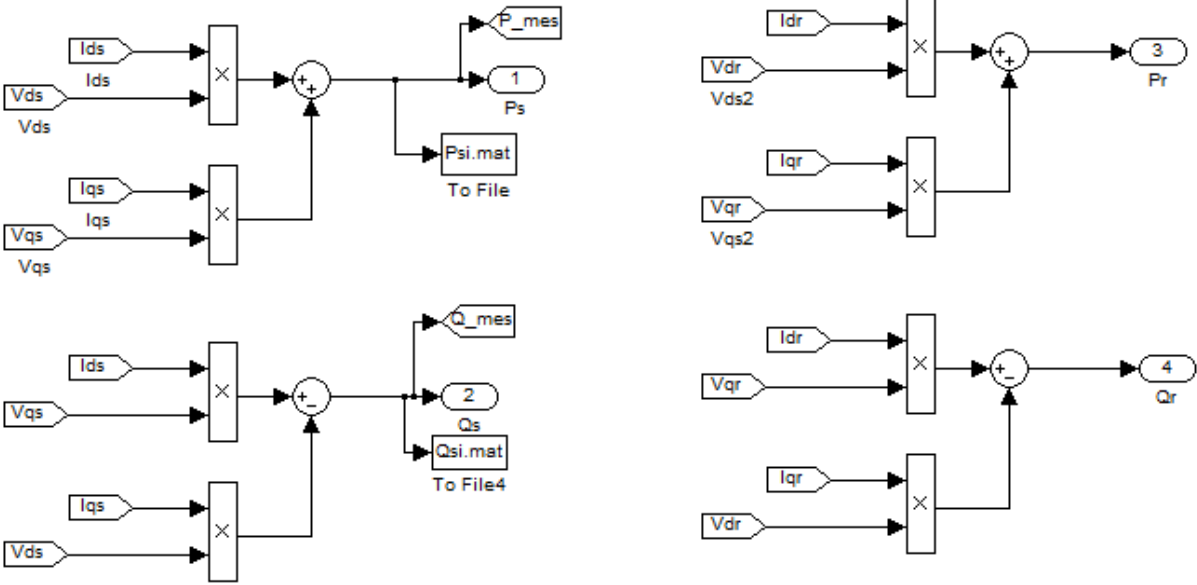


Fig.2.8 Représentation du bloc de mesures

2.3 SIMULATIONS POUR DES CREUX DE COURTE DUREE

2.3.1 SIMULATIONS POUR UN CREUX DE 30% D'UNE DUREE DE 10ms

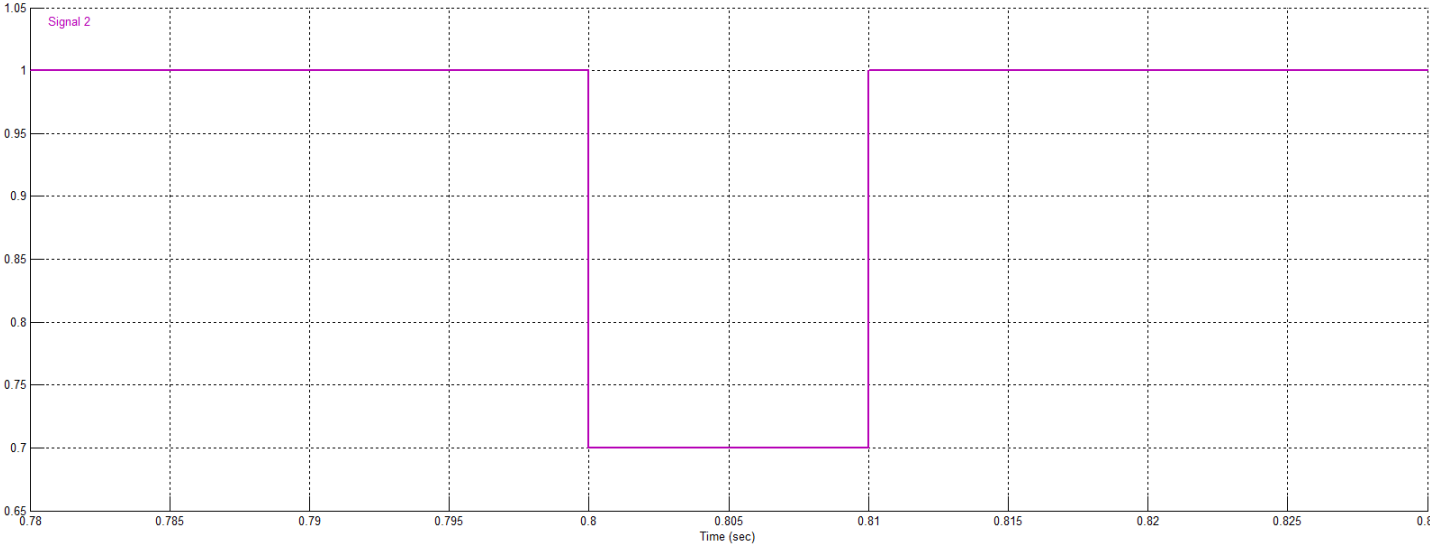


Fig.2.9 Creux de 30% -10ms appliqué à la machine

- **Courants statoriques**

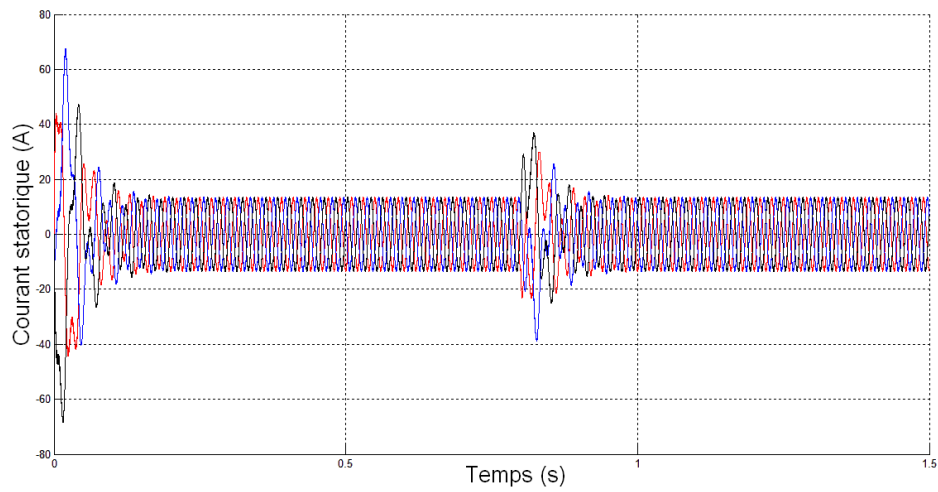


Fig.2.10 Courant statorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30%

- **Courants rotoriques**

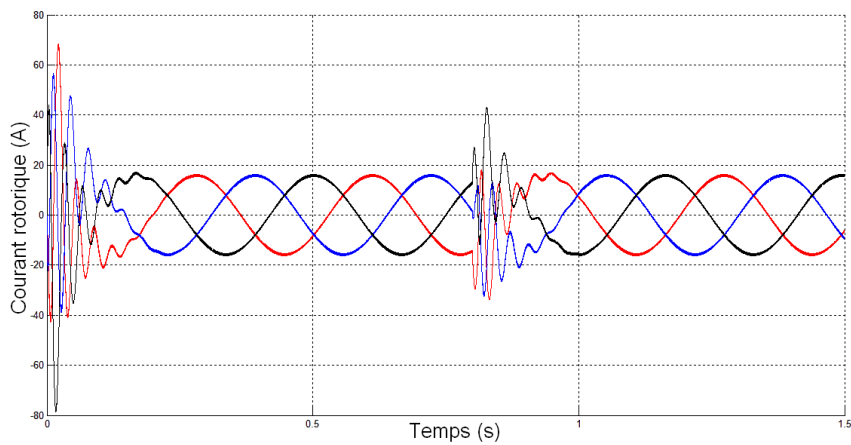


Fig.2.11 Courant rotorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30%

- **Couples**

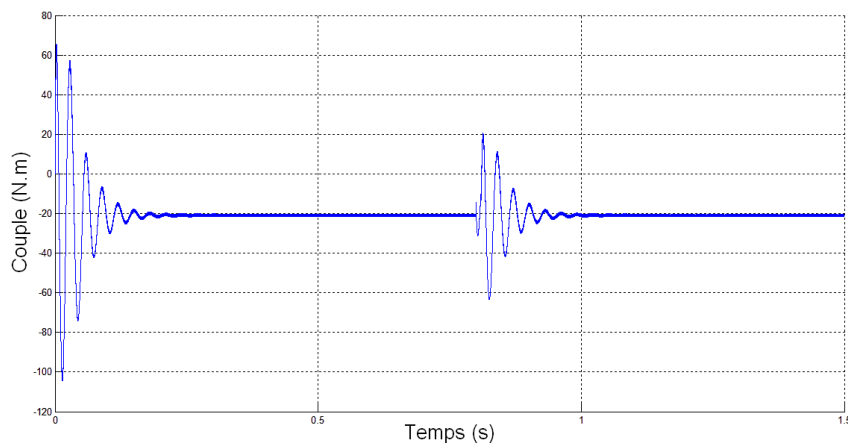


Fig.2.12 Couple de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30%

Après application d'un creux de tension de 30% de la tension nominale et une durée de 10ms on constate :

- L'apparition de pics de courants importants au niveau des stators de la machine qui atteint 2 fois le courant statorique nominal pour la machine.
- Des fluctuations tout aussi importantes en ce qui concerne le courant rotorique de la machine.
- Des variations importantes pour le couple

Pour une meilleure appréciation des phénomènes nous allons effectuer des simulations pour un creux de tension d'une profondeur de 80% de la tension nominale.

2.3.2 SIMULATIONS POUR UN CREUX DE 80% D'UNE DUREE DE 10ms

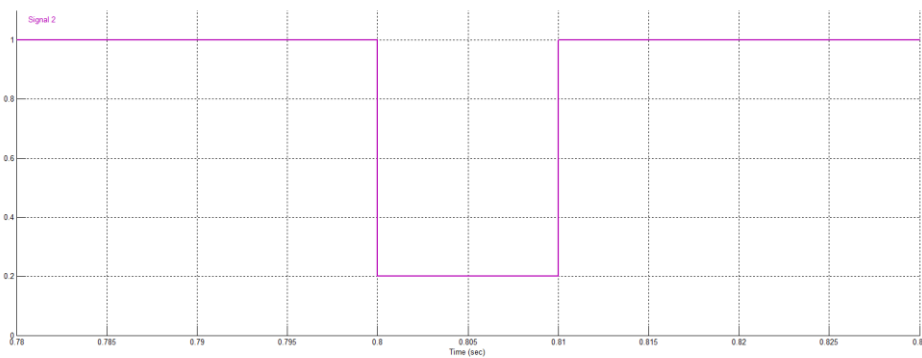


Fig.2.13 Creux de 80% appliqué à la machine

- **Courants statoriques**

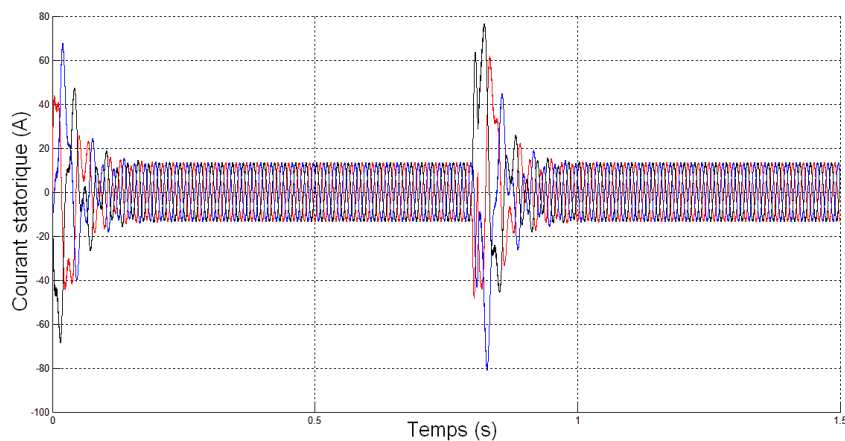


Fig.2.14 Courant statorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 80%

- **Courants rotoriques**

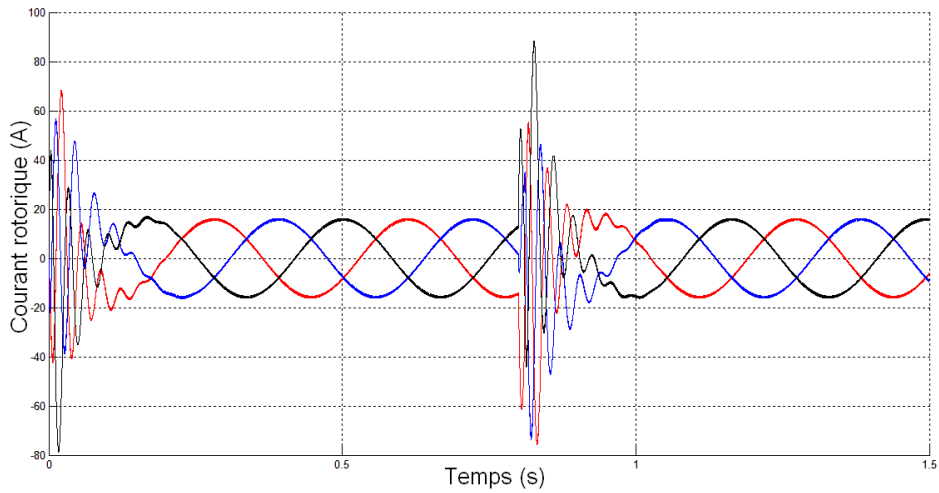


Fig.2.15 Courant rotorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 80%

- **Couple**

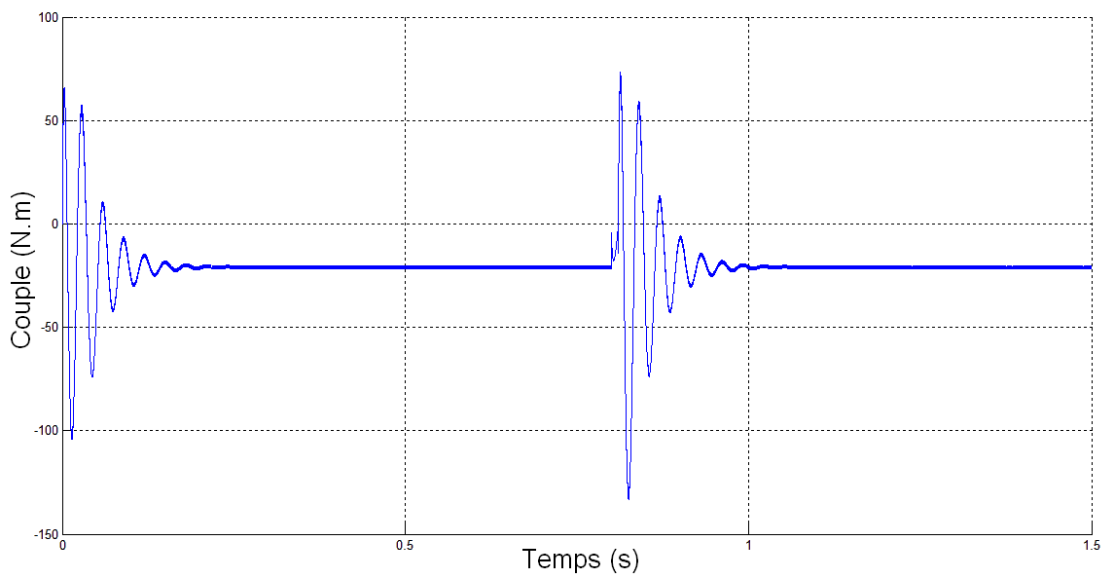


Fig.2.16 Couple de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 80%

Après application d'un creux de tension de 80% et une durée de 10ms, on constate un comportement global semblable à celui obtenu après application d'un creux de tension de 30% avec des pics beaucoup plus importants en amplitude.

Pour une meilleure analyse de l'effet de l'intensité des creux de tension nous allons superposer les résultats de simulations obtenus après application de plusieurs creux.

2.3.3 SUPERPOSITION DES CREUX DE TENSION

Dans cette partie, nous superposons les courants statoriques, rotoriques et couple de la machine pour différents creux de tensions appliqués. Pour mieux observer l'influence de la profondeur des creux et de leur durée, nous commencerons par appliquer des creux de durée constante mais de profondeurs variables avant de fixer la profondeur des creux pour faire varier leurs durées.

2.3.3.1 SIMULATIONS POUR DES CREUX DE PROFONDEUR VARIABLE

Les creux de tension ont tous été appliqués à l'instant $t=0.8s$, pour une même durée d'application de 20ms et des amplitudes de 10%,30%,50%,80%,100%.

- **Courants statoriques**

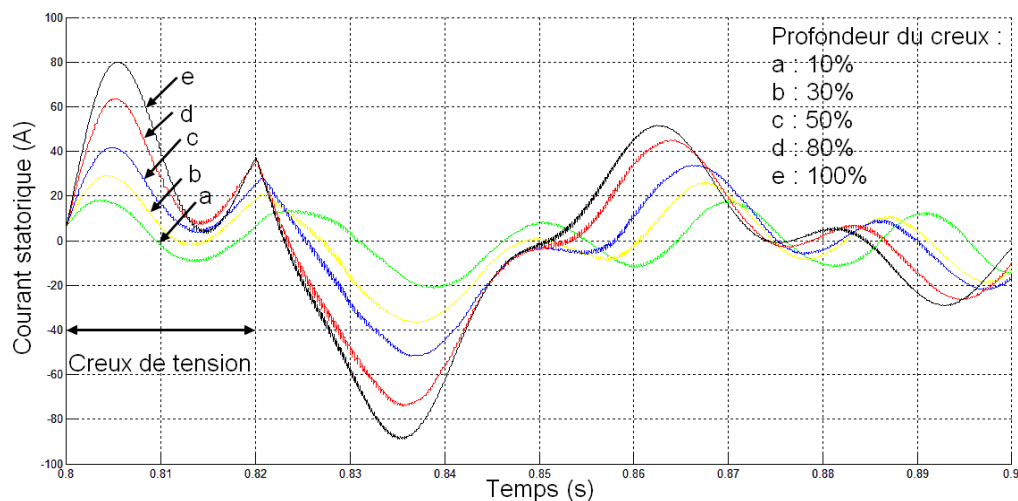


Fig.2.17 Représentation du courant statorique pour des creux de tension allant de 10% à 100% pour la machine de 3.5kW

Observations :

- Il y a apparition de deux pics, le premier juste après 0.8s (instant d'application du creux, 1^{er} régime transitoire) et le second juste après 0.82s (instant de disparition du défaut, 2nd régime transitoire)
- Les pics les plus importants sont ceux qui se produisent lors du rétablissement de la tension nominale pour la machine de 3.5kW.
- Une discontinuité dans l'évolution des courants apparaît à 0.82 seconde et amorce le second pic du 2nd régime transitoire
- Les signaux représentant la même phase, ils se confondent après la disparition du 2nd régime nominal
- Nous constatons que plus l'intensité des creux de tension augmente plus l'amplitude des pics de courant augmente.

- **Courants rotoriques**

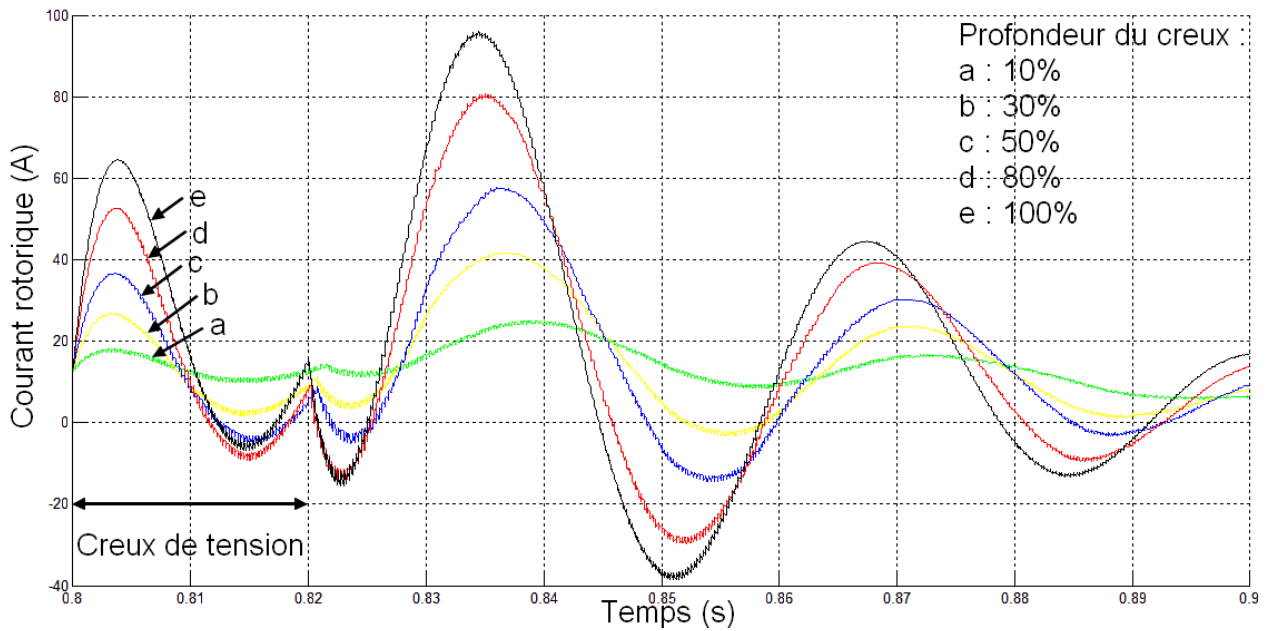


Fig.2.18 Représentation du courant rotoriques pour des creux de tension allant de 10% à 100% pour la machine de 3.5kW

Observations

- Les pics les plus importants se produisent lors du rétablissement de la tension
- Le comportement des courants rotoriques est identique à celui observé dans les courants statoriques
- Les pics de courants atteignent 6 fois le courant nominal.

- **Couple**

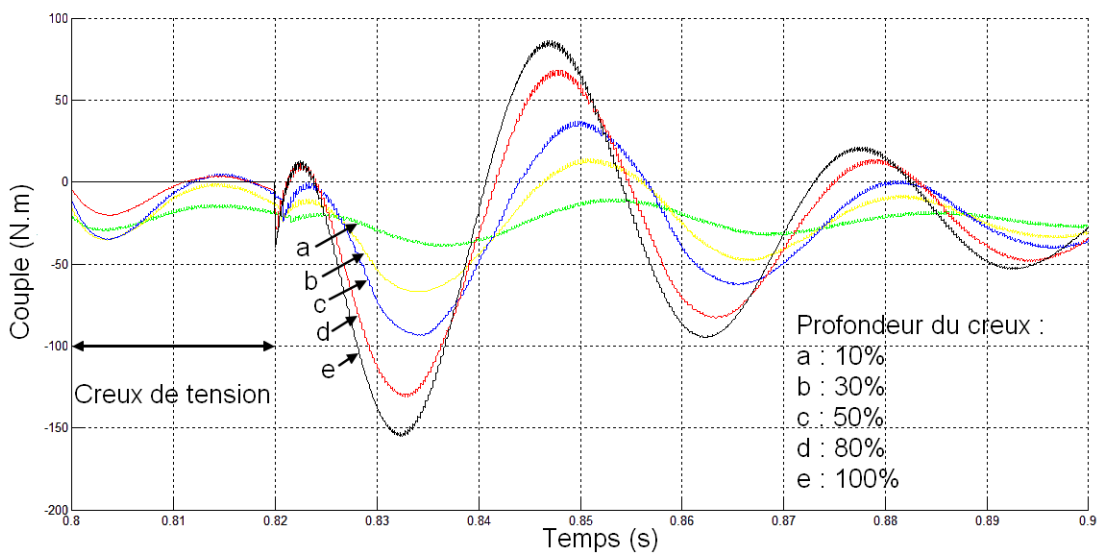


Fig.2.19 Représentation du couple pour des creux de tension allant de 10% à 100% pour la machine de 3.5kW

Observations

- Le couple s'annule pour un creux de tension de 100 % (coupure), cela jusqu'à la disparition du creux pour les deux machines.
- On observe de forts couples transitoires dans la machine à 3.5kW.

2.3.3.2 SIMULATIONS POUR DES CREUX DE DUREES VARIABLES

Le but de cette partie est l'étude de l'influence de la durée des creux. On a donc appliqué des creux de durées variables et d'une profondeur de 70% à la machine de 3.5 kW sur une même phase du stator, puis du rotor. Tous les creux commencent au début d'une période du courant statorique pour se terminer 5, 10, 15, 20 ou 25 ms plus tard. On pourra ainsi observer l'influence de la « position » de la phase au moment du rétablissement de la tension sur le pic de courant engendré.

En effet, il a été établi dans la partie précédente que les pics de courant les plus importants sont ceux qui se produisent lors de la disparition du creux. C'est pour cela que nous allons étudier l'influence du moment pendant lequel cette disparition se produit.

Ci-dessous, un schéma illustrant les creux de tension appliqués sur la phase considérée suivi des courants et des couples.

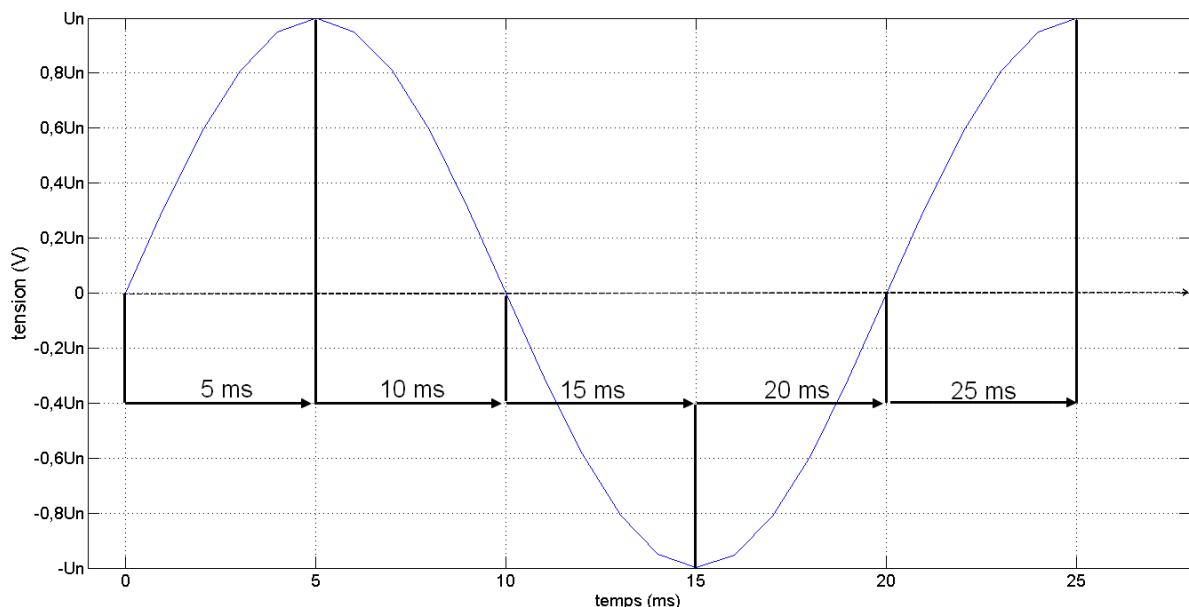


Fig.2.20 Représentation de la phase statorique et intervalles de temps durant lesquels les creux lui sont appliqués

• **Courant statoriques**

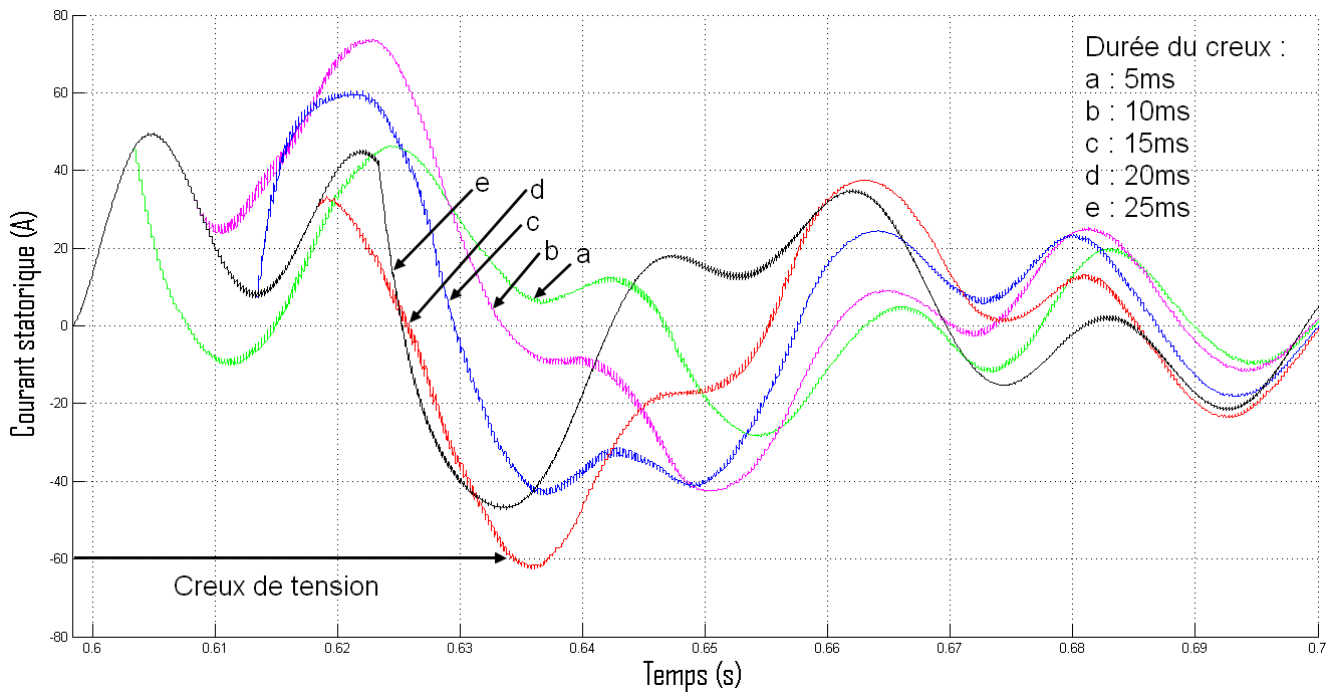


Fig.2.21 Représentation du courant statorique pour des creux d’une profondeur de 70% et des durées variables – machine de 3.5kW

• **Courants rotoriques**

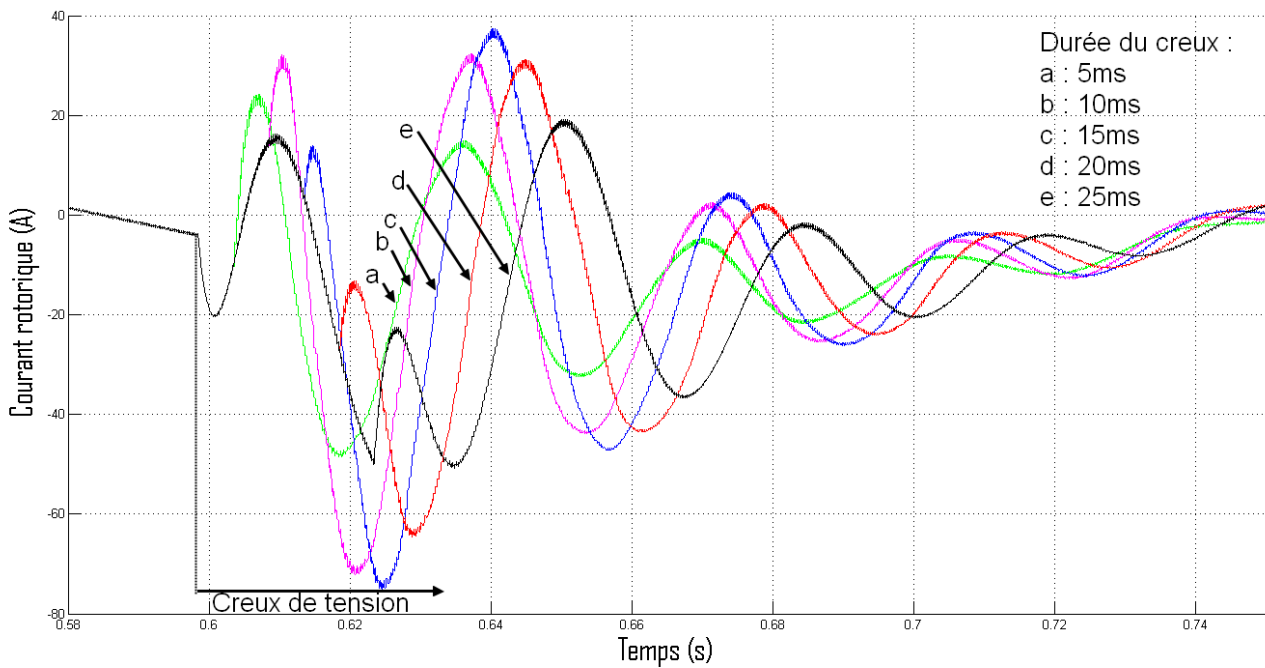


Fig.2.22 Représentation du courant rotorique pour des creux d’une profondeur de 70% et des durées variables – machine de 3.5kW

- **Couples**

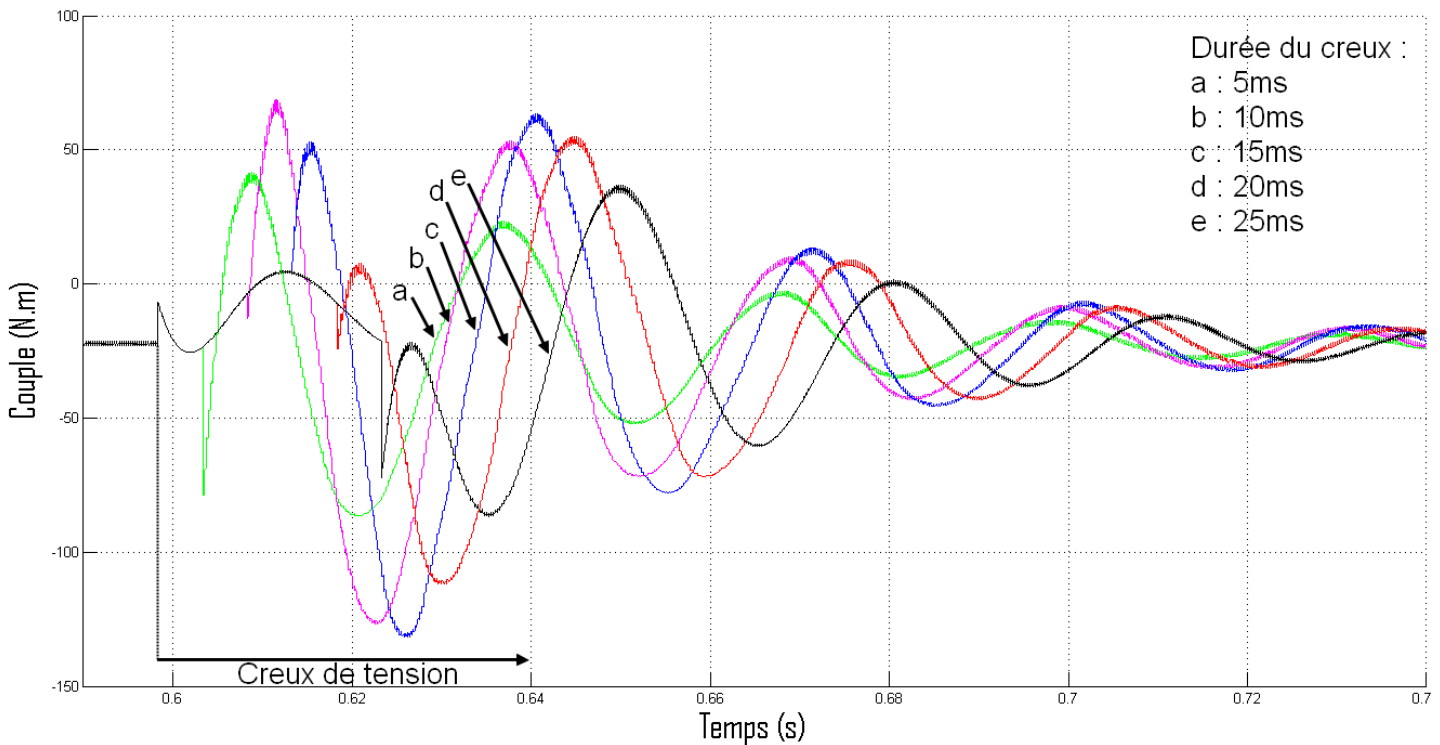


Fig.2.23 Représentation du couple pour des creux d'une profondeur de 70% et des durées variables – machine de 3.5kW

Observations et interprétations :

- Lorsque le creux de tension apparait, tous les courants et les couple sont confondus. Cela est normal car pendant les premières 5ms, toutes les machines sont soumises à la même tension.
- A $t_1=5ms$ après l'apparition du creux, un premier pic de courant se produit. Il est dû au rétablissement de la tension pour le creux de 5ms.
- Le même phénomène est successivement observé pour tous les creux.
- Les simulations montrent que le moment où la tension revient au nominal influe sur la forme du régime transitoire des courants statoriques et rotoriques.
- Ces simulations, effectuées sur une phase, expliquent pourquoi les pics de courant qui se produisent sur trois phases de la machine au même moment ne sont pas identiques. Le déphasage explique ce phénomène.

2.3.4 SYNTHÈSE

Pour une vue généralisée les courbes ci-dessous montrent respectivement les courbes en 3D des maximums des courants statoriques, rotoriques et couples des machines de 3.5kw et 300kw obtenues après simulations de leurs comportements vis-à-vis de creux de tension allant de 0 à 100% et pour des durées d'application allant de 0 à 2T (de 0 à 40 ms).

- **Représentation 3D des courants statoriques**

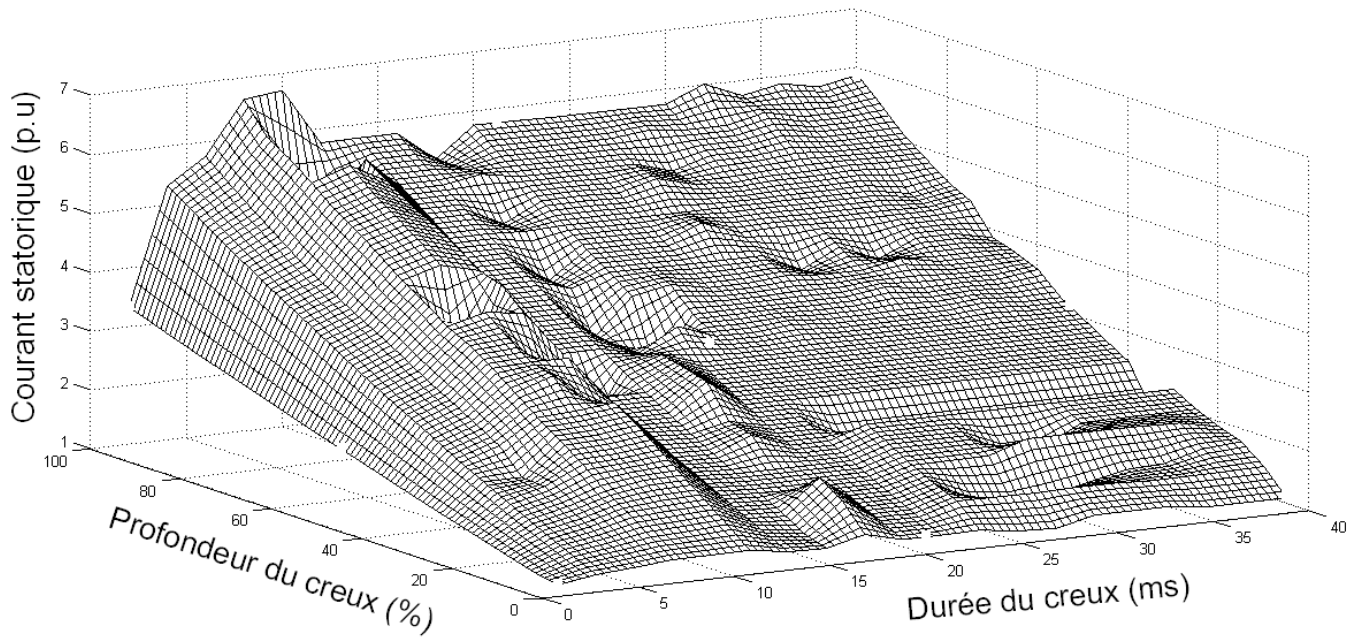


Fig.2.24 Courant statorique de la machine de 3.5kW

- **Représentation 3D des courants rotoriques**

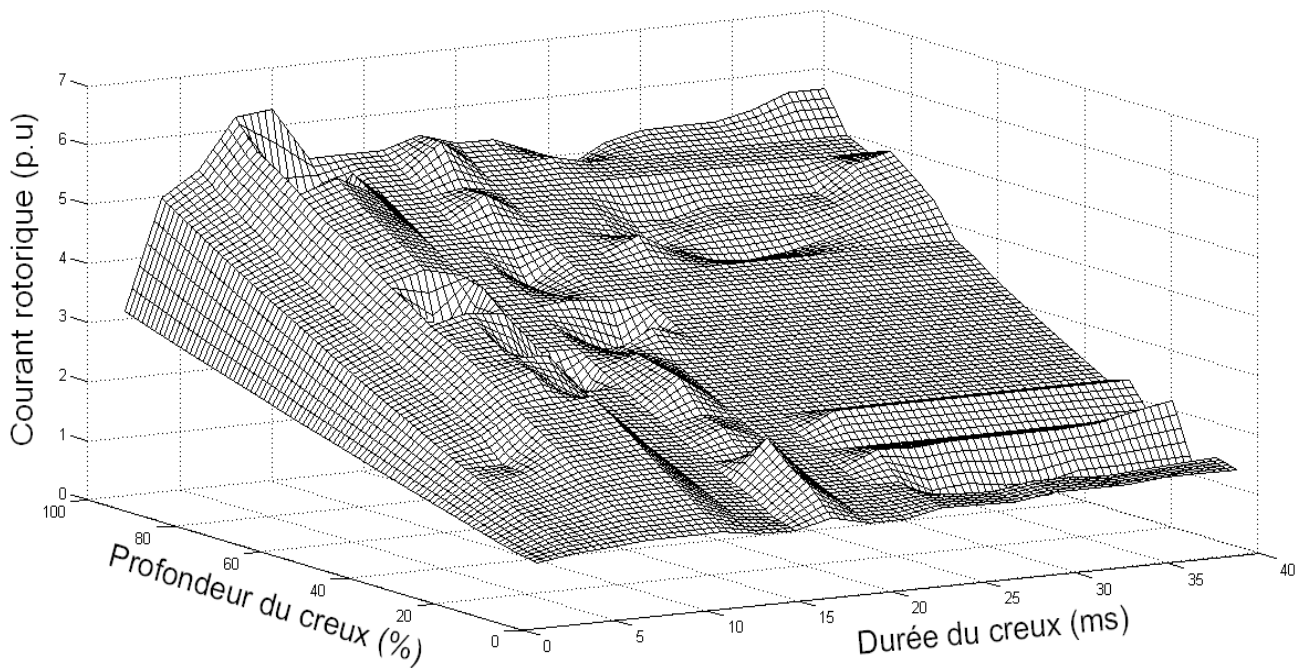


Fig.2.25 Courant rotorique de la machine de 3.5kW

- **Représentation 3D du couple**

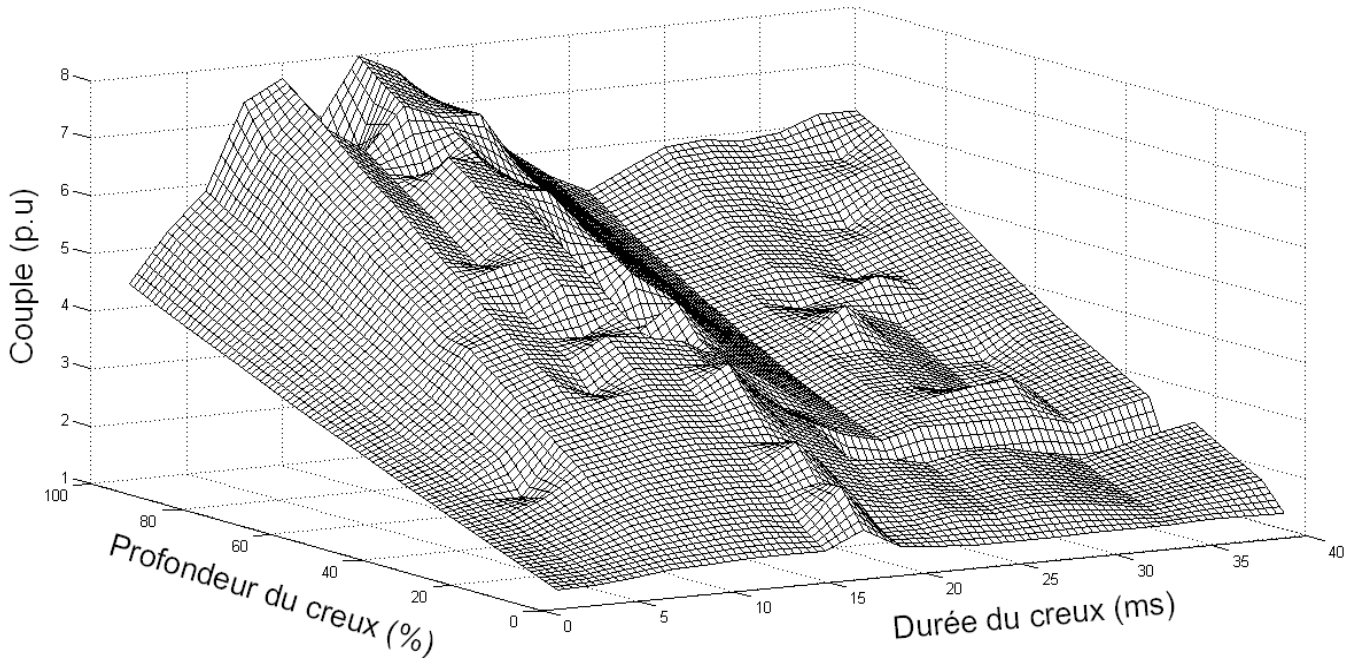


Fig.2.26 Couple de la machine de 3.5kW

Observations

- Les pics pour toutes les grandeurs étudiées sont plus importants quand le creux est plus profond pour les deux machines. Elles réagissent qualitativement de la même manière aux creux de tension.
- Les courants statoriques et rotoriques atteignent des valeurs très importantes qui peuvent endommager les enroulements : Jusqu'à 7 fois les courants nominaux pour la machine de 3.5kW.
- On remarque aussi de fortes fluctuations pour le couple de la machine qui peut atteindre 8 fois le couple nominal pour les creux le plus violent.
- Enfin, les pics de courant restent trop importants et ne permettent pas de la laisser connectée au réseau lorsqu'un creux de tension survient. Elle engendrerait en effet une détérioration des convertisseurs de la cascade hyposynchrone et elle se détruirait elle-même si jamais ces creux venaient à durer.

Interprétations

Lorsqu'un creux de tension se produit, la baisse de tension est très brusque (durée estimée à 1ms). Le flux statorique est le premier touché par cette avarie, étant directement lié à la tension du réseau. Cependant, le flux étant une variable d'état, il ne

peut pas passer brusquement d'une valeur à une autre, il y a donc création d'un autre flux, au rotor, qui va compenser cette baisse jusqu'à ce qu'il y ait stabilisation [12].

Intéressons-nous au creux de tension vu du rotor de la machine.

L'expression générale de la machine nous indique que la tension rotorique varie lorsqu'il y a passage de courant, on a donc l'expression suivante de la tension rotorique qui nous permettra d'établir un schéma équivalent :

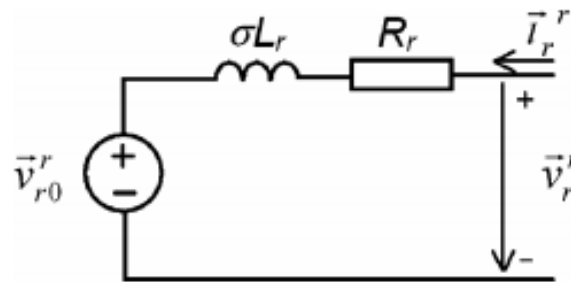


Fig.2.27 Schéma équivalent au rotor de la MADA durant un creux de tension

D'où l'expression :

$$V_r = V_{r0} + (R_r + j * \omega * \sigma * L_r) I_r \quad (2.1)$$

L'apparition d'un creux de tension au stator à $t=t_0$ est perçue par le rotor de la manière suivante :

$$V_s = \begin{cases} V_s e^{j\omega_s t} = V_1 e^{j\omega_s t} & \text{pour } t < t_0 \\ V_2 e^{j\omega_s t} & \text{pour } t > t_0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Pour passer du 1^{er} flux, pré-creux au 2^{ème}, post-creux, la machine crée un flux qui s'atténue ensuite. C'est ce flux qui crée les fortes tensions (et donc courants) transitoires de la machine [28].

Les expressions de ces flux sont les suivantes :

$$\Phi = \begin{cases} \Phi_1 = \frac{V_1}{j\omega_s} e^{j\omega_s t} & \text{pour } t < t_0 \\ \Phi_1 = \frac{V_2}{j\omega_s} e^{j\omega_s t} & \text{pour } t > t_0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Ci-dessous les courbes représentatives du flux pour deux creux de tension auxquels est soumise la machine de 3.5kW.

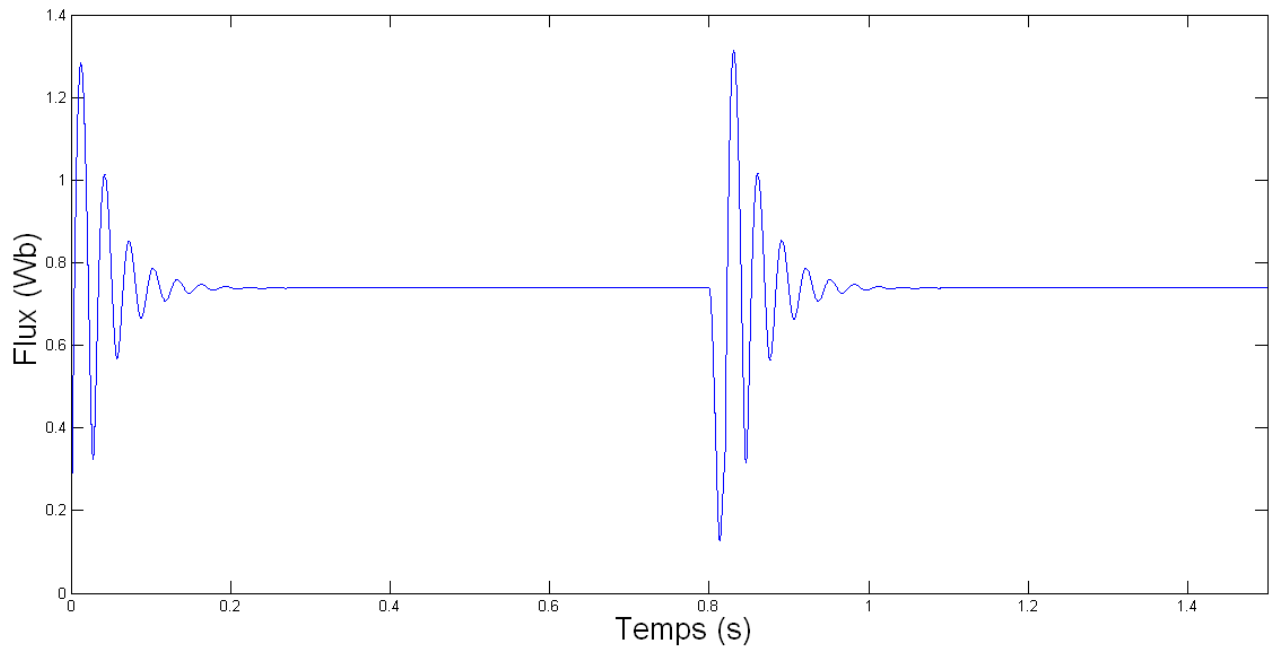


Fig.2.28 Flux de la machine de 3.5kW soumise à un creux de tension d'une profondeur de 80% et d'une durée de 20ms

1

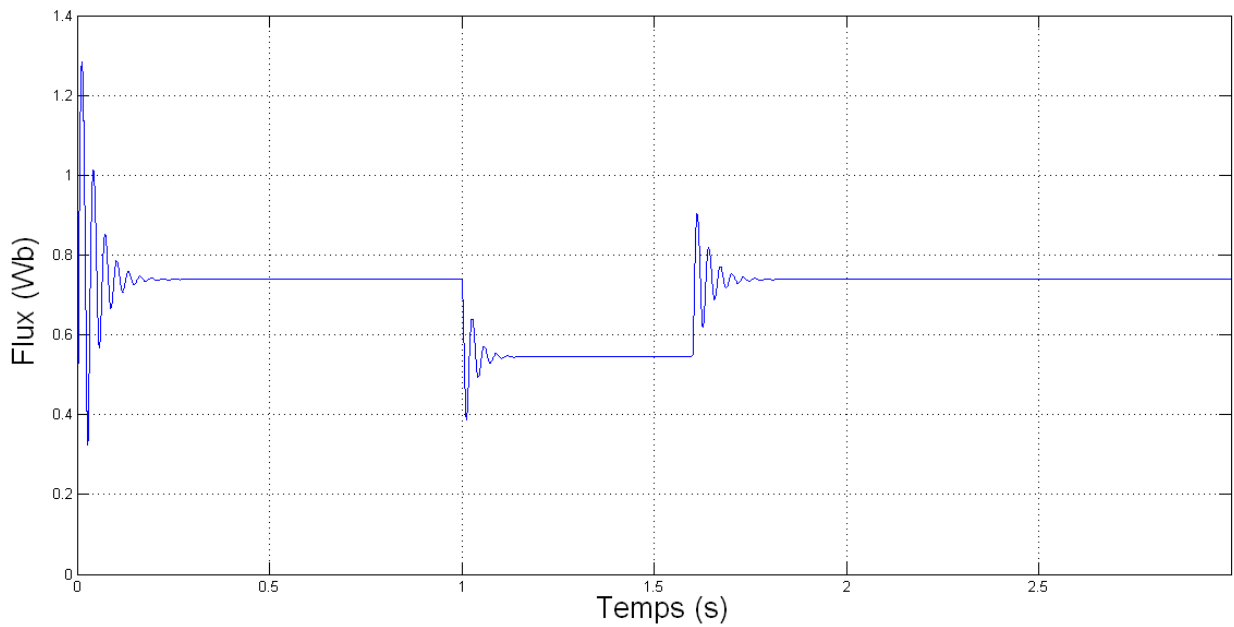


Fig.2.29 Flux de la machine de 3.5kW soumise à un creux de tension d'une profondeur de 30% et d'une durée de 600ms

Ces deux courbes nous montrent une variation très brusque du flux de la machine, le premier pic se déroulant dans un intervalle de temps de l'ordre de la milliseconde.

Les tensions induites dans les enroulements statoriques et rotoriques sont alors très importantes ($e = -d\Phi/dt$) et c'est cela qui provoque les pics de courant et de couple observés dans la machine.

Lorsque les creux sont longs, la commande impose une nouvelle valeur du flux pour maintenir P et Q aux valeurs consignes. Cela se voit clairement dans la **Fig.2.44** qui représente le flux pour un creux long. Un autre point de fonctionnement est donc trouvé. Cet aspect sera examiné plus en détail dans ce qui suit.

2.4 SIMULATIONS POUR DES CREUX DE LONGUE DUREE

Dans le but de déterminer les points limites de stabilité pendant les creux, nous avons soumis les machines à des creux de tension de longues durées et d'intensité en amplitude variable. Les creux simulés sont ceux définis par les normes comme étant la limite que les machines doivent supporter.

2.4.1 SIMULATIONS POUR UN CREUX DE 30% ET UNE DUREE DE 2.5S

- **Courants statoriques**

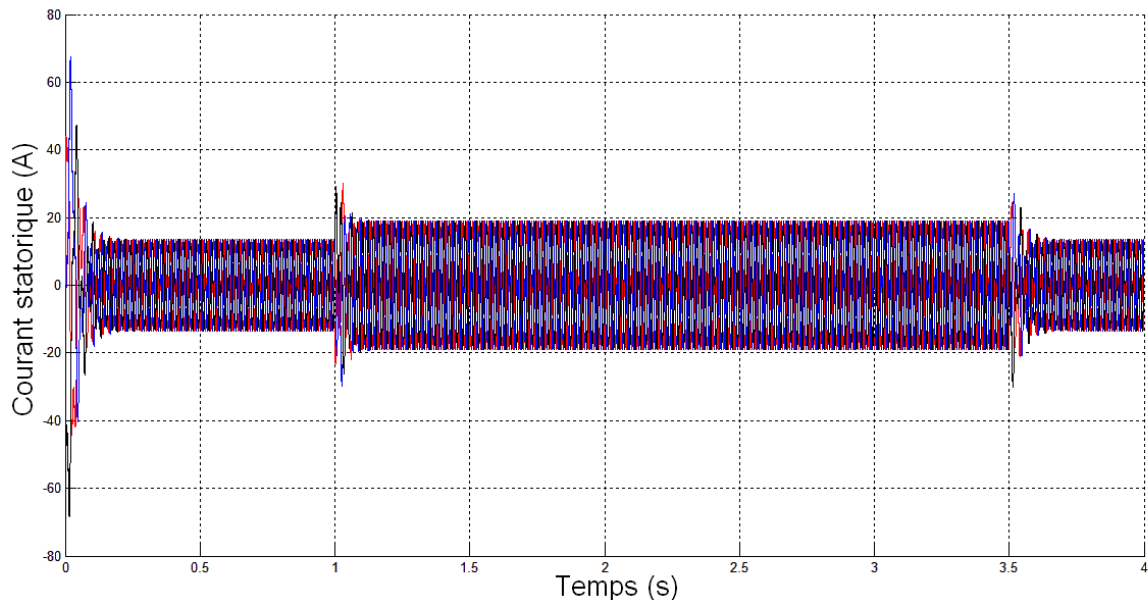


Fig.2.30 Courant statorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30% et une durée de 2.5 s

- **Courants rotoriques**

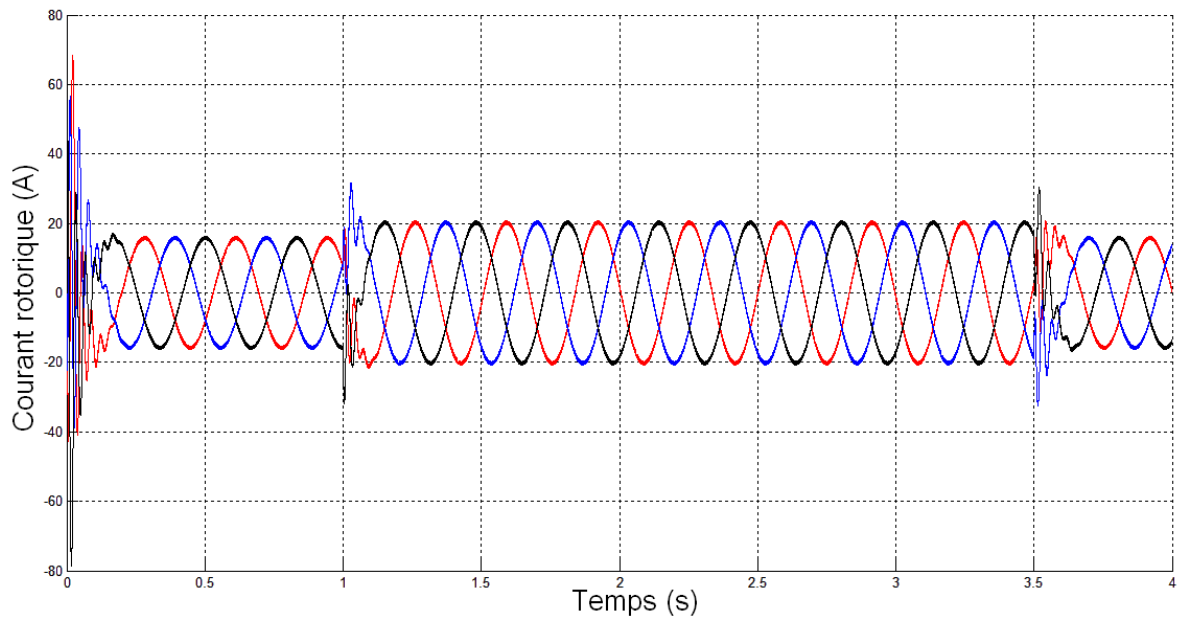


Fig.2.31 Courant rotorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30% et une durée de 2.5 s

- **Puissances**

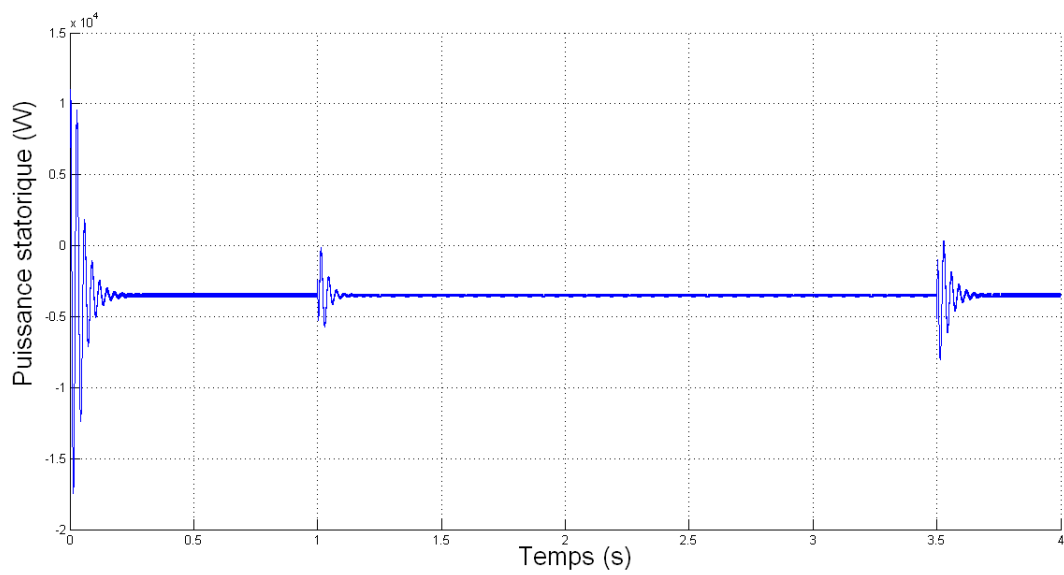


Fig.2.32 Puissance de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 30% et une durée de 2.5 s

Observations et interprétations

- Installation d'un régime permanent pendant toute la durée du creux.
- On observe deux régimes transitoire : lors de l'établissement et lors de la disparition du défaut.
- Le courant lors du « régime permanent de défaut » est plus important que le courant nominal pour que la machine puisse respecter la consigne de la commande en puissance.

2.4.2 SIMULATIONS POUR UN CREUX DE 70% ET UNE DUREE DE 600ms

- **Courants statoriques**

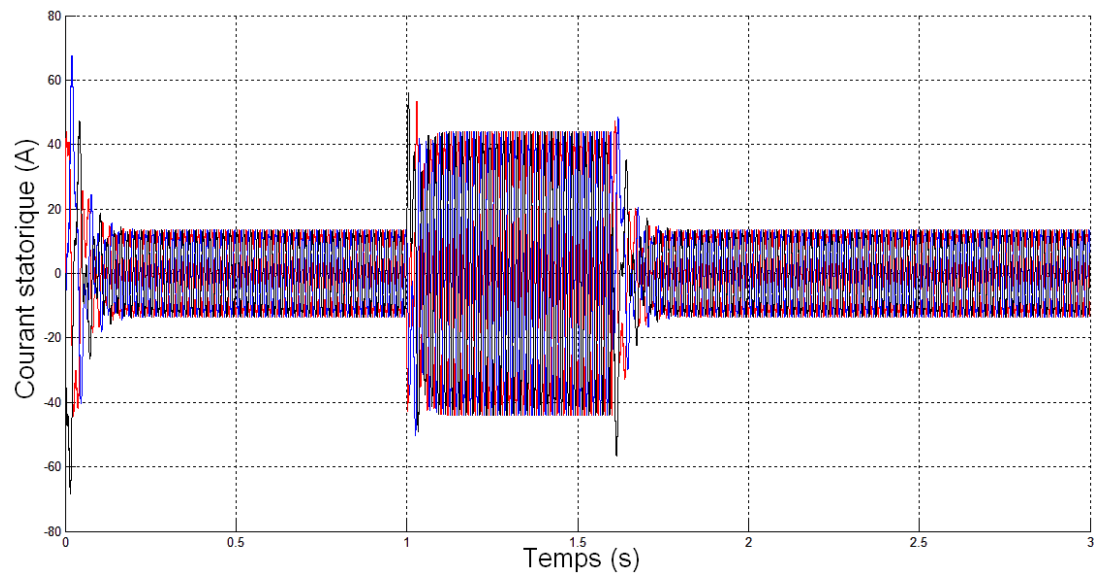


Fig.2.33 Courant statorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 70% et une durée de 600ms

- **Courants rotoriques**

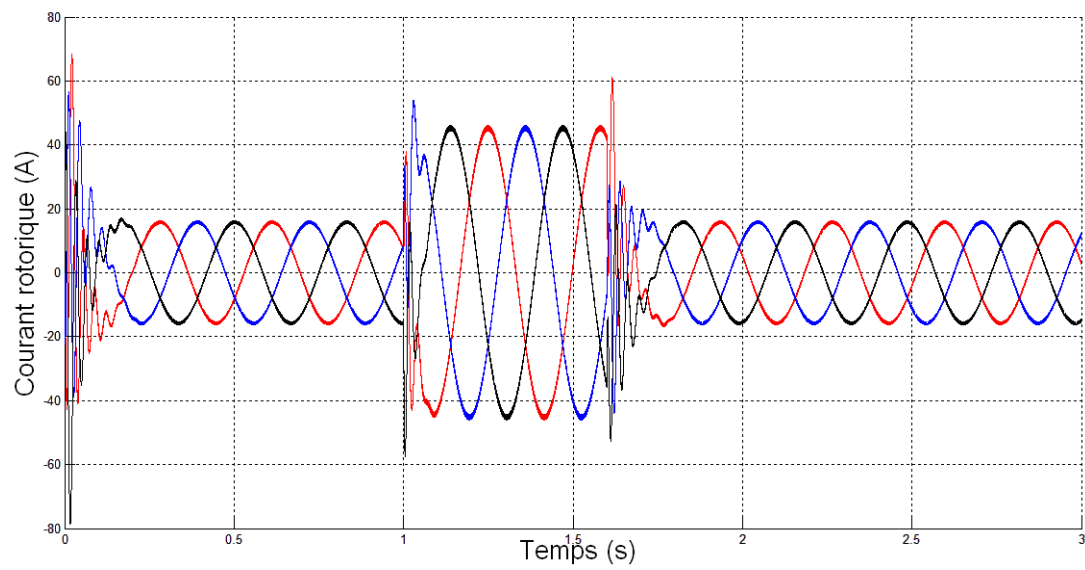


Fig.2.34 Courant rotorique de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 70% et une durée de 600ms

- **Puissances**

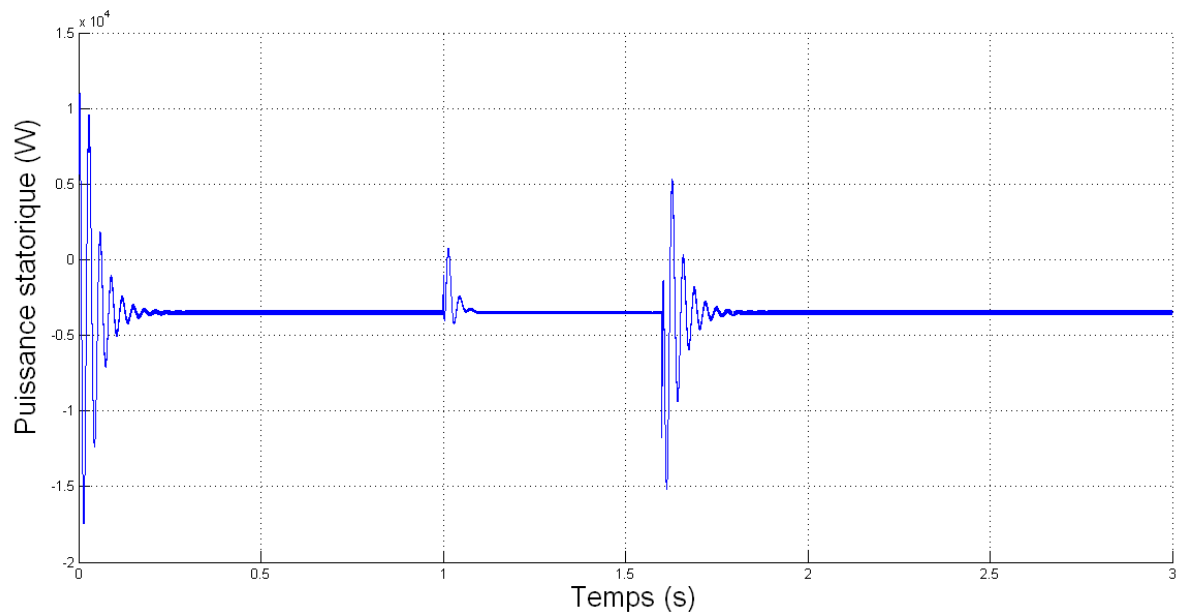


Fig.2.35 Puissance de la machine de 3.5kW pour un creux de tension de 70% et une durée de 600ms

Observations et interprétations

- Les phénomènes observés sont les mêmes que ceux de l'essai précédent à une différence près : Les pics de courant sont ici beaucoup plus importants. Cela est dû à la profondeur du creux comme nous l'avons mis en évidence plus haut.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons soumis la machine asynchrones à double alimentation à différents types de creux de tension pour comprendre leur effet.

Il apparait clairement que plus les creux sont profonds, plus les pics de courant engendrés ont une amplitude importante. Les courants transitoires dépendent aussi du moment d'apparition du creux et de rétablissement de la tension sur la phase. Nous avons aussi mis en évidence les régimes permanents lorsque la machine subit des creux de longue durée.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons rappelé les modèles de la machine en régime linéaire et avons simulé l'effet des creux de tension sur une machine de 3.5kW. Notre étude a montré que des régimes transitoires très importants apparaissent.

Nous avons dans un premier temps noté l'influence de deux paramètres que sont : la durée et la profondeur des creux.

Nous nous sommes par la suite intéressé à l'étude de ces deux paramètres et avons conclu que la profondeur avait une influence directe sur les pics de courants, tandis que l'influence de la durée dépend entre autres de l'instant d'application du creux, le moment où le creux apparait sur la phase étant déterminant pour la valeur du courant lors du régime transitoire induit par le creux.

Comme perspective, nous pensons que le développement de commandes adaptées à ce type de problème serait très intéressant.

ANNEXE

PARAMETRES DE LA MACHINE

La machine utilisée est une machine asynchrone à double alimentation à rotor bobiné de 3.5kW dont les paramètres sont les suivants :

Paramètres de la machine de 3.5kW :

Paramètre	Valeur numérique
Puissance nominale Pn	3.5kW
Tension nominale Vn	220/380 V
Résistance statorique Rs	0.76Ω
Résistance rotorique Rr	0.74Ω
Inductance statorique Ls	0.077H
Inductance rotorique Lr	0.077H
Inductance Magnétisante M	0.074H
Nombre de paires de pôles	2
Courant nominal statorique Isn	14A
Courant nominal rotorique Irn	9A
Vitesse nominale	1410 trs/mnt

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] www.transition-energetique.gouv.fr
- [2] « Key wordenergystatistics ». Agence internationale de l'énergie. 2009.
- [3] U.S. Energy Information Administration. International energy statistics–electricity.eia.doe.gov, 2010.
- [4] www.reuters.com
- [5] Frédéric POITIERS, Etude et Commande de Génératrices Asynchrones pour l'utilisation de l'énergie Eolienne, Machine asynchrone à cage autonome ; Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, 2003
- [6] G. Salloum : Contribution à la commande robuste de la machine asynchrone à double alimentation, thèse de doctorat institut polytechnique de Toulouse, 2007.
- [7] : F. MERRAHI. "Alimentation et commande d'une machine asynchrone à doublealimentation (application à l'énergie éolienne)", école nationale polytechnique,2007.
- [8] : R. KRISHNAN. "*Electric motor drives modeling, analysis and control*". Prentice Hall,2001.
- [9] O. Chee-Mun. "*Dynamic simulation of electric machinery using matlab/Simulink*". Printice hall, 1998.
- [10] A. Petersson, Analysis, modeling and control of doubly-fed induction generators for wind turbines, Chalmers Univ., Göteborg, Sweden, 2003.
- [11] A.Merlin « Les grandes pannes des réseaux électriques (Europe, USA) sont-elles dues à l'ouverture du marché de l'électricité ? » REE, N°03, Mars 2004, pp 78-85.
- [12] G. D. Marques, M. Sousa, "Understanding the Doubly Fed Induction Generator During Voltage Dips", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 27, NO. 2, JUNE 2012.