

CHAPITRE III

COMMANDE À STRUCTURE VARIABLE DE LA MSAP

III.1 Introduction

De nombreux systèmes réels et notamment les machines électriques présentent, en plus des perturbations extérieures, des non linéarités et des erreurs paramétriques. La commande à structure variable (CSV) qui par sa nature est une commande non linéaire, possède cette robustesse [TZA 98].

Elle est basée sur la commutation de fonction de variable d'état. Utilisées pour créer une variété de (ou hyper) surfaces de glissement. Dans la pratique l'utilisation de cette technique de commande a été longtemps limitée par les oscillations liées aux commutations de la commande et qui se manifestent sur les grandeurs asservies.

Depuis, de nombreuses solutions ont été proposées permettant de réduire ces oscillations : Augmentation de la fréquence de commutation, commande continue dans une bande autour de la variété de glissements ou décomposition de la commande en une composante continue de basse fréquence et une composante dite continue de haute fréquence [BEL 05][BUH 86].

III.2 Théorie de la commande par mode glissant

Les lois de commande classique de type **PID** donnent des bons résultats dans le cas des systèmes linéaires à paramètres constants. Pour des systèmes non linéaires, ces lois de commande classique peuvent être insuffisantes car elles ne sont pas robuste surtout lorsque les exigences sur la précision et autres caractéristiques dynamiques du système sont strictes.

La caractéristique principale des systèmes à structure variable est que leur loi de commande se modifie d'une manière discontinue [BEL 05] [BUH 86].

Ce type de commande (CSV) présente plusieurs avantages tels que robustesse, précision importante, stabilité, simplicité et temps de réponse faible. Ceci lui permet d'être particulièrement adaptée pour traiter les systèmes qui ont des modèles mal connus, soit à cause de problème d'identification les paramètres, soit à cause de simplifications sur le modèle du système.

III.2.1 Bases mathématiques de la commande à structure variable

La modélisation mathématique de la commande à structure variable conduit à des équations différentielles de la forme :

$$\dot{x}(t) = f(x, t) + B(x, t) \cdot V \quad (3.1)$$

Avec :

x : vecteur d'état,

f : vecteur de fonctions de x et t ,

B : matrice de fonctions de x et t (une matrice $n \times m$),

V : un vecteur commande de dimension m , dont chaque composante V_i subit une discontinuité sur une surface $S_i(x) = 0$.

La surface « S » peut s'écrire comme :

$$S(x) = 0 \quad (3.2)$$

avec : $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$

$$\begin{cases} V_i(x) = V_i^+(x) & \text{si } S_i(x) > 0 \\ V_i(x) = V_i^-(x) & \text{si } S_i(x) < 0 \end{cases} \quad \text{pour : } i = 1, 2, \dots, m \quad (3.3)$$

Dans le cas multi variables le régime glissant s'effectue sur une variété $S(x) = 0$ de dimension $(n \times m)$, (Intersection des m surfaces si $S(x) = 0$).

III.2.2 Condition pour l'existence du mode de glissant

Le mode de glissement existe lorsque les commutations ont lieu continûment entre U_{\max} et U_{\min} la figure (III-1), lorsque le système à régler est considéré du deuxième ordre, les grandeurs d'état sont x_{s1} et x_{s2} [BEL 05].

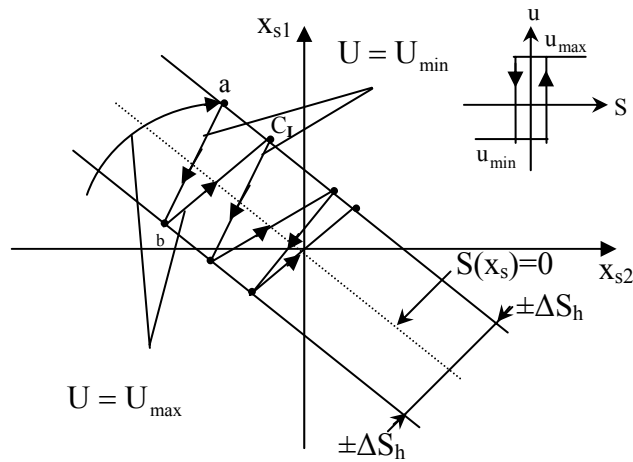


Fig III-1 : Existence du mode de glissement

On admet d'abord une hystérèse sur la loi de commande $S(x_s) = 0$, par conséquent, les commutations ont lieu sur les droites décalées parallèlement de $\pm\Delta S_h$.

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'hystérèse, elle touche au point (b) le seuil de basculement ou a lieu une commutation sur $U = U_{\min}$.

Si la trajectoire est de nouveau orientée vers l'intérieur, elle touche le point (c) le seuil de basculement inférieur et ainsi de suite. Il y a donc un mouvement continu à l'intérieur de la zone de l'hystérèse.

Ce mouvement s'approche du régime stationnaire dans une certaine zone où des commutations continues existent. La fréquence de commutation est finie.

On suppose dans le cas idéal que l'hystérèse est infiniment petite. La loi de commutation fait un mouvement infiniment petit autour de $S(x_s) = 0$. Par conséquent, le vecteur d'état x_s suit une trajectoire qui respecte cette condition. La fréquence de commutation est donc infiniment élevée.

III.2.3 Synthèse de la loi de commande par mode glissant

Les systèmes asservis à retour unitaire ont pour objet de réaliser l'égalité de l'entrée et de la sortie. Les conditions d'emploi amène à distinguer deux classes de systèmes : les systèmes régulés et les systèmes asservis. Lorsque l'entrée est constante pendant un temps suffisamment long, on parle de systèmes régulés. Lorsque la consigne varie constamment avec le temps, on parle de systèmes asservis [BEL 05] [TZA 98].

Pour la synthèse de la loi de commande à structure variable, on va considérer que toutes les grandeurs sont mesurables et que les caractéristiques du moteur ne varient pas ou peu, ce qui constitue des hypothèses acceptables pour la mise en pratique.

III.2.4 Conception de la loi de la commande non linéaire par mode glissant

La mise en œuvre de la commande par mode glissement nécessite principalement trois étapes [BUH 86] [MAD 98] :

- le choix de la surface de glissement.
- l'établissement des conditions de la convergence.
- la détermination de la loi de commande.

III.2.4.1 Choix de la surface de glissement

Il est déterminé sur la base du système et des performances désirées. Dans un cas plus général, considérons le système décrit par la représentation d'état non linéaire suivante :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)U \\ y = h(x) \end{cases} \quad (3.4)$$

La forme d'équation générale pour la surface de glissement, proposée par « J.J.Slotinie » et assurant la convergence d'une variable vers sa valeur désirée, est donnée par :

$$S(x) = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \lambda_x \right)^{r-1} e(x) \quad (3.5)$$

avec :

$$e(x) = x_{ref} - x$$

$e(x)$: écart de la variable à régler.

λ_x : constante positive qui interprète la bande passante du contrôle désiré.

r : degré relatif, égal au nombre de fois qu'il faut dériver la sortie pour faire apparaître la commande .

III.2.4.2 Etablissement de la condition de la convergence

La condition de la convergence ou d'attractivité permet aux dynamiques du système de converger vers la surface de glissement, Il s'agit de formuler une fonction scalaire de Lyapunov $V(x) > 0$ à énergie finie. Soit la fonction de Lyapunov définie positive. Pour que la fonction $V(x)$ puisse décroître, il suffit d'assurer que :

$$V(x) = \frac{1}{2} S^2(x) \quad (3.6)$$

Puisque la dérivée est négative, d'où la condition de convergence s'exprime par :

$$S(x)S'(x) < 0 \quad (3.7)$$

III.2.4.3 Détermination de la loi de commande

La structure d'un contrôleur en mode glissant comporte deux parties : La première concerne la linéarisation exacte et la deuxième est stabilisante. Cette dernière est très importante dans le réglage par mode glissant. Elle permet d'éliminer les effets d'imprécisions du modèle et de rejeter les perturbations extérieures.

III.2.5 La commande équivalente

Un vecteur commande équivalente U_{eq} se définit comme étant les équations du régime glissant idéal. On suppose que les relais n'ont ni seuil, ni hystérésis, ni retard de commutation et que le modèle mathématique de l'application n'a négligé aucune constante du temps, ce régime n'ayant lieu que sur [BEL 05] :

$$S_i(x) = 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.8)$$

On exprime la condition pour l'obtention de la commande équivalente comme :

$$\frac{dS_i}{dt} = \dot{S}_i = 0 \quad (3.9)$$

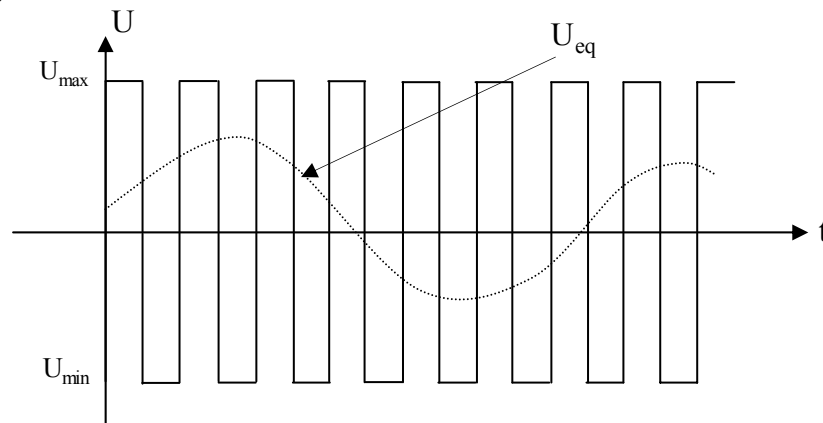


Fig III-2 : Interprétation de Ueq

la commande effective U_i pour $i = 1, 2, \dots, m$ peut être constituée par une composante U_{ieq} de basse fréquence et une composante U_{in} non linéaire . On obtient ainsi :

$U_i = U_{ieq} + U_{in}$ tel que :

$$U_i = \begin{cases} U_{in}^+ & \text{si } S_i > 0 \\ U_{in}^- & \text{si } S_i < 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Les amplitudes des oscillations sur les réponses du système en régime glissant peuvent être fortement réduites en utilisant la commande décrite par l'équation (3.4), au lieu de celle représentée par l'équation (3.1) et qui n'introduit pas la commande équivalente.

III.2.6 La commande discontinue de base

A. Commande signe

Plusieurs choix pour la commande discontinue (U_n) peuvent être faits. Le plus simple consiste à exprimer la commande discontinue $U_n = [U_1, U_2, \dots, U_m]$ avec la fonction signe par rapport à

$S = [S_1, S_2, \dots, S_m]$, tel que:

$$\begin{cases} \text{sign}(S) = +1 & \text{si } S > 0 \\ \text{sign}(S) = -1 & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

Ce premier choix de la fonction discontinue est représenté sur la figure (III-3) :

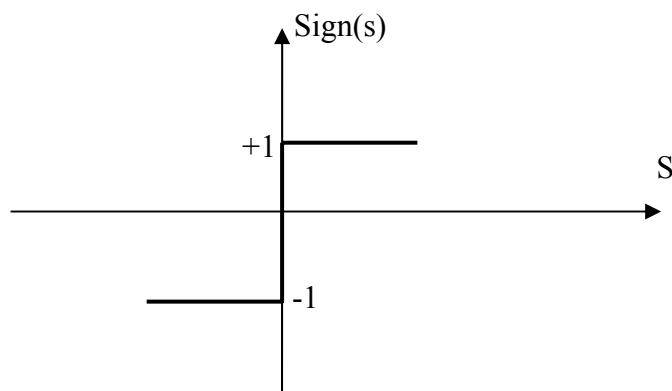


Fig III-3 : Définition de la fonction signe

U s'exprime donc comme :

$$U = K \operatorname{sign}(S) \quad (3.12)$$

Où K est un gain positif

B. Commande avec un seul seuil

Cette commande est caractérisée par un seuil (e). La commande discontinue est donnée par l'expression :

$$\begin{cases} U_n = 0 & \text{si } |S| < e \\ U_n = K \operatorname{sign}(S) & \text{si } |S| > e \end{cases} \quad (3.13)$$

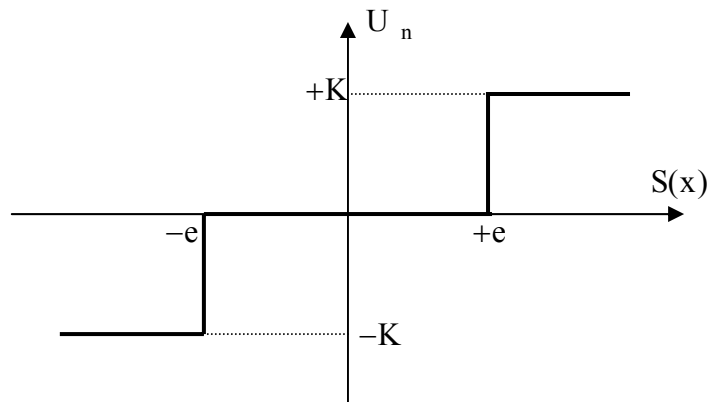


Fig III-4: Fonction signe de la commande avec un seul seuil

C. Commande adoucie

Dans le but de diminuer progressivement la valeur de la commande U_n en fonction de la distance entre la trajectoire de la variation à régler, et la surface de glissement, donc il s'agit d'encadrer la surface par une bande avec un ou deux seuils. Cette commande est caractérisée par un seuil (e_1) ou deux seuils (e_1, e_2) pour Diminuer progressivement la valeur de la commande U_n (voir figure (III-5)).

On peut distinguer trois zones qui dépendent de la distance du point à la surface de glissement. Soit la distance est supérieure au seuil e_2 et alors, la fonction signe est activée, soit la distance est inférieur au seuil e_1 et alors, U_n est nulle (zone morte), soit le point est dans la bande (e_1, e_2) et alors U_n est une fonction linéaire de la distance (droite de pente) $k/(e_1, e_2)$.

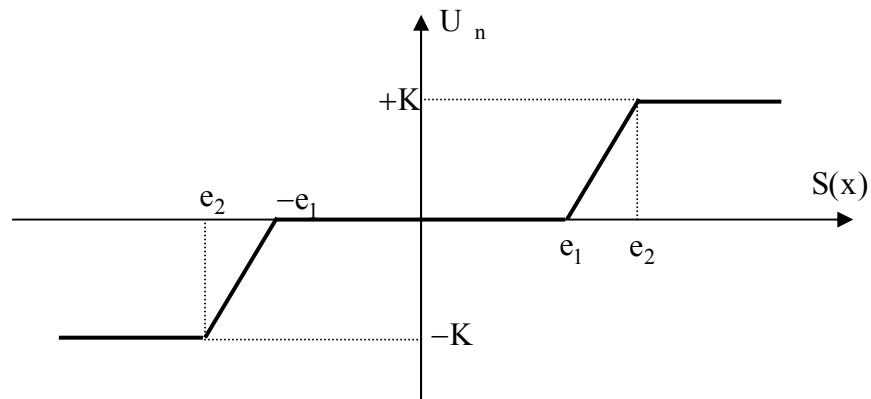


Fig III-5: Fonction signe de la commande adoucie.

III.2.7 Commande continue avec composante intégrale

Les oscillations de haute fréquence qui apparaissent sur les réponses en régime glissant peuvent être évitées en rendant continue la commande discontinue U_n , et en remplaçant la fonction signe par la fonction continue.

$$U_n = K \frac{S(x)}{|S(x)| + 1} \quad (3.14)$$

l : est un paramètre définissant le degré d'atténuation des oscillations.

Le compensateur intégral diminue l'erreur en régime permanent, mais il est souvent indésirable pour les régimes transitoires brusques, car il provoque des oscillations supplémentaires sur la réponse.

La commande U_n dans ce cas devient :

$$U_n = K \frac{S(x)}{|S(x)| + 1} + h \quad (3.15)$$

tel que :

$$\begin{cases} l = l_0 + |g| \\ g = g_0 \int S(x) dt & \text{si } |S(x)| < e \\ g = 0 & \text{si } |S(x)| > e \\ h = h_0 \int S(x) dt & \text{si } |S(x)| < e \\ h = 0 & \text{si } |S(x)| > e \end{cases}$$

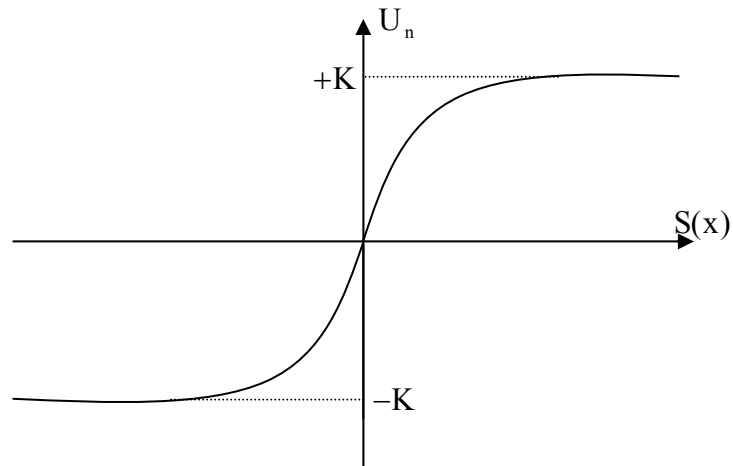


Fig III-6: CSV rendu continue.

III.3 Application de la CSV à la machine synchrone à aimants permanents

Après avoir présenté la théorie de la commande à structure variable (CSV) avec les différentes structures de la commande non linéaire, nous allons analyser dans cette partie l'application de la commande par mode glissant à la régulation de la vitesse du moteur synchrone à aimants permanents afin de valider l'approche présentée par des résultats de simulation.

Les lois de commande pour l'asservissement de vitesse ont pour objectifs :

- d'assurer la rapidité et la précision de la réponse des grandeurs régulées ;
- d'assurer la robustesse du système vis-à-vis des perturbations et des variations des paramètres de la charge mécanique sur l'arbre du moteur.

Nous rappelons également les équations d'ordre électrique, ainsi que celles d'ordre mécanique représentant la dynamique de la machine.

$$\begin{cases} \dot{I}_d = -\frac{R_s}{L_d} I_d + \frac{p \Omega}{L_d} I_q + \frac{V_d}{L_d} \\ \dot{I}_q = -\frac{p \Omega L_d}{L_q} I_q - \frac{R_s}{L_q} I_d - \frac{p \phi_{sf}}{L_q} \Omega + \frac{V_q}{L_q} \\ J \dot{\Omega} = C_e - C_r - f \Omega \end{cases} \quad (3.16)$$

III.3.1 Stratégie de réglage à trois surfaces

Le réglage de la vitesse de la MSAP nécessite le contrôle du courant absorbé par la machine. Une solution classique consiste à utiliser le principe de la méthode de réglage en cascade (structure de trois surfaces) la boucle interne permet de contrôler les courants, tandis que la boucle externe permet de contrôler la vitesse. La figure (III-7) représente la structure cascade de régulation de vitesse par mode glissant de la MSAP alimentée par un onduleur de tension.

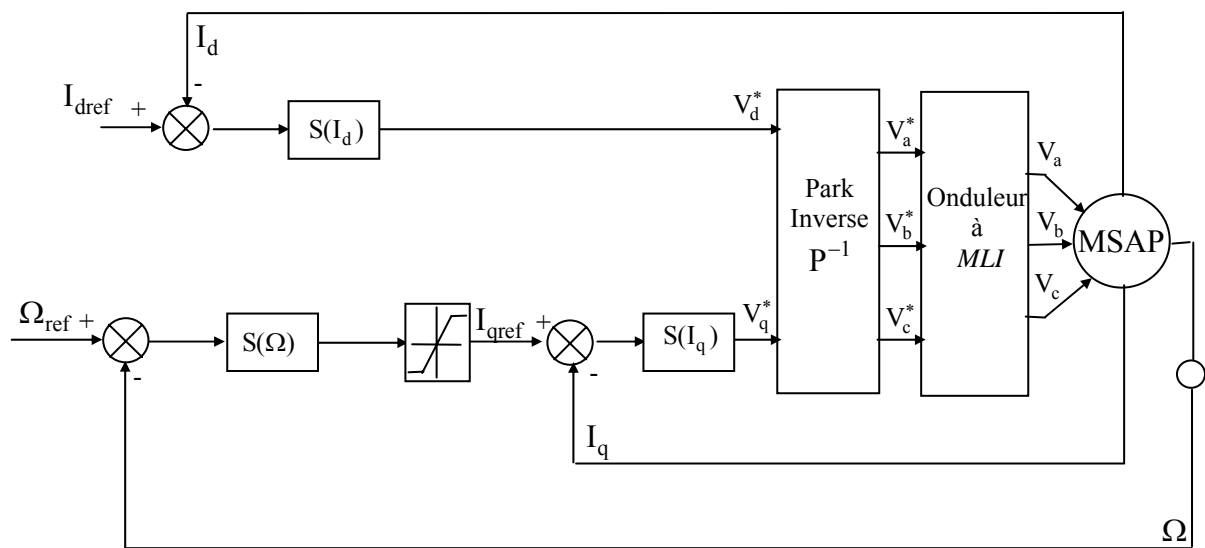


Fig III-7 : Structure de commande de la vitesse pour la MSAP.

Nous définissons les trois surfaces par :

- La première surface, celle de la vitesse, est d'écrite par :

$$S(\Omega) = \Omega_{\text{ref}} - \Omega \quad (3.17)$$

Durant le mode glissant et le régime permanent, nous avons :

$$S(\Omega) = 0 \quad \text{et} \quad \dot{S}(\Omega) = 0 \quad (3.18)$$

D'où nous déduisons :

$$I_{qn} = 0$$

$$\dot{S}(\Omega) = 0 \Rightarrow I_{qeq} = \frac{f \Omega + C_r}{p[\phi_{sf} - (L_d - L_q) I_d]} \quad (3.19)$$

Durant le mode glissant, le produit de la surface par sa dérivée doit être inférieur à zéro. Cela exige de vérifier la condition de Lyapunov suivant : [BEN 05]

$$\lim_{s \rightarrow 0} S(\Omega) \dot{S}(\Omega) < 0 \quad (3.20)$$

En substituant l'expression de la commande équivalente (3.18) dans (3.19), la dérivée de la surface est donnée Par :

$$\dot{S}(\Omega) = -\frac{P}{J} [\phi_{sf} - (L_d - L_q) I_d] I_{qn} \quad (3.21)$$

avec :

$$I_{qn} = k_v \text{sign}(S(\Omega)) \quad (3.22)$$

ainsi, la commande I_{qref} représente la somme des grandeurs I_{qeq} et I_{qn} :

$$I_{qref} = I_{qeq} + I_{qn} \quad (3.23)$$

- La deuxième surface de la boucle interne, responsable du contrôle du courant I_q , est décrite par :

$$S(I_q) = I_{qref} - I_q \quad (3.24)$$

la dérivée de la surface est donnée par :

$$\dot{S}(I_q) = \frac{L_d \Omega p}{L_q} I_d + \frac{R_s}{L_q} I_q + \frac{p \Omega \phi_{sf}}{L_q} + \frac{V_q}{L_q} \quad (3.25)$$

étant donné que:

$$V_q = V_{qeq} + V_{qn}$$

on obtient:

$$\dot{S}(I_q) = \frac{L_d \Omega p}{L_q} I_d + \frac{R_s}{L_q} I_q + \frac{p \Omega \phi_{sf}}{L_q} + \frac{V_{qeq}}{L_q} + \frac{V_{qn}}{L_q}$$

Durant le mode de glissement en régime permanent, nous avons :

$$S(I_q) = 0 \quad \text{alors} \quad \dot{S}(I_q) = 0 \quad (3.26)$$

avec :

$$V_{qn} = 0$$

on obtient :

$$V_{qeq} = R_s I_s + p\Omega [\phi_{sf} + L_d I_d] \quad (3.27)$$

et

$$V_{qn} = K_q \text{sign}(S(I_q)) \quad (3.28)$$

D'où l'expression de V_{qc} :

$$V_{qc} = V_{qeq} + V_{qn} \quad (3.29)$$

- La troisième surface est celle du contrôle du courant I_d . Elle est décrite par :

$$S(I_d) = I_{dref} - I_d \quad (3.30)$$

Dans ce cas nous donnons juste les expressions de :

$$V_{deq} = R_s I_d - p L_q I_q \Omega \quad (3.31)$$

$$V_{dn} = K_d \text{sign}(S(I_d)) \quad (3.32)$$

$$V_{dc} = V_{deq} + V_{dn} \quad (3.33)$$

La stabilité du système nécessite de vérifier que le produit de la surface et sa dérivée est inférieur ou égal à zéro. Afin d'assurer cette condition, les paramètres (K_v , K_d et K_q) sont toujours positifs. Ces paramètres sont choisis de façon à :

- assurer la rapidité de la convergence,
- imposer la dynamique en mode de convergence et de glissement,
- limiter le courant à une valeur admissible pour un couple maximal.

Dans le régime permanent, on a :

$$\overset{\square}{I_d} = 0, \overset{\square}{I_q} = 0, \overset{\square}{\Omega} = 0 \quad (3.34)$$

en remplaçant (3.34) dans (3.16), on obtient :

$$\begin{cases} -R_s I_d + \omega L_q I_q + V_d = 0 \\ -R_s I_q + \omega L_d I_d + V_q - \omega \phi_{sf} = 0 \\ C_e - C_r = f \Omega \end{cases} \quad (3.35)$$

Les conditions d'existence du mode glissant sont donc :

$$\begin{aligned} K_v &\geq \left| \frac{1}{p \cdot \phi_{sf}} (-f \Omega - C_r) \right| \\ K_d &\geq \left| -R I_d + \omega L_q I_q \right| \\ K_q &\geq \left| -R_s I_q + \omega L_d I_d - \omega \phi_{sf} \right| \end{aligned} \quad (3.36)$$

III.3.2 Résultats de simulation

Nous avons testé en simulation (logiciel MTLAB 6.5 simulink) la loi de commande par mode glissant de la vitesse sur la MSAP.

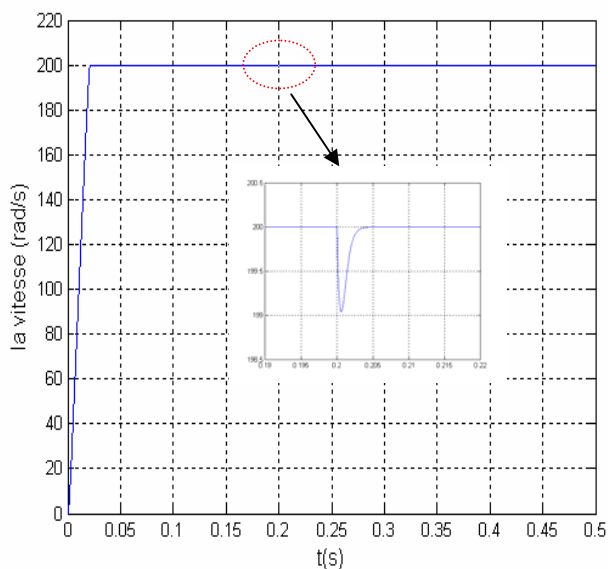
III.3.2.1 Réponses de la MSAP sans onduleur

La figure (III-8) représente les résultats de simulation de l'essai a vide et en charge, cette figure montre que avant l'application de la charge, la vitesse possède une caractéristique presque linéaire et atteint la vitesse de référence dans un temps de réponse très petit environs (0.02s).

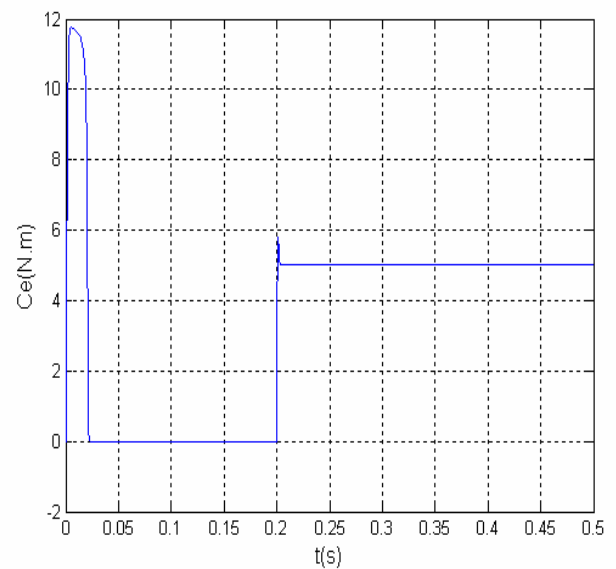
Après l'application de la charge ($C_r = 5 \text{ N.m}$), on constate petite diminution sur l'allure de vitesse à $t = 0.2 \text{ s}$.

Le couple subit au moment de démarrage un pic, puis atteint rapidement la valeur du couple résistant avant et après l'application de la charge.

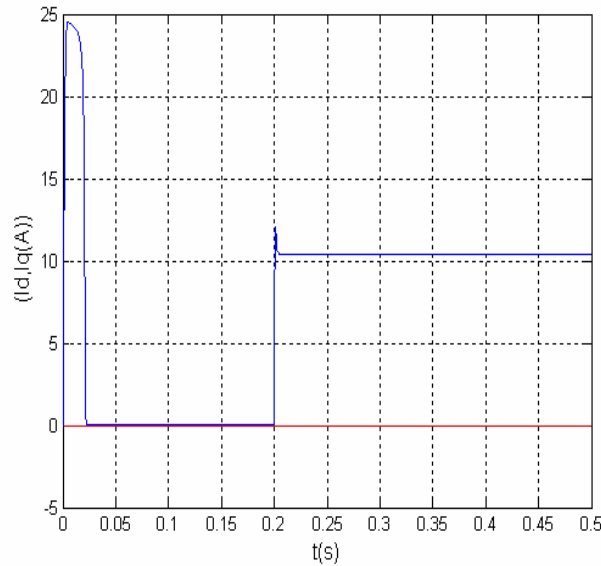
L'allure du courant I_q est l'image du couple.



a) la vitesse de rotation



b) le couple électromagnétique



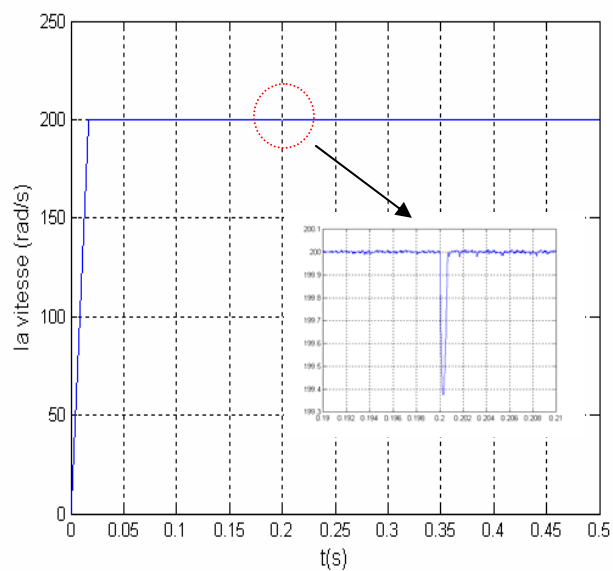
c) le courant direct et quadratique

Fig III-8 : Réponses de la MSAP sans onduleur

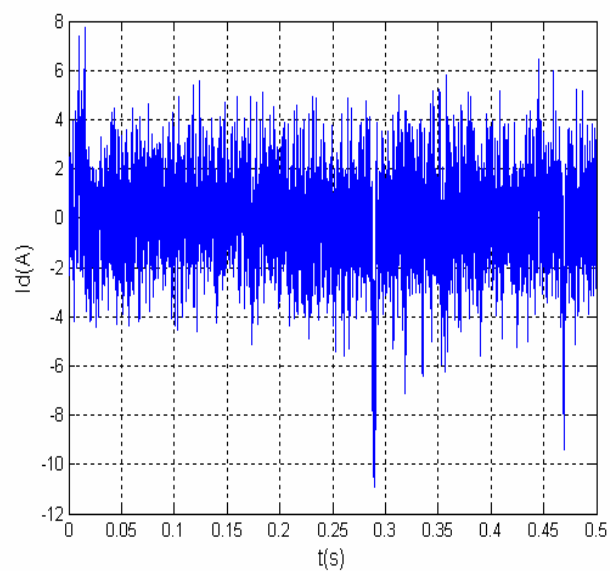
III.3.2.2 Réponses de la MSAP avec onduleur

Le modèle de la machine synchrone à aimants permanents, présenté au premier chapitre a été testé (figure III-9). Qui représente les résultats de simulation avant et après l'application de la charge ($C_r = 5 \text{ N.m}$), cette figure (III-9) montre que avant l'application de charge, la vitesse possède une caractéristique presque linéaire et atteinte la vitesse de référence dans un temps de réponse très petit, et après l'application on constate aucune influence sur l'allure de vitesse .

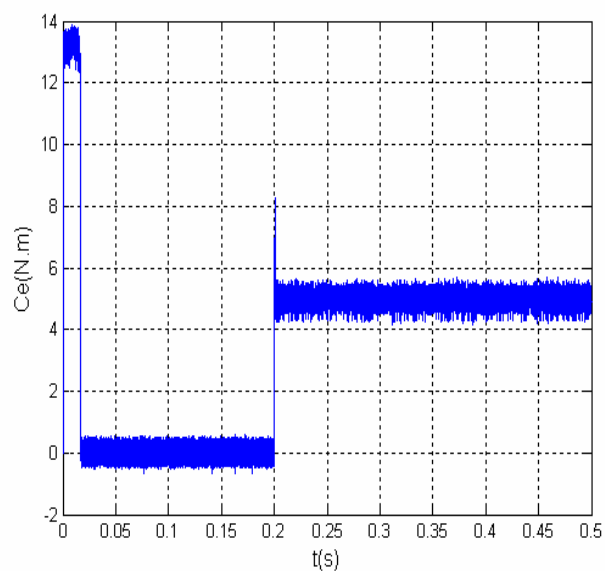
Le couple subit au moment de démarrage un pic, puis atteint rapidement la valeur du couple résistant ($C_r = 5 \text{ N.m}$), avant et après l'application de la charge.



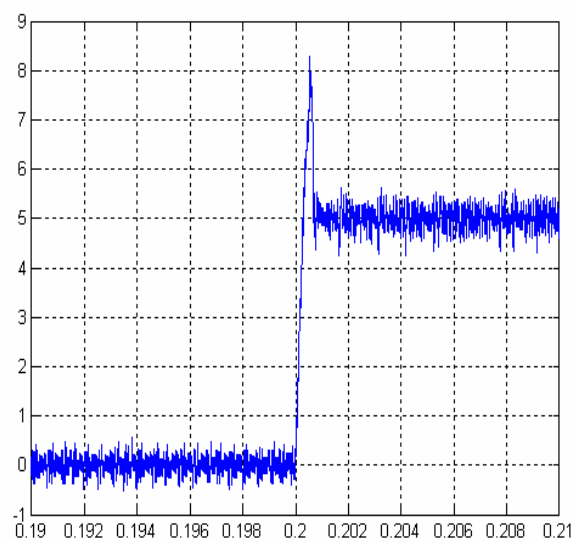
a) la vitesse de rotation

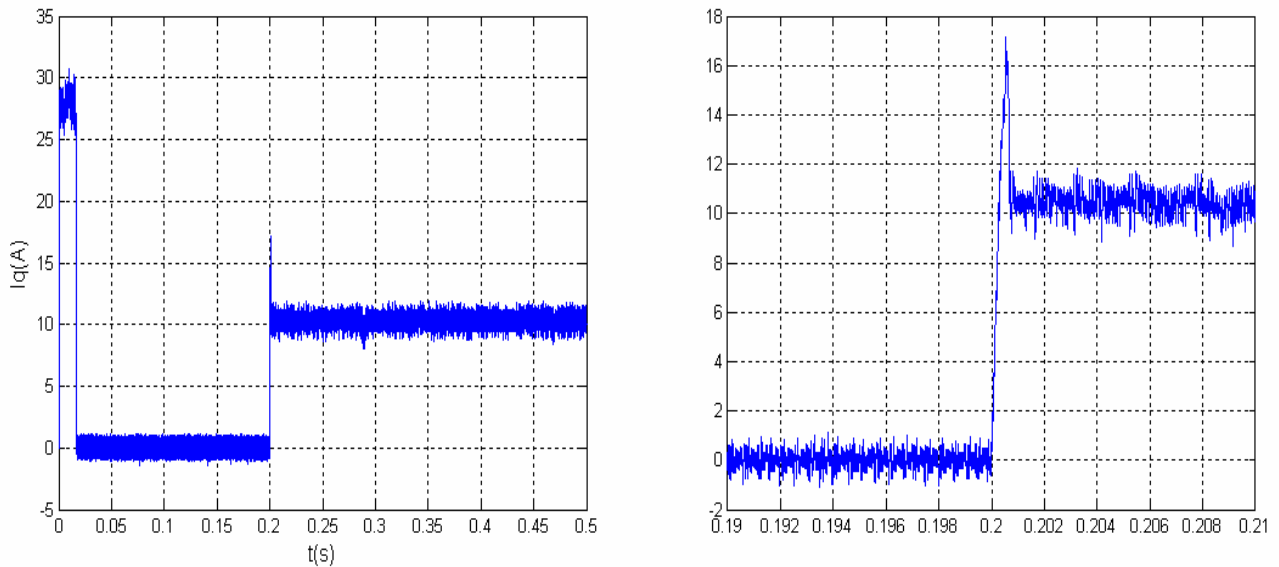


b) le courant direct



c) le couple électromagnétique





d) le courant quadratique

Fig III-9 : Résultats de simulation en charge avec ($C_r = 5 \text{ N.m}$ à $t = 0.2\text{s}$).

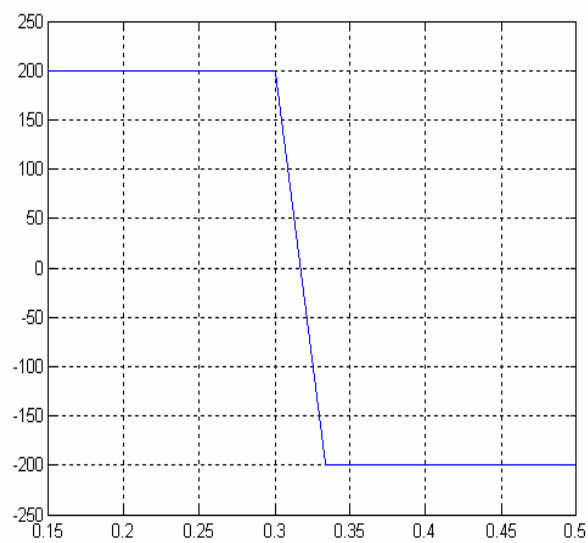
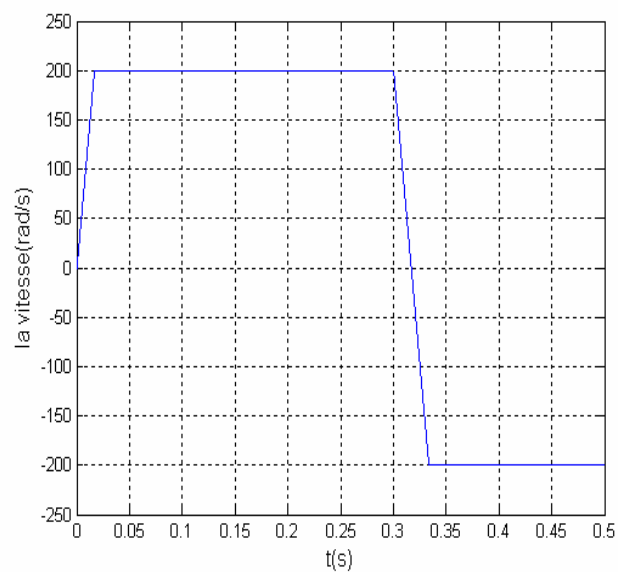
III.3.2.3 Commande en inversion de la vitesse avec onduleur

La figure (III-10), nous avons inversé le sens de rotation de $+200 \text{ rad/s}$ à -200 rad/s à l'instant $t = 0.3 \text{ s}$. Les résultats de simulation montrent que la réponse en vitesse suit sa consigne avec un temps de réponse pratiquement le même c'est-à-dire la réponse est rapide et précise.

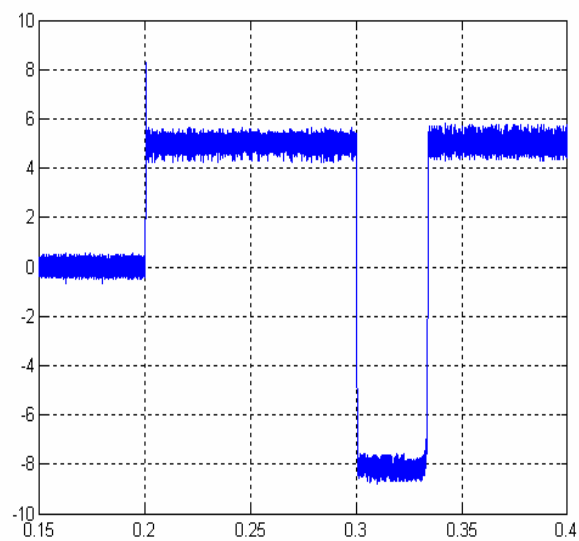
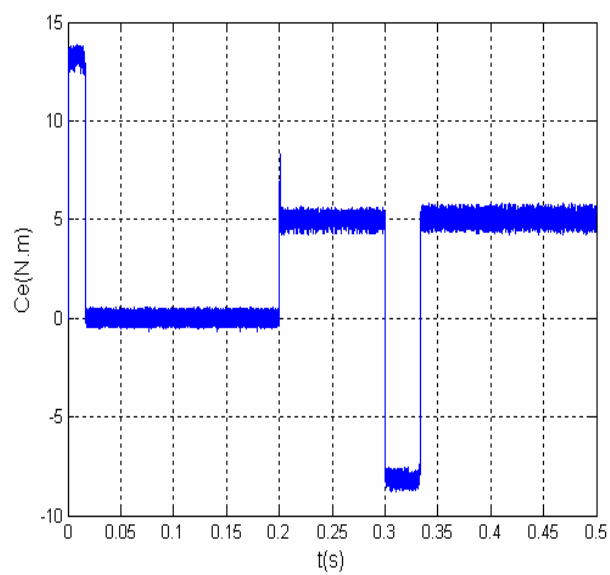
L'erreur provoquée par la perturbation de la charge est compensée instantanément. L'inversion du sens de rotation permet de déduire que la commande est robuste.

Le courant I_q et le couple présente des pics lors de l'inversion de la vitesse avant de se stabiliser à la valeur désirée les seules oscillations résiduelles observables sur le couple à l'instant $t = 0.2 \text{ s}$.

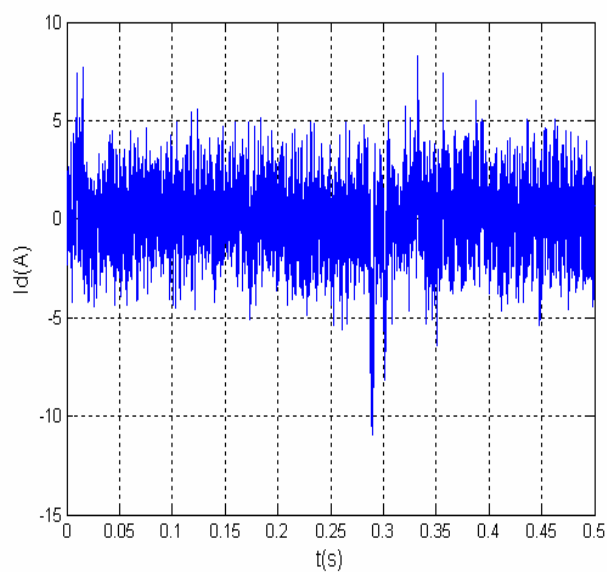
Correspondent à une oscillation autour de la variété de glissement qui est très rapidement atténuée, car la commande passe de la commande discontinue à la commande continue et le système entre en régime glissant de $S(\omega) = 0$.



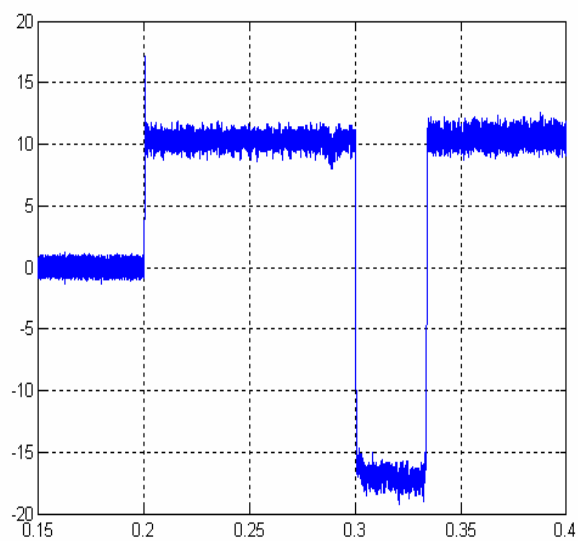
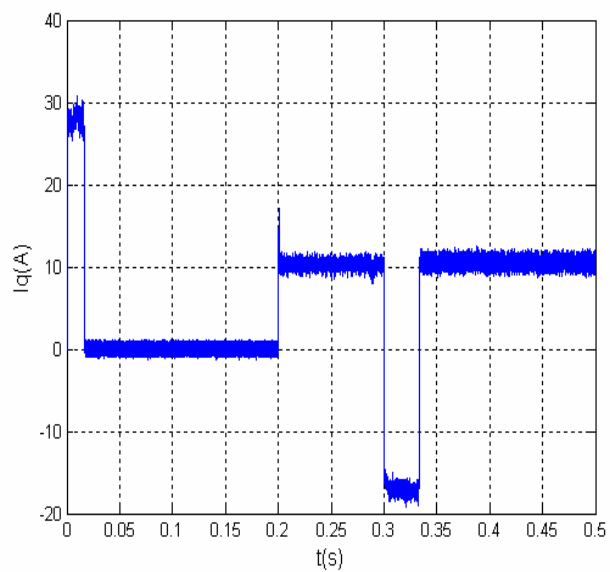
a) la vitesse de rotation



b) le couple électromagnétique



c) le courant direct



d) le courant quadratique

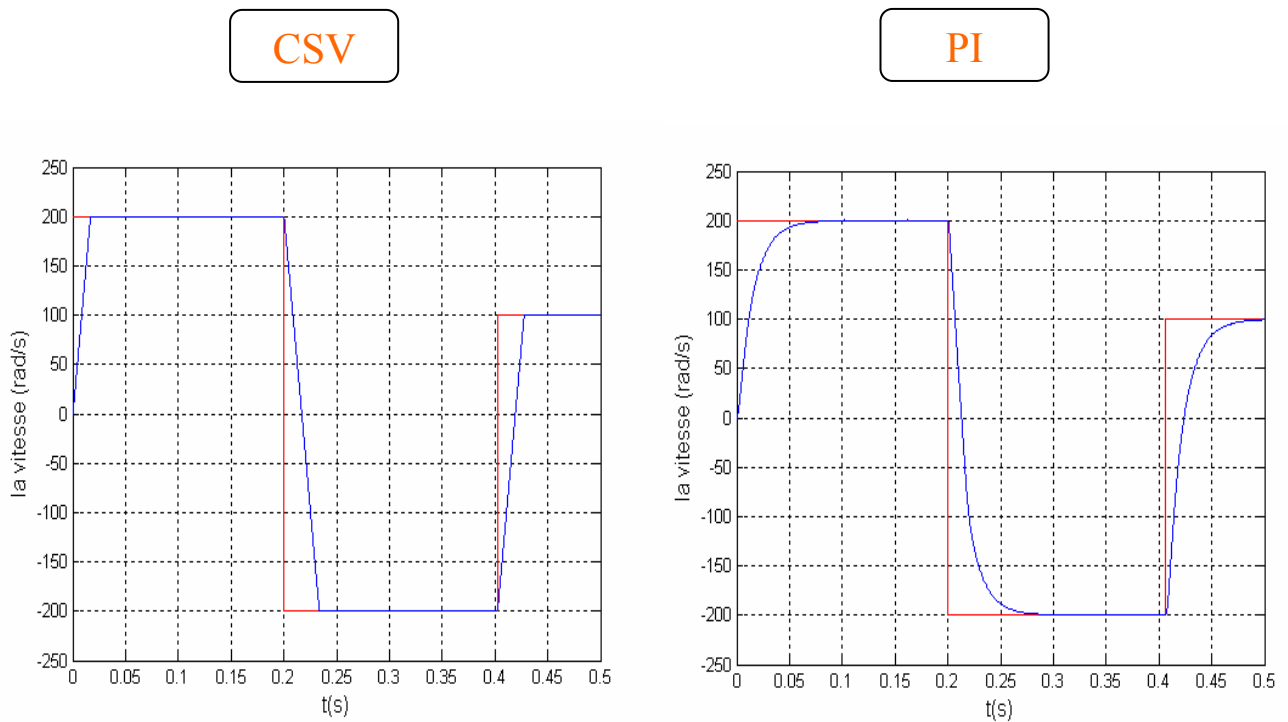
Fig III-10 : Réponses de la MSAP pour une inversion de la vitesse (200 rad/s à -200 rad/s)

III.4 Etude comparative entre la CSV et la commande PI

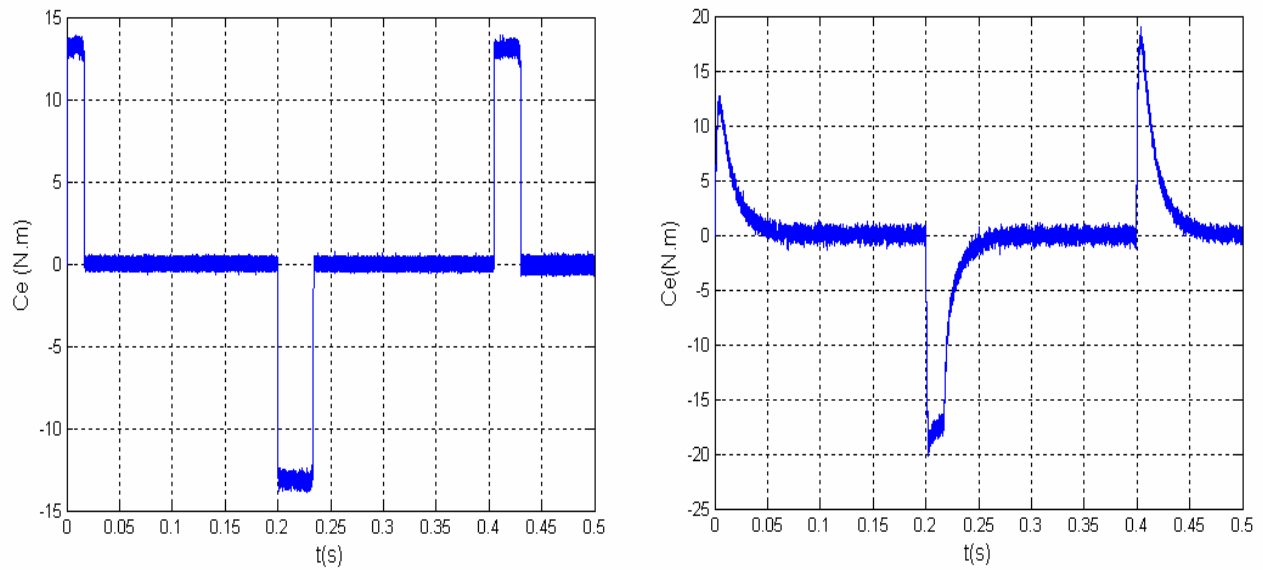
III.4.1 Réponses de la MSAP pour une variation de la vitesse de référence

Le but de cet essai est de tester le comportement de la commande, en effet, la référence doit être suivie sans dépassement lors d'un brusque changement du sens de rotation de la vitesse du moteur.

La figure (III-11) représente la vitesse et le couple de la MSAP dans le cas d'un démarrage à vide pour un échelon de vitesse 200 rad/s, suivi à $t = 0.2$ s d'une inversion de la vitesse à -200 rad/s, puis d'une inversion de la vitesse à +100 rad/s.



a) la vitesse de rotation



b) le couple électromagnétique

Fig (III-11) : Résultats de simulation pour une variation de la vitesse de référence

III.4.2 Réponses de la MSAP pour la variation de la charge

III.4.2.1 Fonctionnement à un échelon du couple résistant

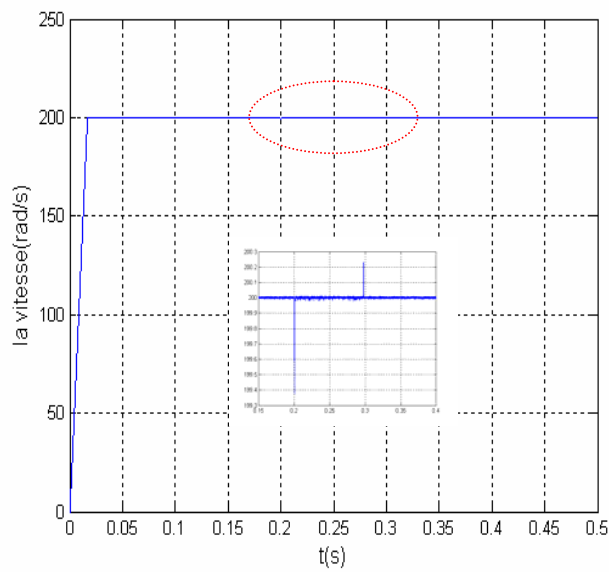
La figure (III-12) représente la vitesse et le couple de la MSAP dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de vitesse de 200 rad/s .

à l'instant $t = 0.2$ s, on applique un couple de charge de 5 N.m, puis on l'annule à $t = 0.3$ s.

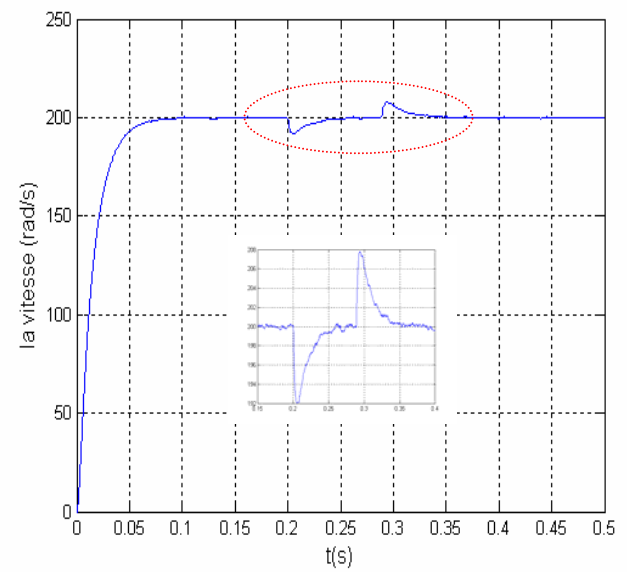
Concernant la CSV, on constate que le couple répond instantanément et la vitesse garde toujours sa forme sans dépassement et sans aucune déformation .

On remarque sur le couple des oscillations ayant des amplitudes élevées .

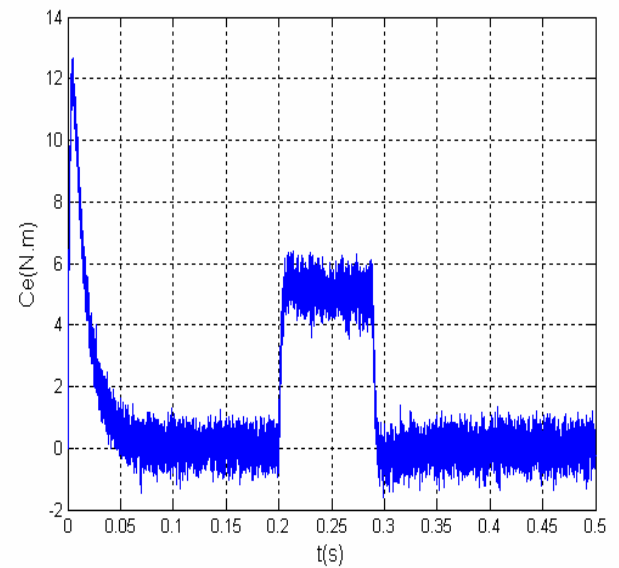
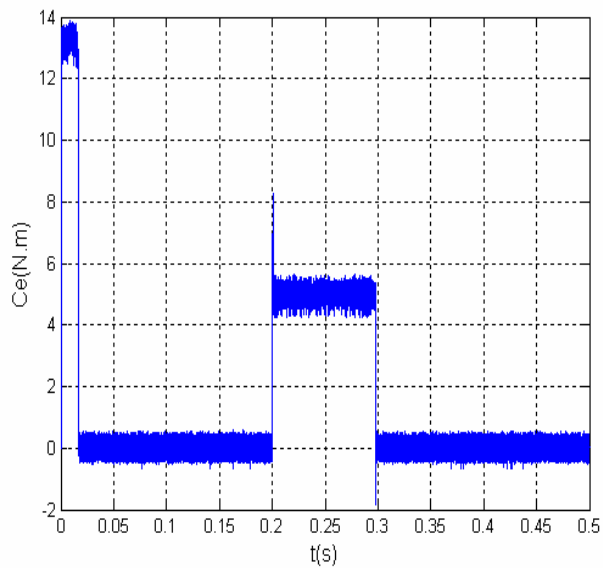
CSV



PI



a) la vitesse de rotation

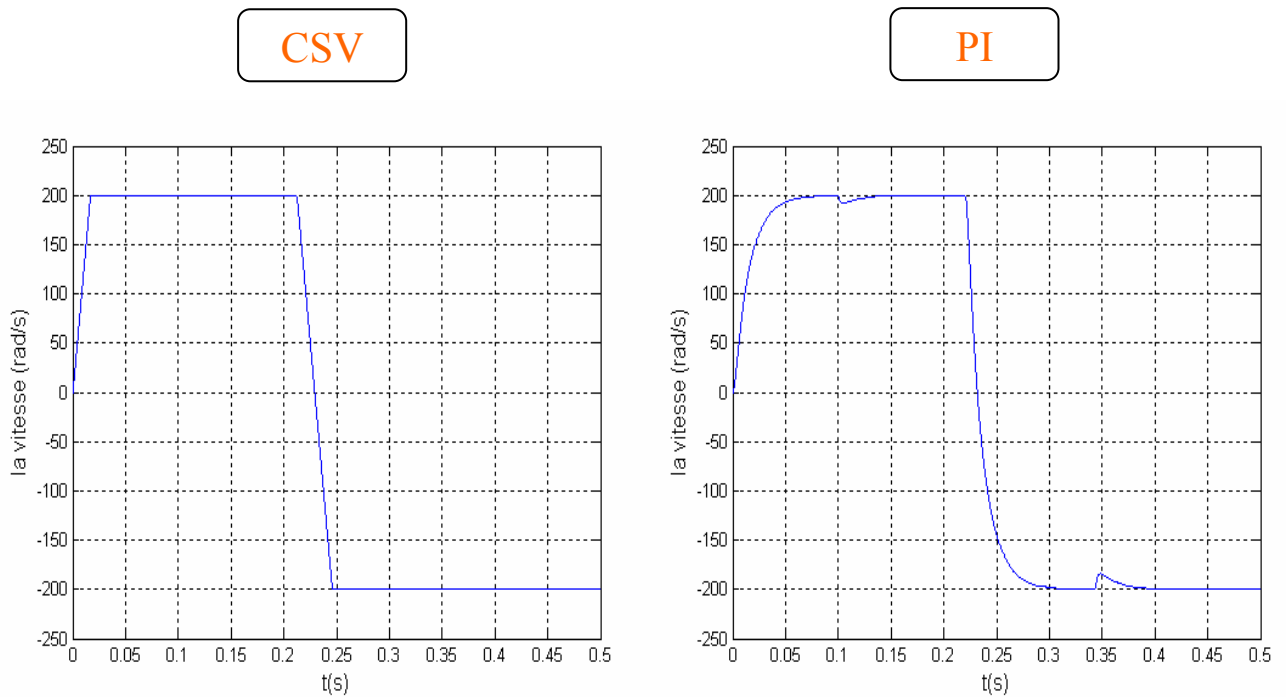


b) le couple électromagnétique

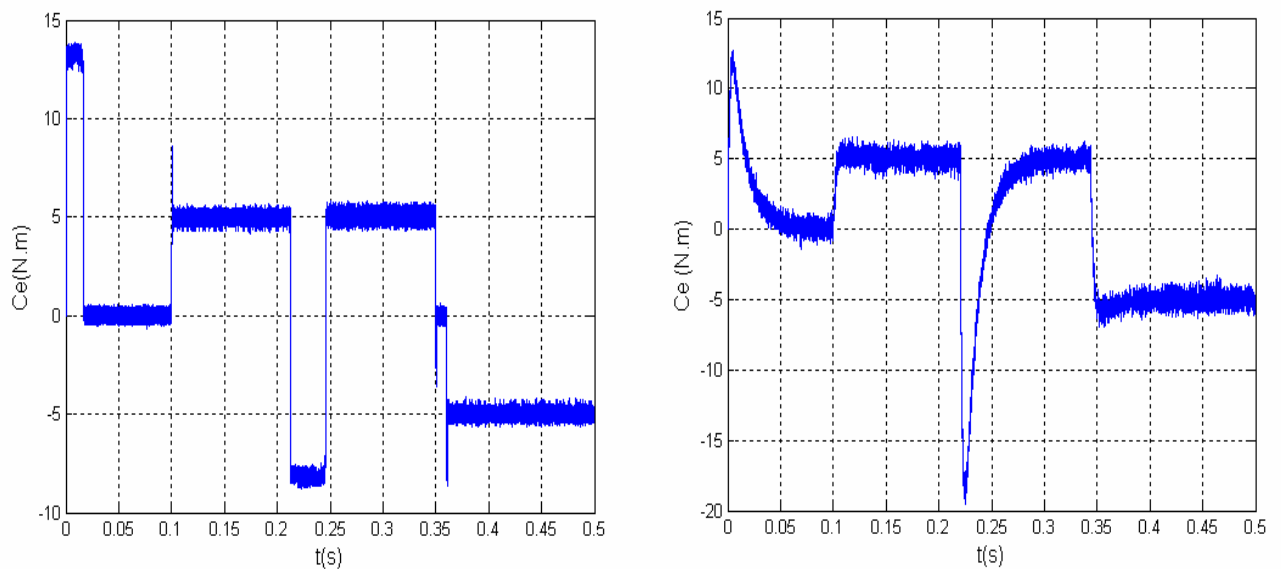
Fig (III-12) : Résultats des simulations pour un échelon du couple résistant ($C_r = 5$ N.m).

III.4.2.2 Fonctionnement à une inversion du couple résistant

On remarque que le système commandé avec la CSV est beaucoup plus robuste vis-à-vis des variations de la charge, que celui a commandé par des régulateurs **PI**.



a) la vitesse de rotation



b) le couple électromagnétique

Fig (III-13) : Résultats des simulations pour une inversion du couple résistant (PI, CSV).

On a présente une étude comparative de deux structures de la MSAP dans les mêmes conditions de fonctionnement . la première structure utilisée un régulateur classique de type PI , et la seconde structure basée sur un régulateur a structure variable le but de cette étude est valide avec simulation numérique de la technique de commande par mode glissant .

Nous avons présenté les réponses de la MSAP pour les deux types de commande PI et CSV.

Les réponses obtenues avec les deux types de commande montrent clairement que le système commandé avec mode glissant est plus robuste par rapport à la commande PI .

On remarque que le temps de réponse de la CSV est plus rapide que la commande par PI .

D'autre part les résultats de simulation montrent que le couple obtenu par la commande du mode glissant diminue progressivement , tandis que le couple obtenu par la commande PI est retenue a sa valeur maximale plus longtemps et surtout pour la phase de changement du sens de rotation .

Les réponses obtenues montrent que le système commandé avec mode glissant est plus robuste que la commande PI .

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une méthode de commande à structure variable (CSV) de la MSAP suivant une structure en cascade, c'est à dire une méthode de réglage moderne, c'est le réglage par mode glissant. donc, nous avons défini la méthodologie de conception nécessaire pour cette commande pour l'asservissement en vitesse, et on a présenté le principe de la CSV pour la structure de la commande non linéaire U_n . La mise en œuvre de cette méthode de commande nécessite principalement trois étapes:

- Le choix de la surface: le choix de la surface de glissement concerne non seulement le nombre nécessaire de ces surfaces, mais également leur forme, en fonction de l'application et l'objectif visé.
- L'établissement des conditions de la convergence: c'est la première condition de convergence qui permet aux dynamiques du système de converger vers les surfaces de glissement.
- La détermination de la commande: une fois la surface de glissement choisie, ainsi que le critère de convergence, il reste à déterminer la commande nécessaire pour ramener la variable à contrôler vers la surface et ensuite vers son point d'équilibre en maintenant la condition d'existence des modes glissants.

Les résultats de simulation montrent que les réponses avec la CSV pour l'asservissement en vitesse sont rapides et robustes. La charge n'a pas d'influence sur la vitesse.

Finalement, on a présenté une étude comparative entre la commande vectorielle à régulateur PI est la CSV de la MSAP.

Le type de commande par mode glissant présente plusieurs avantages tel que , robustesse, précision importante, stabilité et simplicité, temps de réponse très faible.