

Redynamiser le cours d'électrotechnique avec la commande numérique

B. Busso, E. Monmasson et S. Moreau

IUP GEII
rue d'Eragny
Neuville sur Oise
F-95031 Cergy-Pontoise, France

REDYNAMISER LE COURS D'ELECTROTECHNIQUE AVEC LA COMMANDE NUMERIQUE

B BUSSO* , E MONMASSON* , S MOREAU
IUP GEII, rue d'Eragny Neuville sur Oise 95031 Cergy Pontoise
Bruno.Busso@iupge.u-cergy.fr, Eric.Monmasson@iupge.u-cergy.fr.

Résumé :

Repenser un enseignement d'électrotechnique pour les étudiants de troisième année d'IUP GEII de façon à les réconcilier avec cette matière. La commande numérique des systèmes électrotechniques est un enseignement qui peut redynamiser cette discipline.

Mots clés : DSP, commande numérique, systèmes électrotechniques, motivation, travail, décloisonnement.

1. INTRODUCTION

Nos étudiants de l'IUP ont un enseignement d'électrotechnique et d'électronique de puissance en deuxième année (Licence) et troisième année (Maîtrise). Le cours d'électrotechnique et d'électronique de puissance de deuxième année est un enseignement de base où les principes fondamentaux de ces disciplines sont présentés. La majorité des étudiants s'intéresse à cette discipline et se montre volontaire pour les séances de travaux pratiques. Par contre en troisième année la majorité des étudiants n'est plus du tout motivée par ces enseignements et privilégie les nouvelles matières enseignées comme les asservissements numériques, le traitement du signal numérique, les réseaux. Les travaux pratiques ne sont plus préparés et les étudiants se contentent de relever des courbes, des valeurs sans comprendre l'intérêt et les objectifs des énoncés de TP. Lors des réunions pédagogiques, les étudiants de troisième année ont formulé un avis négatif sur l'enseignement de l'électrotechnique en troisième année parce qu'ils ont l'impression d'avoir eu suffisamment d'heures d'électrotechnique dans leur formation de généraliste en génie électrique. Après ce constat, l'équipe pédagogique a décidé de repenser cet enseignement en troisième année.

2. ETAT DES LIEUX

2.1. Les étudiants

Comme l'ont signalé Sylvie Battefort et Christian Glaize dans un article[1], les étudiants ne sont plus demandeurs de connaissances, de méthodes de raisonnement, et il existe un grand décalage entre ce que nous enseignons et la réceptivité des étudiants. En revanche, ces étudiants désirent être actifs, travailler, aboutir à la solution par la méthode empirique d'essais et d'erreurs. Pour les motiver, les enseignements doivent être attrayants, reposer sur

les acquis des étudiants, partir du concret et faire comprendre de l'utilité de ces disciplines

2.2. Les programmes

La deuxième année de la formation technique à l'IUP GEII est consacrée à l'étude des asservissements continus, le traitement du signal continu, l'électrotechnique, l'électronique de puissance, les FPGA, le micro-contrôleur et, bien sûr, l'informatique.

Une partie de la formation technique de la troisième année est réservée aux asservissements numériques, au traitement du signal numérique et à l'étude de la commande par flux orienté de la machine asynchrone.

2.3. Partenariat

Les enseignants chercheurs de l'IUP ont collaboré avec des responsables de la société Texas Instruments pour développer une commande numérique pour machines asynchrones. Ces personnes, intéressées par une collaboration avec l'IUP dans le cadre d'un projet pédagogique, nous ont fourni gratuitement une douzaine de cartes d'évaluation EVM TMS320F243 (DSP micro-contrôleur orienté vers la commande numérique des systèmes électrotechniques).

3. NOUVELLE ORIENTATION

3.1. les objectifs

Les objectifs de la refonte de l'enseignement de l'électrotechnique en troisième année sont :

- l'apport d'un potentiel de connaissances, de réflexion et de compétences,
- une formation adaptée aux réalités,
- bâtir l'enseignement sur des acquis, des exemples concrets,
- décloisonner un certain nombre d'enseignements,

- rendre actif les étudiants et améliorer la collaboration entre enseignants et étudiants.

3.2. Choix

Notre choix s'est porté sur la commande numérique des systèmes électrotechniques qui présente les avantages suivants :

- une formation adaptée aux réalités,
- des exemples concrets avec les variateurs de vitesse pour machines à courant continu et machines à courant alternatif
- un décloisonnement des matières telles que l'asservissement continu, le traitement du signal continu, le micro-contrôleur, l'électrotechnique et l'électronique de puissance,
- l'apport de connaissances sur le DSP, l'implantation numérique de filtres, de correcteurs courant et vitesse, de commande de hacheur quatre quadrants, de la MLI vectorielle et des transformations de Concordia et de Park,
- des étudiants actifs dans la recherche des programmes,
- un enseignement attrayant par la manipulation de différents outils informatiques : simulation continue, simulation numérique, programmation du DSP puis validation de la solution sur le système réel.

4. COMMANDE NUMERIQUE

4.1. Structure du cours

L'étude fonctionnelle des variateurs de vitesse pour machines à courant continu et pour machines à courant alternatif montre qu'il existe un certain nombre de fonctions élémentaires telles que :

- la commande numérique,
- la mesure des grandeurs physiques,
- le filtrage ,
- les correcteurs,
- la commande des convertisseurs .

Le cours est structuré de la façon suivante :

- une étude fonctionnelle des variateurs,
- la présentation du DSP,
- la commande d'un hacheur quatre quadrants,
- l'étude d'un filtre passe bas,
- l'étude d'un correcteur courant,
- l'étude d'un correcteur vitesse,
- l'étude des transformations de Concordia et de Park,
- l'étude de la MLI vectorielle.

4.2. Volume horaire

Cet enseignement de la commande numérique des systèmes électrotechniques repose sur 5 cours

magistraux de trois heures et sept séances de travaux pratiques de quatre heures.

4.3. Cours magistraux

La première séance est utilisée pour l'étude fonctionnelle des variateurs de vitesse pour machines à courant continu et à courant alternatif.

La présentation de l'architecture et la syntaxe de l'assembleur du DSP est faite durant la seconde séance. L'étude des différents périphériques est abordée dans la troisième séance. La commande du hacheur quatre quadrants et l'étude d'un filtre passe bas sont vues dans la quatrième et l'étude des correcteurs courant et vitesse pour la machine à courant continu est abordée lors de la cinquième séance. Les prérequis (enseignements vus en deuxième année) sont les asservissements continus, le traitement du signal continu, le micro-contrôleur, la machine à courant continu, la machine à courant asynchrone, le hacheur dévolteur, l'onduleur monophasé. Cet enseignement débute dès la rentrée des étudiants de troisième année au mois de septembre. En parallèle, commencent également les cours d'asservissement numérique et de traitement numérique. Pour les études des filtres, des correcteurs, les problèmes sont au départ abordés en continu puis en numérique en utilisant la

transformation bilinéaire : $p \Rightarrow \frac{1}{2} \frac{z-1}{z+1}$.

4.4. Travaux pratiques

La progression dans l'apprentissage de la commande numérique est la suivante :

- TP 1: prise en main de l'outil de développement et apprentissage de l'assembleur en travaillant sur une dizaine de programmes partiellement écrits,
- TP 2: utilisation et compréhension de fonctions programmées pour l'acquisition des entrées analogiques (adc), la visualisation de variables internes au DSP (dac), la commande d'un hacheur quatre quadrants (hacheur) , figure 1.

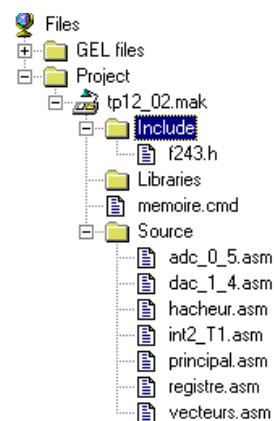


Figure1 Etude des fonctions de base

- TP 3 : étude d'un filtre passe bas. La progression se fait en quatre étapes : la simulation continue (schéma fourni), la simulation numérique (schéma fourni), l'écriture du programme de la fonction filtre et test du programme.
- TP 4 : étude d'un correcteur courant pour contrôler le courant dans une bobine avec un hacheur quatre quadrants alimenté par une alimentation de 30 V 3A, figure 2 simulation continue, figure 3 simulation numérique, figure 4 exemple de calcul avec l'ALU et le multiplieur.

6 résultats expérimentaux, figure 7 projet du variateur de vitesse,

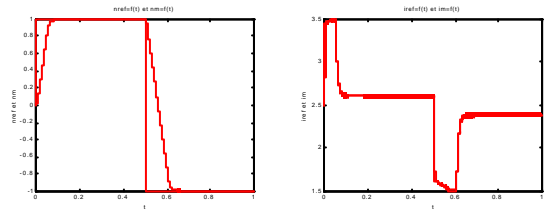


figure 5 Résultats de la simulation numérique

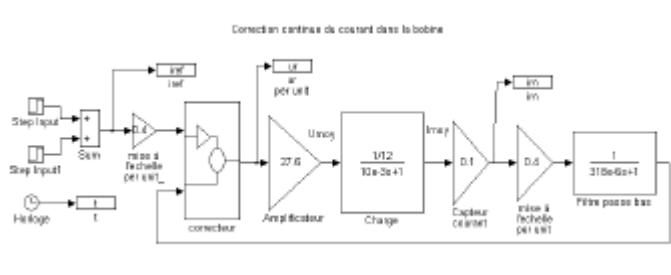


Figure2 Simulation continue

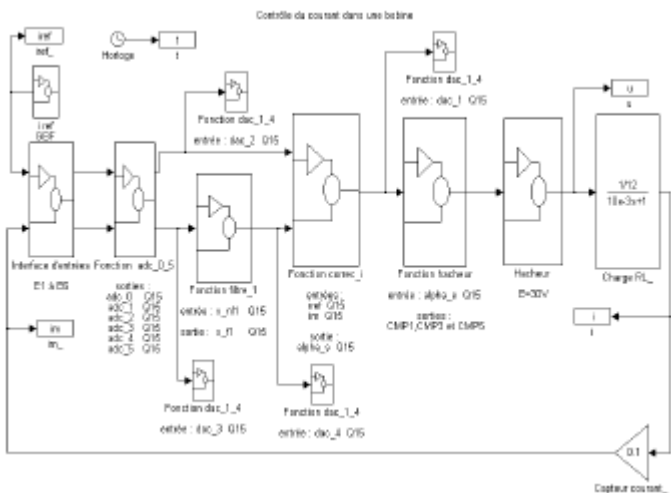


Figure 3 Simulation numérique

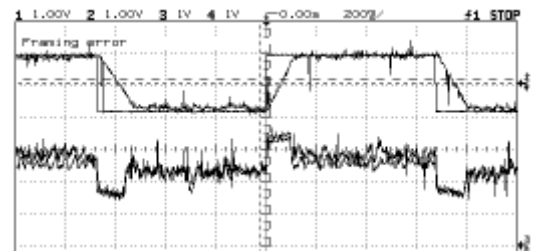


figure 6 Résultats expérimentaux

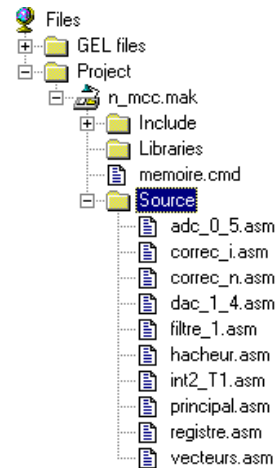


figure 7 Projet variateur de vitesse

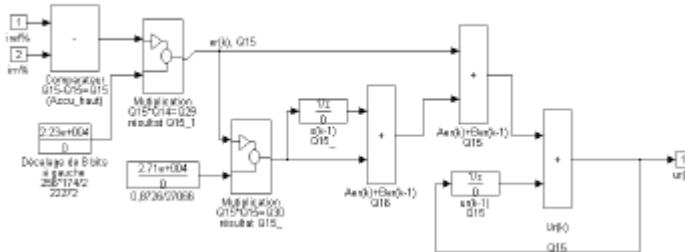


Figure 4 simulation de l'ALU et du multiplieur

- TP5 : pour les étudiants qui ont terminé le TP 4, étude du variateur de vitesse pour la machine à courant continu, figure 5 résultats $n_{ref}(t)$, $n_m(t)$, $i_{ref}(t)$ et $i_m(t)$ de la simulation numérique, figure

- TP 6 : en début de TP, présentation des transformées de Concordia et de Park, étude d'une fonction qui utilise une table sinus. Recherche des programmes pour les autres transformées,
- TP 7 : en début de TP, présentation de la MLI vectorielle avec démonstration. Suite et fin du travail sur les transformées, figure 8 simulation numérique des transformées et figure 9 projet des transformées.

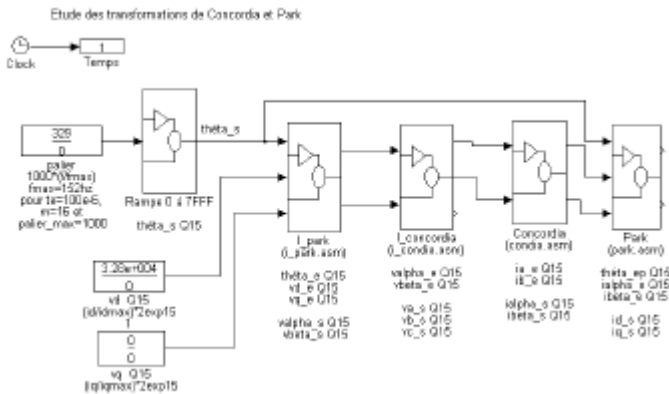


Figure 8 Simulation des transformée

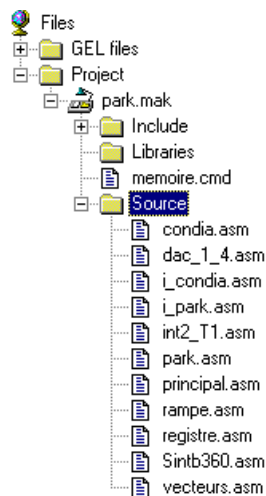


figure 9 Projet les transformées

Au terme des sept TP, les étudiants remettent à l'enseignant un compte-rendu faisant la synthèse des différents projets étudiés.

4.5. Matériel

Le matériel utilisé comprend un logiciel de simulation Matlab avec ses outils simulink et fixe point, un outil de développement Code Composer, une carte d'évaluation EVM F243 de chez Texas Instrument, un émulateur matériel, une carte interface pour les différentes mesures et la commande du hacheur ou de l'onduleur.

5. BILAN

5.1. Evaluation de l'enseignement

Trente sept étudiants sur les quarante inscrits ont répondu à l'enquête d'évaluation portant sur ce nouvel enseignement. En voici les résultats : (les « sans réponses » ne figurent pas dans cette analyse)

- avez vous perçu ce module comme : un cours sur les DSP (27,5%), comme un cours de commande des systèmes électrotechniques et leur implantation temps réel (50%) ou comme un cours d'électrotechnique (22,5%),
- votre intérêt pour ce module est satisfaisant (78,5%) ou insatisfaisant (21,5%),
- votre motivation pour cet enseignement est satisfaisante (70,5%) ou insatisfaisante (29,5%),
- ce cours correspond-t-il à l'enseignement que vous attendez : satisfaisant (84%) ou insatisfaisant (8%),
- sa position dans le cursus de la 2^{me} et 3^{ème} années est : satisfaisante (92%) ou insatisfaisante (5,5%),
- son volume horaire est : satisfaisant (50%) ou insatisfaisant (50%),
- le fait de décloisonner les matières est : satisfaisant (78%) ou insatisfaisant (16%),
- votre préparation de TP est satisfaisante (23%) ou insatisfaisante (62%),
- votre travail durant les séances de TP est : satisfaisant (65%) ou insatisfaisant (32,4%),
- vos acquis à la fin de cet enseignement est : satisfaisant (59,5%) ou insatisfaisant (32,4%).

5.2. Remarques et suggestions

Les étudiants ont apprécié cette méthode de travail les amenant à réaliser un filtre numérique, un correcteur numérique, les transformées de Concordia et de Park, et aboutissant à l'écriture des programmes (même en assembleur).

Ils ont moins apprécié l'étude des formats (Q_n), l'étude des transformées qui leur a semblé trop rapide, la MLI vectorielle qui est trop complexe (voir à la supprimer). Ils ont regretté que les schémas de simulations continue et numérique soient déjà faits et ont estimé avoir manqué de temps pour terminer les projets (TP).

6. CONCLUSION

L'équipe pédagogique a constaté que les étudiants se sont montrés beaucoup plus motivés, et se sont davantage investis dans leur travail, en posant, notamment, beaucoup plus de questions pendant les séances de TP.

Bibliographie

- [1] Amélioration de l'impact de l'enseignement à destination d'étudiant d'IUT. Etat des lieux. Evaluation.
Christian GLAIZE & sylvie BATTEFORT
CETSIS EEA 2001 Clermond Ferrand