

3.1.Introduction

Le modèle multi spire (enroulement) représente la machine par des enroulements au stator et au rotor. Le nombre d'enroulements utilisé pour représenter le rotor est égal au nombre de barres de la cage. Au niveau du stator, il est représenté par trois enroulements. Le développement de ce modèle peut donner une vision plus claire sur les paramètres de la cage du moteur d'une façon générale et en particulier sur l'évolution des courants rotoriques en régime dynamique.

3. 2.modèle de la MAS en présence de défaillances

3.2.1.Structure de stator

Le circuit électrique statorique est constitué de trois enroulements identiques parallèles aux enroulements du rotor et distribués sinusoidalement, décalés de 120 degrés l'un par rapport à l'autre

3.2.2.Structure du rotor

L'effet de la symétrie du rotor est commode pour le modèle de la cage avec n circuits magnétiques couplés, Un avantage particulier de cette approche est qu'il applicable aux rotors avec un nombre non entier des barres par pôle.

La cage de la machine se compose de N_r encoches rotoriques qui peuvent être soit ouvertes soit fermées sur l'entre fer. La cage rotoriques peut se décomposer en (N_r+1) circuit électrique rotoriques adjacentes ainsi que les segments d'anneau de court circuit les reliant, nous obtenons une boucle rotoriques fermée qui peut être étudiée sous forme de circuit électrique. Un des anneaux de court-circuit crée par conséquent une boucle supplémentaire ce qui port le nombre de boucle totale à (N_r+1) . Nous associons à chacune de ces boucles un courant, ce qui nous amène à calculer (N_r+1) courants rotoriques. Chaque barre rotoriques est

Electrotechnique M'SILA 2006..... **46**

modélisée par une inductance en série avec une résistance, tout comme chaque segment d'anneau de court-circuit.

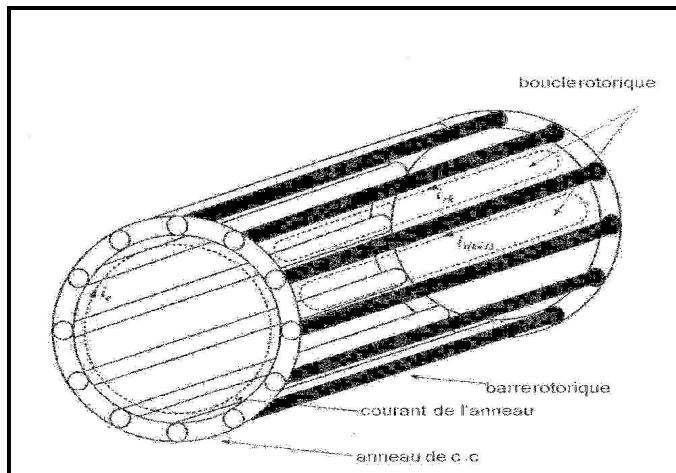


Figure (3.1) : rotor à cage.

Le schéma électrique équivalent est represente dans le schema ci-dessous:

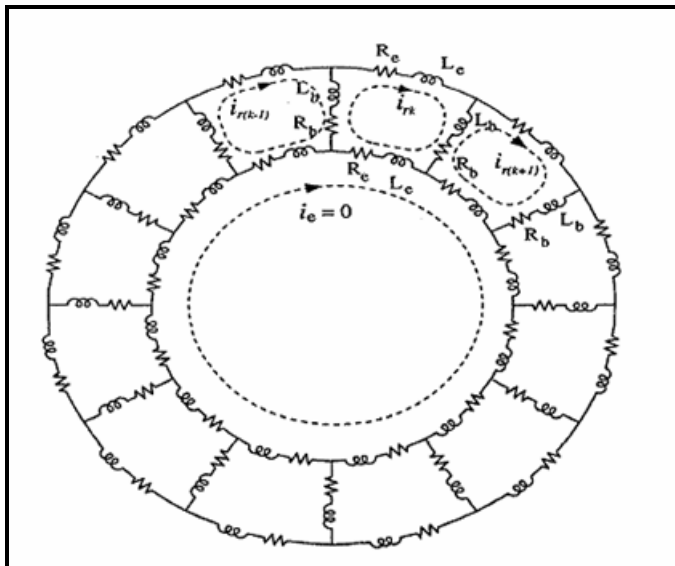


Figure (3.2) : circuit équivalent d'un rotor à cage

3.3.Équations différentielles de la MAS en présence de défaillances

3.3.1. Equations électriques

Le même principe que pour la modélisation de la machine asynchrone en absence de défaut; on déduit pour l'ensemble des phases statoriques et rotoriques :

$$[V_{abcS}] = [R_S][I_{abcS}] + \frac{d}{dt}[\Phi_{abcS}] \quad (3.1)$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\Phi_r] \quad (3.2)$$

Où :

Les deux vecteurs de tension statoriques et rotoriques :

$$[V_{abcS}]_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} V_{Sa} \\ V_{Sb} \\ V_{Sc} \end{bmatrix} \quad [V_r]_{N \times 1} = \begin{bmatrix} V_{r1} \\ V_{r2} \\ \vdots \\ V_{rN} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Les deux vecteurs de courant statoriques rotoriques :

$$[I_{abcS}]_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} I_{Sa} \\ I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{bmatrix} \quad [I_r]_{N \times 1} = \begin{bmatrix} I_{r0} \\ I_{r1} \\ \vdots \\ I_{rN} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Les deux vecteurs de flux statoriques rotoriques :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{abcS} \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} \Phi_{Sa} \\ \Phi_{Sb} \\ \Phi_{Sc} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Phi_r \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} \Phi_{r0} \\ \Phi_{r1} \\ \vdots \\ \Phi_{rN} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$[R_s]; [R_r]$: Représentent respectivement les deux matrices de résistances statorique et rotorique.

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_{Sa} & 0 & 0 \\ 0 & R_{Sb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{Sc} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} \frac{2Re}{Nr} + R_0 + R_{(Nr-1)} & -R_0 & 0 & 0 & -R_{(Nr-1)} \\ \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & -R_{(k-1)} & \frac{2Re}{Nr} + R_k + R_{(k-1)} & -R_k & 0 \\ \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ -R_{(Nr-1)} & 0 & 0 & -R_{(Nr-2)} & \frac{2Re}{Nr} + R_{(Nr-2)} + R_{(Nr-1)} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

3.3.2. Equations magnétiques

La cage du rotor est normalement modélisée par (Nr) boucles identiques et équilibrées. Chaque boucle est constituée par deux barres adjacentes du rotor et deux portions d'anneaux de court-circuit et elle est couplée avec toutes les autres boucles et avec chacune des trois phases du stator.

Le flux est se composé de :

*L'inductance propre statorique dû aux courants statoriques et inductance rotoriques dû aux courants rotoriques.

La mutuelle statorique dû aux courants rotoriques et celle du rotor dû aux courants statoriques montre dans l'équation ci-dessous :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{abcs} \\ \Phi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{sc} \\ L_{rc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{abcs} \\ I_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{sr} \\ M_{rs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_r \\ I_{abcs} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Avec :

$$[L_{sc}] = \begin{bmatrix} L_{sc} & M_{sc} & M_{sc} \\ M_{sc} & L_{sc} & M_{sc} \\ M_{sc} & M_{sc} & L_{sc} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$[L_{rc}] = \begin{bmatrix} L_{rp} + \frac{2L_e}{16} + 2L_b & M_{rr} - L_b & M_{rr} & \cdots & M_{rr} - L_b \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ M_{rr} - L_b & M_{rr} - L_b & L_{rp} + \frac{2L_e}{16} + 2L_b & M_{rr} & M_{rr} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ M_{rr} - L_b & M_{rr} & M_{rr} & \cdots & L_{rp} + \frac{2L_e}{16} + 2L_b \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = \begin{bmatrix} \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \\ \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \\ \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Où :

* $[L_{sc}]$, $[L_{rc}]$: Matrices inductances se composent des inductances propres; de magnétisation et mutuelles des trois phases statoriques (rotoriques).

* M_{sr} : Représente le flux mutuel entre les boucles rotoriques et les phases statorique.

* L_{rp} : Représente le flux principal de chaque boucle.

* M_{rr} : Représente le flux mutuel entre les boucles rotoriques.

* L_b et L_e représentent les fuites des boucles rotoriques.

3.3.3 Equations mécaniques

Le couple électromagnétique est obtenu par dérivation de co-énergie:

$$C_e = \frac{\delta W_c}{\delta \theta} = P [I_{abcS}]^t \frac{\delta}{\delta \theta} \begin{bmatrix} \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \\ \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \\ \cdots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ I_{rk} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

L'équation du mouvement de la machine s'écrit :

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} P (C_e - C_r - \frac{f}{P} W) \quad (3.13)$$

où:

$$\Omega = \frac{W}{P}$$

3.4. Transformation vers le Biphasé

3.4.1. Equations électriques

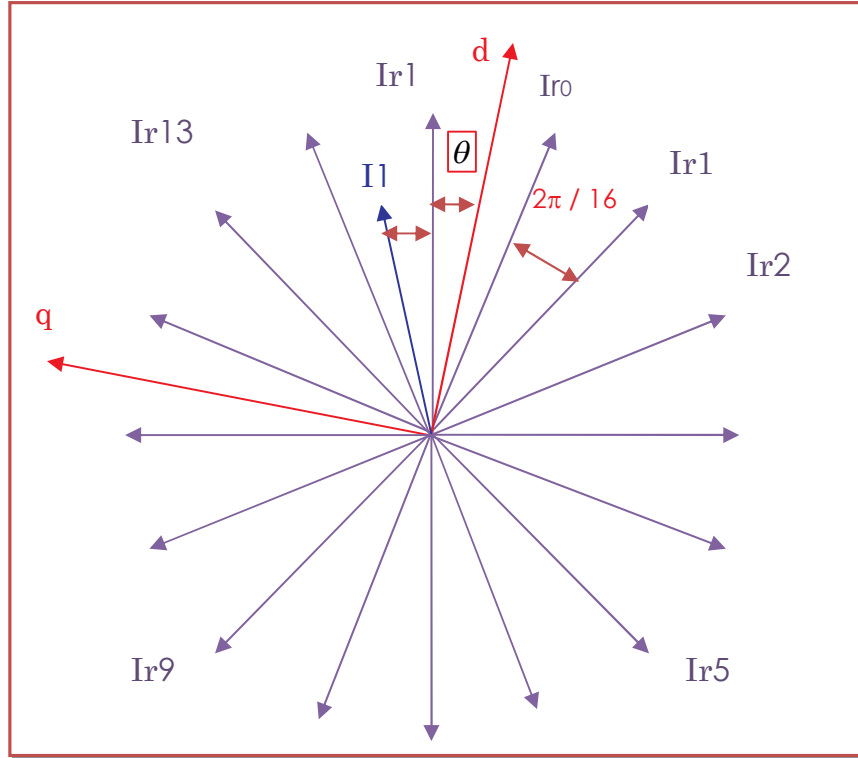
3.4.1.1. Stator

On applique la transformation de Clark pour transformé le système d'équation statorique (3.1) triphasé(a,b,c) vers un système biphasé (x,y) ; dans un repère lie au rotor on trouve :

$$\begin{bmatrix} V_{xS} \\ V_{yS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_S & 0 \\ 0 & R_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xS} \\ I_{yS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -w_S \\ w_S & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{xS} \\ \Phi_{yS} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{xS} \\ \Phi_{yS} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

3.4.1.2. Rrotor

On applique la transformation de Clark généralisée sur le système d'équation rotorique (III.2) pour un système biphasé (x,y) lie au rotor.



Figure(3.3) :Représente la projection de 16 phases rotoriques sur les deux axes (d,q).

$$\begin{bmatrix} Id \\ Iq \end{bmatrix} = \frac{2}{16} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{16}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{16}) & \dots & \cos(\theta + \frac{30\pi}{16}) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{16}) & -\sin(\theta + \frac{4\pi}{16}) & \dots & -\sin(\theta + \frac{30\pi}{16}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{r0} \\ I_{r1} \\ I_{r2} \\ \vdots \\ I_{r15} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Dans un repère lie au rotor ($\theta = 0$), la matrice (T)devient :

$$[T] = \frac{2}{16} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos(\frac{2\pi}{16}) & \dots & \cos(\frac{30\pi}{16}) \\ -\sin 0 & -\sin(\frac{2\pi}{16}) & \dots & -\sin(\frac{30\pi}{16}) \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Et

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos 0 & -\sin 0 \\ \cos(\frac{2\pi}{16}) & -\sin(\frac{2\pi}{16}) \\ \cos(\frac{4\pi}{16}) & -\sin(\frac{4\pi}{16}) \\ \vdots & \vdots \\ \cos(\frac{30\pi}{16}) & -\sin(\frac{30\pi}{16}) \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Le système d'équation rotorique (III.2) obtenue:

$$[V_{xyr}] = [R_r]_{\text{éq}} [I_{xyr}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{xyr}] \quad (3.18)$$

Avec :

$$[R_{\text{réq}}] = [T]^{-1} * [R_r] * \frac{2}{N_r} [T] = \begin{bmatrix} R_{r1} & R_{r2} \\ R_{r3} & R_{r4} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Où :

$$R_{r1} = \frac{2}{16} \left[\left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b0} + R_{b15} \right) \cos^2 0\alpha + \left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b1} + R_{b0} \right) \cos^2 1\alpha + \dots + \left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b14} + R_{b15} \right) \cos^2 15\alpha \right] \\ - \frac{4}{16} [(R_{b0} \cos 0\alpha \cos 1\alpha) + (R_{b1} \cos 1\alpha \cos 2\alpha) + \dots + (R_{b15} \cos 15\alpha \cos 0\alpha)] \quad (3.20)$$

$$R_{r2} = \frac{2}{16} \left[\left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b0} + R_{b15} \right) \cos 0\alpha \sin 0\alpha - \left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b1} + R_{b0} \right) \cos 1\alpha \sin 1\alpha - \dots - \left(2 \frac{\text{Re}}{N_r} + R_{b14} + R_{b15} \right) \cos 15\alpha \sin 15\alpha \right] \\ + \frac{2}{16} [(R_{b0} \sin 0\alpha \cos 1\alpha) + (R_{b1} \sin 1\alpha \cos 2\alpha) + \dots + (R_{b15} \sin 15\alpha \cos 0\alpha)] \\ + \frac{2}{16} [(R_{b0} \cos 0\alpha \sin 1\alpha) + (R_{b1} \cos 1\alpha \sin 2\alpha) + \dots + (R_{b15} \cos 15\alpha \sin 0\alpha)] \quad (3.21)$$

Et : $R_{r3} = R_{r2}$ $R_{r4} = R_{r1}$

Les équations électrique rotoriques s'écrivent donc:

$$\begin{bmatrix} V_{xr} \\ V_{yr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{r1} & R_{r2} \\ R_{r3} & R_{r4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xr} \\ I_{yr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{xr} \\ \Phi_{yr} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

3.4.2. Equations magnétiques :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Phi_{xys} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} L_{sc} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} \begin{bmatrix} I_{xys} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{sr} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} \begin{bmatrix} I_{xyr} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Phi_{xyr} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} L_{rc} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} \begin{bmatrix} I_{xyr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{rs} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} \begin{bmatrix} I_{xys} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Où :

Même calcul que pour les résistances:

$$\begin{bmatrix} L_{sc} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} = \begin{bmatrix} L_{sc} & 0 \\ 0 & L_{sc} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_{sr} \end{bmatrix}_{\acute{e}q} &= \begin{bmatrix} M_{sr} \end{bmatrix} [T]^{-1} \\ &= \begin{bmatrix} \sum_{j=0}^{j=15} (-M_{sr} W \sin j\alpha)(\cos j\alpha) & \sum_{j=0}^{j=15} -M_{sr} W \sin^2 j\alpha \\ \sum_{j=0}^{j=15} -M_{sr} W \cos^2 j\alpha & \sum_{j=0}^{j=15} (-M_{sr} W \cos j\alpha)(\sin j\alpha) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} -\frac{Nr}{2}M_{sr} & 0 \\ 0 & \frac{Nr}{2}M_{sr} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$[M_{rs}]_{\acute{e}q} = \frac{2}{N_r} [T] [M_{rs}]$$

$$[M_{rs}]_{\acute{e}q} = \begin{bmatrix} -\frac{3}{2}M_{sr} & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}M_{sr} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

$$[L_{rc}]_{\acute{e}q} = [T]^{-1} [L_{rc}] \frac{2}{N_r} [T]$$

$$[L_{rc}]_{\acute{e}q} = \begin{bmatrix} L_{rc} & 0 \\ 0 & L_{rc} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Les équations magnetiques s'écrivent donc:

$$\begin{bmatrix} \Phi_{xs} \\ \Phi_{ys} \\ \Phi_{xr} \\ \Phi_{yr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{sc} & 0 & \frac{N_r}{2}M_{sr} & 0 \\ 0 & L_{sc} & 0 & \frac{N_r}{2}M_{sr} \\ -\frac{3}{2}M & 0 & L_{rc} & 0 \\ 0 & -\frac{3}{2}M & 0 & L_{rc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xs} \\ I_{ys} \\ I_{xr} \\ I_{yr} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Après la transformation du deux systèmes d'équations (3.1); (3.2) vers le système biphasé lie au rotor. On effectue la rotation de cette dernier avec un angle (θ_r), où: $\theta_r = \theta_s - \theta$.

Pour obtenir un système lie au champ tournant par application de la transformation de Park comme suit :

$$[V_{dq}] = [P(\theta_r)] [V_{xy}] \quad (3.30)$$

Finalement les équations électriques de stator (rotor) sont écrira sous la forme :

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -w_s \\ w_s & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Phi_{ds} \\ \Phi_{qs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ds} \\ \Phi_{qs} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{r1} & R_{r2} \\ R_{r3} & R_{r4} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -w \\ w & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{xr} \\ \Phi_{yr} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Où:

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ds} \\ \Phi_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{sc} & 0 \\ 0 & L_{sc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{N_r}{2} M_{sr} \\ \frac{N_r}{2} M_{sr} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{r1} & R_{r2} \\ R_{r3} & R_{r4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{3}{2} M_{sr} \\ \frac{3}{2} M_{sr} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

3.4.3. Equations mécaniques

On a:

$$C_e = \frac{\delta W_c}{\delta \theta} = P [I_{abcS}]^t \frac{\delta}{\delta \theta} \begin{bmatrix} \dots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \dots \\ \dots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \dots \\ \dots & -M_{sr} \cos(\theta + k\alpha) & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ I_{rk} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Après la transformation en biphas de couple électromagnétique est obtenu :

$$Ce = \frac{3}{2} P \begin{bmatrix} I_{ds} & I_{qs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{Nr}{2} M_{sr} & 0 \\ 0 & -\frac{Nr}{2} M_{sr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix}$$

$$Ce = -\frac{3PN_r M_{sr}}{4L_{rc}} (I_{ds} \Phi_{qr} + I_{qs} \Phi_{dr}) \quad (3.35)$$

L'équation du mouvement de la machine s'écrit :

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} P (Ce - Cr - \frac{f}{P} W) \quad (3.36)$$

3.5. Les équation sous forme d'état

3.5.1. Référentiel lié au champ

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

Avec :

$$\begin{bmatrix} X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sd} & I_{sq} & \phi_{rd} & \phi_{rq} \end{bmatrix}^T \quad \text{Vecteur d'état (de sortie) .}$$

$$\begin{bmatrix} V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{sd} & V_{sq} \end{bmatrix}$$

Vecteur de commande (d'entrée)

$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix}$: matrice d'évolution d'état du système

$\begin{bmatrix} B \end{bmatrix}$: matrice de système de commande

Après tout calcul fait on trouve :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_{t1}}{L_{sc}\sigma} & \omega_s + \frac{3N_r M_{sr}^2 R_{r2}}{4L_{rc}^2 L_{sc}\sigma} & -\frac{N_r M_{sr} R_{r1}}{2L_{rc}^2} & \frac{N_r M_{sr}}{2L_{rc} L_{sc}\sigma} (2\omega_s - \omega - \frac{R_{r2}}{L_{rc}}) \\ -(\omega_s - \frac{3N_r M_{sr}^2 R_{r3}}{4L_{rc}^2 L_{sc}\sigma}) & \frac{R_{t4}}{L_{sc}\sigma} & -\frac{N_r M_{sr}}{2L_{rc} L_{sc}\sigma} (2\omega_s - \omega + \frac{R_{r3}}{L_{rc}}) & \frac{N_r M_{sr} R_{r4}}{2L_{rc}^2 L_{sc}\sigma} \\ -\frac{3M_{sr} R_{r1}}{2L_{rc}} + \frac{3M_{sr} R_{r2}}{2L_{rc}} & & \frac{R_{r1}}{L_{rc}} & (\omega_s - \omega - \frac{R_{r2}}{L_{rc}}) \\ -\frac{3M_{sr} R_{r3}}{2L_{rc}} & \frac{3M_{sr} R_{r4}}{2L_{rc}} & -(\omega_s - \omega + \frac{R_{r3}}{L_{rc}}) & -\frac{R_{r4}}{L_{rc}} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

et la matrice de commande :

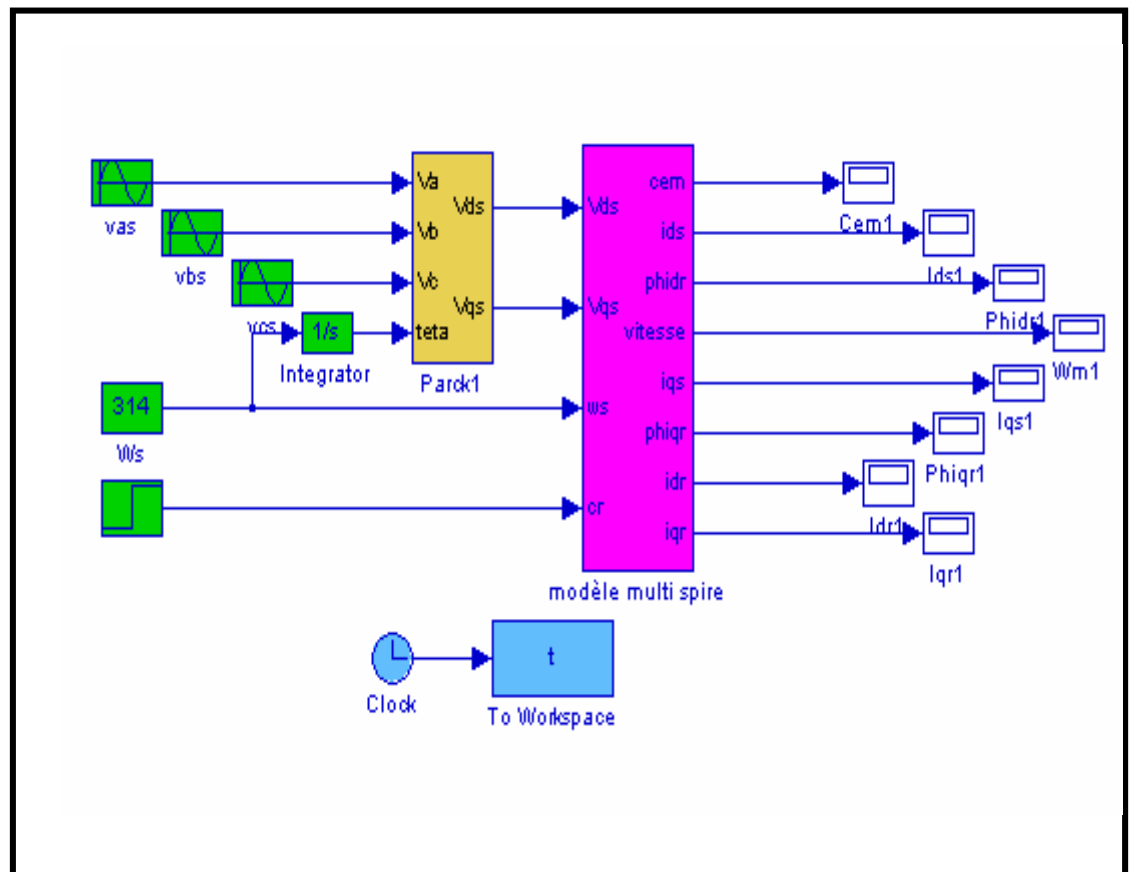
$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

Avec :

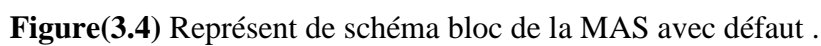
$$\sigma = 1 - \frac{3N_r M_{sr}^2}{4L_{rc} L_{sc}} \quad \text{Coefficient de dispersion.} \quad (3.39)$$

$$R_{t1} = R_s + \frac{3N_r M_{sr} R_{r1}}{2L_{rc}^2} \quad (3.40)$$

$$R_{t4} = R_s + \frac{3N_r M_{sr} R_{r4}}{2L_{rc}^2} \quad (3.41)$$



Figure(3.3) Représent de schéma bloc de la MAS on boucle ouvert.



3.5.1.1 Résultat de simulation

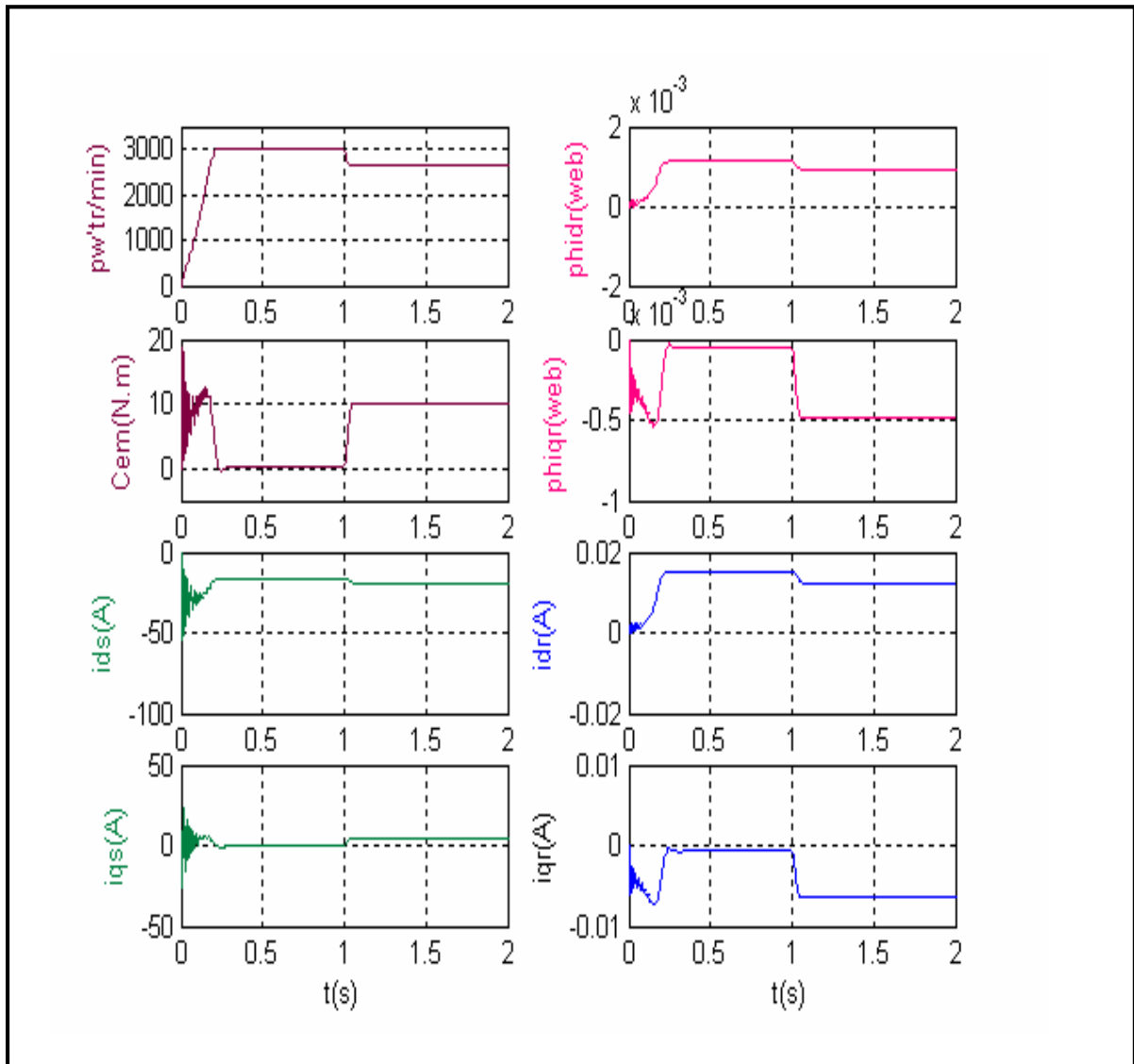
a) Modèle sain

on considère que les résistances des barres rotorique sont égales:

$$R_{b0}=R_{b1}=R_{b2}=\dots\dots\dots=R_{b15}.$$

Après calcul on trouve: $R_{r1}=R_{r4}=R_r$ et $R_{r2}=R_{r3}=0.$

$$\text{Où: } R_r = 2 \frac{R_e}{N_r} + 2R_b(1 - \cos \alpha) \quad (3.42)$$



Figure(3.4) :Réponse de la MAS saine; application d'une charge à t=1s

(pw,Cem,ids,iqs,idr,iqr,phidr;phiqr)

****Interprétation et commentaire**

La figure (3.4) présentent les résultats obtenus par la simulation de modèle de la MAS en présence un défaut rotorique (multi spirs) dans le cas au les resistances de barres sont égales(sain).

Pour la vitesse : la MAS est démarrer à vide ; l'intervalle transitoire commence par un temps de réponse $t = 0.3s$, après que regime permanent est atteint ($p_w = 3000 \text{tr/min}$) nous avons appliqué une perturbation, au niveau de la charge $C_r = 10 \text{N.m}$ à $t = 1 \text{seconde}$, la vitesse est dimenu à $p_w = 2800 \text{tr/min}$. la comparaison de ces resultats avec celles obtenus dans le cas ou la machine est triphasé (absence le défaut), montre qu'il est la même forme.

Pour le couple : l'analyse des résultats obtenus par la modélisation des deux modèles classique et multi-spires, nous permet de remarquer que les deux courbes est de même forme ; le couple electromagnétique du modèle multi-spires est légèrement long par rapport au couple électromagnetique du modèle triphasés.

Les allures des composantes du flux, et du courantsont semblable à celle que nous avons obtenu avec le modèle triphase.

3.5.2. Référentiel lié au rotor

$$[\dot{X}] = [A][X] + [B][U] \quad (3.43)$$

Avec :

$$[X] = [I_{sd} \quad I_{sq} \quad \phi_{rd} \quad \phi_{rq}]^T \quad \text{Vecteur d'état (de sortie) .}$$

$$[V] = [V_{sd} \quad V_{sq}]$$

Vecteur de commande (d'entrée)

$[A]$: matrice d'évolution d'état du système.

$[B]$: matrice de système de commande.

Après tout calcul fait on trouve :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_{t1}}{L_{sc}\sigma} & \frac{3N_r M_{sr}^2 R_{r2}}{4L_{rc}^2 L_{sc}\sigma} & -\frac{N_r M_{sr} R_{r1}}{2L_{rc}^2} & \frac{N_r M_{sr}}{2L_{rc} L_{sc}\sigma} \left(-\frac{R_{r2}}{L_{rc}}\right) \\ \frac{3N_r M_{sr}^2 R_{r3}}{4L_{rc}^2 L_{sc}\sigma} & -\frac{R_{t4}}{L_{sc}\sigma} & -\frac{N_r M_{sr}}{2L_{rc} L_{sc}\sigma} \left(\frac{R_{r3}}{L_{rc}}\right) & \frac{N_r M_{sr} R_{r4}}{2L_{rc}^2 L_{sc}\sigma} \\ -\frac{3M_{sr} R_{r1}}{2L_{rc}} + \frac{3M_{sr} R_{r2}}{2L_{rc}} & & -\frac{R_{r1}}{L_{rc}} & \left(\frac{R_{r2}}{L_{rc}}\right) \\ -\frac{3M_{sr} R_{r3}}{2L_{rc}} & \frac{3M_{sr} R_{r4}}{2L_{rc}} & -\left(\frac{R_{r3}}{L_{rc}}\right) & -\frac{R_{r4}}{L_{rc}} \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

et la matrice de commande :

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

3.5.1.1 Résultat de simulation

a) Modèle sain

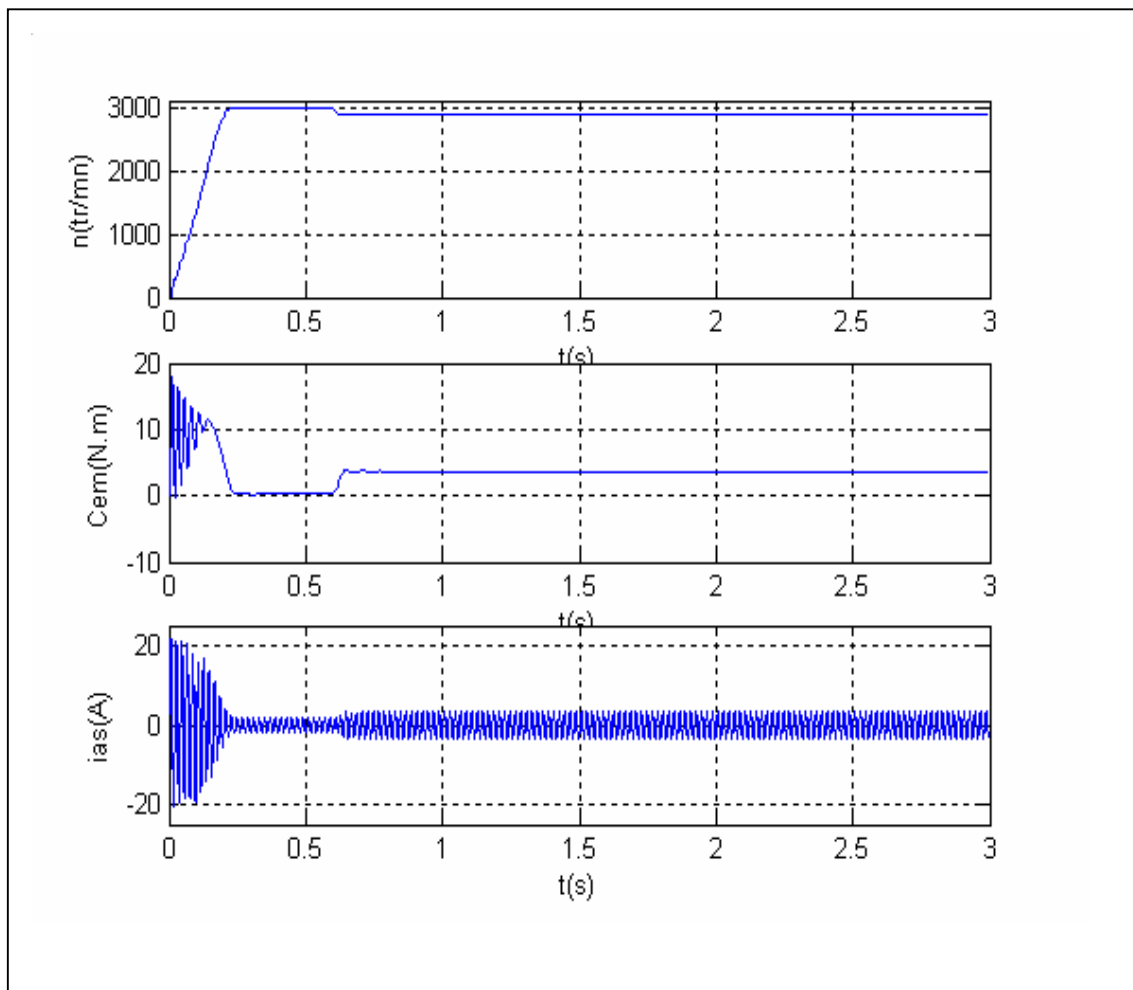
on considère que les résistances des barres rotorique sont égales:

$$R_{b0} = R_{b1} = R_{b2} = \dots = R_{b15}.$$

Après calcul on trouve:

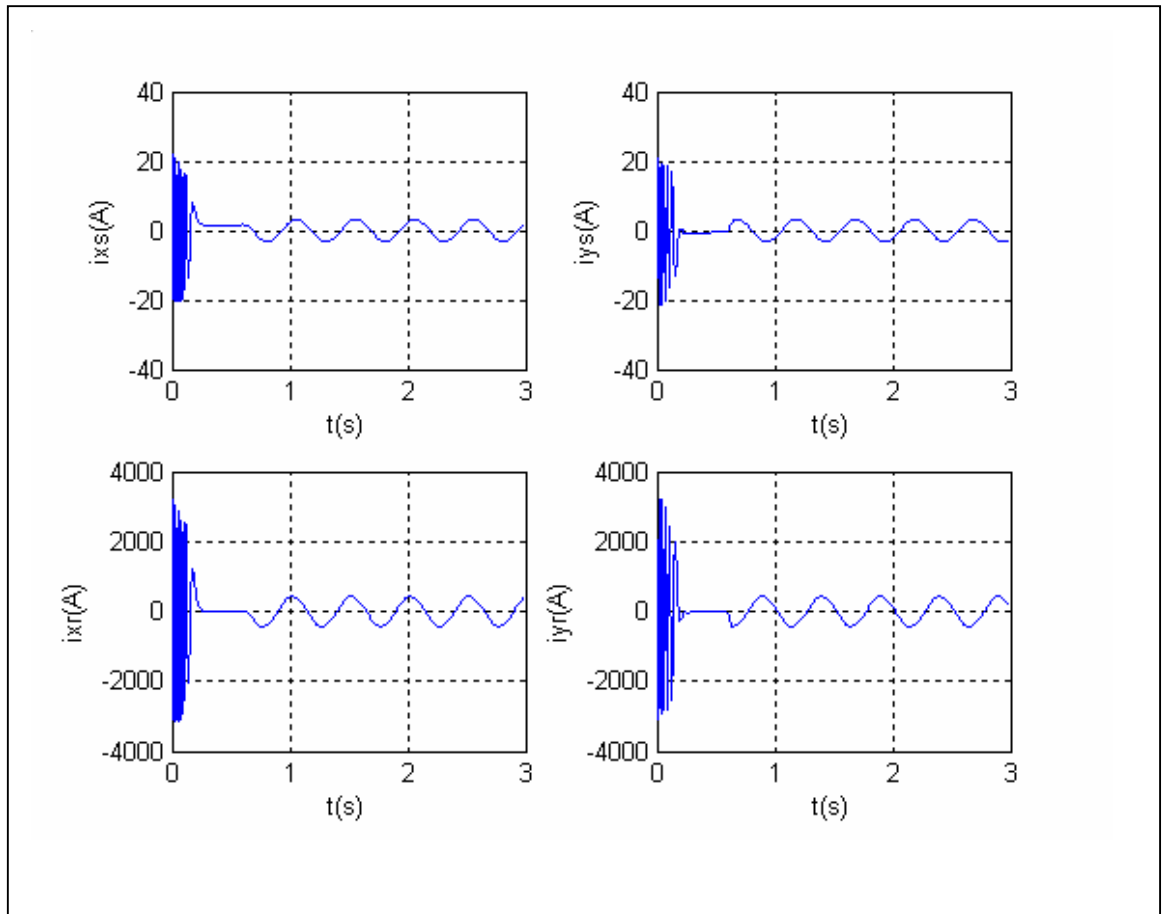
$$R_{r1} = R_{r4} = R_r \quad \text{et} \quad R_{r2} = R_{r3} = 0.$$

$$\text{Où: } R_r = 2 \frac{R_e}{N_r} + 2 R_b (1 - \cos \alpha) \quad (.46)$$



Figure(3.5) :Réponse de la MAS sain; application d'une charge à $t=0.6$ s

(pw , Cem,ias)



Figure(3.6) réponse de la MAS saine . Application d'une charge à $t=0.6s$

Courbe des courant.

****interprétation**

Nous observerons que les deux modèles multi spires et triphasé sont une bonne concordance surtout à la fin du regime transitoire et durant le regime permanent.

A partir de l' instant $t=0.7s$, nous procédons à un échelon de couple résistant nominal de $10N.m$ en simulation. La vitesse chute alors à $2900tr/min$ et le couple électromagnétique vient équilibrer le couple résistant.

Les courant sont de même amplitude parfaitement équilibrés déphasés d'un même angle.

3.5.1.1 Résultat de simulation

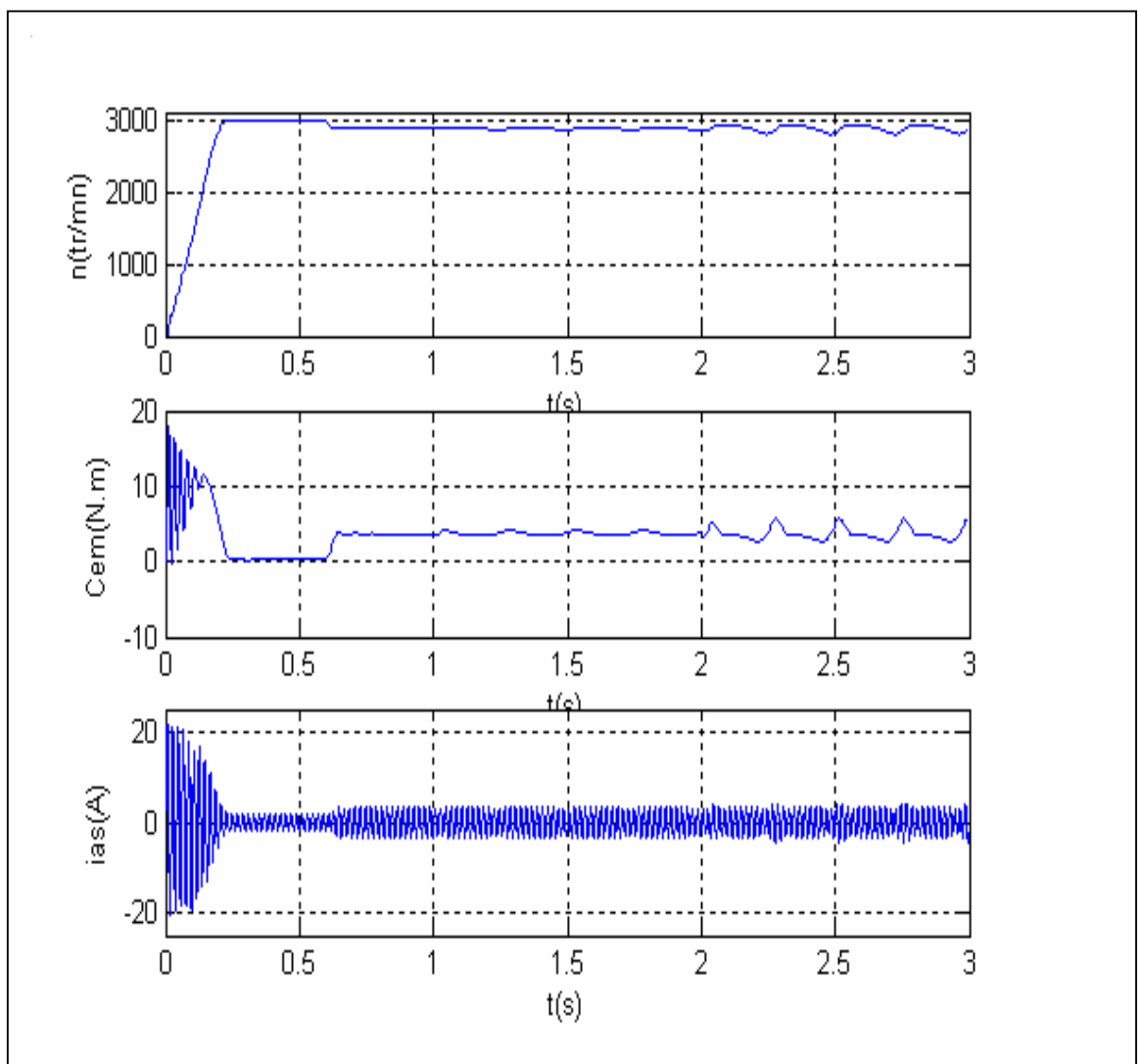
a) Modèle en présence d'un défaut

On provoque une cassure de deux barres Rb0 et Rb1.

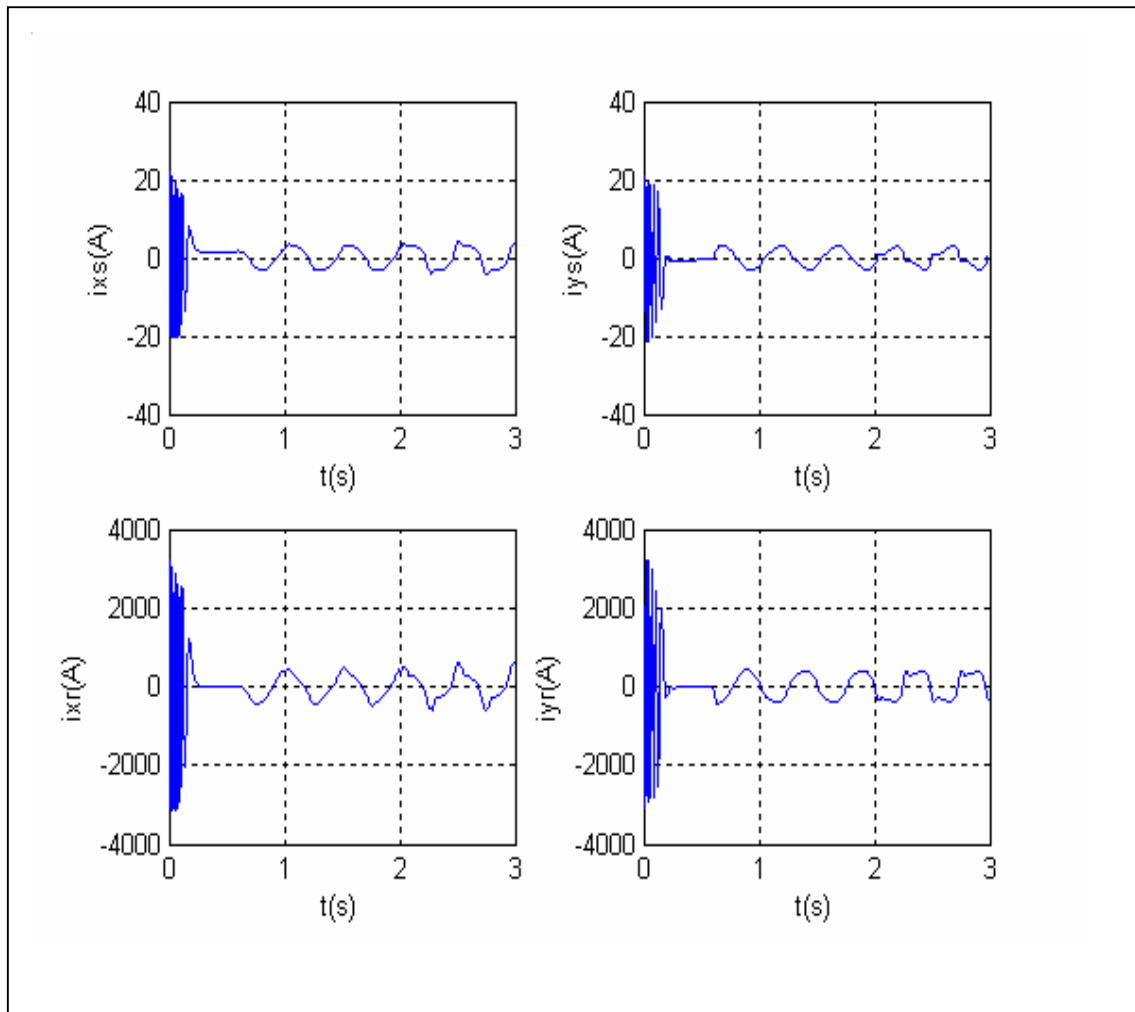
Où :

*Rb0_{cassé}=11*Rb0_{sain} à l'instant t=1 s.

**Rb1_{cassé}=11*Rb1_{sain} à l'instant t=2 s.



Figure(3.7) :Réponse de la MAS avec défaut rotorique(cassures de deux barres) ; application d'une charge à t=0.6s (pw , Cem , ias)



Figure(3.8) réponse de la MAS avec défaut rotorique (cassure d'une deux barres) . Application d'une charge à $t=0.6s$

Courbe des courant.

****Interprétations**

A $t= 1.5s$ nous simulons la rupture de la premiere barre par une augmentation de 11 fois de sa resistance, on remarquons que la vitesse est perturbés à cause de cette repture en regime permanent.

Les courant dans cette darre chute pratiquement à zéro ; alors les courants des barres voisines deviennent déséquilibrés.[L]

3.6.Conclusion

Le modèle de la MAS en présence d'un défaut est semblable à celle du modèle de la MAS en absence de défaut (modèle triphasé).

Lorsque on applique un défaut rotorique(cassure des deux barres), le modèle multi-spires réagit avec le défaut.

Il est clair qu'il y a un fort couplage entre le flux et le couple ce qui nécessite l'application de la commande vectorielle afin de supprimer ce couplage autrement dit, l'obtention d'un modèle découplé de la MAS.