

# **CHAPITRE III**

## **Application de la commande par mode de glissement à la machine asynchrone**

[MCours.com](http://MCours.com)

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous montrons comment la commande par mode de glissement dynamique peut être appliquée au contrôle de la machine asynchrone. Pour cela, et après la présentation, dans le chapitre précédant, d'un rappel théorique sur les deux type de la commande par mode de glissement, ils s'agissent de la version statique et dynamique de la commande par mode de glissement, nous abordons l'élaboration des surfaces de commande, la recherche et la vérification de la condition de convergence vers zéro de l'erreur de poursuite et en fin la conception de l'algorithme de commande avec ces différentes étapes. Dans ce qui suit, nous donnons initialement l'application de la commande par mode de glissement statique à la machine, en suite, l'application de la commande par mode de glissement dynamique. L'objectif est de bien comprendre les étapes de synthèse de chaque loi de commande, mais aussi, de distinguer les avantages apportés par ce dernier type de réglage dynamique par rapport à ceux obtenus par la commande statique, bien sur, après illustration et visualisation des résultats de simulation.

### III.2. Application de la commande par mode glissant statique à la machine asynchrone

Nous avons présenté dans le premier chapitre la modélisation de la machine asynchrone, on a obtenue un modèle non linéaire qui peu être redonné par le système d'équation suivant :

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\gamma i_{s\alpha} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\alpha} + p k \Omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\alpha} \quad (\text{III.1a})$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\gamma i_{s\beta} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\beta} - p k \Omega \Phi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\beta} \quad (\text{III.1b})$$

$$\frac{d\Phi_{r\alpha}}{dt} = \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p \Omega \Phi_{r\beta} \quad (\text{III.1c})$$

$$\frac{d\Phi_{r\beta}}{dt} = \frac{M}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\beta} + p \Omega \Phi_{r\alpha} \quad (\text{III.1d})$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{p M}{J L_r} (\Phi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Phi_{r\beta} i_{s\alpha}) - \frac{f}{J} \Omega - \frac{1}{J} C_r \quad (\text{III.1e})$$

Les paramètres  $\gamma$ ,  $T_r$ ,  $K$ ,  $\sigma$  sont tous donnés en fonction des paramètres physique la machine  $R_s$ ,  $R_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $M$ , voire chapitre I.

### III.2.1. Grandeur à régler :

L'objectif de l'application de cette loi de commande est le réglage des deux grandeurs de la machine notés  $h(x)$ , qui sont : la vitesse de rotation  $\Omega$  et le carré de module de flux rotorique

$\Phi_r^2 = \Phi_{r\alpha}^2 + \Phi_{r\beta}^2$ . On écrit :

$$h_1(x) = \Phi_r = \|\Phi_r\|^2 = \Phi_{r\alpha}^2 + \Phi_{r\beta}^2 \quad (\text{III.2})$$

$$h_2(x) = \Omega \quad (\text{III.3})$$

### III.2.2 Choix des surfaces de glissement :

La synthèse de la commande exploite la technique du mode glissant, cette dernière, nécessite le choix des surfaces de glissement  $S_1$  et  $S_2$  (on a deux surfaces parce que on a deux grandeurs à régler) qui assure le réglage de flux  $\Phi_r$  à  $\Phi_{ref}$  et de la vitesse  $\Omega$  à  $\Omega_{ref}$ . D'après l'étude théorique donnée au chapitre précédent, et à partir de l'équation (II.3), on peut exprimer les deux surfaces  $S_1$  et  $S_2$  de manière suivante :

$$S_1 = \dot{e}_1 + q_1 e_1 \quad (\text{III.4})$$

$$S_2 = \dot{e}_2 + q_2 e_2 \quad (\text{III.5})$$

avec  $q_1$  et  $q_2$  sont des scalaires positifs, alors que  $e_1$  et  $e_2$  représentent les erreurs entre les grandeur de références et les grandeur à régler, c'est-à-dire :

$$e_1 = \Phi_r - \Phi_{ref} = h_1(x) - \Phi_{ref} \quad (\text{III.6})$$

$$e_2 = \Omega - \Omega_{ref} = h_2(x) - \Omega_{ref} \quad (\text{III.7})$$

### III.2.3. Calcul de la commande par mode de glissement statique :

A partir de ces deux derniers équations, les deux surfaces  $S_1$  et  $S_2$  peuvent êtres redonnées comme suit :

$$S_1 = (\dot{h}_1(x) - \dot{\Phi}_{ref}) + q_1 (h_1(x) - \Phi_{ref}) \quad (\text{III.8})$$

$$S_2 = (\dot{h}_2(x) - \dot{\Omega}_{ref}) + q_2 (h_2(x) - \Omega_{ref}) \quad (\text{III.9})$$

où

$$\begin{aligned}
 \dot{h}_1(x) &= 2\dot{\Phi}_{r\alpha}\Phi_{r\alpha} + 2\dot{\Phi}_{r\beta}\Phi_{r\beta} \\
 &= 2\left(\frac{M}{T_r}i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r}\Phi_{r\alpha} - p\Omega\Phi_{r\beta}\right)\Phi_{r\alpha} + 2\left(\frac{M}{T_r}i_{s\beta} - \frac{1}{T_r}\Phi_{r\beta} + p\Omega\Phi_{r\alpha}\right)\Phi_{r\beta} \\
 &= \frac{2M}{T_r}i_{s\alpha}\Phi_{r\alpha} + \frac{2M}{T_r}i_{s\beta}\Phi_{r\beta} - \frac{2}{T_r}\Phi_{r\alpha}^2 - \frac{2}{T_r}\Phi_{r\beta}^2 \\
 &= \frac{2M}{T_r}(i_{s\alpha}\Phi_{r\alpha} + i_{s\beta}\Phi_{r\beta}) - \frac{2}{T_r}(\Phi_{r\alpha}^2 + \Phi_{r\beta}^2) \\
 &= \frac{2M}{T_r}(i_{s\alpha}\Phi_{r\alpha} + i_{s\beta}\Phi_{r\beta}) - \frac{2}{T_r}h_1(x) \tag{III.10}
 \end{aligned}$$

$$\dot{h}_2(x) = \dot{\Omega} = \frac{pM}{JL_r}(\Phi_{r\alpha}i_{s\beta} - \Phi_{r\beta}i_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{J}\Omega - \frac{1}{J}C_r \tag{III.11}$$

Maintenant, on a exprimer les deux surfaces  $S_1$  et  $S_2$  d'une manière explicite, et pour pouvoir vérifier la condition de glissement, il nous faut alors trouver les dérivées  $\dot{S}_1$  et  $\dot{S}_2$ . A partir des équations (III.8) et (III.9) elles sont données par :

$$\dot{S}_1 = (\ddot{h}_1(x) - \ddot{\Phi}_{ref}) + q_1(\dot{h}_1(x) - \dot{\Phi}_{ref}) \tag{III.12}$$

$$\dot{S}_2 = (\ddot{h}_2(x) - \ddot{\Omega}_{ref}) + q_2(\dot{h}_2(x) - \dot{\Omega}_{ref}) \tag{III.13}$$

Pour déterminer les dérivées  $\dot{S}_1$  et  $\dot{S}_2$  il nous reste que de trouver  $\ddot{h}_1(x)$  et  $\ddot{h}_2(x)$  :

$$\begin{aligned}
 \ddot{h}_1(x) &= \frac{d}{dt}(\dot{h}_1(x)) \\
 &= \frac{d}{dt}\left(\frac{2M}{T_r}(i_{s\alpha}\Phi_{r\alpha} + i_{s\beta}\Phi_{r\beta}) - \frac{2}{T_r}h_1(x)\right) \\
 &= \frac{2M}{T_r}(i_{s\alpha}\dot{\Phi}_{r\alpha} + i_{s\alpha}\dot{\Phi}_{r\alpha} + i_{s\beta}\dot{\Phi}_{r\beta} + i_{s\beta}\dot{\Phi}_{r\beta}) - \frac{2}{T_r}\dot{h}_1(x) \tag{III.14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ddot{h}_2(x) &= \frac{d}{dt}(\dot{h}_2(x)) \\
 &= \frac{d}{dt}\left(\frac{pM}{JL_r}(\Phi_{r\alpha}i_{s\beta} - \Phi_{r\beta}i_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{J}\Omega - \frac{1}{J}C_r\right) \\
 &= \frac{pM}{JL_r}(\dot{\Phi}_{r\alpha}i_{s\beta} + \Phi_{r\alpha}\dot{i}_{s\beta} - \dot{\Phi}_{r\beta}i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta}\dot{i}_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{J}\dot{\Omega} \\
 &= \frac{pM}{JL_r}(\dot{\Phi}_{r\alpha}i_{s\beta} + \Phi_{r\alpha}\dot{i}_{s\beta} - \dot{\Phi}_{r\beta}i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta}\dot{i}_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{J}\dot{h}_2(x) \tag{III.15}
 \end{aligned}$$

Alors (III.10) et (III.11) devient:

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 = & \left( 2 \frac{M}{T_r} (i_{s\alpha} \Phi_{r\alpha} + i_{s\alpha} \dot{\Phi}_{r\alpha} + i_{s\beta} \Phi_{r\beta} + i_{s\beta} \dot{\Phi}_{r\beta}) - \frac{2}{T_r} \dot{h}_1(x) - \ddot{\Phi}_{réf} \right) \\ & + q_1 \left( \frac{2M}{T_r} (i_{s\alpha} \Phi_{r\alpha} + i_{s\beta} \Phi_{r\beta}) - \frac{2}{T_r} \dot{h}_1(x) - \dot{\Phi}_{réf} \right) + \Delta_1 \end{aligned} \quad (III.16)$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 = & \left( \frac{pM}{JL_r} (\dot{\Phi}_{r\alpha} i_{s\beta} + \Phi_{r\alpha} \dot{i}_{s\beta} - \dot{\Phi}_{r\beta} i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta} \dot{i}_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{J} \dot{h}_2(x) - \ddot{\Omega}_{réf} \right) \\ & + q_2 (\dot{h}_2(x) - \dot{\Omega}_{réf}) + \Delta_2 \end{aligned} \quad (III.17)$$

On écrit:

$$\dot{S}_1 = 2 \frac{M}{T_r} (i_{s\alpha} \Phi_{r\alpha} + i_{s\alpha} \dot{\Phi}_{r\alpha} + i_{s\beta} \Phi_{r\beta} + i_{s\beta} \dot{\Phi}_{r\beta}) - \frac{2}{T_r} \dot{h}_1(x) + V_1 + \Delta_1 \quad (III.18)$$

$$\dot{S}_2 = \frac{pM}{JL_r} (\dot{\Phi}_{r\alpha} i_{s\beta} + \Phi_{r\alpha} \dot{i}_{s\beta} - \dot{\Phi}_{r\beta} i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta} \dot{i}_{s\alpha}) - \frac{f_{vis}}{T_r} \dot{h}_2(x) + V_2 + \Delta_2 \quad (III.19)$$

Avec:

$$v_1 = -\ddot{\Phi}_{réf} + q_1 (\dot{h}_1(x) - \dot{\Phi}_{réf}) \quad (III.20)$$

$$v_2 = -\ddot{\Omega}_{réf} + q_2 (\dot{h}_2(x) - \dot{\Omega}_{réf}) \quad (III.21)$$

En remplaçant  $i_{s\alpha}$ ,  $i_{s\beta}$ ,  $\dot{\Phi}_{r\alpha}$  et  $\dot{\Phi}_{r\beta}$  par leurs expressions données par (III.1a), (III.1b), (III.1c) et (III.1d) dans  $\dot{S}_1$  et  $\dot{S}_2$  et on écrit :

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 = & \frac{2M}{T_r} \left( -\gamma i_{s\alpha} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\alpha} + p k \Omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\alpha} \right) \Phi_{r\alpha} + \frac{2M}{T_r} i_{s\alpha} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p \Omega \Phi_{r\beta} \right) \\ & + \frac{2M}{T_r} \left( -\gamma i_{s\beta} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\beta} - p k \Omega \Phi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\beta} \right) \Phi_{r\beta} + \frac{2M}{T_r} i_{s\beta} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\beta} + p \Omega \Phi_{r\alpha} \right) \\ & - \frac{2}{T_r} \dot{h}_1(x) + v_1 + \Delta_1 \end{aligned} \quad (III.22)$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 = & \frac{pM}{JL_r} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p \Omega \Phi_{r\beta} \right) i_{s\beta} + \frac{pM}{JL_r} \Phi_{r\alpha} \left( -\gamma i_{s\beta} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\beta} - p k \Omega \Phi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\beta} \right) \\ & - \frac{pM}{JL_r} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\beta} + p \Omega \Phi_{r\alpha} \right) i_{s\alpha} - \frac{pM}{JL_r} \Phi_{r\beta} \left( -\gamma i_{s\alpha} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\alpha} + p k \Omega \Phi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{s\alpha} \right) \end{aligned}$$

$$-\frac{f_{vis}}{J}\dot{h}_2(x) + v_2 + \Delta_2 \quad (III.23)$$

Sous une forme matricielle, les équations (III.20) et (III.21) peuvent être écrites sous la forme suivante :

$$\dot{S} = f(x) + g(x)u + v + \Delta \quad (III.24)$$

Avec :

$$\dot{S} = \begin{bmatrix} \dot{S}_1 \\ \dot{S}_2 \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, \Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{bmatrix} \text{ et les autres matrices } f(x) \text{ et } g(x) \text{ sont :}$$

$$g(x) = \begin{bmatrix} \frac{2M}{Tr} \frac{1}{\sigma L_s} \Phi_{r\alpha} & \frac{2M}{Tr} \frac{1}{\sigma L_s} \Phi_{r\beta} \\ -\frac{pM}{JL_r} \frac{1}{\sigma L_s} \Phi_{r\beta} & \frac{pM}{JL_r} \frac{1}{\sigma L_s} \Phi_{r\alpha} \end{bmatrix} \text{ et } f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{bmatrix}$$

avec :

$$\begin{aligned} f_1(x) &= \frac{2M}{Tr} \left( (-\gamma i_{s\alpha} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\alpha} + p k \Omega \Phi_{r\beta}) \Phi_{r\alpha} + i_{s\alpha} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p \Omega \Phi_{r\beta} \right) \right. \\ &\quad \left. + (-\gamma i_{s\beta} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\beta} - p k \Omega \Phi_{r\alpha}) \Phi_{r\beta} + i_{s\beta} \left( \frac{M}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\beta} + p \Omega \Phi_{r\alpha} \right) \right) - \frac{2}{Tr} \dot{h}_1(x) \\ f_2(x) &= \frac{pM}{JL_r} \left( \left( \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\alpha} - p \Omega \Phi_{r\beta} \right) i_{s\beta} + \Phi_{r\alpha} \left( -\gamma i_{s\beta} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\beta} - p k \Omega \Phi_{r\alpha} \right) \right. \\ &\quad \left. - \left( \frac{M}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \Phi_{r\beta} + p \Omega \Phi_{r\alpha} \right) i_{s\alpha} - \Phi_{r\beta} \left( -\gamma i_{s\alpha} + \frac{K}{T_r} \Phi_{r\alpha} + p k \Omega \Phi_{r\beta} \right) \right) - \frac{f_{vis}}{J} \dot{h}_2(x) \end{aligned}$$

Avec  $\dot{h}_1(x)$  et  $\dot{h}_2(x)$  sont déjà définis par (III.10) et (III.11).

Maintenant, il faut trouver les conditions pour garantir l'attractivité des surfaces et leurs convergence vers zéro. Pour cela, on définit la fonction de Lyapunov de base suivante :

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (III.25)$$

Et parce que on a deux surfaces de glissement  $S_1$  et  $S_2$ , cette dernière fonction prendra la forme suivante :

$$V = \frac{1}{2} S^T S \quad (\text{III.26})$$

Parce que :

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix}$$

La dérivée temporelle de la fonction de Lyapunov (III.23) ou bien (III.24) choisie est alors :

$$\dot{V} = S^T \dot{S} \quad (\text{III.27})$$

En remplaçant (III.22) dans (III.25)

$$\dot{V} = S^T (f(x) + g(x)u + v + \Delta) \quad (\text{III.28})$$

Où, encore :

$$\dot{V} = S^T (f(x) + v + g(x)u) + S_1 \Delta_1 + S_2 \Delta_2 \quad (\text{III.29})$$

Parce que :

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{bmatrix}.$$

Pour assurer la convergence il faut assurer que  $\dot{V} \leq 0$ , parce que on a toujours  $V \geq 0$  d'après l'équation (III.23). D'après l'équation (II.3) on peut choisir la commande par mode de glissement statique de la forme suivante :

$$u = -g(x)^{-1} (f(x) + v + K_0 S + K_1 \text{sign}(S)) \quad (\text{III.30})$$

Avec :

$$K_1 = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 \\ 0 & K_{12} \end{bmatrix}, \quad K_0 = \begin{bmatrix} K_{01} & 0 \\ 0 & K_{02} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \text{sign}(S) = \begin{bmatrix} \text{sign}(S_1) \\ \text{sign}(S_2) \end{bmatrix}$$

Pour assurer que S converge asymptotiquement vers zéro et se maintient dans son voisinage, les gains  $K_{11}, K_{12}, K_{01}, K_{02}$  doivent satisfaire les inégalités suivantes :

$$\begin{aligned} K_{11} &\geq \eta_1 + \overline{\Delta_1}, \quad K_{12} \geq \eta_2 + \overline{\Delta_2} \\ K_{01} &\geq 0, \quad K_{02} \geq 0 \end{aligned}$$

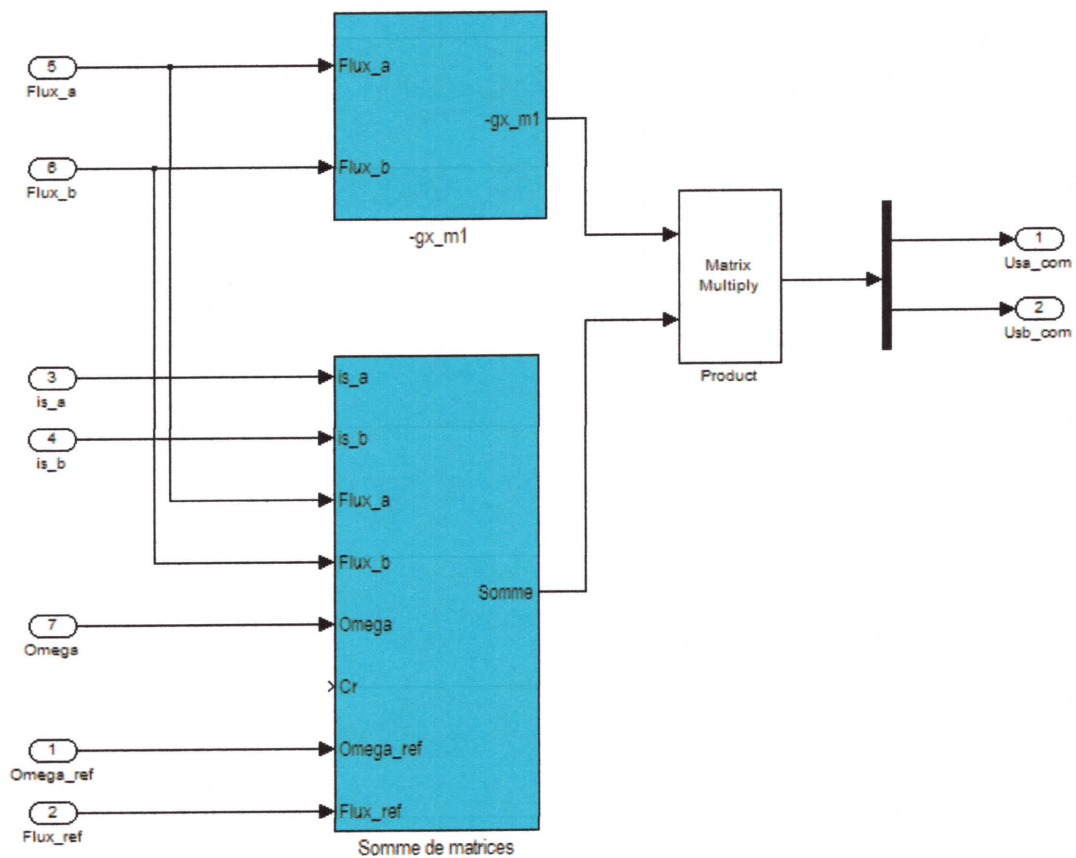
Avec:  $\eta_1, \eta_2 > 0$

**Remarque important :**

La détermination du vecteur de commande  $u$  n'est possible que si et seulement si la matrice  $B(x)$  est inversible. Son déterminant donnée par  $\frac{2M}{T_r} \frac{pM}{JL_r} (\Phi_{ra}^2 + \Phi_{rb}^2)$ , est non nul que dans la condition où le module du flux est différent de zéro. On doit prendre en considération cette dernière condition lors de l'initialisation des états des systèmes. Dans la machine réelle toujours le flux initial est différent de zéro, il y a toujours un flux rémanent.

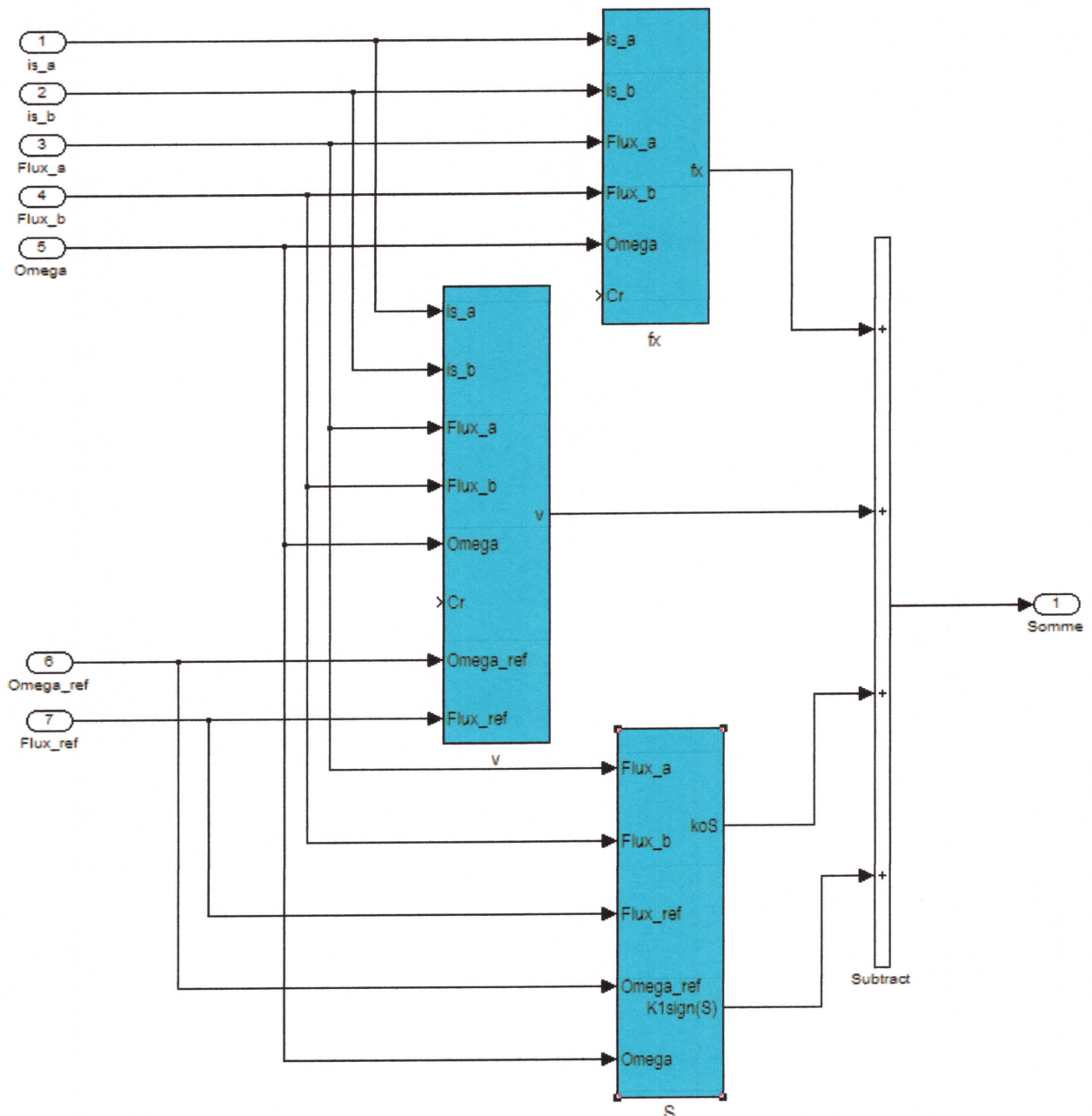
**III.2.4. Simulation de la commande par mode de glissement statique**

La simulation de cette loi de commande, toujours utilisant le MATLAB, est effectuée en appliquant la loi de commande sur la machine dont les caractéristiques sont données au premier chapitre. En tenant compte de la synthèse présentée ci-dessus de la loi de commande, nous pouvons donner le schéma bloc qui résume la commande donnée par l'équation (III.28) par les deux figure III.1 et III.2.



**Figure (III.1) :** Schéma bloc de la loi de commande par mode de glissement statique donnée par l'équation III.28.

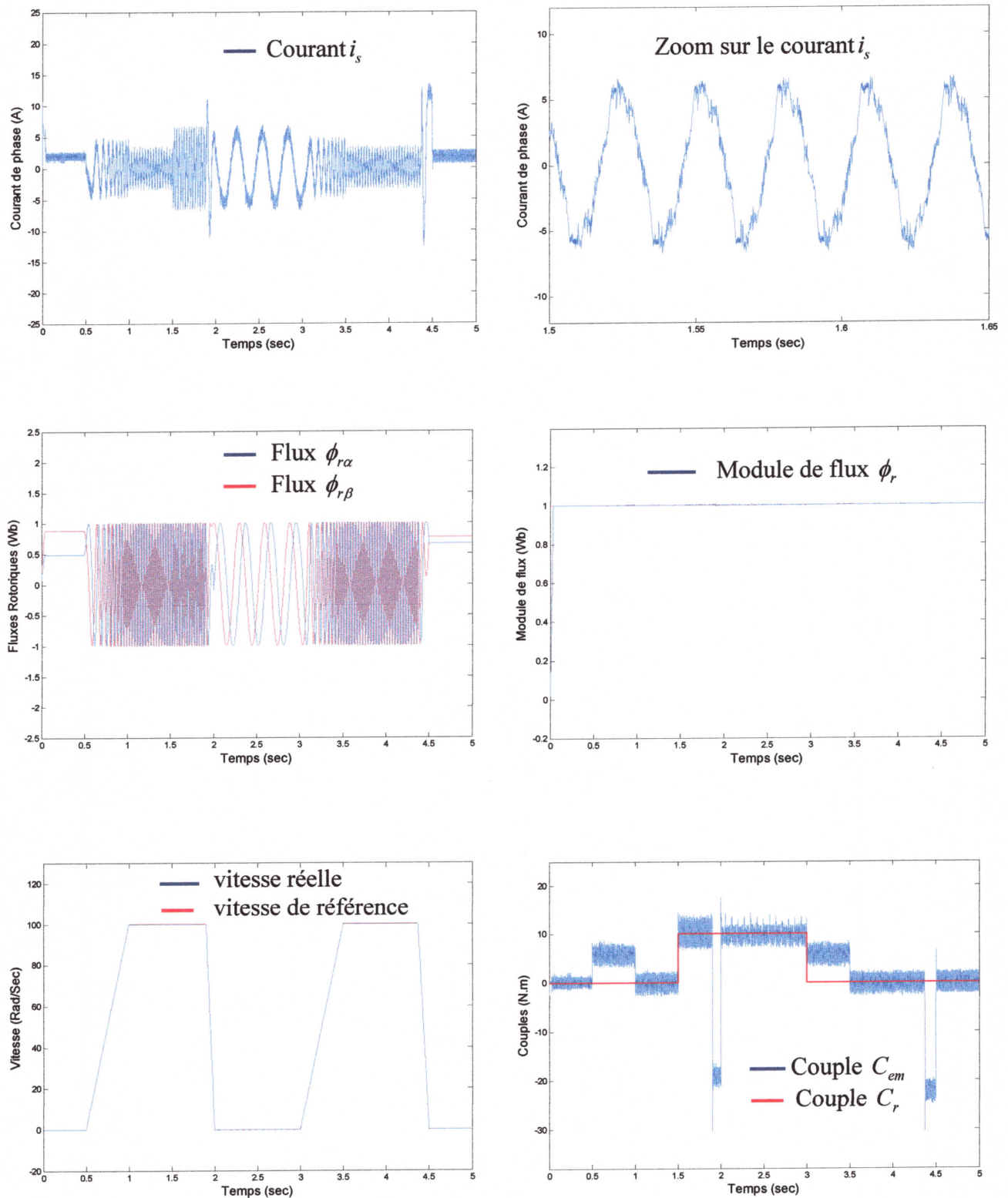




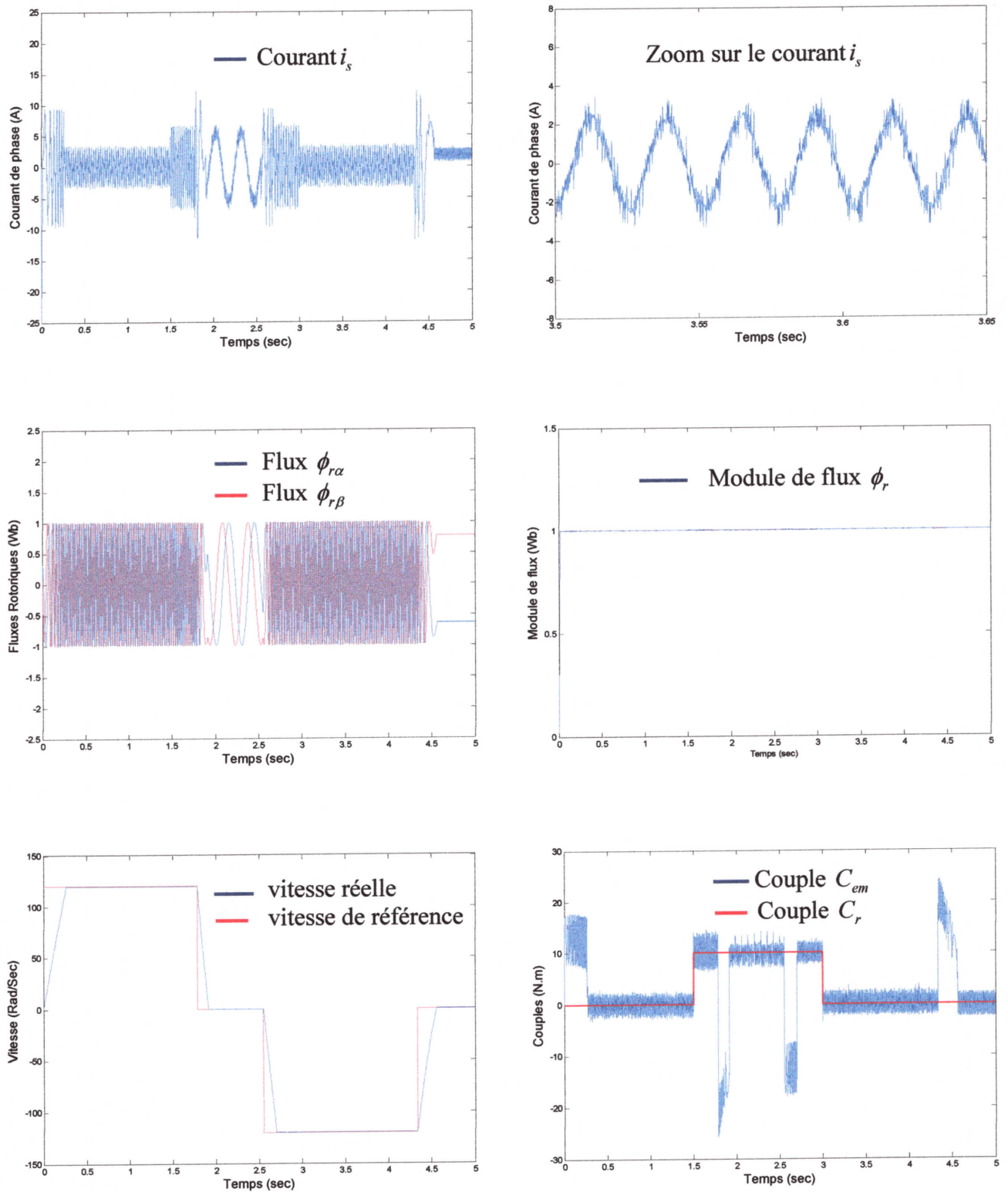
**Figure (III.3) :** Suite du schéma bloc de la loi de commande par mode de glissement statique.

Les simulations de cette commande par mode de glissement statique sont faites pour un flux de référence constant de 1 Wb, alors que la vitesse est variable. Les variations de vitesse sont effectuées à notre choix, pour cela, nous avons opté pour deux trajectoires de fonctionnement critique; une vitesse qui correspond à un fonctionnement intermittent de la machine en plus un fonctionnement avec inversement du sens de rotation. Pour la mise en œuvre de cette loi de commande, les différents constants liés à la synthèse de cette loi sont les suivantes :

$$q_1 = q_2 = 1000, \quad K_0 = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad K_1 = \begin{bmatrix} 30000 & 0 \\ 0 & 300000 \end{bmatrix}. \quad \text{Les résultats sont les suivantes :}$$



**Figure (III.3) :** Premier test de simulation de la commande glissante statique ( flux de référence constant (1 wb), vitesse de référence variable et intermittente et couple de charge  $C_r$  variable).



**Figure (III.4) :** Deuxième test de simulation de la commande glissante statique ( flux de référence constant (1 wb), vitesse de référence inversée et couple de charge  $C_r$ , variable).

A partir de ces deux dernière figure III.3 et III.4, on peut voir tous les grandeurs de la machine qui sont influencés par les conditions de fonctionnement. Mais le plus important c'est de remarquer que le flux rotorique de la machine et la vitesse de rotation suit parfaitement leurs références ce qui montre l'efficacité de la loi de commande par mode de glissement statique, et cela malgré les différentes contraintes rencontrés, à savoir, les variations brusques de la vitesse, en augmentation et en diminution, l'insertion et la suppression brusque du couple de charge.

Nous pouvons remarquer également à partir des même figures que, malgré la convergence vers les références des deux grandeurs réglés, nous pouvons remarquer des perturbations qui apparaissent suite à l'application de la loi de commande, surtout sur les sous figure qui représentent le courant de phase (voir le zoom) et le couple électromagnétique. ce phénomène et ces perturbation sont déjà discutés au deuxième chapitre, ils s'agissent du phénomène de réticence dit également phénomène de chattering du à l'application de la loi de commande par mode de glissement statique. En principe et d'après la théorie énoncée au deuxième chapitre nous avons une solution à ce phénomène, c'est l'application de la commande par mode de glissement dynamique au lieu de la commande statique.

Dans le reste de ce chapitre, nous allons essayer d'appliquer la commande par mode de glissement dynamique dans l'espoir de supprimer les perturbations dues au phénomène de chattering (ou réticences). Mais d'abord, nous allons donné la synthèse de l'application de cette loi à la machine asynchrone.

### III.3. Application de la commande par mode glissant dynamique à la machine asynchrone

Comme on a déjà parlé au deuxième chapitre, l'application de la commande par mode de glissement statique conduit à l'apparition du phénomène de réticence (Chattering), ce qui n'est pas désirable dans les applications pratiques, dans notre simulation précédente nous avons vu les perturbations liés à ce phénomène malgré la poursuite des référence presque idéale. Ce problème possède plusieurs solutions parmi lesquelles on trouve la commande par mode de glissement dynamique que nous avons déjà parlé au deuxième chapitre.

Dans ce qui suit nous allons essayer d'appliquer cette commande à la machine asynchrone pour voir l'efficacité de cette loi de commande dans l'élimination des réticences et le fonctionnement sous différentes contraintes, mais aussi pour tester la robustesse de cette commande en présence des perturbations et variations des paramètres de la machine.

#### III.3.1. Grandeur à régler :

L'objectif de l'application de cette loi de commande est, toujours, le réglage des mêmes grandeurs de la machine données précédemment, qui sont : la vitesse de rotation  $\Omega$  et le carré de module de flux rotorique  $\Phi_r^2 = \Phi_{r\alpha}^2 + \Phi_{r\beta}^2$ . On écrit encore une fois :

$$h_1(x) = \|\Phi_r\|^2 = \Phi_{r\alpha}^2 + \Phi_{r\beta}^2 \quad (\text{III.31})$$

$$h_2(x) = \Omega \quad (\text{III.32})$$

#### III.2. Choix des surfaces de glissement :

Encore une fois et selon la technique présentée en deuxième chapitre, les surfaces de glissement doivent vérifier (selon l'équation II.3) :

$$S_1 = \dot{e}_1 + q_1 e_1 \quad (\text{III.33})$$

$$S_2 = \dot{e}_2 + q_2 e_2 \quad (\text{III.34})$$

avec :

$$e_1 = \Phi_r - \Phi_{ref} = h_1(x) - \Phi_{ref} \quad (\text{III.35})$$

$$e_2 = \Omega - \Omega_{ref} = h_2(x) - \Omega_{ref} \quad (\text{III.36})$$

### III.3.3. Calcul de la commande par mode de glissement dynamique :

Selon le développement détaillé dans la section précédente, la dynamique de la surface s'écrit comme suit:

$$\dot{S} = f(x) + g(x)u + v + \Delta \quad (\text{III.37})$$

La stabilité de la surface de glissement est assurée si la condition de glissement vérifiée ( $S^T \dot{S} < 0$ ), ce qui s'écrit :

$$\dot{S} = -kS \quad (\text{III.38})$$

où:  $k = \text{diag}[k_1, k_2]$ , avec  $k_1, k_2 > 0$

Remplaçons  $\dot{S}$  par son expression (III.35) dans (III.36), on obtient :

$$\dot{S} = f(x) + g(x)u + v + \Delta = -kS \quad (\text{III.39})$$

De l'équation précédente, la commande peut prendre la forme suivante :

$$u^* = -g(x)^{-1}(f(x) + v + \Delta + kS) \quad (\text{III.40})$$

Prenons :

$$u_0 = -g(x)^{-1}(f(x) + v + kS) : \text{commande nominale pour les incertitudes nulles.}$$

$$\Delta_1 = g(x)^{-1} \Delta$$

L'équation (III.38) peut s'écrire sous la forme réduite suivante :

$$u^* = u_0 - \Delta_1 \quad (\text{III.41})$$

Cette forme de commande est appelée idéale, parce que dans ce cas, les incertitudes sont supposées connues. En réalité, puisque ses incertitudes sont inconnues, l'implantation de cette commande est impossible. Pour cela, notre but est de synthétiser une loi de commande  $u$ , qui s'approche vers  $u^*$  dans un temps fini, en se basant sur la commande par mode de glissement.

La commande  $u$  proposée est:

$$u = u_0 + u_s \quad (\text{III.42})$$

Avec  $u_s$  la partie de la commande à calculer, son rôle est d'approcher les incertitudes.

Pour se faire, on définit une surface de glissement :

$$S = u - u^* \quad (III.43)$$

Soit la fonction de Lyapunov :

$$V = 0.5 S_u^T S_u \quad (III.44)$$

Sa dérivée s'écrit comme suit :

$$\dot{V} = S_u^T \dot{S}_u \quad (III.45)$$

En remplaçant  $u, u^*$  par leur expression dans (III.41), la surface de glissement s'écrit comme suit :

$$S_u = u_s + \Delta_1 \quad (III.46)$$

La dynamique de la surface prend la forme suivante :

$$\dot{S}_u = \dot{u}_s + \dot{\Delta}_1 \quad (III.47)$$

Avec  $\dot{\Delta}_1$  est supposée bornée ou on peut écrire :

$$|\dot{\Delta}_{11}| \leq \alpha_1(x, u), |\dot{\Delta}_{12}| \leq \alpha_2(x, u)$$

En remplaçant la dynamique de la surface dans la fonction de Lyapunov, on aura :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= S_u^T (u_s + \dot{\Delta}_1) \\ &= S_u^T \dot{u}_s + S_u^T \dot{\Delta}_1 \\ &\leq S_{u1} \dot{u}_{s1} + S_{u2} \dot{u}_{s2} + |S_{u1}| |\dot{\Delta}_{11}| + |S_{u2}| |\dot{\Delta}_{12}| \\ &\leq S_{u1} \dot{u}_{s1} + S_{u2} \dot{u}_{s2} + |S_{u1}| \alpha_1 + |S_{u2}| \alpha_2 \end{aligned} \quad (III.48)$$

Pour garantir une attractivité en temps fini, on choisit pour  $\dot{u}_s$  la forme suivante :

$$\dot{u}_s = \Lambda \text{sign}(S_u) \quad (III.49)$$

Avec :  $\Lambda = \text{diag} [\Lambda_1, \Lambda_2]$ , et la fonction  $\text{sign}(S_u) = [\text{sign}(S_{u1}), \text{sign}(S_{u2})]^T$ .

Les coefficients  $\Lambda_1$  et  $\Lambda_2$  doivent satisfaire les inégalités suivantes:

$$\begin{aligned}\Lambda_1 &\geq \eta_1 + \alpha_1 \\ \Lambda_2 &\geq \eta_2 + \alpha_2\end{aligned}$$

D'autre part, nous avons  $S_u = u - u^*$ , cette expression de  $S_u$  est mal connue, pour qu'on puisse l'utilisée dans la loi de commande, il faut trouver une relation entre  $S_u$  et des variables bien connues pour nous. Si on ajoute et on soustrait  $g(x)u^*$  dans (III.35), on obtient :

$$\dot{S} = f(x) + g(x)u + v + \Delta + g(x)u^* - g(x)u^* \quad (\text{III.50})$$

On remplaçant  $u^*$  par son expression, on trouve :

$$\begin{aligned}\dot{S} &= f(x) + g(x)u + v + \Delta + g(x) \left[ -g(x)^{-1} (f(x) + v + \Delta + kS) \right] - g(x)u^* \\ \dot{S} &= -kS + g(x)(u - u^*) \\ \dot{S} &= -kS + g(x)S_u\end{aligned} \quad (\text{III.51})$$

On peut écrire  $S_u$  en fonction de la surface et sa dérivée comme suit:

$$S_u = g(x)^{-1} [\dot{S} + kS] \quad (\text{III.52})$$

Finalement on peut écrire la loi de commande par mode glissant dynamique, sous la forme suivante

$$u = -g(x)^{-1} [f(x) + v + kS] + u_s \quad (\text{III.53})$$

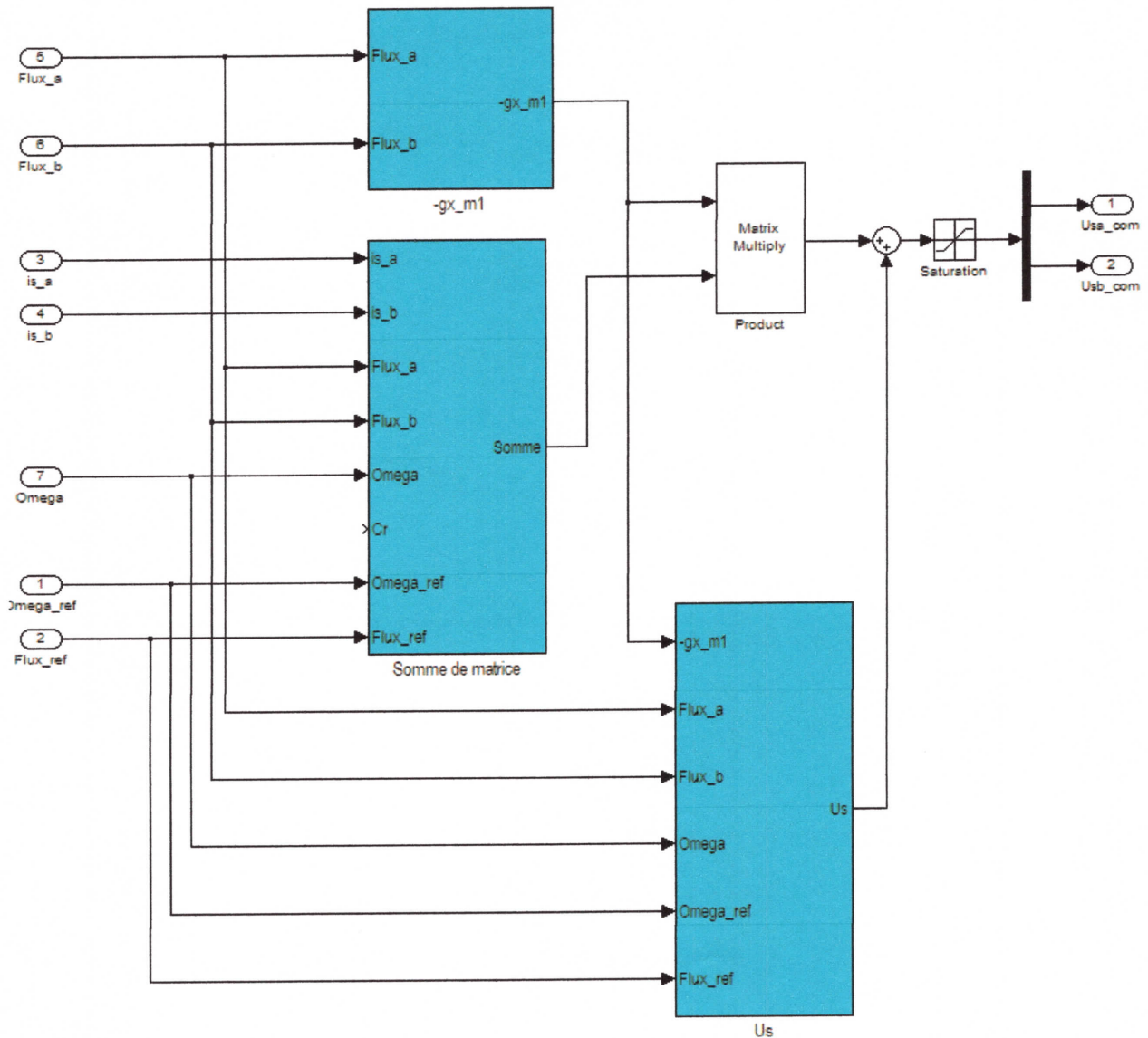
$$\dot{u}_s = -\Lambda \text{sign} \left( g(x)^{-1} (\dot{S} + kS) \right) \quad (\text{III.54})$$

### III.3.4. Simulation de la commande par mode de glissement dynamique

La simulation de cette loi de commande, comme précédemment, est effectuée en appliquant la loi de commande par mode de glissement dynamique sur la même machine en tenant compte de la synthèse présentée dans cette section. Pour pouvoir comparé les résultats obtenues avec les deux techniques de commande, nous pouvons garder les mêmes conditions de fonctionnement et les mêmes références (le flux rotorique et la vitesse de rotation de référence). La loi de commande



appliquée est appliqué en utilisant le schéma bloc suivant qui résume la commande par mode de glissement dynamique données par les équations (III.51) et (III.52) donnée par la figure III.5.



**Figure (III.5) :** Schéma bloc de simulation de la loi de commande par mode de glissement dynamique.

Les simulations effectuées pour cette commande par mode de glissement dynamique sont faites pour un flux de référence constant de 1 Wb, alors que la vitesse est variable. Les variations de

vitesse sont toujours effectués à notre choix, pour cela, nous avons opter pour les deux trajectoires de fonctionnement effectués précédemment; une vitesse qui correspond à un fonctionnement intermittent et un fonctionnement avec inversement du sens de rotation.

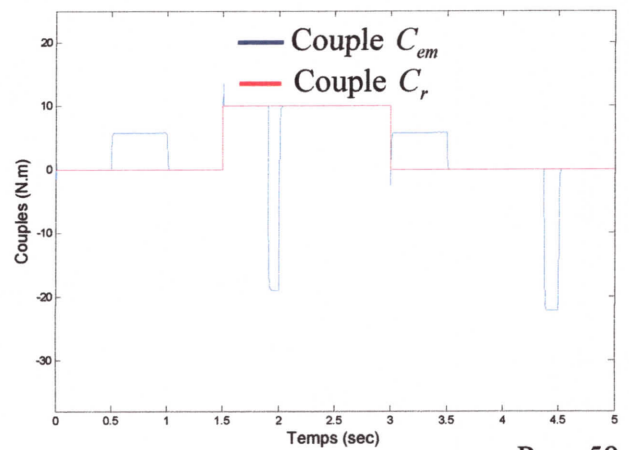
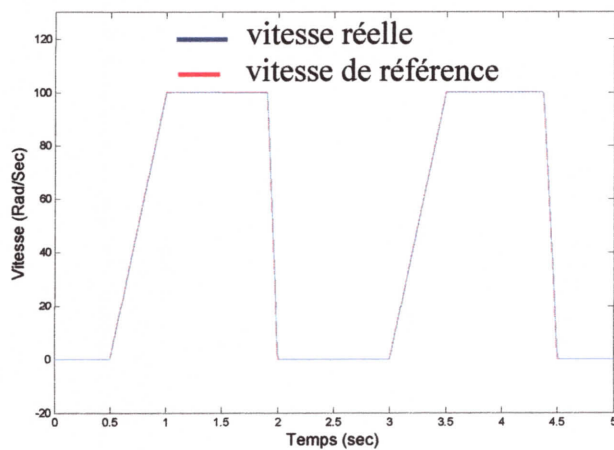
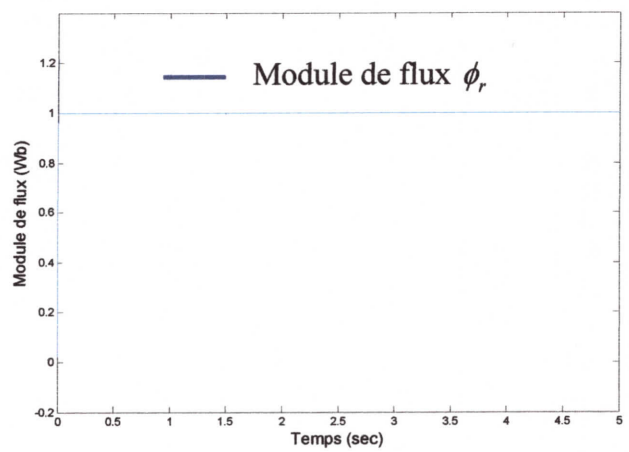
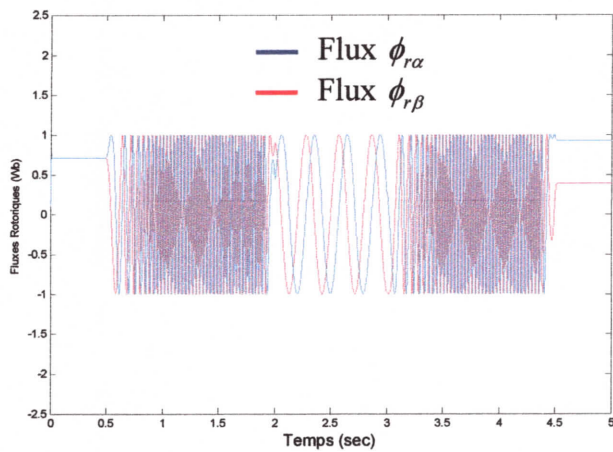
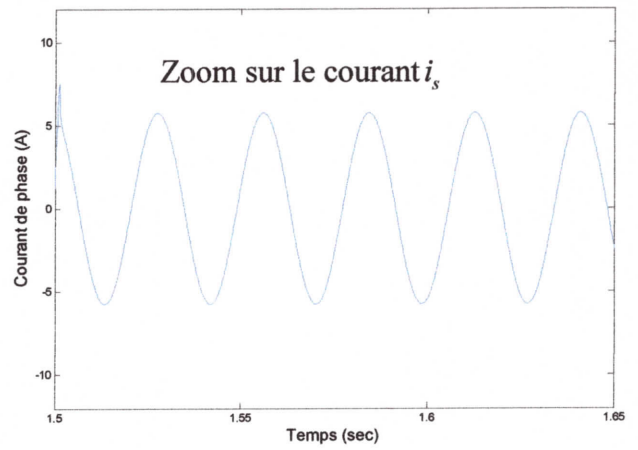
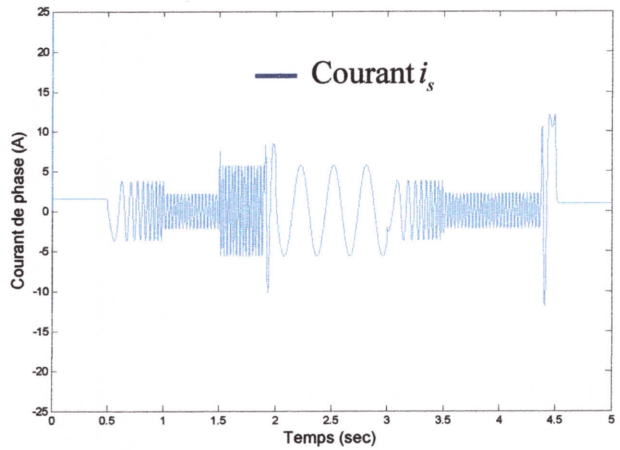
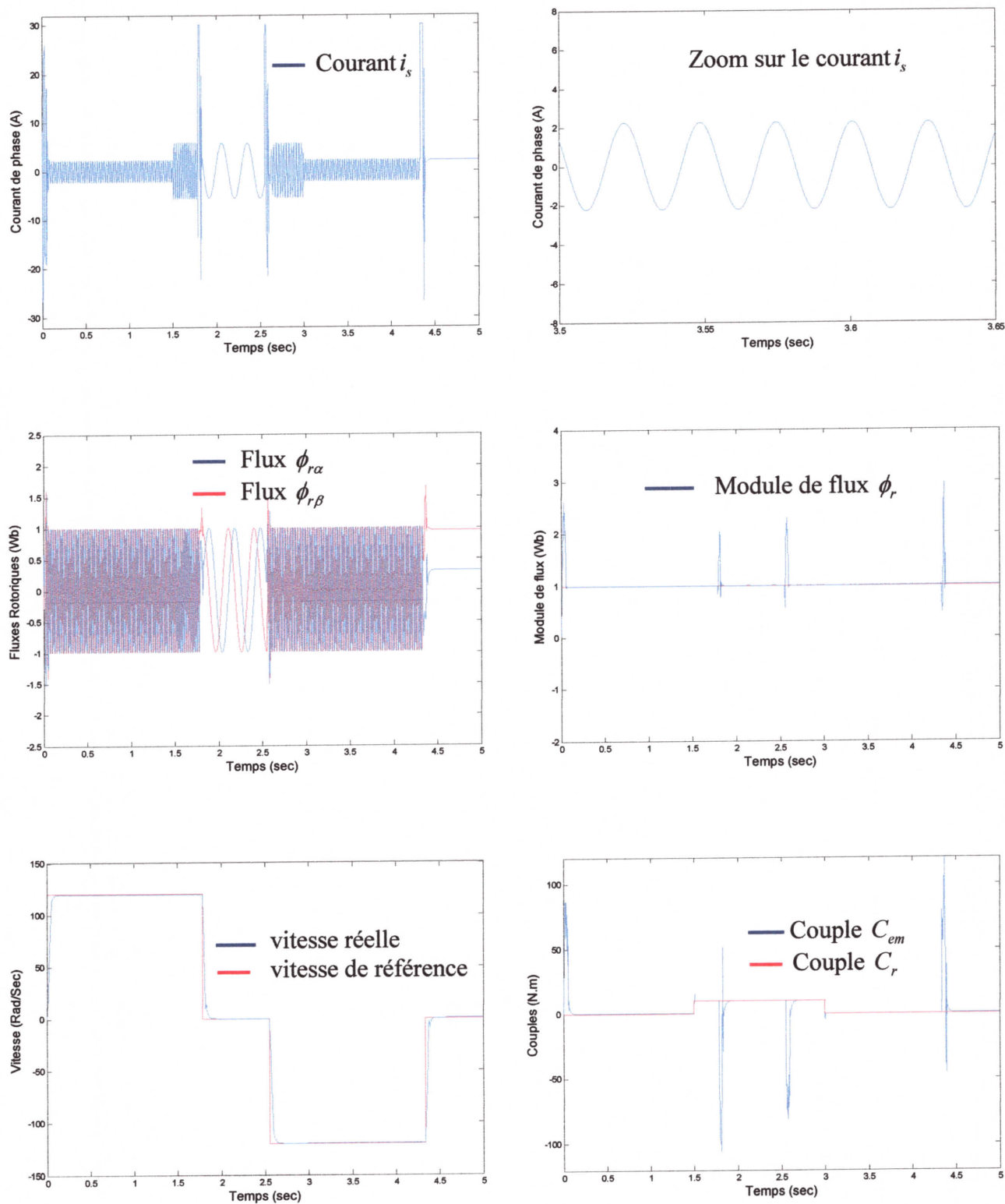


Figure (III.6) : Premier test de simulation de la commande glissante statique ( flux de référence constant (1 wb), vitesse de référence variable et intermittente et couple de charge  $C_r$  variable).



Les résultats donnés par les figures (III.6) et (III.7) sont obtenus en appliquant la commande dynamique. Pour la mise en œuvre de cette loi de commande, les différents constantes liés à la

synthèse de cette loi sont les suivantes :  $q_1 = q_2 = 5000$ ,  $K = \begin{bmatrix} 10000 & 0 \\ 0 & 10000 \end{bmatrix}$  et

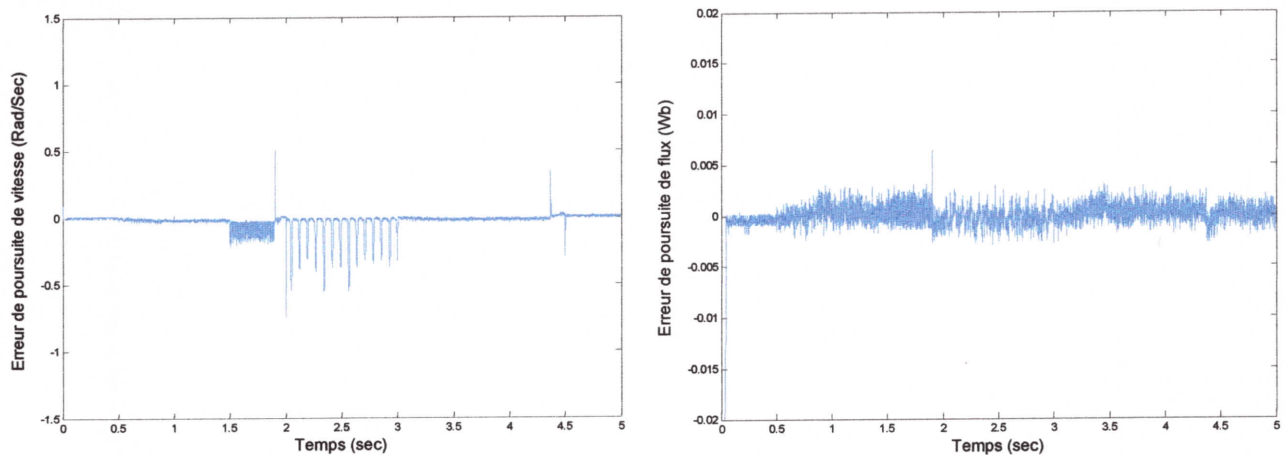
$$\Lambda = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 50 \end{bmatrix}.$$

A partir des deux dernières figures III.6 et III.7, on peut voir que les grandeurs de la machine sont influencées par les conditions de fonctionnement. Encore une fois, la commande par mode de glissement assure des très bonnes performances en terme de poursuite des deux références, où le flux rotorique de la machine et la vitesse de rotation suit parfaitement leurs références, ce qui montre l'efficacité et la réussite de l'application de cette loi de commande par mode de glissement dynamique malgré les différentes conditions de fonctionnement critiques rencontrés, à savoir, les mêmes variations brusques de la vitesse, en augmentation et en diminution, et les variations brusques du couple de charge.

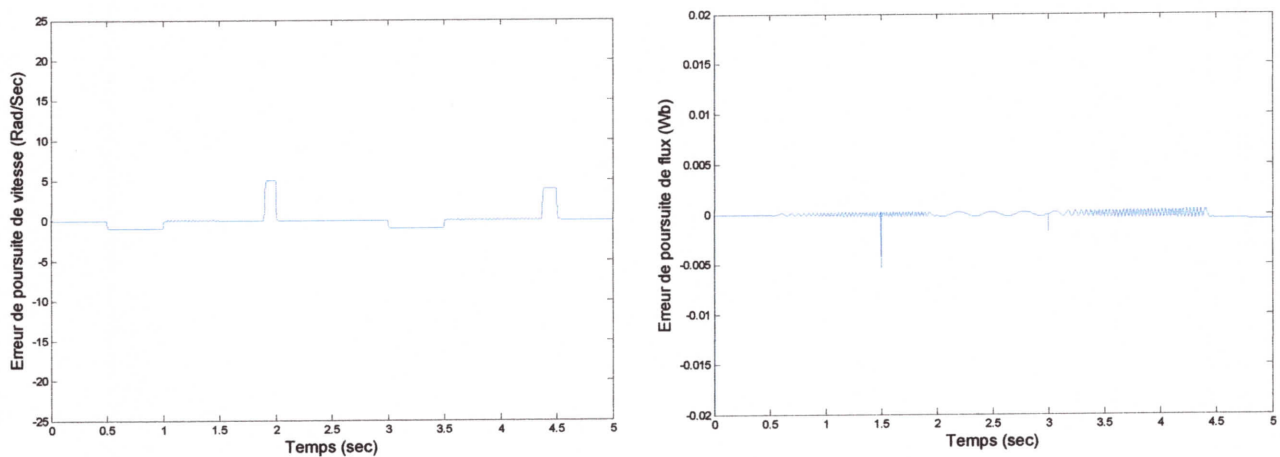
En ce qui concerne le phénomène de chattering, nous pouvons remarquer à partir des mêmes figures que des perturbations (sur les sous figures qui représentent le courant de phase (voir le zoom) et le couple électromagnétique) qui sont remarqués dans le cas de la commande par mode de glissement statique sont maintenant éliminés. Cela est grâce à l'utilisation de la loi de commande par mode de glissement dynamique, ce qui justifie la théorie donnée en deuxième chapitre et qui présente l'avantage de l'application de cette dernière commande par rapport à la première.

Pour aider à distinguer la différence entre les deux types des commandes appliquées (qui est en réalité claire à partir des figures déjà présentés), nous avons tracer les erreurs de poursuite commises dans la poursuite des deux références, ces figures sont données par III.8 et III.9. Sur lesquelles nous pouvons remarquer encore une fois, et d'une manière plus claire, que les résultats obtenus (les différents grandeurs de la machine) après l'application de la commande par mode de glissement dynamique contient vraiment moins des perturbations, autrement dit, les différents grandeurs contient moins de réticence. Ce qui justifie encore une fois la théorie présentée en deuxième chapitre.

obtenues (les différents grandeurs de la machine) après l'application de la commande par mode de glissement dynamique contient vraiment moins des perturbations, autrement dit, les différents grandeurs contient moins de réticence. Ce qui justifie encore une fois la théorie présentée en deuxième chapitre.



**Figure (III.8) :** Erreurs de poursuite des référence de la machine en appliquant la commande par mode de glissement statique.





### III.4. Conclusion

Nous avons présenté, une méthode d'analyse et de synthèse de la loi de commande par mode de glissement statique et dynamique appliquées à la machine asynchrone. La commande, dans les deux cas, utilise la méthode de Lyapunov pour assurer la convergence vers zéro des erreur de poursuite. La première partie a été consacrée à l'application de la première commande à travers l'élaboration, l'application et la simulation de la loi de commande à la machine asynchrone. En suite, et dans la deuxième partie nous avons élaboré et appliquer la commande par mode de glissement dynamique à la machine. Cette dernière loi présente plus de performances et montre son efficacité même dans le cas où les paramètres (mécaniques et électriques) de la machine subissent des variations critique. La commande ainsi développée nous permet d'assurer une très bonne poursuite de la vitesse et de flux, mais aussi, dans la diminution des perturbations dites de réticences liées à l'application de la commande par mode de glissement. On a remarquer, à partir des différentes simulations faites, que le système de commande par mode de glissement dynamique donne de bonnes performances et que la poursuite de la vitesse est robuste dans le cas où le couple de charge nominale subirait des variations.

MCours.com