

TP2: Commande de la vitesse du moteur à courant continu par hacheur.

1. But du TP

Le fonctionnement d'un entraînement de moteur à courant continu à vitesse variable dans lequel la tension d'armature est commandée par un hacheur à thyristor GTO a été étudié à l'aide de SimPowerSystems.

L'objectif visé est de démontrer l'utilisation des blocs électriques, en combinaison avec des blocs Simulink, dans la simulation d'un système électromécanique avec un système de commande. La partie électrique de l'entraînement de moteur à courant continu, y compris la source de courant continu, le moteur à courant continu, et le hacheur, est construit en utilisant des blocs de " Elements, Machines et bibliothèques électronique de puissance". Les blocs de machine à courant continu modélisent les dynamiques électriques et mécaniques. La charge caractéristique couple-vitesse et le système de commande sont construits en utilisant des blocs Simulink.

2. Description du système d'entraînement

Un schéma simplifié du système d'entraînement est illustré sur la figure 1. Le moteur DC est alimenté par la source de courant continu à travers un hacheur qui se compose du thyristor GTO, Th1 et la diode de roue libre D1.

Le moteur à courant continu entraîne une charge mécanique qui est caractérisée par l'inertie J , le coefficient de frottement B et le couple de charge T_L (qui peut être une fonction de la vitesse du moteur).

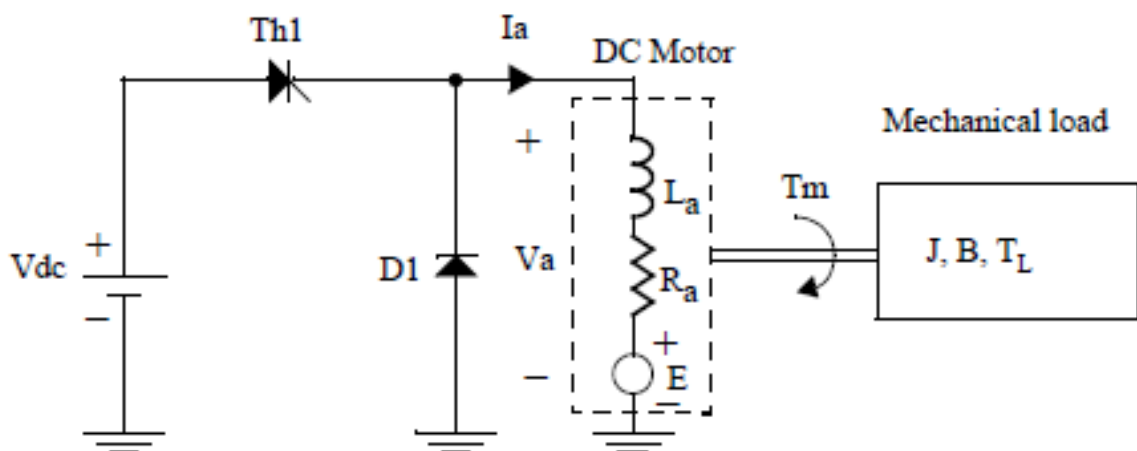


Figure 1 : Moteur DC commandé par un hacheur

TP Commande des systèmes électriques

Dans ce schéma, le moteur à courant continu est représenté par son circuit équivalent constitué de l'inductance L_a et une résistance R_a en série avec la force contre-électromotrice E .

La force contre-électromotrice de la réaction est proportionnelle à la vitesse du moteur $E = K_E \omega$ où K_E est une constante et ω est la vitesse du moteur.

Dans une machine à courant continu à excitation séparée, la constante K_E est proportionnelle au courant d'excitation I_f . $K_E = L_{af} I_f$ où L_{af} est l'inductance.

Le couple développé par le moteur à courant continu est proportionnel au courant d'induit I_a ; en effet, $T_m = K_T I_a$ où K_T est une constante.

Les constantes K_T et K_E sont égales: $K_T = K_E$

Le thyristor **Th1** est déclenché par un signal à largeur d'impulsion modulée (**PWM**) pour commander la tension moyenne du moteur DC.

Les formes d'onde théoriques illustrant le fonctionnement du hacheur sont présentés sur la figure 2:

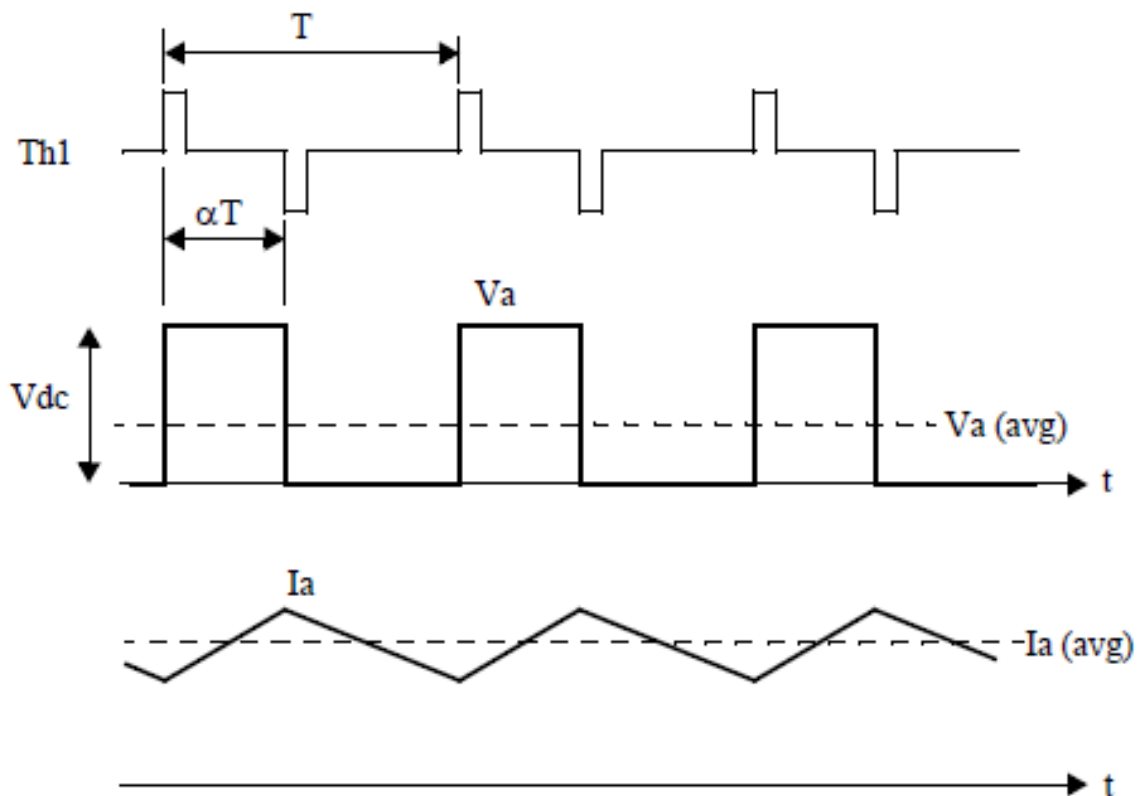


Figure 2 Courbes illustrant le hachage

La tension d'induit moyenne est une fonction directe du rapport cyclique α .

$$V_a(avg) = \alpha V_{dc}$$

Notez que cette relation n'est valable que lorsque le courant d'induit est continu.

En régime permanent, le courant moyen induit est égale à:

$$I_a(avg) = \frac{V_a(avg) - E}{R_a}$$

où α est le rapport cyclique et r est le rapport entre la période de hachage et la constante de temps électrique du moteur DC.

$$r = \frac{T}{(L_a/R_a)}$$

Dans cette étude, on considère un entraînement du moteur DC à vitesse variable en utilisant une configuration de régulation en cascade. Voici un schéma de principe de cette structure :

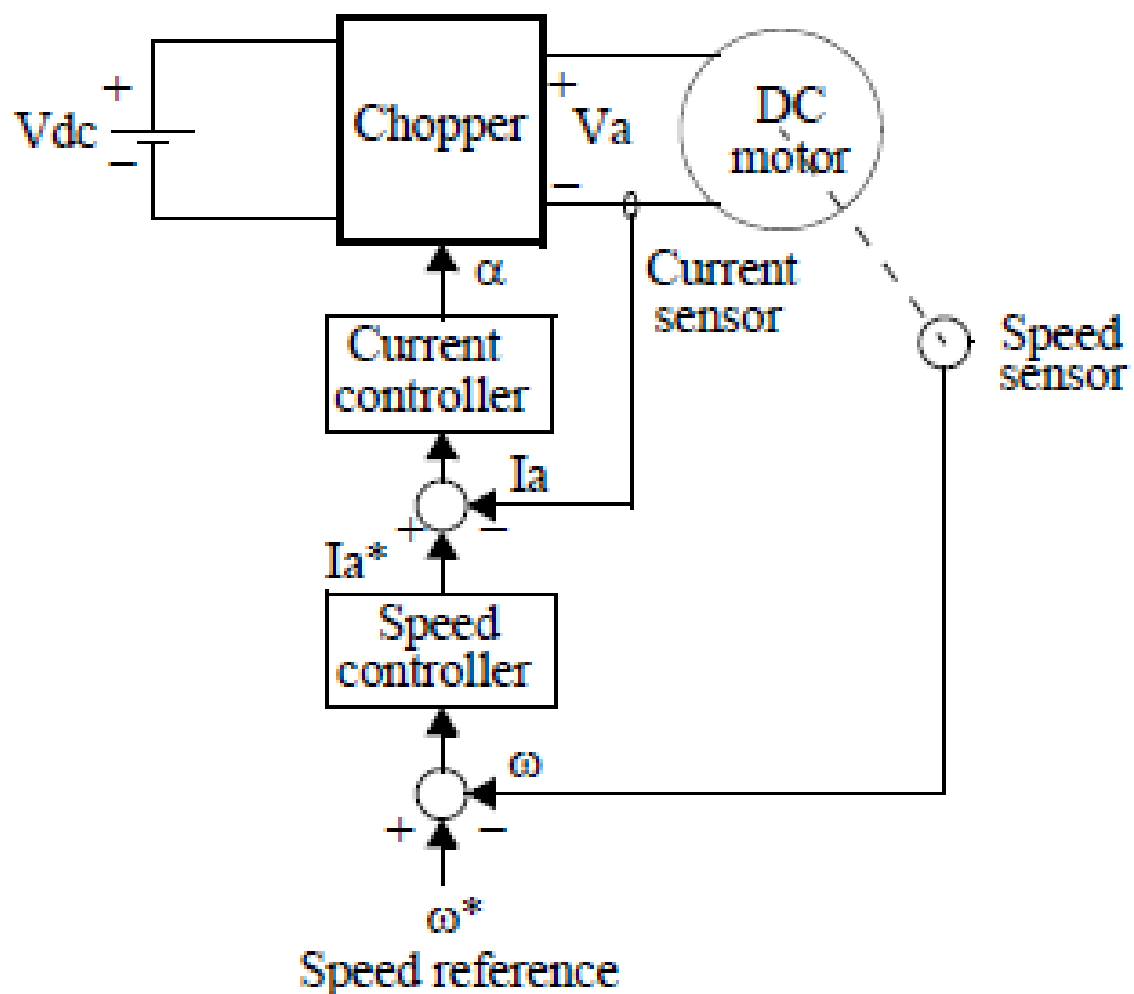


Figure 3 Entraînement à vitesse variable du moteur DC

Le couple moteur est commandé par le courant d'induit I_a , qui est régulé par une boucle de commande de courant. La vitesse du moteur est commandé par une boucle externe, qui fournit la référence de courant I_a^* pour la boucle de commande de courant.

3. Modélisation de la commande du moteur DC

Réalisez le schéma de la figure 4 et enregistrez-le comme **tp1_eli2.mdl** dans votre répertoire de travail.

Le schéma du système d'entraînement est construit avec des blocs de la bibliothèque de **powerlib** combinée avec des blocs **Simulink**. Le schéma du système est montré comme suite:

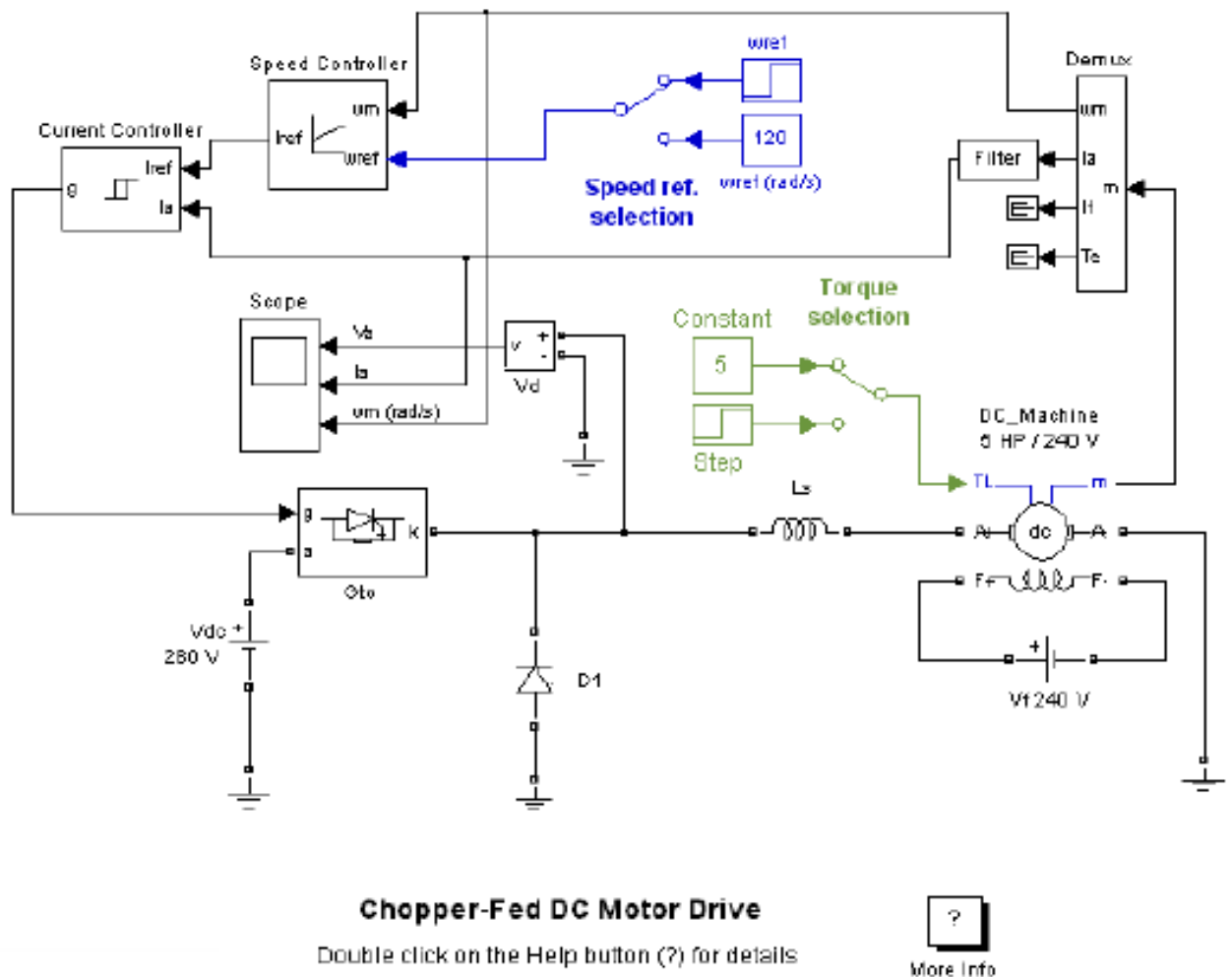
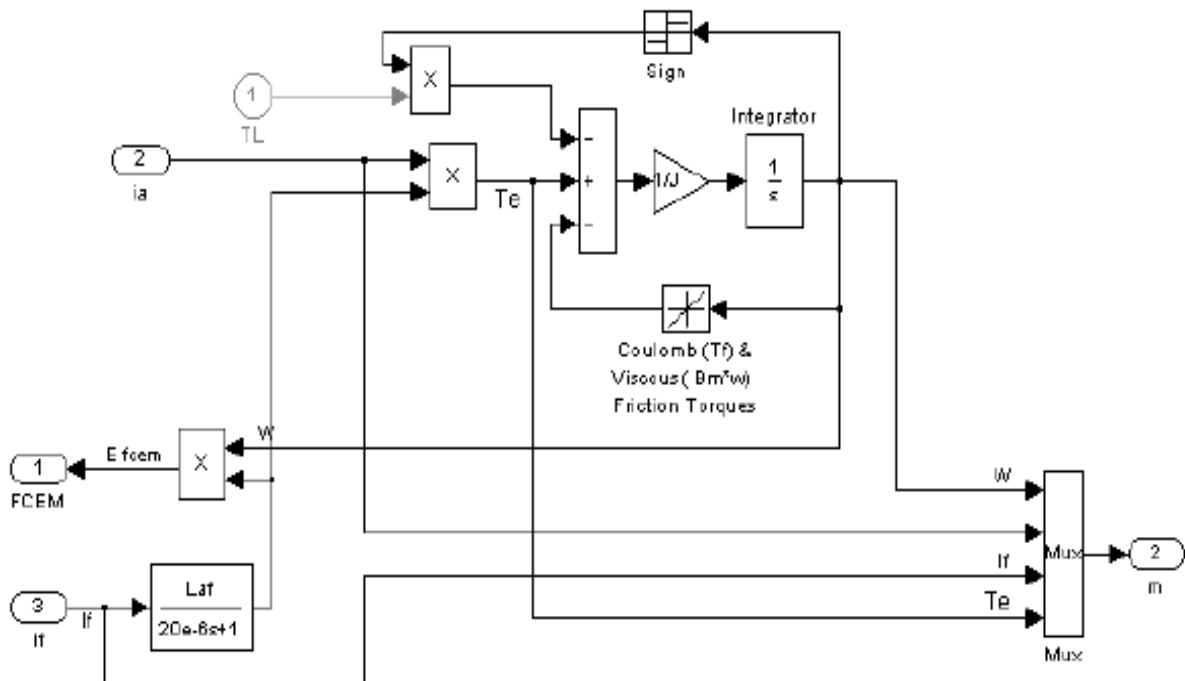


Figure 4 Entraînement du moteur DC utilisant SimPowerSystems

Avec un bloc de commutation manuelle " **Manuel switch block** ", vous pouvez sélectionner à la fois la vitesse de référence et le couple de charge appliquée à l'arbre du moteur afin d'utiliser soit



Le circuit d'induit est représenté par un circuit RL en série avec une source de tension contrôlée, dont la valeur est $K_E \omega$.

Le circuit d'excitation est représenté par un circuit RL.

La partie mécanique est représentée par blocs Simulink, qui mettent en œuvre l'équation suivante :

$$T_m = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + \text{sgn}(\omega)T_L$$

Fixez les paramètres de la machine à courant continu aux valeurs souhaitées en utilisant la boîte de dialogue du bloc de la machine à courant continu.

Vous implémentez la caractéristique couple de charge-vitesse par le bloc Simulink **"Math function"**. Le moteur utilisé dans cette étude est un 5 HP/240 V moteur DC à excitation séparée, avec les paramètres suivants:

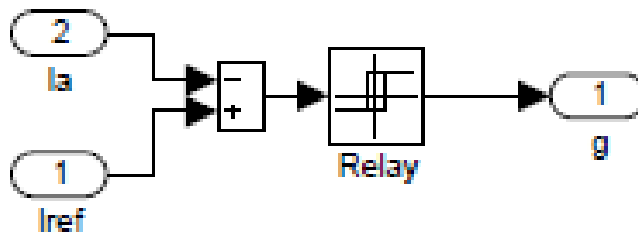
R_a	0.5 Ω
L_a	10 mH
K_E	1.23 V/(rad/s)
K_T	1.23 N m/A

Une inductance (L_s) de 10 mH est connectée en série avec le moteur à courant continu pour lisser le courant d'induit. L'excitation constante est mise en œuvre par la connexion d'un bloc de source de tension à courant continu à l'inducteur.

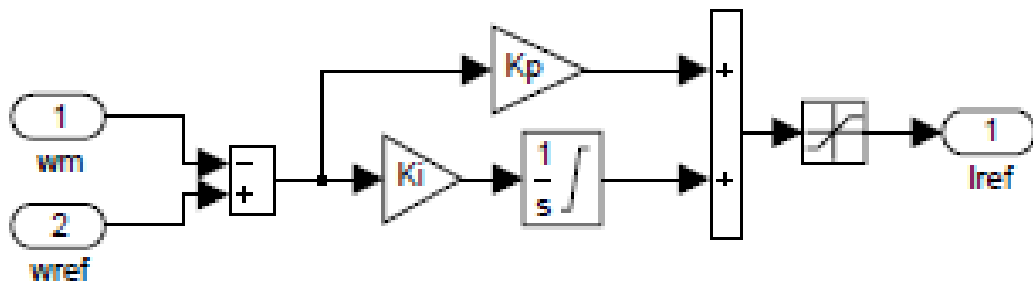
TP Commande des systèmes électriques

Le signal de déclenchement nécessaire pour le thyristor GTO est généré par un régulateur de courant à hystérésis, ce qui force le courant du moteur à suivre la référence dans les limites : $+h/2$ et $-h/2$ (h est la bande d'hystérésis).

Le régulateur de courant est un bloc masqué selon le schéma suivant :



La boucle de commande de vitesse utilise un contrôleur proportionnel-intégral, qui est mis en œuvre par blocs Simulink selon le schéma suivant:



4. Simulation de l'entraînement du moteur DC:

Lancez la simulation en sélectionnant **Start** dans le menu de simulation dans Simulink. Réglez les paramètres de simulation dans la boîte de dialogue **Simulation parameters** comme suit:

Simulation time	Start Time 0 , Stop time: 1.2
Solver Type	Variable-step ode23tb (stiff/TR-BDF2)
Max Step Sizz	Auto
Initial Step Size	Auto
Relative Tolerance	1e-3
Absolute Tolerance	1e-3

La tension du moteur, les formes d'onde de courant et la vitesse du moteur sont affichées sur trois axes de la portée connecté aux variables V_a , I_a , et ω .

5. Démarrage de l'entraînement

TP Commande des systèmes électriques

Ce test simule le régime transitoire de l'entraînement DC. L'inertie de la charge mécanique est petite afin de faire ressortir les détails de la commutation du hacheur. La référence de vitesse est de 120 rad/s.

5.1 Observer la vitesse du moteur DC et le courant et présenter les réponses transitoires.

Notez que vous pouvez enregistrer le vecteur d'état final (**xFinal**) du système en sélectionnant: **Workspace I/O —> Save to workspace —> Final state**, dans la partie **Simulation parameters**. Il peut être utilisé en tant que l'état initial dans une simulation ultérieure de sorte que la simulation peut commencer sous les conditions du régime permanent.

6. Courbes de tension et courant en régime permanent.

Lorsque le régime permanent est atteint, vous pouvez arrêter la simulation.

6.1 Représenter les courbes de tension et du courant du moteur à courant continu à la fin du régime transitoire.

7. Performance dynamique de la régulation de vitesse

Vous pouvez étudier le comportement dynamique d'entraînement (performance de régulation de vitesse vis-à-vis des changements de la référence et du couple de charge) en appliquant deux changements successifs : un échelon comme vitesse de référence (de 120 rad/s à 160 rad/s à $t = 0,4$ s) et un échelon pour le couple de charge (de 5 Nm à 25 Nm à $t = 1,2$ s)

Afin de commencer la simulation en régime permanent, le vecteur final d'état obtenue avec la simulation précédente peut être utilisée en tant que condition initiale. Copiez la variable xFinal (vecteur d'état enregistré à la fin de la dernière simulation) dans la variable XInitial.

Sélectionner **Workspace I/O —> Load from workspace O—> Initial state** dans **Simulation parameters** et relancer la simulation.

7.1 Représenter la réponse de l'entraînement du moteur à courant continu à des changements successifs de vitesse de référence et le couple de charge.