

III.1-INTRODUCTION

Dans le domaine de la commande des machines électriques, les travaux de la recherche s'orientent de plus en plus vers l'application des techniques de commandes robustes. Ces techniques évoluent d'une façon vertigineuse avec l'évolution des calculateurs numériques et de l'électronique de puissance. Ceci permet d'aboutir à des processus industriels de hautes performances. Nous pouvons citer à titre d'exemple la commande floue, la commande adaptative, la commande par mode de glissement...etc. L'intérêt récent accordé à cette dernière est dû essentiellement à la disponibilité des interrupteurs à fréquence de commutation élevée et des microprocesseurs de plus en plus performants [11].

Le mode de glissement est un mode de fonctionnements particulier des systèmes à structure Variable. La commande par mode de glissement est une méthode de réglage dans laquelle la structure est commutée de manière à ce que le vecteur d'état " x " suive une trajectoire $S(x)=0$ Dans l'espace d'état [11].

Cette technique de commande s'adapte aux variations des paramètres du procédé à commander.

III.2-CONCEPTS GENERAUX DE LA COMMANDE PAR MODE GLISSANT

III.2.1-Historique

Une attention considérable a été concentrée sur la commande du système non linéaire à dynamique incertaine, souvent sujet aux perturbations et aux variations paramétriques. La théorie des systèmes à structure variable et les modes de glissements associés a fait l'objet d'études détaillées au cours des trente dernières années [12]. Des contrôleurs à structure variable ont fait leur application dans la littérature soviétique (*Emelyanove* 1967, *Utikin* 1974), et ont été largement identifiés comme une approche potentielle à ce problème (*Gao et Hung* 1993).

Des recherches sur la commande à structure variable ont été données par *Decarlo* et d'autre (1998), *Hung* et d'autre (1993), l'action de commande force la trajectoire de systèmes à intercepter l'espace d'état intitulé surface du glissement. Les trajectoires de système sont alors confondues avec la surface de glissement durant l'utilisation des commandes à une grande vitesse de commutation. L'avantage saillant de la commande à structure variable avec le mode glissant, est la robustesse contre des changements des paramètres ou des perturbations. Le phénomène "chattering" associé à la commande par mode glissant, présente un inconvénient majeur parce qu'il peut exciter la

dynamique de la commutation à haute fréquence qui le rend indésirable. Plusieurs méthodes pour réduire ce phénomène ont été proposées [12].

III.2.2-Obejectif de la commande par mode glissant

L'objectif de la commande par mode glissant se résume en deux points essentiels [10]:

- Synthétiser une surface $S(x, t)$, telle que toutes les trajectoires du système obéissent à un comportement désiré de poursuite, régulation et stabilité.
- Déterminer une loi de commande (commutation) $U(x, t)$ qui est capable d'attirer toutes les trajectoires d'état vers la surface de glissement et les maintenir sur cette surface.

III.2.3-Principe

Un système à structure variable (VSS) est un système dont la structure change pendant son fonctionnement. Il est caractérisé par le choix d'une structure et d'une logique de commutation. Ce choix permet au système de commuter d'une structure à une autre à tout instant. De plus, un tel système peut avoir de nouvelles propriétés qui n'existent pas dans chaque structure [13].

Comme il a été présenté précédemment, la commande par le mode glissant est un cas particulier de la commande à structure variable appliquée à des systèmes décrits par l'équation suivante (on se limite au cas $n = 2$) :

$$\dot{x} = f = \begin{cases} f^+(x, u^+) & \text{si } S(x, t) > 0 \\ f^-(x, u^-) & \text{si } S(x, t) < 0 \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

Les champs de vecteurs u^+ et u^- sont définis par :

$$u = \begin{cases} u^+ & \text{si } S(x, t) > 0 \\ u^- & \text{si } S(x, t) < 0 \end{cases} \quad (\text{III-2})$$

Où $S(x, t)$ est la fonction de commutation (surface).

La surface de commutation S_0 est définie comme suit :

$$S_0 = \{x(t) \mid S(x, t) = 0\}$$

Ici, on a choisi une surface de glissement sur laquelle le système commute; c'est la surface sur laquelle le système suit l'évolution désirée. En général, la variété de commutation est de dimension égale à «n» moins le nombre de fonction de commutation disponible (i.e. dans le cas de la commande, c'est le nombre de sorties à stabiliser).

Les trajectoires associées à la fonction f se résument en trois configurations où sont décrites les évolutions temporelles :

- La première configuration représente des trajectoires de f^+ et f^- qui mettent en évidence un phénomène de répulsion de celles-ci vis-à-vis de la surface de commutation S_0 .
- La deuxième configuration représente des trajectoires où il existe des phénomènes d'attraction pour f^+ (respectivement pour f^-) et de répulsion pour f^- (respectivement pour f^+).
- La troisième configuration, figure (III-1) représente des trajectoires de f^+ et f^- qui convergent vers la surface de commutation S_0 , et qui ont la particularité de glisser sur celle-ci. Ce phénomène est appelé "mode de glissement".

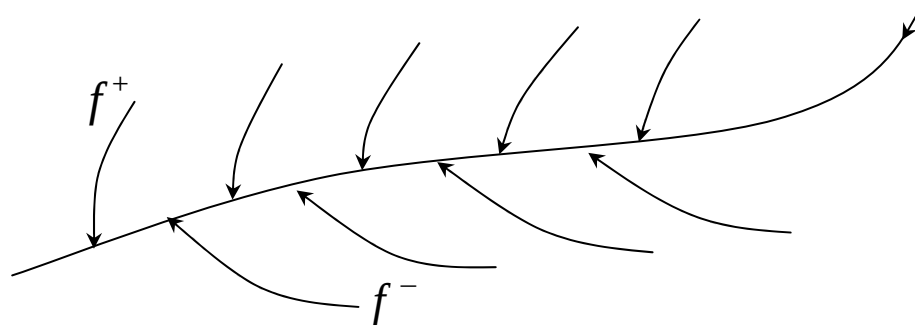


Figure (III-1): Trajectoires de f^+ et de f^- pour le mode de glissement.

III.2-4-Les modes de la trajectoire dans le plan de phase

La technique de la commande par mode glissant consiste à ramener la trajectoire d'état d'un système vers la surface de glissement et de la faire commuter à l'aide d'une logique de commutation appropriée jusqu'au point d'équilibre [13]. Cette trajectoire est constituée de trois parties distinctes [14], figure (III-2) :

a- Le mode de convergence (MC) :

Dont la variable à réguler se déplace à partir du point d'équilibre initial, en d'autres termes c'est le comportement durant lequel la variable à réguler se déplace à partir d'un état initial vers la surface de commutation.

b- Mode de glissement (MG) :

C'est le mouvement (comportement) du système le long de la surface de commutation. La dynamique dans ce mode dépend du choix de la surface de glissement. Il apparaît quand la commande ramène l'état x sur la surface de commutation et s'efforce de l'y maintenir.

c-Le mode de régime permanent (MRP) :

Il est nécessaire pour l'étude du comportement d'un système autour du point d'équilibre.

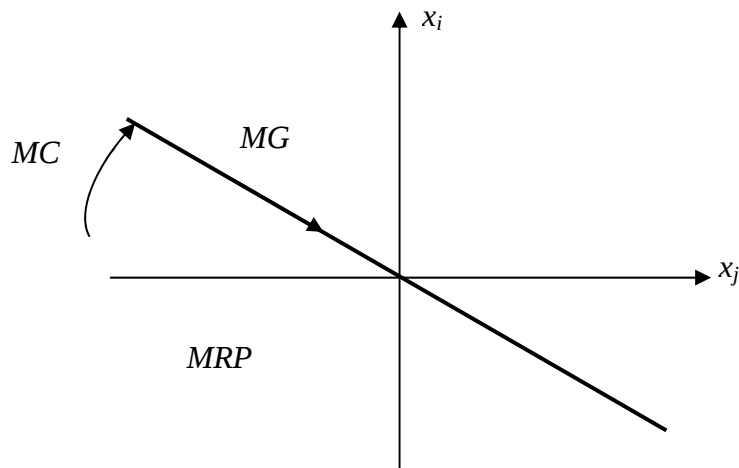
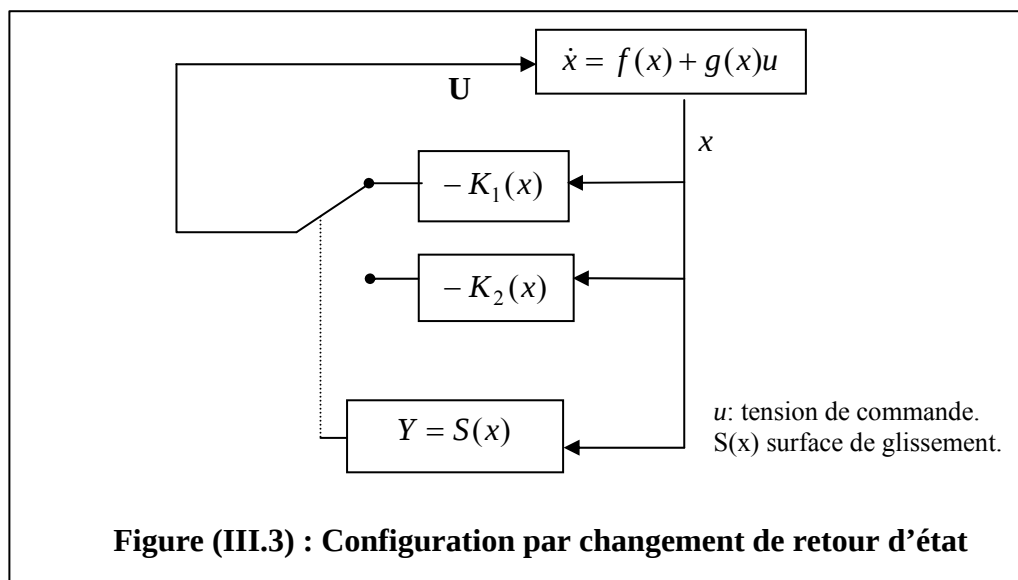


Figure (III-2) : Les modes de trajectoire dans le plan de phase

III.2.5-Configuration de base pour les systèmes à structure variable (SSV)

On peut distinguer deux configurations de base pour les systèmes à structure variable [13]. Une première configuration permettant un changement de la structure par commutation d'une contre-réaction d'état variable avec deux retours d'état différent, figure (III.3).

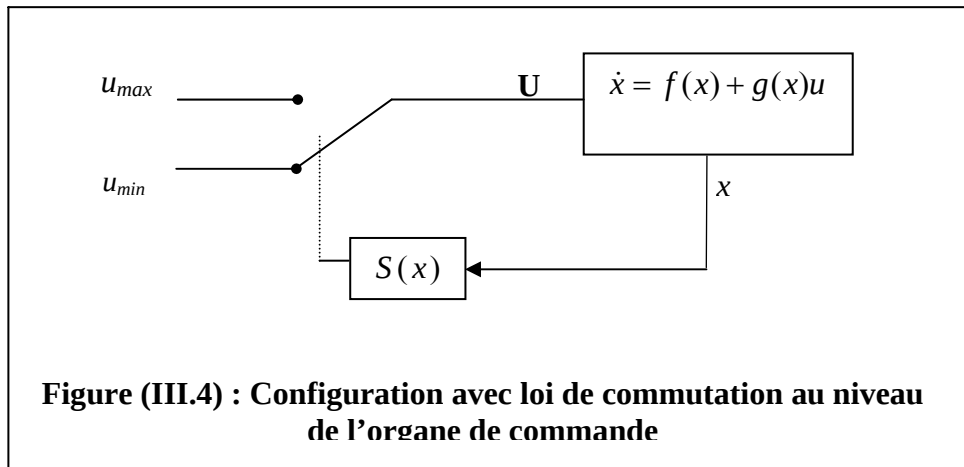


Suivant que $S(x)$ est positif ou négatif, la commande u est donnée par :

$$\begin{cases} u = -K_1(x) & \text{si } S(x) > 0 \\ u = -K_2(x) & \text{si } S(x) < 0 \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

En mode glissant, le système évolue sur la surface de glissement, par conséquent $S(x) = 0$.

Une autre configuration permet la variation de la structure du système par simple commutation au niveau de l'organe de commande qui doit être conçu de sorte que la grandeur de commande u ne prenne que deux valeurs constantes u_{max} et u_{min} figure (III.4).



Cette configuration nécessite un organe de commande qui possède une action à deux positions avec une commutation rapide d'une position à l'autre. La commutation entre ces deux valeurs est imposée par la loi de commutation selon:

$$u = \begin{cases} u_{max} & \text{si } S(x) > 0 \\ u_{min} & \text{si } S(x) < 0 \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

III.2.6-Condition d'existence du mode glissant

Le mode glissant existe lorsque les commutations ont lieu continûment entre u_{max} et u_{min} . Ce phénomène est illustré dans la figure (III.5) pour le cas d'un système de réglage du deuxième ordre avec les deux grandeurs d'état x_1 et x_2 [13].

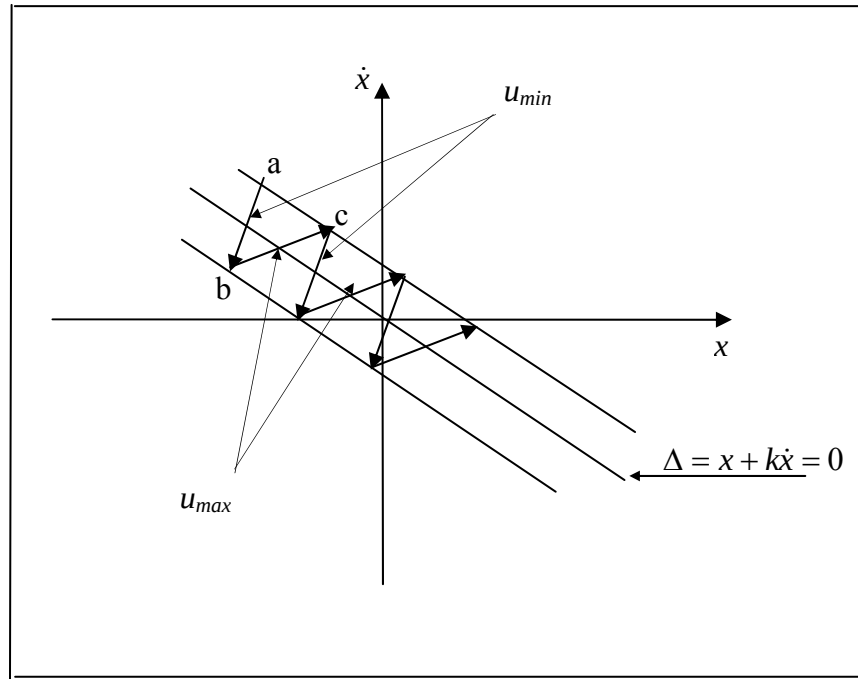


Figure (III.5) : Démonstration du mode de glissement

On considère d'abord une hystérésis sur la loi de commutation $S(x) = 0$ (droite en trait interrompu), les commutations ont lieu sur les droites décalées parallèlement de $\pm \Delta S$. Une trajectoire avec $u = u_{max}$ touche au point "a" le seuil de basculement inférieur. Si avec $u = u_{min}$, la trajectoire est orientée vers l'intérieur de la zone de l'hystérésis, elle touche au point "b" le seuil de basculement supérieur ou lieu de commutation sur $u = u_{min}$. Si la trajectoire est de nouveau orientée vers l'inférieur et ainsi de suite. Il y'a donc un mouvement continu à l'intérieur de la zone de l'hystérésis. Par conséquent la loi de commutation fait un mouvement infiniment petit autour de $S(x) = 0$ et le vecteur x suit une trajectoire qui respecte cette condition.

III.2.7-Fonction de LYAPUNOV

La fonction de *Lyapunov* est une fonction scalaire positive pour les variables d'état du système. L'idée est de choisir une fonction scalaire $S(x)$ pour garantir l'attraction de la variable à contrôler vers sa valeur de référence [*].

Nous définissons la fonction de Lyapunov comme suit :

$$V(x) = \frac{1}{2} S^2(x) \quad (\text{III.6})$$

La dérive de cette fonction est :

$$\dot{V}(x) = S(x) \cdot \dot{S}(x) \quad (\text{III.7})$$

Pour que la fonction $V(x)$ puisse décroître, il suffit d'assurer que sa dérivée est négative. D'où la condition de convergence exprimée par $S(x) \cdot \dot{S}(x) < 0$.

III.2.8-La commande robuste par mode glissant

III.2.8.1- Notion de glissement

Considérons le système suivant:

$$\dot{x} = u + P(t) \quad (\text{III.8})$$

Où : x : La position d'un mobile,

u : La force appliquée,

$P(t)$: Une force de résistance quelconque.

Si la commande est de type tout ou rien alors $u = \pm u$, et les trajectoires sont donnée par :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \pm u + \dot{x}(0) + \int_0^1 p(t) dt \\ x(t) &= \pm \frac{1}{2} u t^2 + \dot{x}(0) + \iint_t p(t) dt \end{aligned} \quad (\text{III.9})$$

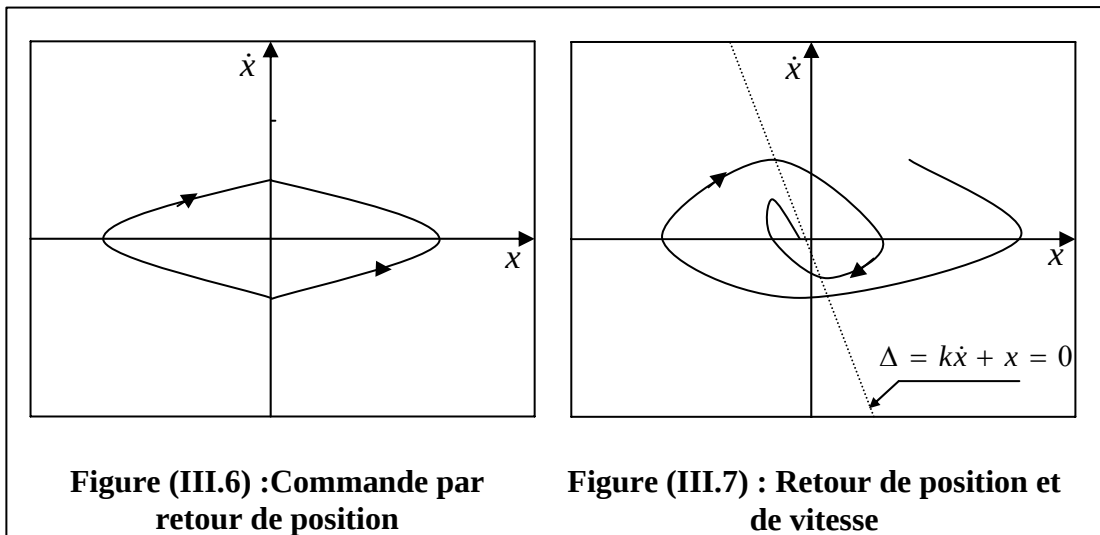
Pour $P(t) = 0$, ce sont des paraboles dans le plan $(x, \dot{x})$. L'objectif de commande étant maintenant de ramener x à l'origine, on constate que la commande est bouclée avec un retour de position :

$$u = -v \cdot \text{sign}(x) \quad (\text{III.10})$$

Ne permet pas de stabiliser le système, les trajectoires en l'absence de force résistante étant périodiques, figure (III.6). Pour remédier à ce problème, il vaut mieux utiliser : un retour de la forme:

$$u = -v \cdot \text{sign}(x + k\dot{x}) \quad (\text{III.11})$$

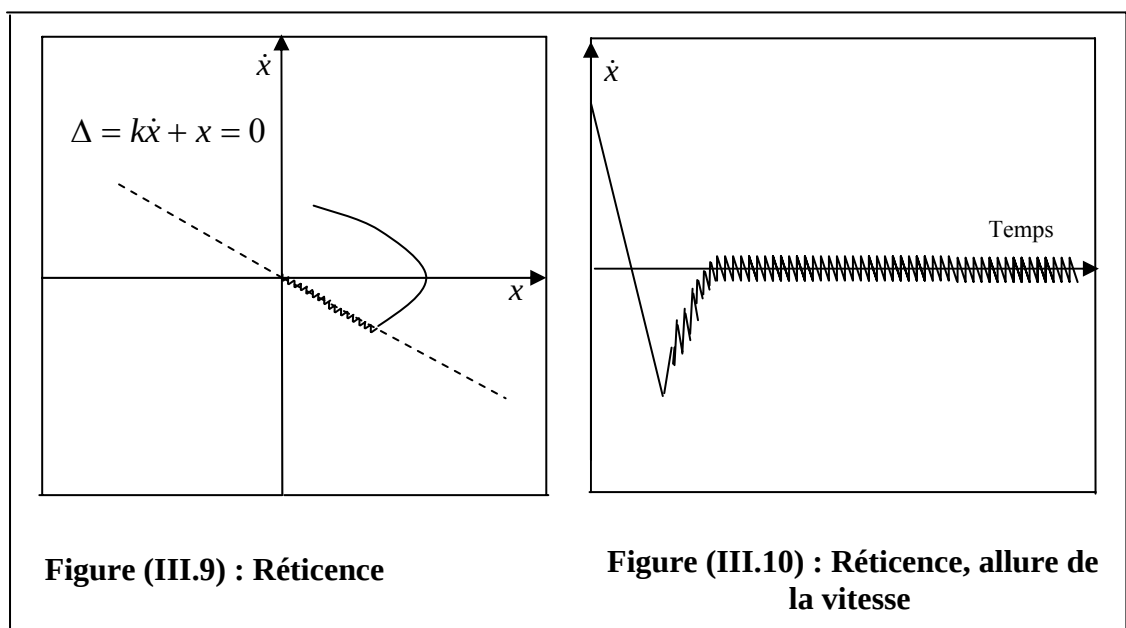
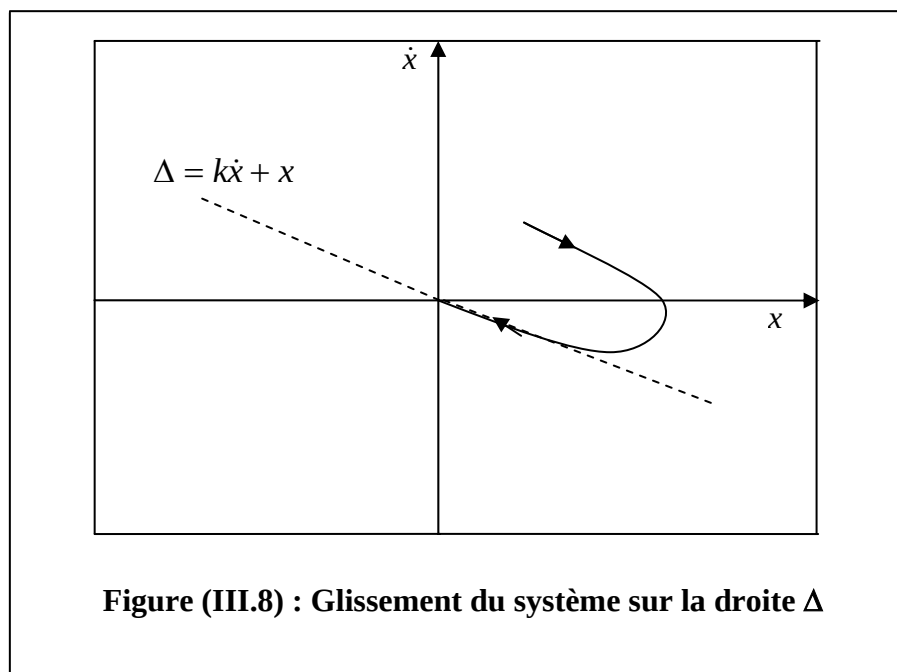
Qui donne la convergence, figure(III.7).



La droite (Δ) de la figure (III.7) est appelée «droite de commutation ». A partir d'une certaine valeur de k , la trajectoire ne peut plus quitter la droite de commutation, figure (III.7), et est astreinte à s'y déplacer jusqu'à l'origine. On dit que le système « glisse » sur la droite.

III.2.8.2-Recherche d'une commande assurant un mode glissant

La commande de la figure (III.8) présente les effets de r  tence due aux retards de commutation figure (III.9) et (III.10) : raison pour laquelle la commande a été jugée néfaste, brutale et peu efficace, sollicitant fortement les organes de commande.



Les trajectoires obtenues sont largement insensibles aux perturbations, et la dynamique du procédé peut être choisie avec une grande liberté. Notons pour l'instant que la commande tout ou rien présente l'intérêt remarquable d'être plus rapide qu'une commande linéaire bornée.

Pour remédier au problème de réticence on doit choisir une courbe de commutation par exemple la droite $\Delta = x + k\dot{x}$.

Le but que nous recherchons est de rejoindre à partir de l'état initial la droite (Δ), puis obliger la trajectoire à rester sur cette droite. Alors, la dynamique du système sera fixée par l'équation de la droite, et l'origine sera rejointe avec la constante de temps k .

Posons donc :

$$S = (x + k \dot{x}) \quad (\text{III.12})$$

En dérivant, il vient :

$$\dot{S} = \dot{x} + k(u + p(t)) \quad (\text{III.13})$$

Lorsque $P(t)$ est nulle, la commande sera :

$$U_{eq} = -\frac{x}{k} \quad (\text{III.14})$$

Cela garantit que $\dot{S} = 0$, ce qui signifie que la trajectoire est contrainte à demeurer sur la droite S sur laquelle elle se trouve. Cette droite est donc invariante en l'absence de perturbation. u_{eq} est appelé « Commande Equivalente ».

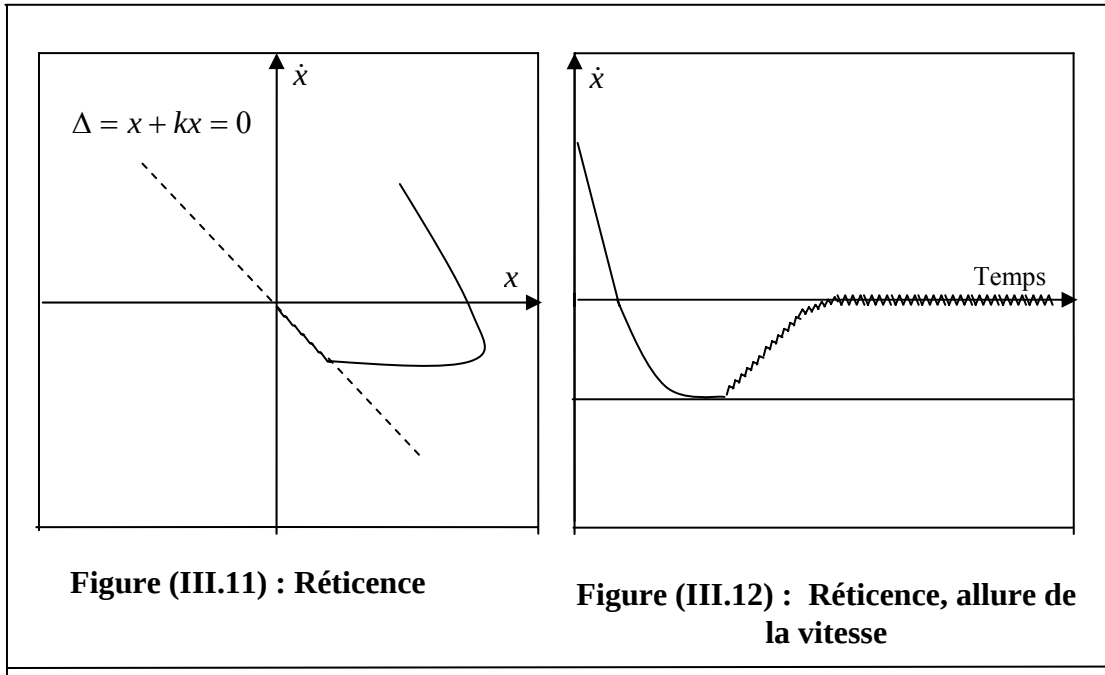
Afin d'obliger le système à suivre la trajectoire imposée, il suffit à présent de rendre $S=0$ attractive. Pour cela, on ajoute une commande commutant u_c à la commande équivalente u_{eq} sous la forme :

$$\begin{cases} u_c = -v \cdot \text{sign}(S) \\ u = u_{eq} + u_c \end{cases} \quad (\text{III.15})$$

En choisissant v assez grande :

$$v > |P|_{\max} \quad (\text{III.16})$$

Alors la condition $S \cdot \dot{S} < 0$ est toujours réalisée, ce qui prouve que $S=0$ est attractive et invariante, malgré P .



Le résultat obtenu avec la commande (III.15) est illustré sur les figures (III.11) et (III.12). On peut y observer le ralliement de l'origine avec une dynamique de premier ordre, donné par la valeur de k .

En effet, il existe un large domaine d'application pour cette technique moderne, mais elle est peu connue jusqu'à présent.

III.3-APPLICATION DE MODE GLISSANT A LA MACHINE ASYNCHRONE

III.3.1-Modèle du moteur asynchrone

Le modèle utilisé est le modèle trouvé au chapitre (I) dont les grandeurs électriques sont toutes exprimées dans un repère fixe lié au stator et qui sera qualifié de modèle $(\alpha\text{-}\beta)$. Le modèle est donné par :

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u(t) \quad (\text{III.17})$$

Avec :

$$\begin{cases} u = [u_{s\alpha} & u_{s\beta}]^T \\ x = [i_{s\alpha} & i_{s\beta} & \phi_{r\alpha} & \phi_{r\beta} & \Omega_r]^T = [x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5]^T \end{cases} \quad (\text{III.18})$$

Les variables x sont composées de deux états électriques ($i_{s\alpha}, i_{s\beta}$) et deux états magnétiques ($\phi_{r\alpha}, \phi_{r\beta}$) et un état représentant la vitesse de rotation du rotor Ω_r , gouverné par une équation mécanique.

f et g sont des fonctions des variables x .

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = -\gamma x_1 + \frac{\beta_0}{T_r} x_3 + p\beta_0 x_4 x_5 + \alpha_0 u_{s\alpha} \\ \dot{x}_2 = -\gamma x_2 + \frac{\beta_0}{T_r} x_4 - p\beta_0 x_5 x_3 + \alpha_0 u_{s\beta} \\ \dot{x}_3 = \frac{M}{T_r} x_1 - \frac{1}{T_r} x_3 - p x_4 x_5 \\ \dot{x}_4 = \frac{M}{T_r} x_2 - \frac{1}{T_r} x_4 + p x_3 x_5 \\ \dot{x}_5 = \mu(x_2 x_3 - x_1 x_4) - \frac{C_r}{J} \end{array} \right. \quad (\text{III.19})$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1}{T_r} \left(\frac{1-\sigma}{\sigma} \right) \\ \beta_0 = \frac{1-\sigma}{\sigma} \frac{1}{M} \\ \alpha_0 = \frac{1}{\sigma L_s} \\ \mu = \frac{pM}{JL_r} \end{array} \right. \quad (\text{III.20})$$

III.3.2-Choix des surfaces de glissements

Dans le contrôle de la machine il faut d'assurer du contrôle du flux par la suite celui de la vitesse, ou que la dynamique de vitesse est la plus lente. Notre choix des surfaces de glissements des variables à contrôler dont la vitesse et le flux qui sont donnés dans forme d'un système de surface du premier ordre.

➤ Vitesse Ω_r

$$S_1 = K_1(\Omega_r - \Omega_{r\text{ref}}) + (\dot{\Omega}_r - \dot{\Omega}_{r\text{ref}}) \quad (\text{III.21})$$

Si on introduit l'erreur en vitesse :

$$\varepsilon_\Omega = \Omega_r - \Omega_{r\text{ref}} \quad (\text{III.22})$$

On aura :

$$S_1 = K_1 \varepsilon_\Omega + \dot{\varepsilon}_\Omega \quad (\text{III.23})$$

➤ Flux ϕ_r

$$S_2 = K_2(\phi_r - \phi_{r\text{ref}}) + (\dot{\phi}_r - \dot{\phi}_{r\text{ref}}) \quad (\text{III.24})$$

Avec l'erreur en flux :

$$\varepsilon_{\phi_r} = \phi_r - \phi_{r\text{ref}} \quad (\text{III.25})$$

On aura :

$$S_2 = K_2 \cdot \varepsilon_{\phi_r} + \dot{\varepsilon}_{\phi_r} \quad (\text{III.26})$$

Où : K_1 et K_2 sont des gains positifs.

III.3.3-Conditions de convergence

Pour que les variables choisies convergent vers leurs valeurs de référence il faut que les deux surfaces de glissement soient nulles.

$$\begin{cases} S_1 = 0 \\ S_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{d}{dt}(\Omega_r - \Omega_{rref}) + K_1(\Omega_r - \Omega_{rref}) = 0. \\ \frac{d}{dt}(\phi_r - \phi_{rref}) + K_2(\phi_r - \phi_{rref}) = 0. \end{cases} \quad (\text{III.27})$$

Par conséquent pour une surface de glissement nulle ($S_1=0$) la vitesse mécanique et le flux rotorique convergeant exponentiellement vers leurs références. Alors pour suivre Ω_{rref} et ϕ_{rref} , il suffit de rendre la surface de glissement attractive et invariante.

La réalisation d'un mode glissant est conditionné par la vérification par la relation d'attractivité de Lyaponov ($S_i \cdot \dot{S}_i < 0$) et celle d'invariance ($\dot{S}_i=0$).

III.3.4- Loi de commande par mode glissant

Notre but consiste à générer une loi de commande $[u_{s\alpha}, u_{s\beta}]^T$ en utilisant la théorie du contrôle par mode glissant. Les états considérés pour le contrôle du moteur asynchrone sont: La vitesse et le flux rotorique (Ω_r, ϕ_r).

Pour des raisons de commodité de calcul on prendra [10]:

$$\phi_r = \phi_r^2 = \phi_{r\alpha}^2 + \phi_{r\beta}^2 = x_3^2 + x_4^2 \quad (\text{III.28})$$

Sa dérivée correspondante donne :

$$\dot{\phi}_r = 2x_3\dot{x}_3 + 2x_4\dot{x}_4 \quad (\text{III.29})$$

Les surfaces de glissement seront alors :

$$\begin{cases} S_1 = K_1(x_5 - \Omega_{rref}) + (\dot{x}_5 - \dot{\Omega}_{rref}) \\ S_2 = K_2(\phi_r - \phi_{rref}) + (\dot{\phi}_r - \dot{\phi}_{rref}) \end{cases} \quad (\text{III.30})$$

Les dérivées successives de S_1 et S_2 seront :

$$\begin{cases} \dot{S}_1 = K_1(\dot{x}_5 - \dot{\Omega}_{rref}) + (\ddot{x}_5 - \ddot{\Omega}_{rref}) \\ \dot{S}_2 = K_2(\dot{\phi}_r - \dot{\phi}_{rref}) + (\ddot{\phi}_r - \ddot{\phi}_{rref}) \end{cases} \quad (\text{III.31})$$

En utilisant le système d'équation (III.17), les dérivés correspondants seront :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_5 = \mu(x_2x_3 - x_1x_4) - \frac{C_r}{J} \\ \ddot{x}_5 = \mu(\dot{x}_2x_3 + \dot{x}_3x_2 - \dot{x}_1x_4 - \dot{x}_4x_1) - \frac{\dot{C}_r}{J} \\ \dot{\varphi}_r = \frac{2M}{T_r}(x_1x_3 + x_2x_4) - \frac{2}{T_r}(x_3^2 + x_4^2) \\ \ddot{\varphi}_r = \frac{2M}{T_r}(\dot{x}_1x_3 + \dot{x}_3x_1 + \dot{x}_2x_4 + \dot{x}_4x_2) \\ \quad - \frac{2}{T_r}\left(\frac{2M}{T_r}(x_1x_3 + x_2x_4) - \frac{2}{T_r}(x_3^2 + x_4^2)\right) \end{array} \right. \quad (\text{III.32})$$

Le développement de calcule nous donne :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{S}_1 = (K_1 - \frac{1}{T_r} - \gamma)\mu h_2 - K \frac{C_r}{J} - px_5\mu(h_1 + \beta_0\varphi_r) \\ \quad - K_1\dot{\Omega}_{ref} - \ddot{\Omega}_{ref} + \alpha_0\mu(x_3u_{s\beta} - x_4u_{s\alpha}) \\ \dot{S}_2 = \frac{2}{T_r}\left(\frac{2+M\beta_0}{T_r} - K_2\right)\varphi_r + \frac{2M}{T_r}\left(\frac{M}{T_r}h_3 + (K_2 - \frac{3}{T_r} - \gamma)h_1 \right. \\ \quad \left. + px_5h_2\right) - K_2\dot{\varphi}_{ref} - \ddot{\varphi}_{ref} + \frac{2\alpha_0}{T_r}M(x_4u_{s\beta} + x_3u_{s\alpha}) \end{array} \right. \quad (\text{III.33})$$

Tels que :

$$\left\{ \begin{array}{l} h_1 = x_1x_3 + x_2x_4 \\ h_2 = x_2x_3 - x_1x_4 \\ h_3 = x_1^2 + x_2^2 \end{array} \right. \quad (\text{III.34})$$

Le système (III.30) peut être réorganiser dans la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} \dot{S}_1 \\ \dot{S}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\alpha_0x_4 & \alpha_0x_3 \\ \alpha_0Mx_3 & \alpha_0Mx_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{III.35})$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 = (K_1 - \frac{1}{T_r} - \gamma)h_2 - \frac{K_1}{J\mu}C_r - p x_5 (h_1 + \beta_0 \varphi_r) \\ \quad - \frac{K_1}{\mu} \dot{\Omega}_{rref} - \frac{1}{\mu} \ddot{\Omega}_{rref} \\ F_2 = (\frac{2 + M\beta_0}{T_r} - K_2)\varphi_r + M(\frac{M}{T_r}h_3 + (K_2 - \frac{3}{T_r} - \gamma)h_1 \\ \quad + p x_5 h_2) - \frac{T_r K_2}{2} \dot{\varphi}_{rref} - \frac{T_r}{2} \ddot{\varphi}_{rref} \end{array} \right. \quad (III.36)$$

Sous la forme condensée (III.32) sera de la forme :

$$\dot{S} = F + Du \quad (III.37)$$

Où :

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} -\alpha_0 x_4 & \alpha_0 x_3 \\ \alpha_0 M x_3 & \alpha_0 M x_4 \end{bmatrix}$$

Et pour vérifier la condition de stabilité de Lyapov ($S_i \cdot \dot{S}_i < 0$) il faut avoir.

$$\dot{S} = -v \cdot Sgn(S) \quad (III.38)$$

En égalisant (4.21) et (4.22) on aura :

$$u = -D^{-1}v \cdot Sgn(S) - D^{-1}F \quad (III.39)$$

La loi de commande est donnée par :

$$u = u_{eq} + u_c \quad (III.40)$$

Avec :

$$\begin{cases} u_{eq} = -D^{-1}F \\ u_c = -D^{-1}v \cdot Sgn(s) \end{cases} \quad (III.41)$$

La commande globale assurant à la fois ($S_i=0$ et $S_i \cdot \dot{S}_i < 0$) est :

$$\begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{eq\alpha} \\ u_{eq\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{c\alpha} \\ u_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (III.42)$$

➤ Loi de commande équivalente :

$$\begin{bmatrix} u_{eq\alpha} \\ u_{eq\beta} \end{bmatrix} = -D^{-1} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \quad (III.43)$$

➤ Loi de commande de commutation :

$$\begin{bmatrix} u_{c\alpha} \\ u_{c\beta} \end{bmatrix} = -D^{-1} \begin{bmatrix} v_1 & 0 \\ 0 & v_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Sgn}(S_1) \\ \text{Sgn}(S_2) \end{bmatrix} \quad (\text{III.44})$$

Pour que la loi de commutation intervienne de la loi de commande globale il faut choisir v_1 et v_2 suffisamment grand [10].

$$\begin{cases} v_1 > |F_1| \\ v_2 > |F_2| \end{cases} \quad (\text{III.45})$$

La loi de commande existe à condition que la matrice D sera inversible :

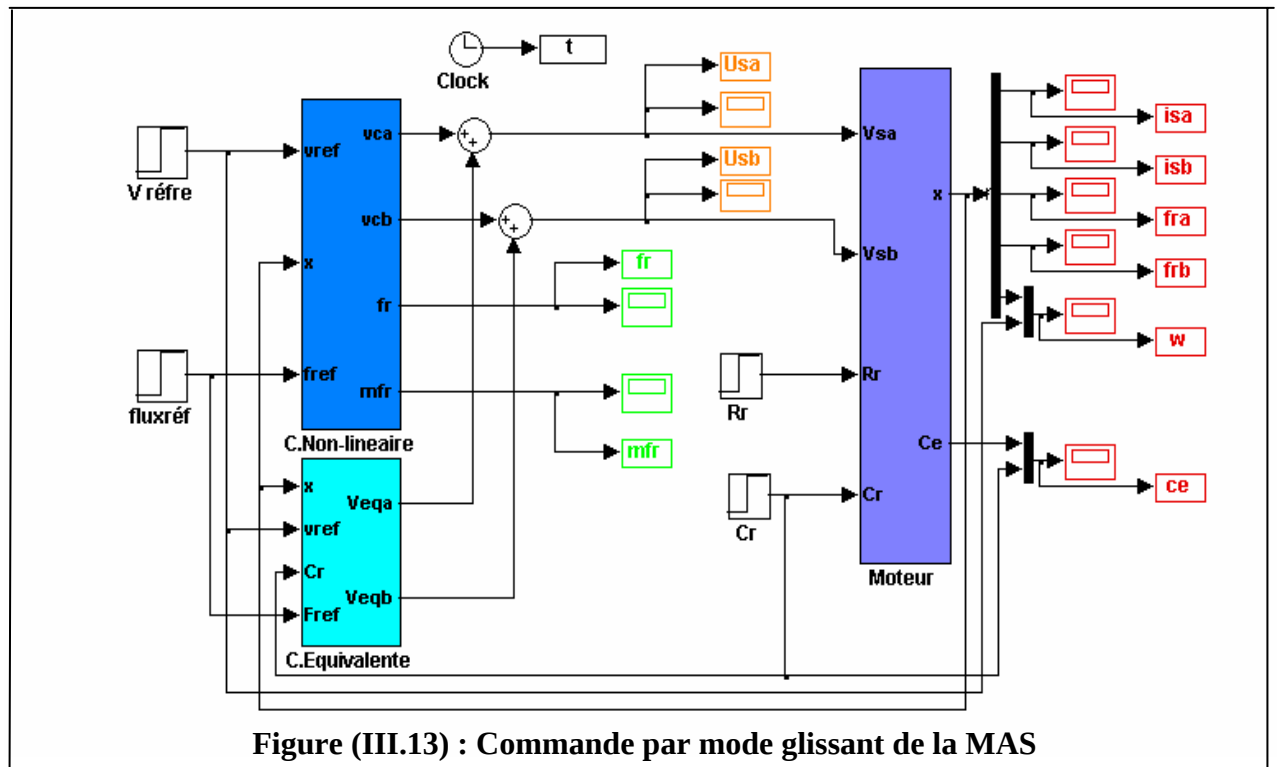
$$[D] = -\alpha_0^2 M \varphi_r \neq 0 \quad (\text{III.46})$$

Alors :

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{\alpha_0 \varphi_r} x_4 & \frac{1}{M \alpha_0 \varphi_r} x_3 \\ \frac{1}{\alpha_0 \varphi_r} x_3 & \frac{1}{M \alpha_0 \varphi_r} x_4 \end{bmatrix} \quad (\text{III.47})$$

III.4-BLOC DE SIMULATION

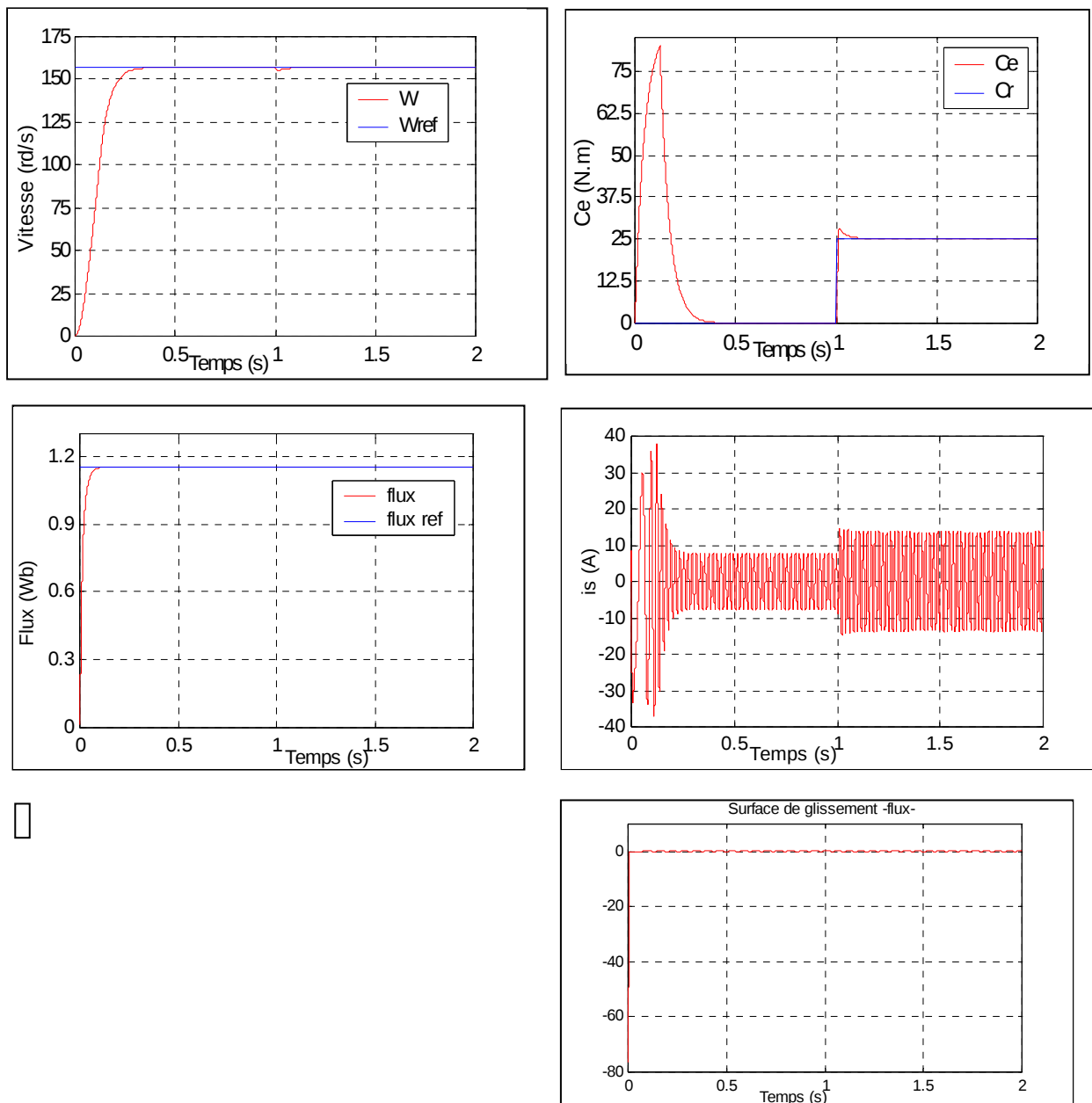
La figure (III.11) représente le schéma bloc de simulation de la commande par mode glissant de la MAS, elle comporte : le bloc de la machine asynchrone, le bloc de commande par mode glissant (commande non-linéaire et commande équivalente).



III.5-RESULTAT DE SIMULATION

La figure (III.12) illustre les résultats de simulation de la commande non linéaire par mode glissant. On note que la variation du couple de charge n'affecte pas le flux, ce qui permet d'affirmer que le découplage entre les grandeurs couple et flux rotorique est parfaitement réalisé. La précision en poursuite de la vitesse n'est pas modifiée.

Au démarrage, les réponses en couple et en courant passent par des transitoires, dont les valeurs sont admissibles, ce qui permet à la MAS de fonctionner régulièrement sans échauffement.



**Figure (III-12): Résultats de simulation de la commande par mode glissant de la MAS.
en charge nominale après un démarrage à vide.**

III.6-CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'application de la technique de commande par mode glissant pour la commande du moteur asynchrone. Nous constatons que le choix convenable des surfaces de commutation permet d'obtenir des hautes performances suite à la nature de la commande à structure variable qui s'adapte bien aux systèmes non linéaires.

Pour montrer l'efficacité et la robustesse de la commande par mode glissant, une étude comparative de cette dernière et la commande non linéaire sera présentée dans le chapitre suivant.