

TRAVAUX PRATIQUES DE SIMULATION

Le but de ces 3 séances de travaux pratiques est la mise en œuvre des simulations des systèmes électriques comprenant une partie électronique de puissance, une partie moteur et la commande. Les travaux pourront se faire par groupe de 2 et donnera lieu à un **compte-rendu par TP à rendre pour la séance suivante; le dernier compte-rendu est à rendre pour le 23 janvier**. En complément de votre compte-rendu, vous transmettez une archive de vos fichiers de simulation par mail (les deux premiers TP sont à envoyer à Wael.Bachta@lsiit.u-strasbg.fr, le troisième à laroche@lsiit.u-strasbg.fr).

L'évaluation de ce travail pratique se fera à partir d'un rapport technique où vous montrerez comment vous avez simulé les différentes parties et où vous détaillerez les résultats obtenus. Ce compte-rendu doit présenter l'ensemble des résultats que vous avez obtenus, ainsi que les calculs que vous avez effectués. Vous devez y expliquer les méthodes de synthèse de correcteur utilisées. Vous devez également inclure des remarques et des conclusions sur les différents résultats obtenus. Il doit être présenté de manière professionnelle et doit donner une image favorable de vos compétences. Ce rapport pourra être remis à l'enseignant sous forme électronique. Vous joindrez également vos fichiers de simulation commentés ainsi qu'un index présentant le rôle des différents programmes et fichiers de données.

Il vous est conseillé d'avancer pas à pas dans l'élaboration des modèles en validant à chaque étape les sous-parties. Les données numériques pourront être placées dans un programme d'initialisation que vous lancez avant la première simulation. Vous prendrez soin de ne travailler que dans votre répertoire personnel sur la station. Les données locales peuvent en effet être effacées entre deux séances.

Afin de profiter au mieux des séances de TP et de la présence de votre enseignant, il est impératif de préparer les séances de TP. Vous devez lire l'énoncé en entier et valider la compréhension de l'ensemble des questions posées, rassembler l'ensemble des informations nécessaires (notamment les modèles), effectuer l'intégralité des calculs. Il vous est également conseillé de commencer le travail sur Matlab-Simulink avant la séance ; en effet, cela vous permettra, lors de la séance de TP, de vous faire aider directement sur les problèmes que vous aurez rencontrés.

TP1. MOTEUR À COURANT CONTINU ALIMENTÉ PAR HACHEUR

L'objet de ce TP est l'étude des asservissement de courant et de vitesse d'un moteur à courant continu alimenté par un hacheur 4 quadrants.

Le hacheur

Réalisez un bloc permettant de réaliser un signal de commutation à rapport-cyclique variable dont le front montant est synchronisé à une période choisie. Le rapport-cyclique est fourni en entrée du bloc. Vous pourrez utiliser une S-fonction (cf. document d'initiation à Matlab).

Réalisez le bloc hacheur 4 quadrants dont les entrées sont la tension amont, le courant aval, le signal de commutation et dont les sorties sont la tension aval et le courant amont.

Validez le fonctionnement sur un générateur de courant continu de 5 A en considérant une tension d'alimentation constante de 400 V et une fréquence de hachage de 10 kHz. Commentez.

On considère maintenant que la charge est composée d'une résistance R_{ch} connectée en série avec une inductance L_{ch} . Modélisez la charge par une fonction de transfert du premier ordre. Simulez l'ensemble hacheur + charge RL ; vous pourrez choisir comme valeur nominale des paramètres de la charge $R_{ch} = 10 \Omega$ et $L_{ch} = 10$ mH. Commentez.

Le moteur à courant continu

Implantez le modèle du moteur à courant continu en utilisant la structure de votre choix (S-fonction ou schéma-bloc). On donne les valeurs suivantes de paramètres : constante de fem et de couple $K = 1$ Vs/rad, résistance d'induit $R = 1 \Omega$, inductance d'induit $L = 5$ mH, inertie $J = 10$ g.m², plage de variation du coefficient de frottements fluides $f : 0 - 10$ N.m.s/rad.

Validez le modèle en simulant le démarrage à vide (sous charge mécanique nulle, $f = 0$) et sous une tension de 100 V. Commentez les trajectoires du courant et de la vitesse.

Asservissement de courant

On considère que le système est alimenté par un hacheur fonctionnant à la fréquence de $f_h = 10$ kHz. On pourra commencer par modéliser le hacheur par un bloqueur d'ordre zéro de période $T_h = 1/f_h$. On tiendra compte d'un temps de calcul de la commande égal à une période de hachage en intégrant un retard pur dans la boucle. Réalisez un asservissement du

courant à l'aide d'un correcteur PI. Vous pourrez faire l'étude en continu et réaliser ensuite l'asservissement numérique en supposant que les conversions CAN et CNA sont synchrones avec l'horloge du hacheur à 10 kHz. Vous utiliserez la méthode de synthèse de votre choix : par compensation du pôle dominant ou par la méthode de l'optimum symétrique. Validez tout d'abord le correcteur sur le modèle de synthèse (modèle simplifié), puis sur le modèle complet du moteur puis en intégrant le hacheur. Le cas échéant, vous prendrez soin d'inclure au terme intégral une saturation afin d'éviter les problèmes d'emballement (effet anti-windup).

Asservissement de la vitesse

Synthétisez une boucle d'asservissement de vitesse incluant une limitation interne du courant à +/- 10 A par la méthode de votre choix que vous exposerez. Donnez les résultats de simulation des différents modèles (modèle de synthèse puis modèle complet).

TP2

ALTERNATEUR ALIMENTANT UNE CHARGE ISOLÉE

L'objet de ce TP est l'étude d'un alternateur triphasé alimenté par une turbine et alimentant un réseau. L'alternateur a 4 paires de pôles. Sa tension nominale est de 400 V, sa puissance nominale de 1,5 kW. Sa résistance d'induit est de $0,5 \Omega$, son inductance cyclique de 5 mH. Son flux est assuré par un bobinage de résistance 200Ω . L'inductance de l'excitation est de 1 H et le flux nominal est de 1 G. L'inertie de l'ensemble des parties tournantes est de $0,01 \text{ kg.m}^2$. L'alternateur est destiné à produire une tension sinusoïdale à la fréquence de 50 Hz.

Étude analytique de l'alternateur et de la charge

On considère une charge triphasée équilibrée couplée en étoile composée d'une résistance R_{ch} en série avec une inductance L_{ch} . Développez un modèle permettant la simulation de l'ensemble alternateur+charge. Vous donnerez ce modèle sous une forme adaptée à l'implantation sous Simulink.

Indications:

- on propose de développer un modèle diphasé.
- Comme l'alternateur et la charge sont tous deux de nature inductive, il n'est pas possible de développer un modèle séparé des deux éléments. Il vous faudra donc développer une seule modélisation de l'ensemble.
- Le modèle de l'alternateur est celui de la machine synchrone, mais avec des conventions inversées.

Simulations à vitesse et à flux constants

Implantez le modèle et étudiez son fonctionnement en fonction de variations de la charge. On prendra comme valeur indicative de la charge $R_{ch} = 20 \Omega$ et $L_{ch} = 50 \text{ mH}$. Vous devez déterminer la vitesse de rotation permettant d'obtenir une fréquence de 50 Hz. Étudiez les trajectoires du courant (sur-intensités) ainsi que les variations de la tension lors de changements de charge et lors de la mise en court-circuit de l'induit.

Réglage du flux

Vous avez dû observer que la tension d'alimentation varie en fonction de la charge. Il convient donc de faire varier le flux de manière à garder une tension d'alimentation constante. En supposant que l'on est capable de commander la tension d'alimentation de l'enroulement d'excitation, proposez une méthode pour résoudre ce problème et validez-la en simulation.

Asservissement de la vitesse de la turbine

On a considéré jusqu'alors que la turbine et l'alternateur tournent à vitesse constante. Dans la pratique, les variations de la vitesse dépendent de la somme des couples (équation mécanique ou relation fondamentale de la dynamique) et cette vitesse est asservie par une boucle de régulation où le couple de la turbine est commandé en fonction de l'erreur de vitesse.

Étendez votre schéma de simulation en tenant compte de la dynamique de la vitesse et de son asservissement (un proportionnel peut suffire). Réglez le gain du correcteur de sorte que la mise en court-circuit de l'alternateur à partir de la charge nominale n'entraîne pas une variation de la fréquence de plus de 1 %.

TP3

STRATÉGIES DE COMMANDE D'UN ONDULEUR TRIPHASÉ

Dans ce TP, on s'intéresse aux onduleurs triphasés. Différentes stratégies de commande seront étudiées et comparées. On sera notamment sensible à l'évaluation des harmoniques.

On considère un onduleur triphasé alimentant une charge triphasée RL série couplée en triangle avec $R = 2 \Omega$, $L = 100 \text{ mH}$. L'onduleur est alimenté par une source de tension continue constante $E = 600 \text{ V}$. On souhaite réaliser un réseau équilibré de tensions alternatives sinusoïdales de valeur efficace 230 V et de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$.

Modèle de l'onduleur et de sa charge

A partir du modèle présenté dans le cours, développez sous Simulink un simulateur de l'onduleur et de sa charge. On considérera que l'onduleur est commandé par trois signaux de commutations booléens C_a , C_b et C_c .

Commande en plein onde

On propose de faire la commande de l'onduleur en plein onde (cf. exercice de TD). Implantez cette commande et relavez les différentes formes d'onde des signaux de tension et de courant. Concernant la tension et du courant de charge ; déterminez les valeurs efficaces, leurs spectres fréquentiels et leurs taux d'harmoniques. Vous pourrez utiliser la fonction `fft` de Matlab pour déterminer le spectre.

Commande à angles calculés

En triphasé, les harmoniques de rang 3 et multiples de 3 sont nulles. On propose donc de concevoir une MLI à angles calculés permettant d'annuler le premier harmonique non-nul, c'est-à-dire l'harmonique de rang 5.

Déterminez le signal de commutation permettant d'annuler l'harmonique de rang 5. Vous pourrez vous inspirer de l'exemple traité en TD.

Simulez cette commande, comme pour la question précédente, donnez les valeurs efficaces, le spectre et les taux d'harmoniques de la tension et du courant de charge.

Modulation de largeur d'impulsion

On commande l'onduleur par MLI à la fréquence f_e . On considérera deux fréquences : 500 Hz et 5 kHz. Implantez la loi de commande. Pour chacune d'entre elles, donnez les valeurs efficaces, le spectre et les taux d'harmoniques de la tension et du courant de charge.

Comparaison

Effectuez une comparaison des différents résultats obtenus. Comparez également le nombre de commutations nécessaires par période.