

Etude comparative entre la CSV et la commande PI pour l'asservissement en vitesse ou en position du MSAP

V.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à une étude comparative de deux structures de régulation de la machine synchrone à aimants permanents pour l'asservissement de la vitesse ou de la position. Cette comparaison est faite dans les mêmes conditions de fonctionnement (références, charges, perturbations,...) et dans la même configuration de simulation numérique (pas d'échantillonnage, durée de la simulation,...). La première structure utilise un régulateur classique de type proportionnel - intégral à coefficients constants. Quant à la seconde structure, elle est basée sur un régulateur à structure variable.

Le but de cette étude est de valider avec une simulation numérique la robustesse de la CSV et de la commande PI vis-à-vis des perturbations représentées par le couple de charge et les variations paramétriques du moteur.

V.2 Etude comparative de la CSV et la commande PI pour l'asservissement en vitesse du MSAP

V.2.1 Réponse pour une variation de la vitesse de référence

- **Fonctionnement à une inversion de la vitesse**

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 5.1 représente la vitesse et le couple de la MSAP dans le cas d'un démarrage à vide pour un échelon de vitesse de 200 rad/s, suivi, à l'instant $t=0.2$ s, d'une inversion de la vitesse à -200 rad/s, puis d'une deuxième inversion de la vitesse à +100 rad/s.

Les réponses obtenues avec les deux types de commande montrent clairement que le système commandé avec la CSV est plus rapide (temps de réponse très petit) que le système piloté avec la commande PI. Cela montre que la CSV est beaucoup plus robuste par rapport à la structure PI. Ou la réponse en vitesse est sans dépassement et suit sa référence dans les deux types de commande.

D'autre part, les résultats de la figure 5.1 montrent aussi que le couple obtenu par la commande PI diminue progressivement, tandis que le couple obtenu par la CSV est maintenu plus longtemps à sa valeur maximale, en particulier pendant les phases de changement du sens de rotation de la MSAP.

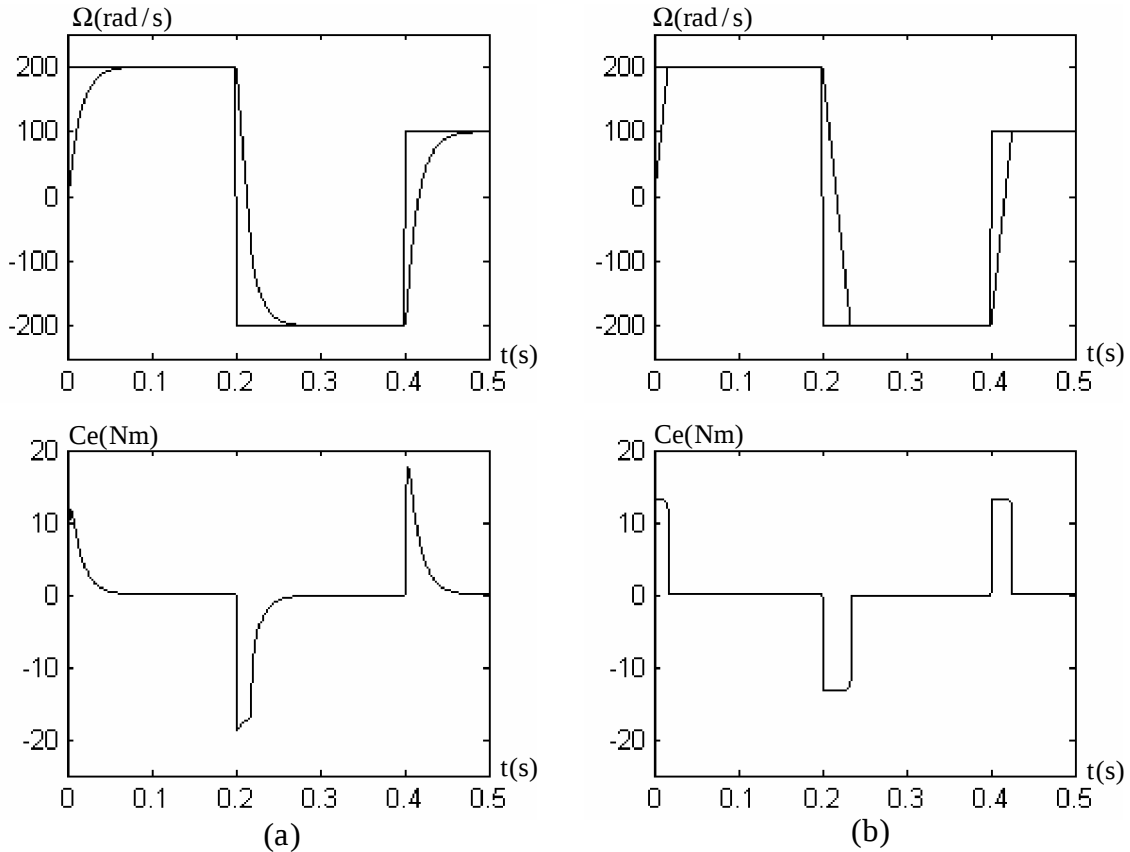


Figure 5.1: Résultats de simulation pour une inversion de la vitesse.

a- PI, b- CSV.

V.2.2 Réponse pour une variation de la charge

• Fonctionnement à un échelon du couple résistant

La figure 5.2 représente la vitesse et le couple de la machine synchrone à aimants permanents dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de vitesse de 200 rad/s.

A l'instant $t=0.2$ s, on applique un couple de charge de 5 N.m, puis on l'annule à l'instant $t=0.3$ 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. Ces oscillations sont rapidement atténuées car la commande discontinue qui se transforme en commande continue et le système

entre en régime glissant autour de $S(\omega) = 0$. Pour la commande PI, on observe que l'erreur sur la vitesse provoquée par la perturbation de la charge est très importante. La vitesse rejoint sa référence après une déformation. Le couple ne répond pas instantanément.

- **Fonctionnement à une inversion du couple résistant**

Pour tester davantage la robustesse de la CSV vis-à-vis des perturbations extérieures, on a provoqué un régime transitoire sévère, où on a inversé le sens de rotation du moteur ainsi, que le couple de charge (figure 5.3). On remarque que le système commandé avec la CSV est beaucoup plus robuste vis-à-vis des variations de la charge, que celui commandé par des régulateurs PI.

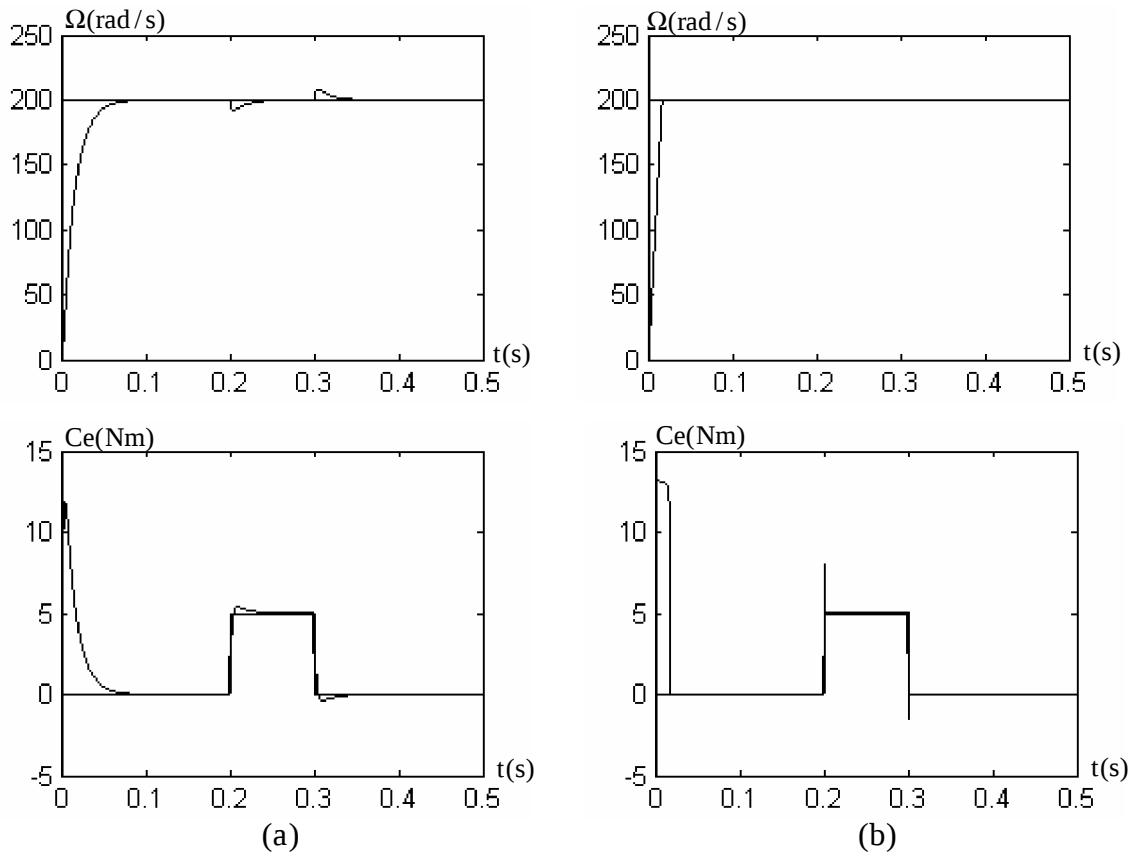


Figure 5.2: Résultats de simulation pour un échelon de couple résistant ($C_r = 5 \text{ N.m}$).

a- PI, b- CSV.

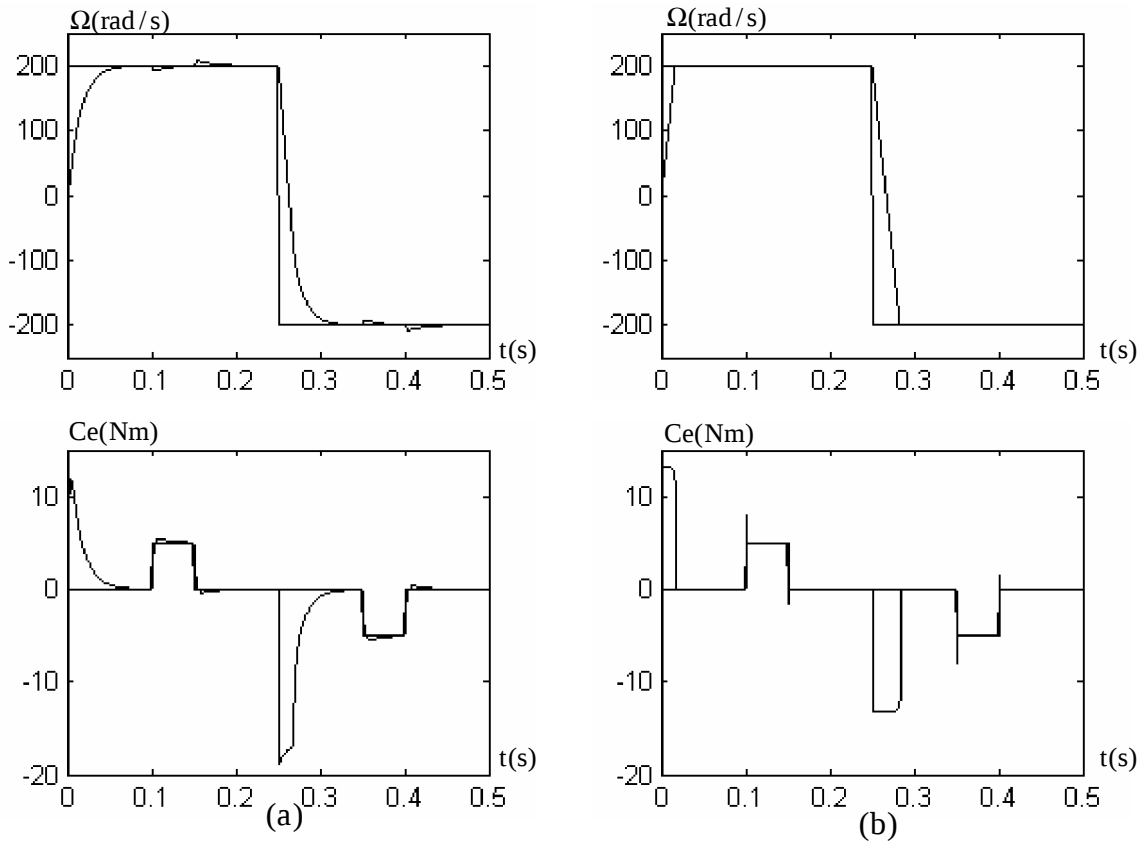


Figure 5.3: Résultats de simulation pour une inversion de couple résistant.

a- PI, b- CSV.

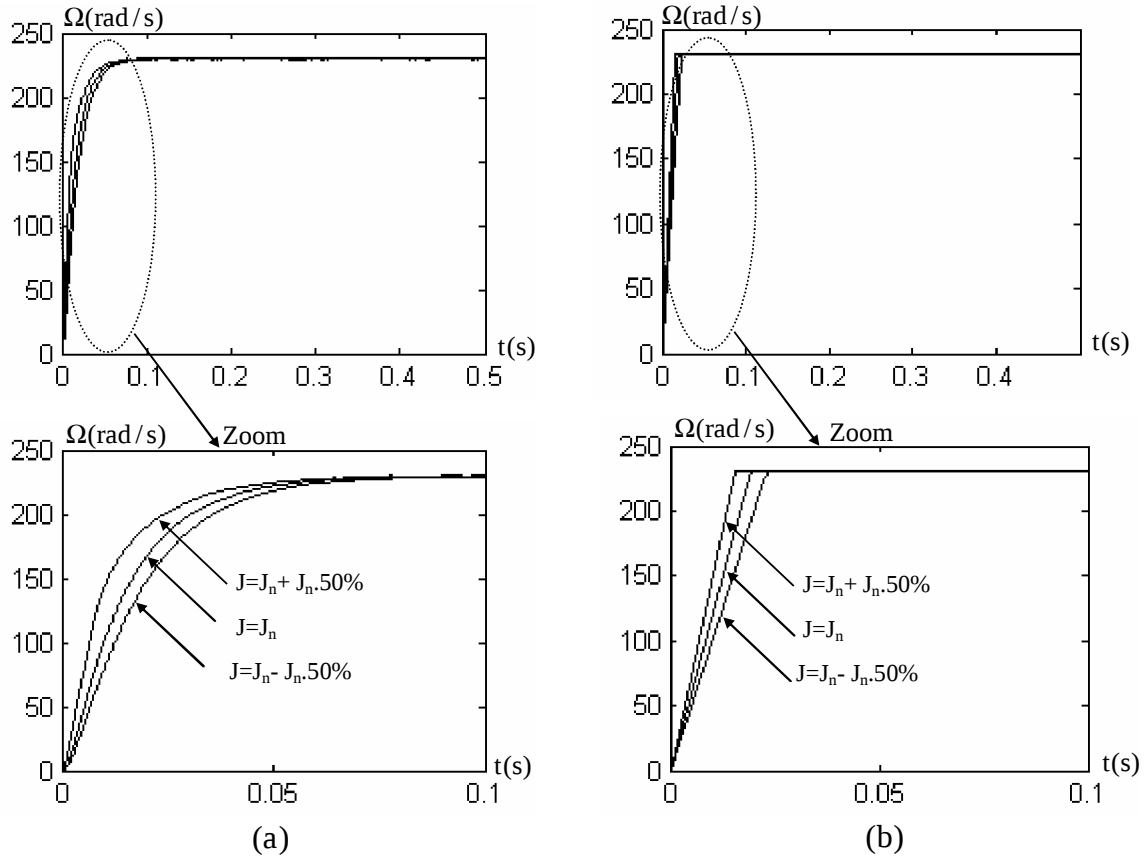
V.2.3 Réponse pour une variation du moment d'inertie de la machine

Dans cette partie nous allons étudier le comportement du système avec les deux types de commande lors d'une variation du moment d'inertie du moteur.

La figure 5.4 représente les réponses en vitesse obtenues avec la CSV et la commande PI pour une variation de l'inertie ($J = J_n \pm J_n \cdot 50\%$) dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de vitesse de 230 rad/s .

Lorsque l'inertie est plus grande, la réponse en vitesse est ralentie (car la constante de temps mécanique est plus élevée).

Les observations précédentes sont valables pour la commande CSV et pour la commande PI. La variation du moment d'inertie modifie les réponses et, par conséquent la durée du régime transitoire. Les meilleures performances encore une fois sont celles de la CSV.


 Figure 5.4: Résultats de simulation pour une variation du moment d'inertie ($J = J_n \pm J_n \cdot 50\%$).

a- PI, b- CSV.

V.3 Etude comparative entre la CSV et la commande PI pour l'asservissement en position du MSAP

V.3.1 Réponse pour une variation de la position de référence

- **Fonctionnement à une inversion de la position**

La figure 5.5 présente la réponse en position et en couple pour la CSV et la commande PI dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de position ($\theta_{ref} = +2\pi = +360^\circ$), suivi de deux inversions de la consigne de la position à 0.2 s (-360°), puis à 0.4s ($+180^\circ$).

On constate que la réponse à vide, obtenue avec la CSV, est plus rapide et sans dépassement que celle obtenue avec la commande PI.

Lors des régimes transitoires, le couple prend des valeurs importantes. La limitation du courant entre en jeu pour maintenir la stabilité du système. Par contre, le couple obtenu par la commande PI n'atteint pas la valeur maximale.

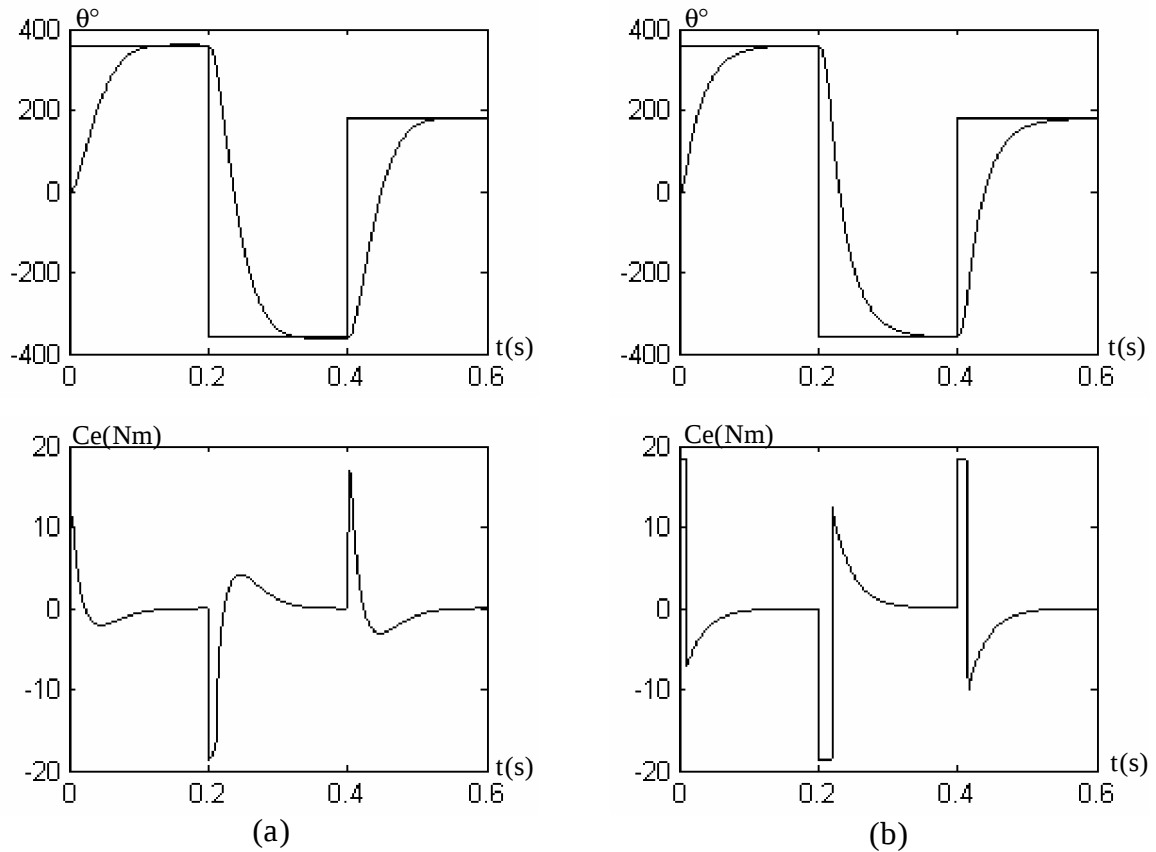


Figure 5.5: Résultats de simulation pour une inversion de la position.

a- PI, b- CSV.

V.3.2 Réponse pour une variation de la charge

- **Fonctionnement à un échelon de couple résistant**

La figure 5.6 présente la réponse en position et en couple électromagnétique pour la CSV et la commande PI dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de position (360°) suivi d'un échelon de couple de charge égal à 5 N.m à $t = 0.2 \text{ s}$, puis de son suppression à l'instant $t = 0.3 \text{ s}$.

La réponse obtenue avec la CSV est plus rapide et plus précise et l'application d'une couple de charge n'influe pas sur la réponse de position.

Pour la commande PI, on observe un dépassement sur la réponse en position. L'application de la charge provoque des déformations mais elles sont finalement compensées. L'amplitude du couple n'atteint pas les valeurs limites.

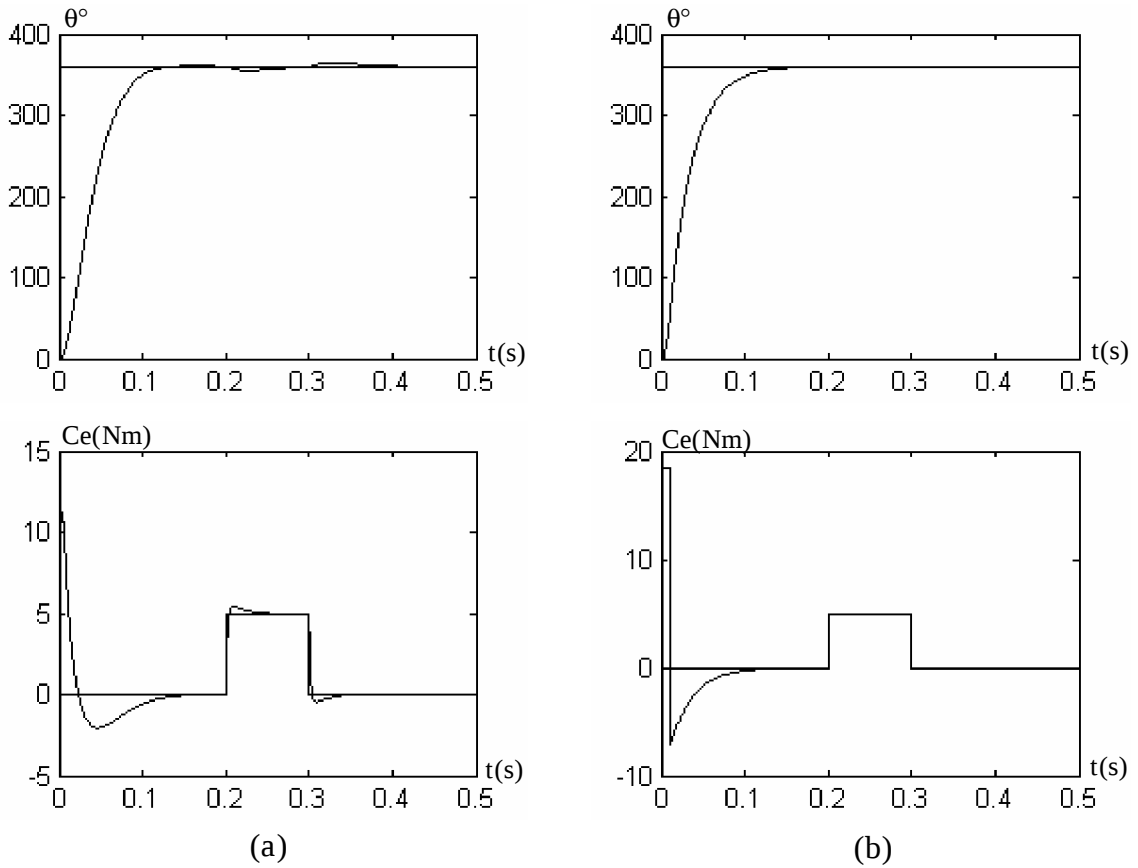


Figure 5.6: Résultats de simulation pour un échelon de couple résistant ($C_r = 5\text{N.m}$).

a- PI, b- CSV.

V.3.3 Réponse pour une variation du moment d'inertie de la machine

Dans ce paragraphe, nous allons étudier la robustesse de la CSV et la commande PI pour une variation de l'inertie ($J = J_n \pm J_n \cdot 50\%$) dans le cas d'un démarrage à vide et pour un échelon de position de 360° . Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 5.7.

Cet essai montre un bon comportement de la CSV. Par contre, on observe un dépassement important sur la réponse pour la commande PI.

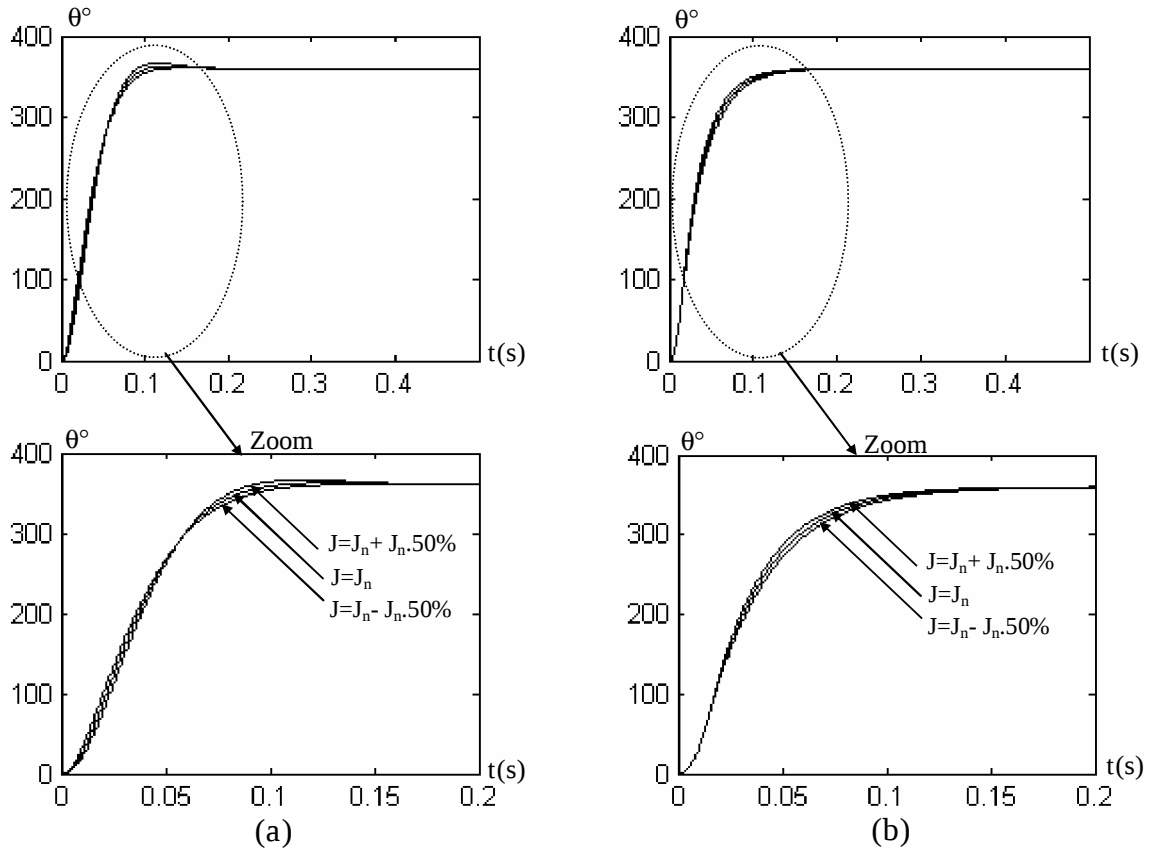


Figure 5.7: Résultats de simulation pour une variation du moment d'inertie ($J = J_n \pm J_n \cdot 50\%$).

a- PI, b- CSV.

Conclusion

Ce chapitre nous permet réaliser une étude comparative entre la CSV et la commande PI pour l'asservissement en vitesse ou en position de la MSAP.

Les résultats de simulation obtenus montrent clairement que de bonnes performances sont obtenues avec la CSV. En effet, en comparant avec la commande PI, la CSV est plus rapide et plus robuste dans les différents modes de fonctionnement du moteur (à vide, en charge, inversion de la vitesse ou la position et variation du moment d'inertie).

Les techniques de commande CSV et PI nécessitent la connaissance des grandeurs d'état et de sortie. Ces grandeurs peuvent être obtenues en utilisant des capteurs mécaniques présentant plusieurs inconvénients tel que l'encombrement, la génération du bruit....

Le chapitre suivant est consacré à l'estimation des grandeurs vitesse et position en utilisant un filtre de Kalman étendu afin d'élaborer une commande vectorielle robuste.