

Développement d'une carte de commande numérique programmable pour convertisseur de puissance

Guillaume Pellecuer¹, Thierry Martiré¹, Jean-Jacques Huselstein¹, Philippe Enrici¹, Carole Henaux¹, Jean-Charles Laurentie¹, Jérôme Castellon¹, Jean-Pierre Gairaud¹, Etienne Briquet¹

¹Département EEA, Faculté Des Sciences, Université de Montpellier, IES, UMR5214, CNRS, Université de Montpellier

*Auteur de correspondance : guillaume.pellecuer@umontpellier.fr

Résumé : *L'article présente la mise en œuvre et l'exploitation d'une carte de commande basée sur un microcontrôleur STM32, capable de commander des blocs onduleurs. Cette carte facilite la réalisation d'algorithmes de commande par l'étudiant, grâce à l'utilisation du logiciel PLECS et de sa toolbox STM32. L'étudiant peut ainsi développer le contrôle en boucle ouverte ou fermée de nombreux convertisseurs dans un environnement numérique, en utilisant des schémas-blocs qui permettent de s'affranchir des limitations liées à l'utilisation de langages de programmation bas niveau qui est très souvent un point bloquant pour les étudiants.*

Mots clés : Électronique de puissance, commande numérique, régulation, STM32, PLECS.

Abstract: **Development of a programmable digital control board for power converters**

The article presents the implementation and use of a control board based on an STM32 microcontroller, capable of driving inverter blocks. This board facilitates the development of control algorithms by students through the use of the PLECS software and its STM32 toolbox. In this way, students can develop open-loop or closed-loop control of various converters in a digital environment, using block diagrams that overcome the limitations of low-level programming languages, which are often a major obstacle for students.

Keywords: Power electronics, digital control, regulation, STM32, PLECS

1. Introduction

L'électrification des systèmes, combinée à la demande croissante de solutions robustes à faible impact environnemental, pousse les ingénieurs en génie électrique à réfléchir et à développer des solutions de conversion d'énergie variées, tout en assurant des rendements élevés et une fiabilité accrue. Afin de répondre à cette demande croissante, la formation d'ingénieurs spécialisés en électronique de puissance prend une place de plus en plus importante au sein des départements d'enseignement en génie électrique.

Dans le cadre de la formation EEA (Électronique, Énergie Électrique et Automatique) de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier, les étudiants commencent à étudier les notions élémentaires d'électronique de puissance dès la 2ème année de Licence. Une unité d'enseignement en Licence 3 est consacrée à l'étude des structures dites "de base" en électronique de puissance, telles que les hacheurs buck, boost, 4 quadrants, les onduleurs à pleine onde ou MLI (modulation de largeur d'impulsions), ainsi que les structures isolées Flyback et Forward. Lors du Master 1, une unité d'enseignement permet aux étudiants de mettre en œuvre différentes techniques de commande en boucle fermée des structures étudiées en Licence 3. En Master 2, pour les étudiants ayant choisi le parcours 3EFS (Énergie Électrique, Environnement et Fiabilité des Systèmes), l'étude des structures plus complexes (DAB, LLC, MMC, etc.) et de leurs commandes, qui sont incontournables dans de nombreuses applications, est enseignée. L'ensemble de ces modules permet à l'étudiant, à la sortie du Master, d'acquérir un bagage complet sur l'étude, la modélisation, le dimensionnement et la commande des convertisseurs d'énergie.

1.1. Le bloc onduleur de puissance et la carte de commande

Ces enseignements sont accompagnés d'un volume horaire important de travaux pratiques (TP), indispensables à la mise en application des notions théoriques abordées lors des cours magistraux. Les TP permettent de mettre en œuvre l'ensemble des structures d'électronique de puissance évoquées précédemment à l'aide d'une même maquette, composée de trois bras d'onduleurs et de leurs drivers de grille/gate (cf. Figure 1).

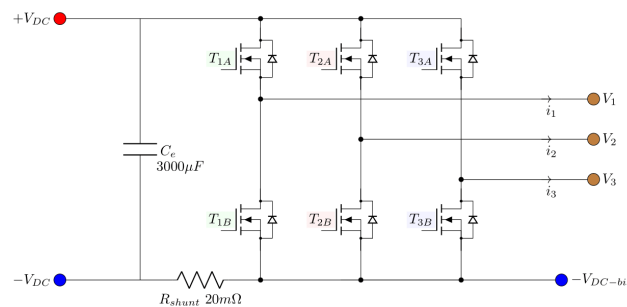


Figure 1. Structure de la carte de puissance.

Le bloc onduleur, en fonction de la commande appliquée aux grilles des transistors T_{1A} , T_{2A} , T_{3A} , T_{1B} , T_{2B} , T_{3B} du câblage des éléments passifs (transformateurs, inductances, condensateurs), des sources de tension et des charges, recouvre l'ensemble des structures d'électronique de puissance étudiées dans le cadre de la formation. Le rôle des étudiants est alors de disposer les éléments passifs, les sources de tension et les charges afin de réaliser la structure étudiée. La commande des transistors (MOSFET ou IGBT) est, quant à elle, effectuée

à partir d'une carte numérique basée sur un FPGA, dont le code a été préalablement développé par les enseignants du département pour intégrer l'ensemble des fonctions de commande (cf. Figure 2).

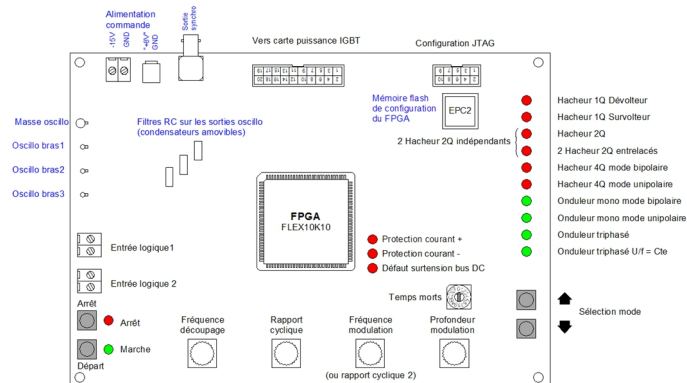


Figure 2. Carte de commande FPGA.

Une liaison par nappe est établie entre la carte de puissance et la carte de commande, permettant d'échanger les ordres de commande des six transistors, mais également trois signaux de défaut provenant du bloc onduleur (surintensité positive, surintensité négative et surtension du bus continu), afin que la commande puisse être coupée rapidement et éviter l'endommagement du matériel. Le défaut en question est indiqué à l'aide de trois LED disposées sur la carte de commande. La carte de commande permet à l'étudiant de choisir le mode de fonctionnement à l'aide de deux boutons-poussoirs, l'état étant indiqué par un ruban de LED. Deux autres boutons-poussoirs permettent d'activer ou non (MARCHE/ARRÊT) la commande des onduleurs. Le réglage des paramètres, tels que la fréquence de découpage, le rapport cyclique, la fréquence BF ou le rapport de modulation dans le cas de l'étude d'un onduleur, se fait à l'aide de quatre codeurs rotatifs.

Le développement de cet ensemble bloc onduleur/carte de commande FPGA a fait l'objet d'une publication lors de la conférence CETSIS 2005 et dans la revue J3EA [1]. La carte de commande présentée ci-dessus opère en boucle ouverte, limitant ainsi l'étude des techniques de commande des convertisseurs, notamment en boucle fermée. Pour étudier les principes de fonctionnement en boucle fermée, en particulier pour les convertisseurs d'énergie, une carte de commande analogique a été développée. Celle-ci regroupe des montages à amplificateurs opérationnels (AOP) permettant de réaliser des fonctions telles que des soustracteurs, des correcteurs PI ou encore des circuits générateurs PWM pour produire les commandes (cf. Figure 3).

Cette carte, complémentaire à la carte de commande FPGA, permet de réaliser de nombreux travaux pratiques impliquant des régulations, comme la régulation d'une machine à courant continu à aimant permanent à l'aide d'un hacheur 4Q, la régulation d'un hacheur série ou encore la commande d'un PFC (Power Factor Control).

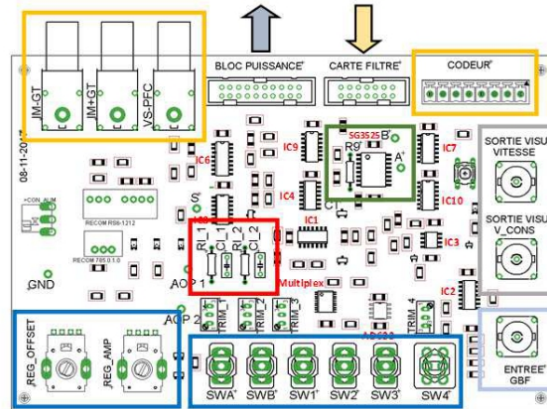


Figure 3. Carte de commande analogique.

La carte présentée ci-dessus a fait l'objet d'une publication lors de la conférence CETSIS 2022 et dans le journal J3EA [2].

1.2. Vers la mise en œuvre d'une carte de commande programmable

Les cartes de commande précédemment décrites sont robustes et permettent de réaliser l'ensemble des travaux pratiques, que ce soit en boucle ouverte ou en boucle fermée. Cependant, au fil des années, le métier d'électronicien de puissance a beaucoup évolué grâce au développement de systèmes numériques capables d'implémenter des algorithmes complexes pour piloter des structures de conversion d'énergie. Les étudiants doivent donc être davantage impliqués dans l'électronique de commande pour la conversion d'énergie. Or, avec les cartes utilisées, ils ont tendance à appréhender ces commandes selon une approche de type "boîte noire", plutôt que d'adopter une démarche visant à analyser ce qui se passe au sein du circuit afin de mieux comprendre le pilotage des convertisseurs.

Le développement d'une carte numérique basée sur un microcontrôleur, à programmer par les étudiants, est une approche intéressante qui leur permettrait de comprendre les éléments à mettre en œuvre pour la commande. Cependant, les langages de programmation destinés aux microcontrôleurs et enseignés aux étudiants sont de bas niveau, ce qui limite l'implémentation de commandes complexes tout en étant chronophage. Pour pallier ces inconvénients, les générateurs de code offrent un avantage non négligeable. Le choix s'est porté sur un microcontrôleur STM32 et le logiciel PLECS, qui permet de générer du code à partir d'une interface graphique reposant sur une approche sous forme de schéma-bloc. L'étudiant n'a alors qu'à disposer les éléments sur son schéma pour réaliser la commande et porter le code simplement sur la cible STM32. Cet article présente le développement, les possibilités et l'exploitation de cette carte de commande.

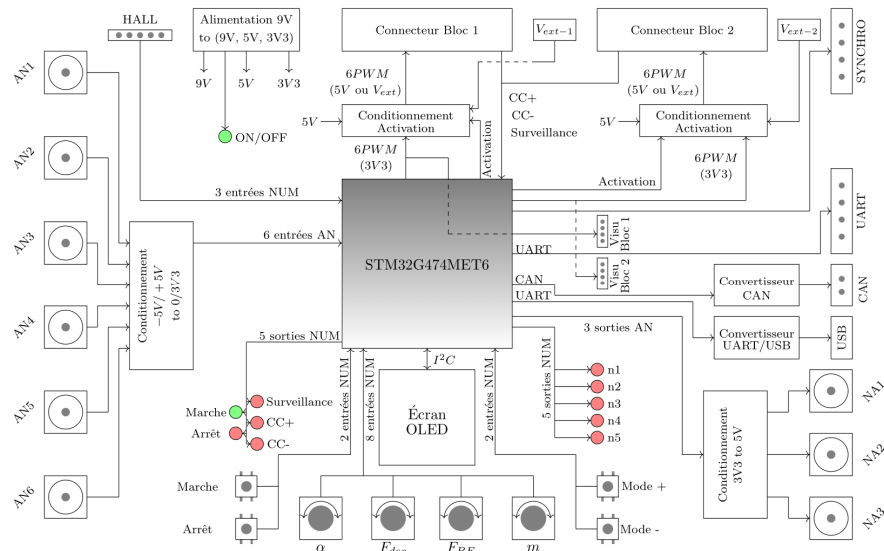


Figure 4. Schéma bloc de la carte de commande.

2. Développement de la carte numérique STM32

Cette section présente une description de la carte STM32 développée pour les travaux pratiques d'électronique de puissance en énumérant l'ensemble de ses possibilités. Le cœur de cette carte électronique repose sur un STM32G474ME, un puissant microcontrôleur de la marque STMicroelectronics, cadencé par un quartz externe de 24 MHz. Ce microcontrôleur offre l'avantage de disposer d'un timer haute résolution, permettant de générer de nombreux schémas PWM, complexes ou non, ainsi que plusieurs convertisseurs analogiques-numériques, cinq convertisseurs numériques-analogiques et de nombreuses autres fonctionnalités dédiées à la commande de convertisseurs d'énergie. Le schéma bloc de la Figure 4 illustre l'ensemble de ces fonctions. Il est également important de préciser que le choix de ce microcontrôleur repose sur sa compatibilité avec le générateur de code STM32 de PLECS, qui prend en charge un nombre limité de cibles [3], mais qui s'avèrent parfaitement adaptées aux besoins.

2.1. Alimentation

La carte est alimentée via un connecteur spécifique à partir d'un bloc d'alimentation 9V couramment utilisé par les étudiants. Elle intègre deux convertisseurs permettant de générer les tensions de 5V et 3,3V nécessaires à son fonctionnement. Une LED ON/OFF indique à l'utilisateur la présence ou l'absence de l'alimentation.

2.2. Contrôle des blocs de puissance

Le PCB (Printed Circuit Board) développé permet de piloter deux blocs onduleurs triphasés, décrits dans la section 1.1, via deux connecteurs (Connecteur Bloc 1 et Connecteur Bloc 2 sur la Figure 4).

Des circuits de conditionnement situés à l'interface entre le μC et les connecteurs des blocs assurent, d'une part, une activation générale matérielle via une broche du μC en complément d'une activation logicielle, et d'autre part, l'adaptation des niveaux de tension des signaux PWM. En effet, les drivers des blocs de puissance requièrent une tension de 5V pour le niveau haut.

Toutefois, les étudiants peuvent être amenés à utiliser un autre bloc onduleur fonctionnant avec une tension de 15V pour le niveau haut. Afin d'assurer la compatibilité avec plusieurs tensions de niveau haut en fonction du matériel de puissance utilisé, un cavalier permet de sélectionner soit une tension de 5V pour une PWM (0, 5V), soit une tension externe V_{ext-1} pour une PWM (0, V_{ext-1}). Le même principe s'applique au bloc 2 avec V_{ext-2} . La tension V_{ext-1} est fournie par une source de tension externe réglable entre 0 et 25V via un connecteur situé à proximité des connecteurs des blocs.

Trois signaux sur chaque connecteur de bloc sont dédiés à la protection du bloc de puissance (détection de surintensité positive, surintensité négative et surtension du bus continu). Ces trois signaux interviennent dans la gestion de l'activation des PWM. En effet, PLECS intègre un bloc Powerstage Protection qui gère l'activation logicielle de l'ensemble des PWM du μC et permet de détecter les défauts. Cette fonctionnalité permet de couper les signaux PWM en seulement 50 ns lorsqu'un défaut est détecté sur l'un des trois signaux de protection des blocs onduleurs.

Un connecteur nommé "SYNCHRO" (cf. Figure 4) permet d'interconnecter plusieurs cartes entre elles et de synchroniser leur timer haute résolution, et donc indirectement les PWM de chaque carte. Cette fonction peut être utilisée pour des convertisseurs composés de plusieurs bras d'onduleur (ex. : Multi-Active-Bridge triphasé MAB3).

2.3. Interface d'interaction utilisateur/STM32

L'utilisateur doit pouvoir interagir avec la carte, que ce soit pour transmettre ou recevoir des informations. Pour cela, plusieurs éléments ont été prévus.

L'utilisateur dispose de quatre boutons poussoirs (Marche/Arrêt et Mode+/Mode-) ainsi que de quatre codeurs incrémentaux (α , F_{dec} , F_{BF} et m). L'utilisation de ces dispositifs d'entrée est prédéfinie, mais leur fonction peut être modifiée en fonction des besoins. Les boutons ON/OFF permettent d'activer ou de désactiver les signaux PWM. La description qui suit concerne les travaux pratiques de Licence 3. En effet, les étudiants de L3 ne travaillant pas sur la commande de convertisseurs, un code fonctionnel écrit en langage C est directement intégré à la carte. Les boutons Mode+/Mode- permettent alors de naviguer entre les différents modes (hacheur série, parallèle, quatre quadrants, onduleur, etc.) [1].

Les codeurs incrémentaux sont utilisés pour ajuster divers paramètres du découpage en fonction du mode sélectionné (α , le rapport cyclique; F_{dec} , la fréquence de découpage; F_{BF} et m , respectivement la fréquence et le rapport de modulation en mode onduleur). Dans le cadre des travaux pratiques utilisant PLECS, les étudiants sont libres d'utiliser ces boutons pour ajuster les grandeurs de leur choix (ex. : fréquence de découpage, consigne de tension, phase-shift, etc.).

Des LED Marche/Arrêt indiquent à l'utilisateur si les PWM sont activés ou non. Trois autres LED signalent la présence et le type de défaut détecté en cas de problème. Les LED numérotées de n1 à n5 ainsi que l'écran OLED affichent le mode de fonctionnement de la carte. Comme pour les codeurs et les boutons, l'étudiant est libre de modifier leur fonction dans PLECS. L'écran OLED n'est pas utilisé lors du codage généré par le générateur de code PLECS.

2.4. Conversion analogique/numérique

Six convertisseurs analogiques-numériques 12 bits sont disposés sur la carte afin de permettre l'acquisition de grandeurs analogiques et leur utilisation dans le contrôle des convertisseurs. Chaque entrée sont accessibles via un connecteur BNC, permettant de connecter directement une sonde de tension ou de courant. La plage de tension du signal d'entrée s'étend de -5V à +5V. Cette grandeur est d'abord convertie en une tension de 0 à 3.3V, puis codée sur 12 bits par le convertisseur analogique-numérique interne du μC . Le logiciel PLECS traduit directement cette valeur numérique en une tension équivalente à celle appliquée en entrée du microcontrôleur (V_{PLECS}). D'un point de vue extérieur, la conversion peut s'exprimer selon l'équation suivante :

$$X_{in} = (V_{PLECS}(V) - 1.65) \times \frac{10}{3.3} \times G_{sonde} \quad (1)$$

Exemple : Si une sonde de tension (1/100) mesure 100V, une tension de 1V est alors présente à l'entrée BNC, qui est convertie en 1.98V en entrée du microcontrôleur. La variable correspondante dans PLECS prendra la valeur de 1.98V. L'étudiant doit appliquer l'équation (1) pour retrouver la valeur mesurée X_{in} , où G_{sonde} représente le gain de la sonde externe ($\times 100$ dans cet exemple).

2.5. Conversion numérique/analogique

La carte dispose de trois sorties numériques/analogiques (cf. Figure 4). Trois voies des deux convertisseurs numériques-analogiques du μC sont utilisées afin de permettre à l'étudiant de visualiser à l'oscilloscope différentes grandeurs numériques liées à la commande, à la régulation ou à d'autres paramètres, facilitant ainsi l'analyse du fonctionnement de la commande développée (ex. : consigne de régulation, réponse, erreur, etc.). Ces sorties fonctionnent entre 0 et 3.3V. L'utilisateur doit donc adapter sa grandeur à cette plage en appliquant un coefficient et/ou un décalage (offset) afin qu'elle reste comprise dans cet intervalle.

2.6. Capteur effet Hall

Un connecteur nommé "HALL" (voir Figure 4) a pour fonction de fournir l'alimentation et d'assurer la réception des grandeurs provenant des trois capteurs à effet Hall des moteurs triphasés (des résistances de pull-up sont disposées sur la carte). Cette fonctionnalité permet de travailler sur la commande des machines électriques (ex. : commande de type DC brushless, contrôle vectoriel de flux FOC, etc.).

2.7. Communication externe

Initialement développée pour les travaux pratiques d'électronique de puissance, cette carte n'était pas destinée à interagir avec des éléments de communication extérieurs. Cependant, une vision plus large a conduit à réfléchir à la manière d'intégrer cette carte dans un système plus global. Cela peut inclure, par exemple, un véhicule électrique nécessitant la transmission de données via un bus CAN, ou encore un système électrique informatisé ayant besoin d'échanger des données avec une application informatique à travers une connexion USB. Il peut aussi s'agir de l'échange d'informations entre plusieurs cartes de ce type (via un bus CAN ou USART, Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transceiver). La carte dispose de trois types

de communication : un bus CAN de type FDCAN, une connexion USART, et une connexion USB utilisant un protocole USART converti en USB, ce qui permet à un PC de la reconnaître comme un port série pour transmettre et recevoir des données extérieures.

3. Mise en œuvre à travers un exemple d'application : le hacheur série

La carte décrite dans la section précédente a été fabriquée. La Figure 5 présente une photographie de la carte réalisée. Pour assurer une protection mécanique des circuits électroniques, une plaque en polycarbonate transparent est disposée sur la partie supérieure, ne laissant accessibles aux étudiants que les parties du PCB dont ils ont besoin (boutons, connecteurs BNC des convertisseurs, broches de programmation, connecteur onduleur, alimentation...).

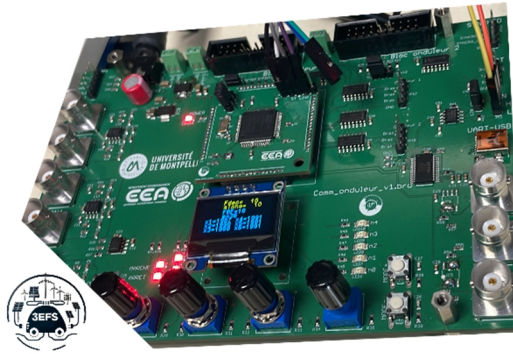


Figure 5. Carte de commande STM32.

Un exemple simple de régulation courant-tension d'un hacheur série réversible en courant est présenté ici pour illustrer son fonctionnement. Cet exemple concerne aussi bien les travaux pratiques de Licence 3, avec l'étude en boucle ouverte d'un hacheur série, que ceux de Master 1, avec la mise en œuvre de la régulation de ce même système.

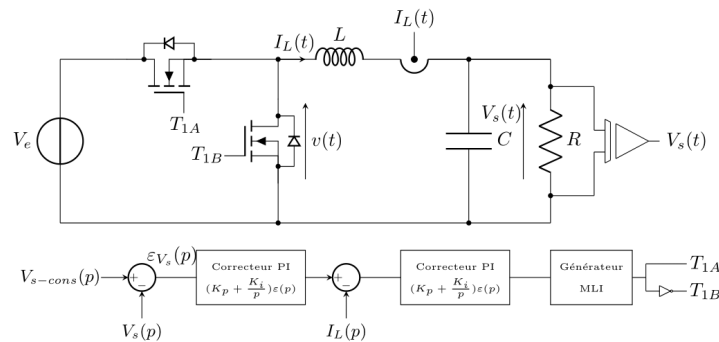


Figure 6. Schéma de la commande en boucle fermée d'un hacheur série.

La Figure 6 présente le schéma du circuit de puissance ainsi que le principe de commande sous forme de schéma-bloc.

La première étape pour l'étudiant concerne l'étude en boucle ouverte de la structure de puissance à la fréquence de découpage. Pour cela, il suffit à l'étudiant de générer la commande PWM et son signal complémentaire sur les pins d'un bras d'onduleur.

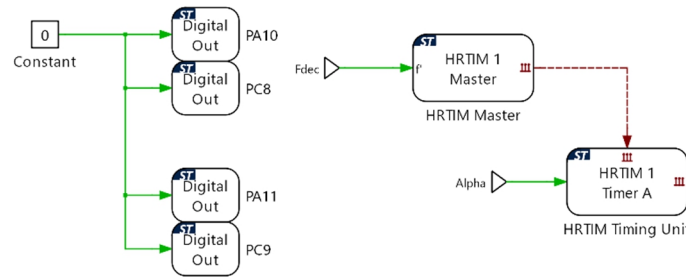


Figure 7. Schéma PLECS pour la commande en boucle ouverte d'un hacheur série.

Un document PDF décrivant l'ensemble des pins de la carte est fourni à l'étudiant. Concernant le bloc 1, il sait que le bras 1 est connecté au HRTIM1 - Timer A avec les pins PA8 pour T1A et PA9 pour T1B. Les bras 2 et 3 du bloc 1 utilisent alors les pins suivantes : T2A - PA10, T2B - PA11, T3A - PC8, T3B - PC9. L'étudiant doit veiller à mettre à la masse ("0") les pins des blocs non utilisés afin d'éviter un état impédant. Ensuite, il doit paramétrer le "Master" du HRTIM1 en lui indiquant la fréquence de découpage, ainsi que le Timer A synchronisé sur le HRTIM1, en précisant qu'il va utiliser les deux "channels" de manière complémentaire, avec un temps mort de 250 ns, et en raccordant le rapport cyclique. Les liens "Fdec" et "Alpha" de la Figure 7 sont des variables directement liées aux codeurs décrits dans la section 2.3. La gestion des signaux des codeurs, des boutons, des LED et des protections des blocs onduleurs est intégrée dans un code fourni à l'étudiant. Par exemple, la grandeur Alpha de la Figure 7 varie entre 0 et 1 après intégration des signaux du codeur "Alpha" de la carte.

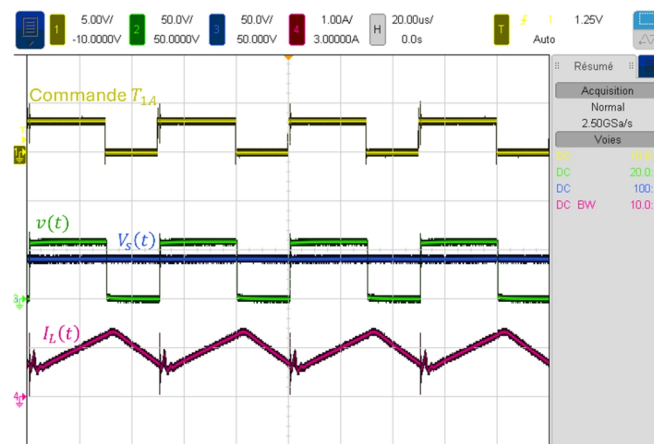


Figure 8. Formes d'ondes caractéristiques du hacheur série à la fréquence de découpage.

La Figure 8 présente les signaux caractéristiques du hacheur série. L'objectif des travaux pratiques est de corréler théorie et pratique afin de mieux comprendre le fonctionnement du système. L'étudiant connaît le fonctionnement théorique du hacheur série ($V_s = f(\alpha)$, $\Delta I_L = f(\alpha)$...) et, à travers des mesures et des relevés d'oscilloscope (cf. Figure 8), il peut confronter théorie et pratique pour en tirer des conclusions sur le fonctionnement du hacheur.

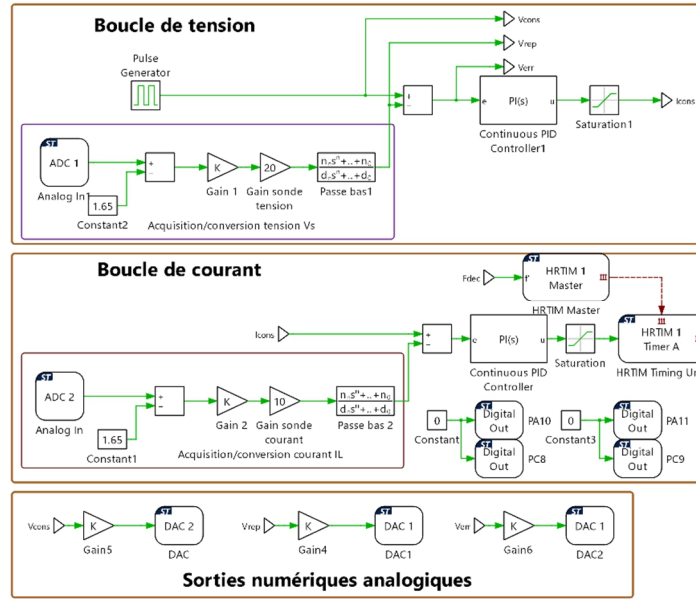


Figure 9. Schéma PLECS pour la commande en boucle fermée d'un hacheur série.

La Figure 9 montre la mise en œuvre sur PLECS de la commande en boucle fermée du hacheur série, telle que présentée sur le schéma de la Figure 6. Comme évoqué précédemment, la régulation de tension illustrée ici intègre une boucle de courant imbriquée. L'étudiant doit alors mettre en œuvre la conversion ADC ainsi que la conversion associée (cf. Eq. 1) avant filtrage. Il peut ensuite utiliser les blocs PLECS pour réaliser la consigne, les sommateurs, les régulateurs PI et les saturations, afin d'éviter, après la boucle de tension, un appel de courant important, et, après la boucle de courant, de limiter le rapport cyclique entre 0 et 1. Il est à noter que l'exécution des boucles est liée à un pas de temps de la tâche principale de l'OS du μC , réglé lors de l'envoi du code.

Les sorties numériques/analogiques permettent de visualiser, par exemple, la réponse du système en tension en affichant la consigne, la réponse et l'erreur. La Figure 10 présente le résultat de la régulation de tension du hacheur série. Elle met en évidence la réponse du système à un échelon, avec une erreur initialement importante à l'apparition de l'échelon, qui diminue progressivement jusqu'à devenir nulle. Le réglage des correcteurs n'est pas abordé ici, mais l'étudiant doit déterminer et tester les coefficients en s'appuyant sur les outils étudiés lors des cours magistraux.

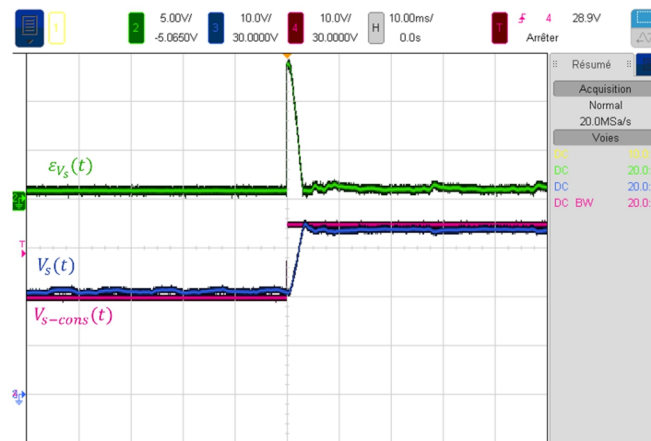


Figure 10. Réponse en tension de la régulation du hacheur série.

4. Retour des étudiants sur l'utilisation de la carte STM32

La carte a été utilisée dans le cadre des projets de Master 1 et Licence 3 pour mettre en œuvre l'ensemble des structures élémentaires d'électronique de puissance (hacheur série, 4Q, onduleur...). Les retours des étudiants sont positifs, mettant en avant une meilleure compréhension des techniques de régulation et soulignant l'intérêt de cette approche pour illustrer les algorithmes de contrôle des systèmes de conversion d'énergie.

5. Conclusion

L'article présenté ici présente la mise en œuvre d'une carte électronique basée sur un STM32 permettant de contrôler des blocs onduleur afin de permettre aux étudiants de réaliser des commandes simples et complexes de nombreux convertisseurs en utilisant le générateur de code PLECS. Cette approche permet de s'affranchir des difficultés liées au développement de code en langages bas niveau pour le contrôle et la commande de convertisseurs, ce qui semble difficilement réalisable dans le cadre de TP de 3 heures. L'étudiant peut ainsi développer plus simplement la commande de convertisseurs à l'aide de schémas-blocs, ce qui facilite également sa compréhension des techniques de commande des systèmes de puissance régulés.

Références

- [1] Huselstein, Jean-Jacques and Martiré, Thierry. *Ensemble pédagogique expérimental hacheur onduleur*. J3eA, 5 :018, 2006.
- [2] Enrici, Philippe, Martiré, Thierry, Coillot, Christophe, and Huselstein, Jean-Jacques. *Maquette analogique pour l'étude de boucle de régulation. application à la régulation d'un moteur à courant continu*. J3eA, 22 :1015, 2023.
- [3] Plexim GmbH. *STM32 Target Support User Manual Version 1.4*, 2023.

Biographie des auteurs

Guillaume Pellecuer : maître de conférences, enseigne depuis 2022 dans le département EEA de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier et est rattaché à l'Institut d'Électronique et des Systèmes, au sein du groupe de recherche en Génie Électrique, Matériaux et Systèmes. Diplômé d'un doctorat en 2019 sur le thème de la fiabilité des composants de puissance, ses travaux de recherche concernent l'étude, la modélisation, la commande et la réalisation de convertisseurs de puissance dédiés à l'interconnexion des réseaux électriques.

Thierry Martiré : maître de conférences, enseigne depuis 2006 dans le département EEA de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier et est rattaché à l'Institut d'Électronique et des Systèmes, au sein du groupe de recherche en Génie Électrique, Matériaux et Systèmes. Diplômé d'un doctorat en 2001 sur le thème de l'électronique de puissance pour les énergies renouvelables, ses travaux de recherche concernent l'étude, la modélisation, la commande et la réalisation de convertisseurs de puissance basse tension et forts courants.

Jean-Jacques Huselstein : maître de conférences à l'Université de Montpellier, où il enseigne depuis 1994 au sein du département Électronique, Électrotechnique et Automatique (EEA) de la Faculté des sciences. Il est rattaché à l'Institut d'Électronique et des Systèmes (IES), dans

l'équipe Génie Électrique, Matériaux et Systèmes (GEMS). Ancien élève de l'ENS Paris-Saclay et agrégé de Génie Électrique (1988), il a soutenu en 1993 une thèse de doctorat à l'Université de Montpellier portant sur la commutation des convertisseurs matriciels. Ses travaux de recherche portent sur le dimensionnement, la réalisation et la commande rapprochée, implémentée sur FPGA, de convertisseurs de puissance multicellulaires.

Philippe Enrici : Maître de Conférences à l'Université de Montpellier et Directeur adjoint du Département Electronique Energie Electrique Automatique. Enseignant en Licence et Master au sein du département EEA et Responsable du Parcours Energie Electrique, Environnement et Fiabilité des Systèmes (3EFS) du Master EEA. Affilié à l'Institut d'Electronique et des Systèmes dans le Groupe Energie et Systèmes, il travaille sur le dimensionnement, la modélisation et la conception d'actionneurs électriques innovants pour l'électrification de système (Avion plus électrique, Motorisation, Energie Eolienne...).

Carole Henaux : professeur des Universités a obtenu son doctorat en 1997 et enseigne dans le département EEA de la Faculté de Sciences de l'Université de Montpellier depuis 2022. Affiliée à l'Institut d'Electronique et des Systèmes dans le groupe de recherche en Génie Electrique, Matériaux et Systèmes, ses recherches sont focalisées sur le dimensionnement d'actionneurs et générateurs électriques innovants principalement dédiés à des systèmes embarqués (aéronautique, automobile, spatial).

Jean-Charles Laurentie : chercheur à l'Université de Montpellier, il a soutenu une thèse de doctorat en 2011 et a poursuivi ses recherches au sein du laboratoire PPRIME de l'Université de Poitiers jusqu'en 2013, période pendant laquelle il a travaillé sur la modélisation numérique des écoulements électro-fluido-dynamiques et le contrôle aéro-accoustique par actionneurs plasma. Il est désormais chercheur et enseignant à l'Université de Montpellier, où il est rattaché à l'Institut d'Électronique et des Systèmes (IES) dans le groupe GEMS. Ses domaines de recherche portent sur les propriétés des matériaux isolants, la mesure, la modélisation et la simulation de phénomènes physiques liés au vieillissement des diélectriques. Ses enseignements au sein de l'université de Montpellier sont axés autour du transport et de la production de l'énergie électrique, de l'électrostatique, des matériaux isolants, de l'électrotechnique ainsi que le calcul numérique.

Jérôme Castellon : né à Lodève, en France, en 1970. Il a obtenu son doctorat en électronique, optronique et systèmes à l'Université de Montpellier (UM), France, en 1997. Il a été responsable technique de la société Advanced Metrology for Electrical Engineering (Am2e) de 1998 à 2003. Depuis, il est Maître de conférences à l'Institut d'Électronique et des Systèmes (IES) de l'UM. Il a participé à divers travaux de recherche liés aux matériaux isolants et aux systèmes pour le génie électrique. Ses principales activités de recherche portent sur la caractérisation électrique, les phénomènes diélectriques et le développement de techniques de diagnostic. Il est membre de l'IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (membre élu de l'AdCom) et de l'IEEE Standards Association, du CIGRÉ SC-D1 (membre français) et du SC-B1 (expert français). Il a été président de la conférence IEEE DEIS International Conference on Dielectrics (ICD2016) organisée à Montpellier en 2016. Il est actuellement président du comité technique des conférences ICD2020 et ICD2022, et membre du comité exécutif du CEIDP. Il est actuellement responsable de la licence EEA (Électronique, Électrotechnique, Automatique) de l'UM. Il enseigne le génie électrique,

l'électronique de puissance, l'électronique et la fiabilité des systèmes aux étudiants de licence et de master.

Étienne briquet et Jean-Pierre Gairaud : techniciens au sein du département EEA de l'Université de Montpellier, ils ont en charge l'organisation et la préparation des trois salles de T.P. de Génie Electrique. Ils sont membres à part entière de l'équipe pédagogique de génie électrique et participent activement à la conception et à la mise en place de nouveaux T.P en licence EEA et Master EEA parcours 3EFS (Énergie Électrique, Environnement et Fiabilité des Systèmes) ainsi qu'à la rédaction des documents associés.