

Projet GE S7

Asservissement d'une machine à courant continu

TRENCHANT Evan

TROULLIER Laël

VIRQUIN Rudy

GE4, groupe 2

Professeur : Damien Flieller

26 octobre 2025

Introduction

Dans le domaine de l'électronique de puissance et de l'automatique, la commande des machines électriques constitue un enjeu majeur pour de nombreuses applications industrielles. Parmi ces machines, la machine à courant continu (MCC) occupe une place particulière de par sa simplicité de commande et sa capacité à fournir des couples élevés à basse vitesse.

Ce projet, réalisé dans le cadre du semestre 7 de la formation en Génie Électrique à l'INSA Strasbourg, porte sur l'étude et la réalisation de l'asservissement d'une machine à courant continu avec charge. L'objectif principal est de développer un système de contrôle permettant d'asservir précisément la vitesse et le courant de la machine tout en respectant les contraintes de performance imposées.

Contexte et problématique

L'asservissement des machines électriques nécessite une approche méthodique combinant la modélisation théorique, la simulation numérique et la validation expérimentale. Dans le cas particulier de la machine à courant continu, plusieurs défis doivent être relevés :

- La modélisation précise du comportement dynamique de la machine et de sa charge
- La conception de correcteurs adaptés pour les boucles de courant et de vitesse
- La limitation des dépassements lors des régimes transitoires
- L'optimisation des performances en régime permanent et dynamique

Objectifs du projet

Ce projet vise à concevoir et valider un système d'asservissement complet pour une machine à courant continu. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. **Modélisation et simulation** : Développer un modèle mathématique précis de la machine à courant continu et de sa charge, puis l'implémenter dans les environnements MATLAB/Simulink et PSIM
2. **Asservissement en courant** : Concevoir et régler une boucle de régulation de courant permettant de contrôler précisément le couple de la machine
3. **Asservissement en vitesse** : Implémenter une boucle de régulation de vitesse en cascade avec la boucle de courant, utilisant soit un capteur tachymétrique soit un codeur incrémental
4. **Respect des spécifications** : Garantir que les dépassements en vitesse et en courant restent dans la plage de 10 à 20% lors des transitoires
5. **Validation comparative** : Comparer les résultats obtenus entre les simulations MATLAB/Simulink et PSIM pour valider la cohérence des modèles

Approche méthodologique

La démarche adoptée suit une approche progressive et structurée :

- **Phase 1** : Étude et modélisation de la machine seule
- **Phase 2** : Intégration de la charge mécanique et validation du modèle complet
- **Phase 3** : Conception et réglage de la boucle de courant

- **Phase 4** : Conception et réglage de la boucle de vitesse
- **Phase 5** : Optimisation globale et validation finale du système d'asservissement

Chaque phase fait l'objet d'une validation croisée entre les outils MATLAB/Simulink et PSIM, permettant de garantir la fiabilité des résultats et d'identifier d'éventuelles divergences de modélisation.

1. Structure du rapport

Ce rapport présente de manière détaillée l'ensemble des travaux réalisés. Il s'articule autour des axes suivants :

- La modélisation théorique et numérique de la machine à courant continu
- L'analyse comparative des outils de simulation
- La conception des correcteurs et leur réglage
- La validation expérimentale des performances obtenues
- L'analyse critique des résultats et les perspectives d'amélioration

Les résultats obtenus démontrent la faisabilité d'un asservissement efficace de la machine à courant continu tout en respectant les spécifications imposées, ouvrant ainsi la voie à des applications industrielles concrètes.

Table des matières

Introduction	2
1. Structure du rapport	3
2. Cahier des charges	5
Planification du projet	6
3. Diagramme de Gantt	6
1 Schémas blocs du système d'asservissement	8
1. Schéma bloc de l'asservissement en vitesse et courant	8
2. Simplification du schéma bloc	9
3. Modélisation et simulation du moteur et du hacheur	10
4. Asservissement du moteur	10

2. Cahier des charges

Le cahier des charges du projet est défini comme suit :

Asservissement en courant

- Temps de réponse maximal de 10 fois la période de la MLI soit 0,45 ms
- Dépassement maximal de 20%

Asservissement en vitesse

- Dépassement maximal de 20%

Planification du projet

La réalisation de ce projet d'asservissement d'une machine à courant continu nécessite une planification rigoureuse pour garantir l'atteinte des objectifs dans les délais impartis. Cette section présente l'organisation temporelle du projet et le diagramme de Gantt détaillant les différentes phases de développement.

3. Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt ci-dessous illustre la planification détaillée du projet sur 14 semaines, avec les dépendances entre les tâches et les jalons importants.

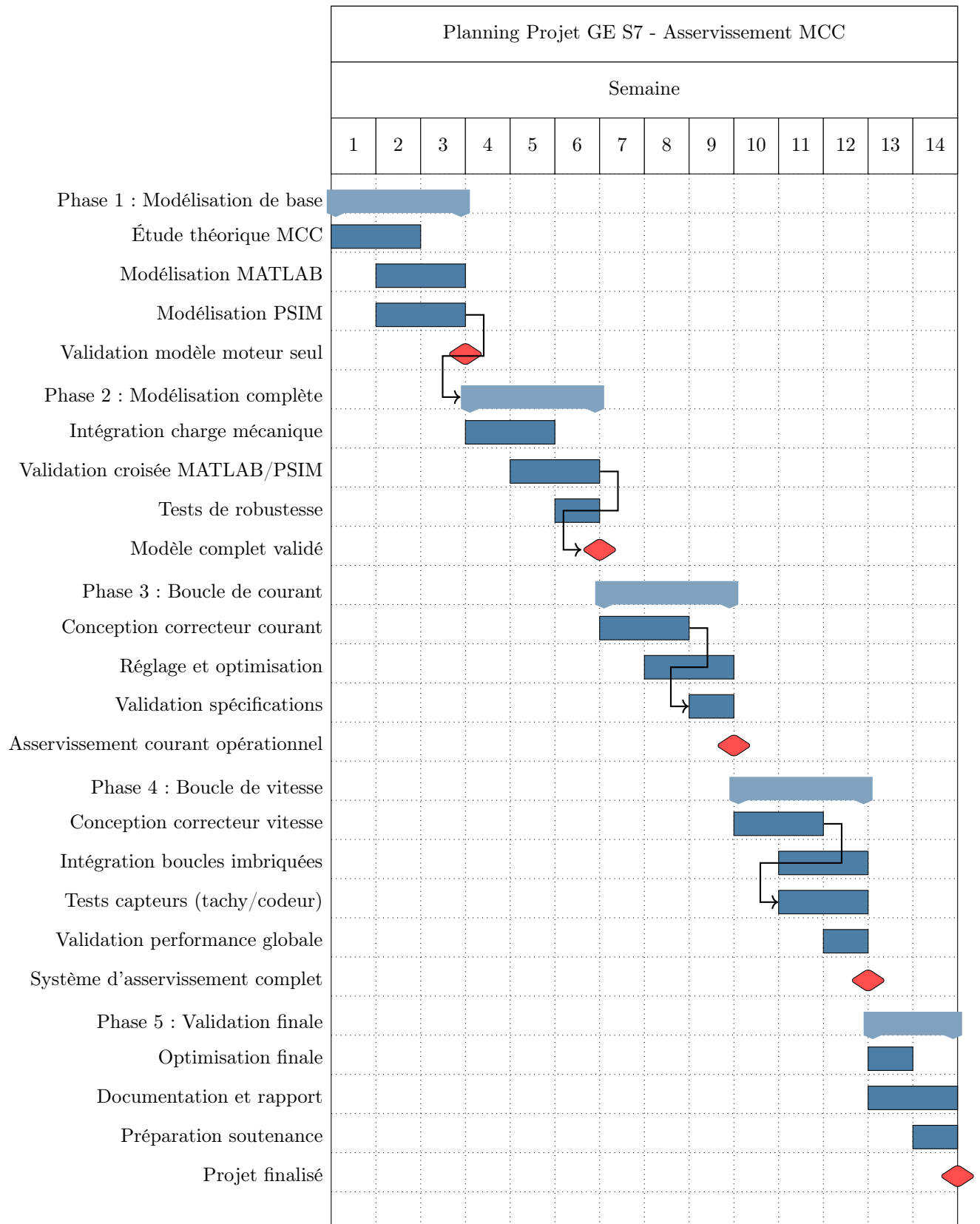


FIGURE 1 – Diagramme de Gantt du projet d'asservissement MCC

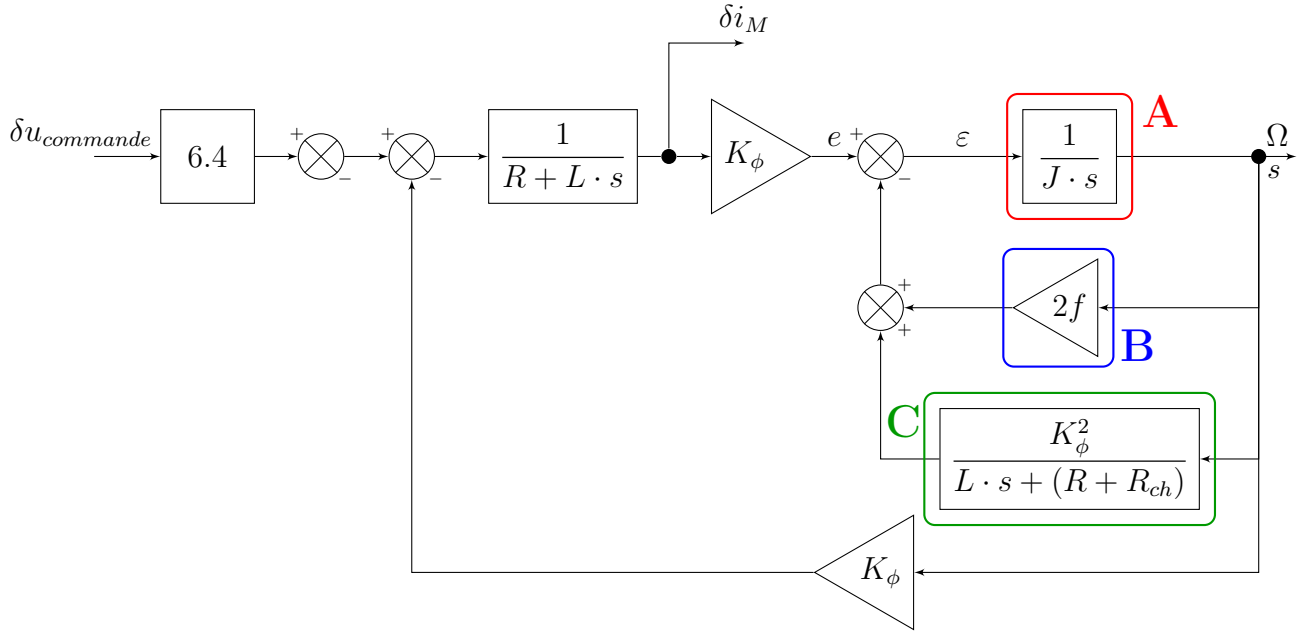


FIGURE 1.2 – Schéma bloc de l’asservissement en courant avec boucle de courant imbriquée

2. Simplification du schéma bloc

À partir du schéma bloc de l’asservissement en vitesse avec boucle de courant imbriquée (Figure 1.2), nous pouvons simplifier le système en combinant les blocs et les boucles de rétroaction. Cette simplification permet d’obtenir une représentation plus concise du système, facilitant ainsi l’analyse et la conception des contrôleurs.

$$\begin{cases} \varepsilon = e - B \cdot \Omega - C \cdot \Omega \\ s = A \cdot \varepsilon = A \cdot (e - (B + C) \cdot \Omega) \end{cases} \implies s = \frac{A \cdot e}{1 + A \cdot (B + C)} = H \cdot e$$

Le diagramme bloc simplifié de l’asservissement en vitesse est présenté dans la Figure 1.3.

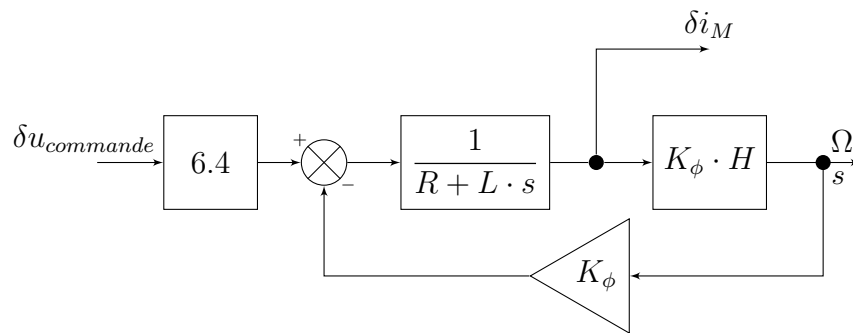


FIGURE 1.3 – Schéma bloc de l’asservissement en courant simplifié

On peut alors écrire la fonction de transfert en boucle ouverte du système simplifié :

$$\delta_{i_M}(s) = \frac{1}{1 + \frac{(K_\phi)^2 \cdot H}{R + L \cdot s}} \cdot \delta u_{commande}(s) = FTBO(s) \cdot \delta u_{commande}(s)$$

3. Modélisation et simulation du moteur et du hacheur

3.1. Modélisation du moteur à courant continu à vide

3.2. Modélisation du moteur à courant continu avec charge

3.3. Modélisation du moteur avec charge et hacheur

4. Asservissement du moteur

4.1. Asservissement en courant du moteur

Modélisation sur Matlab/Simulink

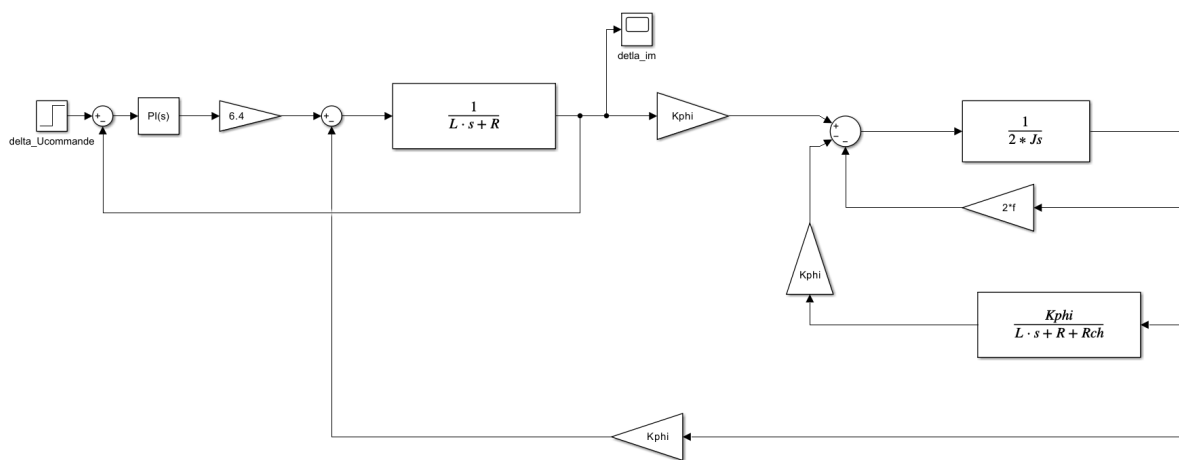


FIGURE 1.4 – Schéma de l'asservissement en courant du moteur dans Simulink

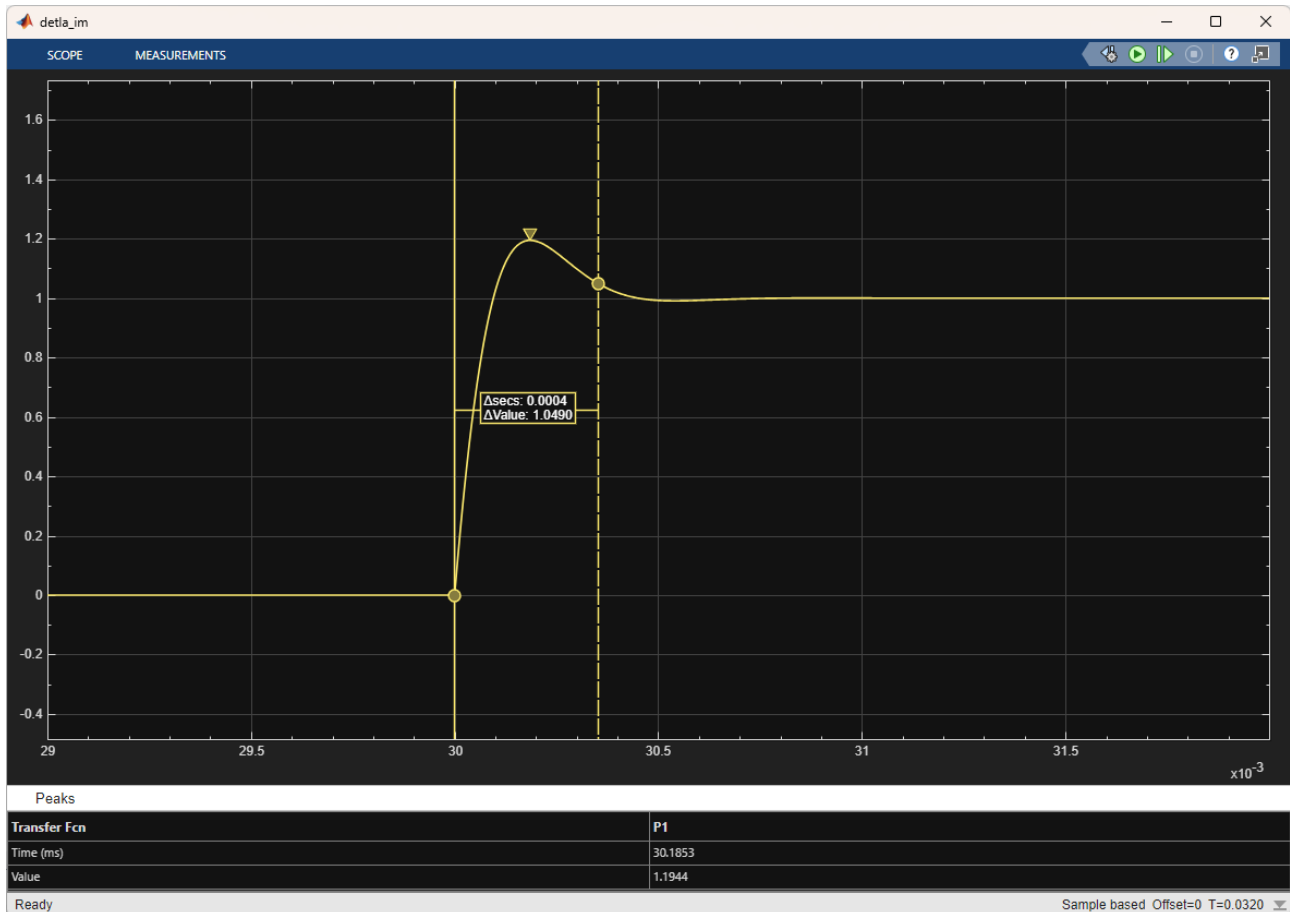


FIGURE 1.5 – Réponse indicielle de l'asservissement en courant du moteur dans Simulink

On constate que la réponse indicielle de l'asservissement en courant du moteur dans Simulink présente un dépassement d'environ 19% et un temps de réponse de 0,35 ms. Ce qui respecte les spécifications du cahier des charges qui exige un dépassement maximal de 20% et un temps de réponse maximal de 10 fois la période de la MLI soit 0,45 ms.

Modélisation sur PSIM

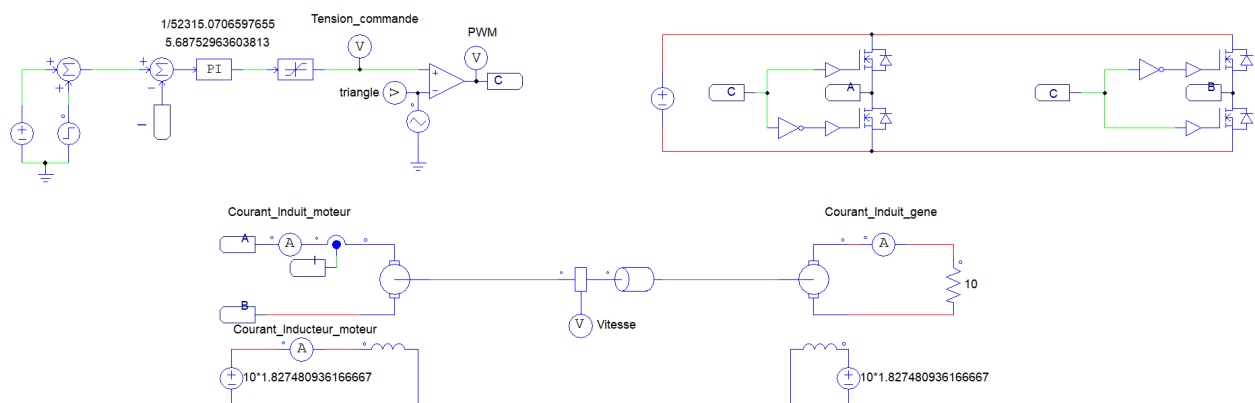


FIGURE 1.6 – Schéma de l'asservissement en courant du moteur dans PSIM

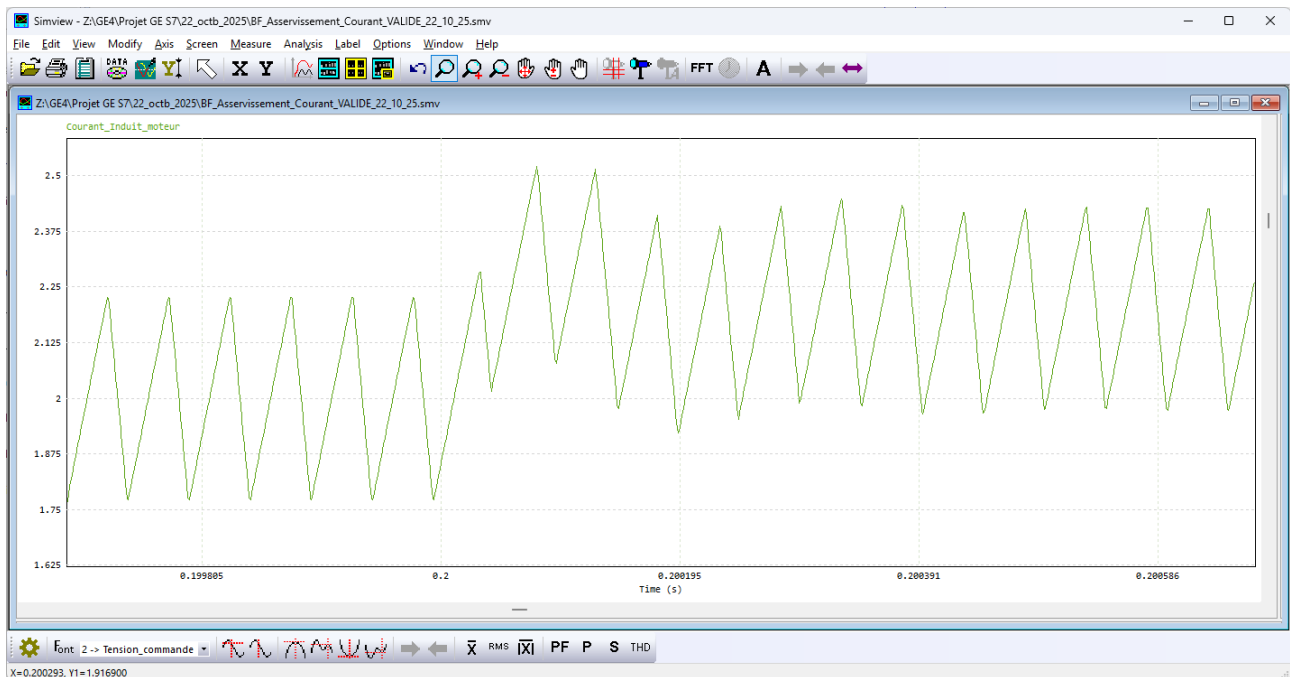


FIGURE 1.7 – Réponse indicielle de l’asservissement en courant du moteur dans PSIM

Comparaison des résultats

Dans cette section, nous allons comparer les résultats obtenus avec les deux outils de simulation, Simulink et PSIM.

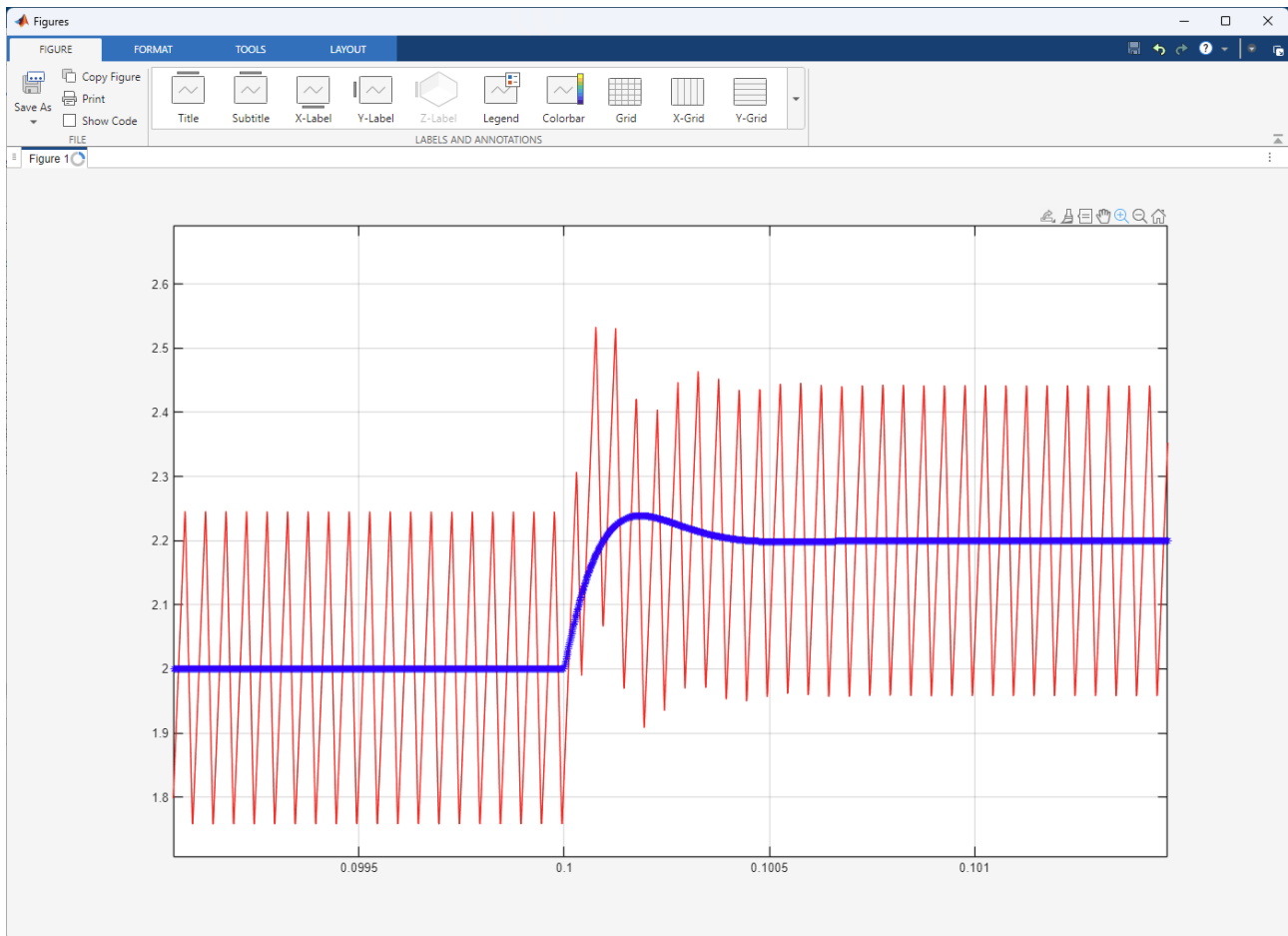
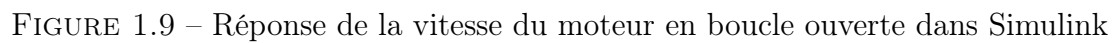


FIGURE 1.8 – Comparaison des réponses indicielle de l’asservissement en courant du moteur entre Simulink et PSIM

4.2. Asservissement en vitesse du moteur

Simulation sur Matlab/Simulink

Nous commençons par la simulation de la vitesse du moteur en boucle ouverte sur Simulink.



- $K_p = 37,3376029909659$
- $K_i = 14022,585396076$

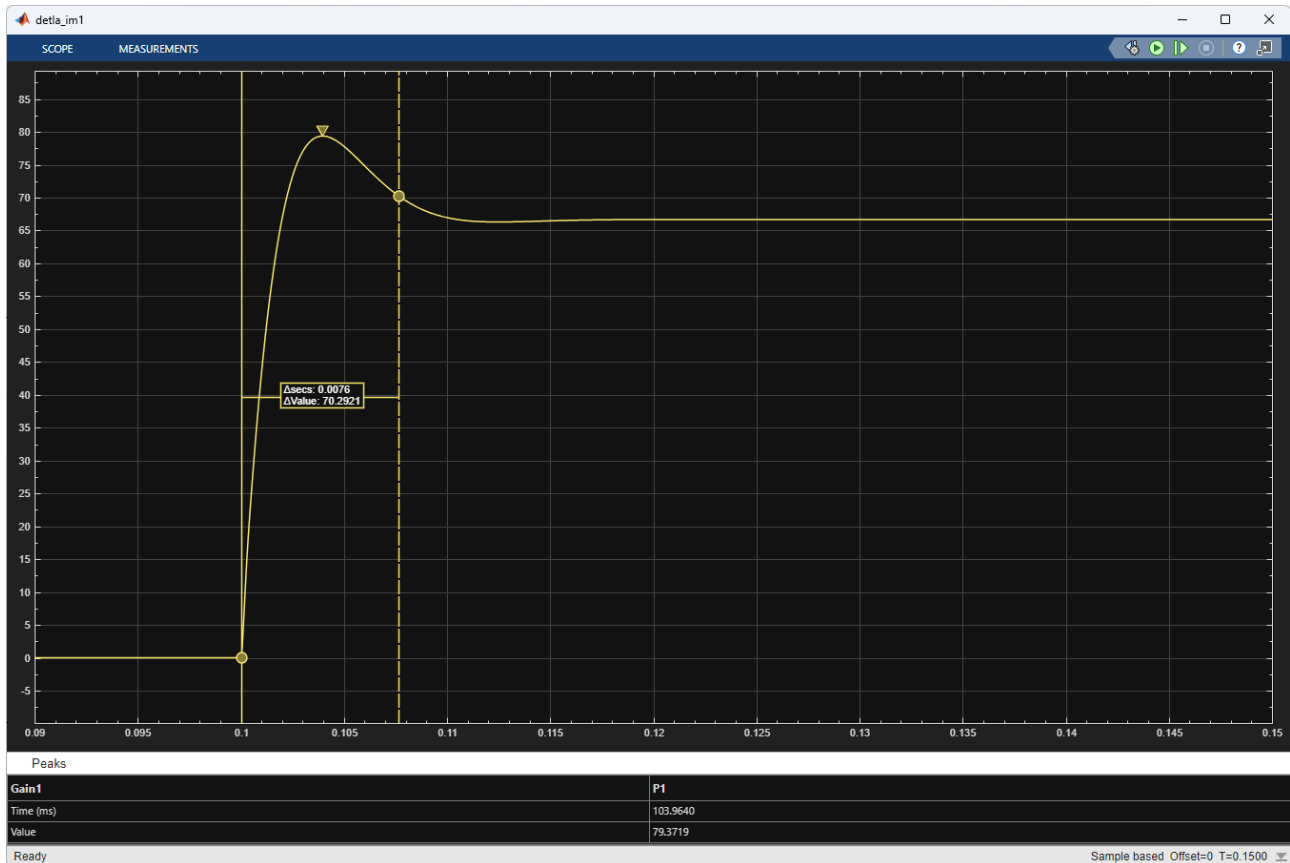


FIGURE 1.11 – Réponse de l'asservissement en vitesse du moteur dans Simulink

Nous relevons un temps de réponse à 5% de 7,6 ms et un dépassement de 18,5%, ce qui respecte les spécifications du cahier des charges.

Simulation sur PSIM

Comparaison des résultats

4.3. Asservissement en vitesse avec le codeur incrémental

Le cahier des charges impose la possibilité d'asservir la vitesse du moteur à l'aide d'un codeur incrémental.

Principe de fonctionnement du codeur incrémental

Le fonctionnement du codeur incrémental repose sur un disque rotatif équipé de fentes. Celui-ci est interposé entre une diode électroluminescente et un capteur photodiode. Lorsque le disque tourne, les fentes permettent à la lumière de passer à travers, générant ainsi des impulsions électriques dans le capteur. Le nombre d'impulsions générées par tour dépend de la résolution du codeur.

Le codeur incrémentale fournit est composé de deux piste de fentes decalé d'un quart de période, ce qui permet de déterminer le sens de rotation du moteur en analysant la séquence des impulsions générées par les deux capteurs.

Pour mesurer la vitesse de rotation du moteur, il suffit de compter le nombre d'impulsions générées par le codeur sur une période de temps donnée. La vitesse angulaire peut être calculée

en utilisant la formule suivante :

$$\omega = \frac{N \cdot 2\pi}{P \cdot T} \quad (1.1)$$

où :

- ω est la vitesse angulaire en radians par seconde (rad/s)
- N est le nombre d'impulsions comptées
- P est le nombre d'impulsions par tour du codeur
- T est la période de temps pendant laquelle les impulsions sont comptées en secondes (s)
- 2π est une constante pour convertir les tours en radians

Pour connaître le sens de rotation, on analyse la séquence des impulsions des deux pistes. Si la piste A précède la piste B, le moteur tourne dans un sens. Si la piste B précède la piste A, le moteur tourne dans le sens inverse.