



UNIVERSITE FRANCOIS-RABELAIS - TOURS

Institut Universitaire de Technologie

Département Génie Electrique et Informatique Industrielle

Jérôme AUDOUX
Sébastien JACQUES

Etudes et Réalisation (ER)
en Electronique De Puissance

Hacheur quatre quadrants
pour moteur à courant continu 13 V / 8 A

2^{ème} année - Option E.E.P.
Année 2001 / 2002

Sommaire

Introduction	3
1. Le cahier des charges	4
2. Informations complémentaires sur le hacheur quatre quadrants	5
3. Solution réalisée	8
4. Avantages et inconvénients du montage de l'année précédente	10
Conclusion.....	11

[Organisation du travail](#)

[Annexe 1](#)

[Annexe 2](#)

Introduction

Nous avons choisi d'étudier un variateur de vitesse pour un moteur à courant continu. Il s'agit alors de réaliser un hacheur quatre quadrants 13 V/ 8 A pour alimenter un moteur à courant continu (moteur régissant le fonctionnement des balais d'essuie-glace pour une voiture).

Notre travail est d'améliorer les projets déjà réalisés les années précédentes. Pour cela, il faut adopter une démarche de concepteur.

Les étudiants de l'an dernier ont eu certaines difficultés à réaliser la partie puissance du montage. Nous allons donc analyser leur circuit et comprendre pourquoi cela ne fonctionnait pas. Pour cela, nous devons revoir les composants utilisés en apportant des solutions technologiques plus approfondies (chute de tension réduite à leurs bornes, taille du circuit réduite en privilégiant la technique CMS, coût réduit, symétrie du montage etc ...).

Nous devons faire certaines recherches bibliographiques (au *C.D.I* de notre département et utilisation d'*INTERNET*).

Cette pré-étude sera organisée autour de cinq parties. Tout d'abord, nous décrirons le cahier des charges, puis ferons une analyse critique des rapports des années précédentes. Dans une troisième partie, nous illustrerons nos diverses recherches, puis nous proposerons une solution technologique. Enfin, nous nous intéresserons à la répartition de notre temps de travail pour la réalisation de ce projet.

* * * *

1. Le cahier des charges

Le schéma général est présenté ci-dessous (voir figure n° 1.1).

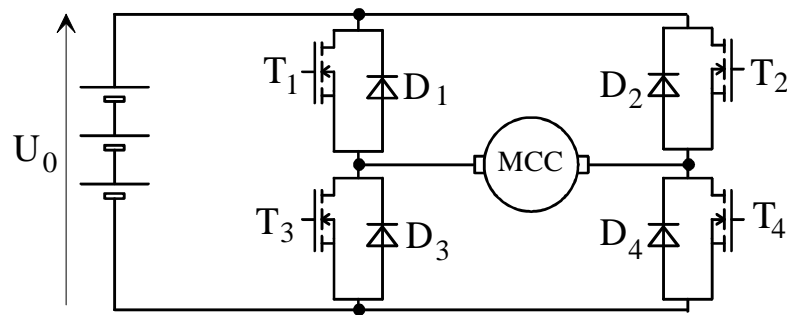


Figure 1.1 Hacheur 4 quadrants (dessins\h4q_3.drw).

- Le hacheur est utilisé pour piloter un moteur à courant continu de 13 V/8 A (dans notre cas, il s'agit d'un moteur d'essuie-glace).
- La structure en pont complet (4 transistors + 4 diodes parallèles) doit travailler en découpage à une fréquence supérieure à 20 kHz.
- L'application visée est un système embarqué : le montage doit avoir un bon rendement et être léger.
- Il doit être protégé contre les surintensités.
- Deux types de transistors peuvent être utilisés : les transistors bipolaires et les transistors MOS. Nous verrons ultérieurement la technologie utilisée.
- Pour étudier le fonctionnement de la commande du transistor, il est conseillé d'étudier le hacheur simple (1 transistor + 1 diode parallèle).

2. Informations complémentaires sur le hacheur quatre quadrants

Nous allons dans un premier temps nous intéresser à une étude théorique du hacheur quatre quadrants puis, nous donnerons des références d'ouvrages permettant d'avoir d'autres informations utiles sur cette pré-étude.

2.1. Connaissances relatives au sujet

Nous allons étudier un convertisseur qui assure non seulement la réversibilité en courant, mais également la réversibilité en tension. Il s'agit alors de définir une structure qui permet de travailler dans les quatre quadrants (voir **figure 2.1**). On doit aussi être en mesure de contrôler parfaitement la fluence d'énergie entre les sources U_e et I_s . Deux configurations sont alors possibles :

- U_s et I_s sont de même signe. Dans ce cas, le fluence d'énergie s'effectue de la source de tension U_e vers la source de courant I_s . Le convertisseur doit donc permettre de fonctionner dans les quadrants 1 et 3.
- U_s et I_s sont de signe opposé. Dans ce cas, la fluence d'énergie s'effectue de la source de courant I_s vers la source de tension U_e . Le convertisseur doit donc permettre de fonctionner dans les quadrants 2 et 4.

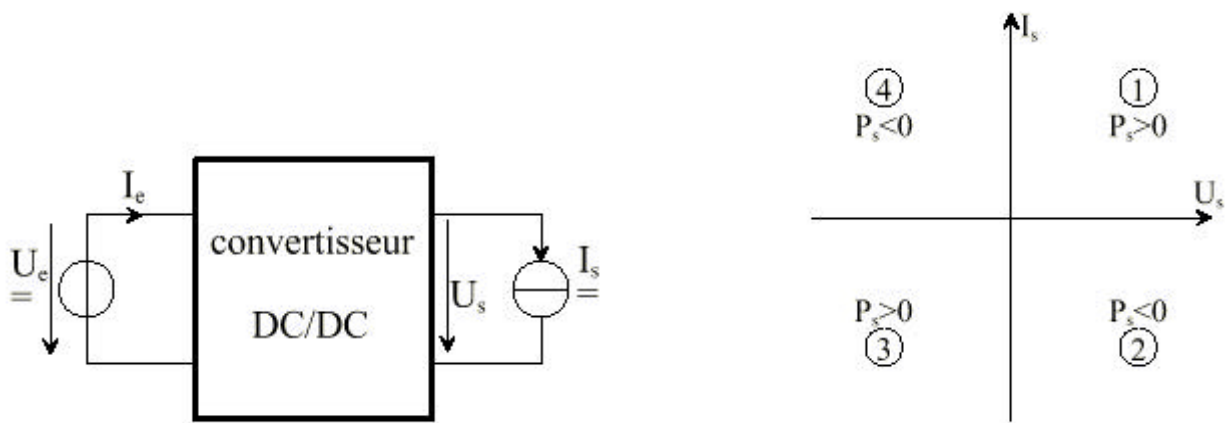


Figure 2.1 – Fluence d'énergie (cvs_dcdc.pdf)

Le hacheur quatre quadrants est constitué de quatre transistors et de quatre diodes comme l'indique la **figure 2.2** suivante. Les semi-conducteurs sont supposés idéaux. Lorsqu'ils conduisent, ils sont assimilés à des courts-circuits et lorsqu'ils sont bloqués, ils sont équivalents à des circuits ouverts.

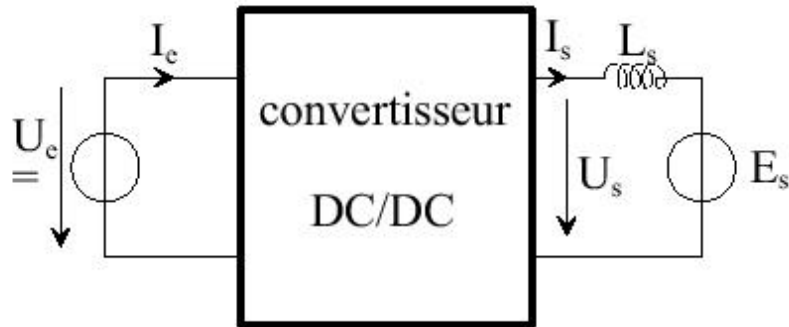
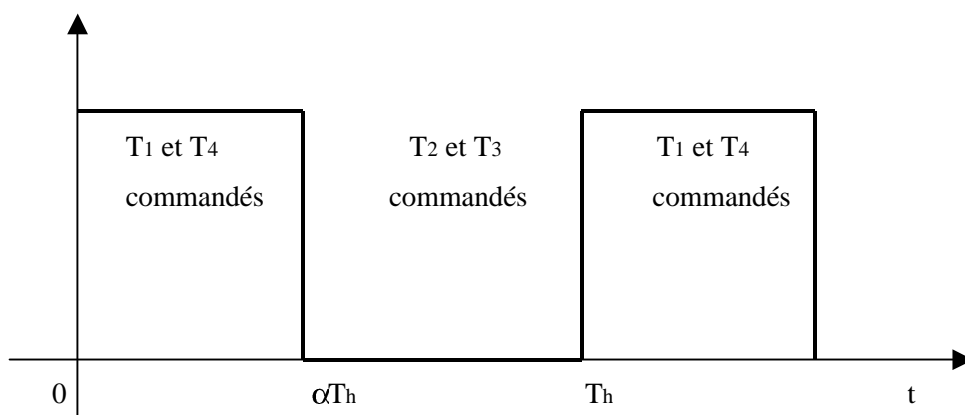


Figure 2.2 - schéma de principe du hacheur 4 quadrants (*cvc_dcdc.pdf*)

Les signaux de commande des transistors sont « rectangulaires », de fréquence F_h (la période étant l'inverse de la fréquence) et de rapport cyclique α . La commande est de type complémentaire et totale, les transistors T_1 et T_4 étant pilotés simultanément, les transistors T_2 et T_3 l'étant également.

La **figure 2.3** ci-après présente la chronologie de ces commandes.

Figure 2.3 – chronologie des commandes des transistors



Lorsque T_1 et T_4 sont commandés pour conduire, T_2 et T_3 sont maintenus bloqués. Puis, lorsque T_1 et T_4 sont bloqués, T_2 et T_3 sont commandés pour conduire.

Ainsi, nous avons remarqué que le sens de rotation du moteur dépend du signe de la valeur moyenne de la tension aux bornes de celui-ci. La valeur moyenne du moteur s'écrivant : $U_{C_{moy}} = U_0 \times (2\alpha - 1)$ nous avons trois cas de figures.

- Pour $\alpha = 1/2$, nous avons $U_{C_{moy}} = 0$. Le moteur ne tourne pas.
- Pour $\alpha > 1/2$, nous avons $U_{C_{moy}} > 0$. Arbitrairement, nous dirons que le moteur tournera en marche avant.
- Pour $\alpha < 1/2$, nous avons $U_{C_{moy}} < 0$. Le moteur tournera en marche arrière.

2.2. Informations supplémentaires

Pour obtenir des informations supplémentaires sur le fonctionnement du hacheur quatre quadrants, nous vous conseillons de consulter le cours d'Electronique De Puissance, convertisseur DC/DC (http://leiwww.epfl.ch/cours/cvc_dcdc.pdf) ainsi que les deux ouvrages suivants :

- « Manuel de GE », par Michel BEUGNIEZ et Jean-Luc WILLOT aux éditions Ellipses (1996), thème 5 : hacheurs onduleurs, pages 158 et 159,
- « Les Techniques de l'Ingénieur », référence D 3160_10. 3,3 : hacheur réversible en tension et en courant.

3. Solution réalisée

Ce projet comporte deux parties indissociables l'une de l'autre : la partie commande et la partie puissance. Nous traiterons, dans un premier temps, la partie commande car elle est indispensable au bon fonctionnement de la partie puissance.

3.1. Partie commande

La partie commande est composée d'une MLI (l'UC3637, cf. [annexe 2](#)) qui enverra le signal d'horloge H ainsi que le signal d'horloge complété sur la partie puissance. Nous avons choisi ce composant car c'est le seul que nous avons trouvé après toutes nos recherches. Il est le « seul » fait pour commander un moteur à courant continu monophasé.

Par contre, nous avons dû, d'après son schéma de câblage (**figure 7** de l'UC3637), calculer la résistance d'entrée entre les broches 12 et 13 de la MLI. Nous avons appelé cette résistance R_s (cf. tableau de calcul sur [Excel](#)). De plus, nous avons calculé la puissance dissipée dans la résistance. Cette MLI, étant le seul composant que nous ayons trouvé, il nous coûtera 9,10 €

3.2. Partie puissance

La partie puissance est commandée par un signal carré à rapport cyclique variable. Ce signal commandera les interrupteurs par paire, une paire étant complémentaire par rapport à l'autre. La plus grosse partie de la puissance est le hacheur, qui est composé de quatre transistors à effet de champ et de quatre diodes de roue libre placées en parallèle de chacun des transistors.

3.2.1. La Commande

Après avoir repris le rapport de l'an passé, nous avons remarqué que cette partie fonctionnait parfaitement. Le composant qui gère cela est l'IR2111 en CMS. De plus, il n'est pas onéreux puisqu'il coûte 5 €

Pour fonctionner, l'IR2111 utilise un signal d'horloge qui lui sera fourni par la MLI. Les transistors [T1 ;T4] et les transistors [T2 ;T3] ayant un fonctionnement complémentaire, nous utilisons deux IR2111 dont le signal de commande de l'un sera l'inverse de l'autre. Cette complémentarité sera réalisée par une porte NAND.

3.2.2. Le transistor

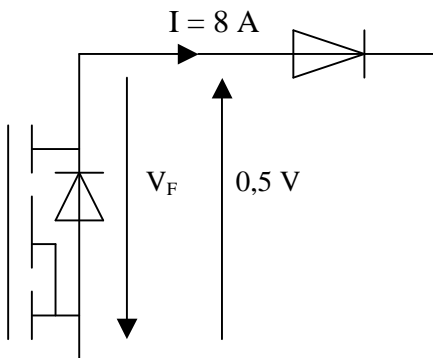
Nous recherchons un transistor à effet de champ qui a une chute de tension la plus faible possible, c'est-à-dire $V_F < 0,5 \text{ V}$. De plus, le courant I_d qui passe dans le hacheur doit être égal à 8 A. Le transistor à effet de champ convient parfaitement à notre montage puisqu'il est équivalent à une résistance thermique. Nous pouvons donc calculer les pertes dissipées à l'aide des formules suivantes (cf. tableau dans [Excel](#) pour les résultats) :

$$(T_j - T_A) / R_{th\ j-a} = P_{max} \text{ et } R_{DS(on)} I_d^2 < P_{max}$$

Ayant trouvé plusieurs composants réalisant des pertes inférieures à la puissance maximale, nous n'avons pas besoin d'utiliser de dissipateur thermique comme le projet de l'an dernier. De plus, nous avons choisi un composant en CMS du fait de son prix qui est nettement inférieur au composant normal.

3.2.3. La diode

Figure 3.1 : Diode en parallèle avec le transistor



Nous avons choisi la diode Schottky pour notre montage puisqu'elle a bien fonctionné l'année précédente. Après le calcul des pertes et de la puissance maximale (cf. tableau sur [Excel](#)), nous avons choisi la diode 19TQ015S. Elle coûte plus cher que les autres (5,35 €), mais elle a beaucoup moins de pertes que les autres, par rapport à la puissance maximale qu'elle fournit.

4. Avantages et inconvénients du montage de l'année précédente

La pré-étude de l'année précédente n'a pas conduit à un succès attendu dans le projet final. La partie commande fonctionnait bien alors que la partie puissante n'a pas été testée convenablement et a conduit à un dysfonctionnement de l'ensemble.

Pour remédier à cela, nous avons décidé de rester en technologie discrète en gardant un soucis essentiel de clarté. Nous avons décidé de garder la partie commande de nos camarades de l'an passé. Cependant, nous avons remplacé le NE555 par une MLI qui permet d'avoir une sortie d'horloge H ainsi que sa sortie complétée sans utiliser un montage inverseur.

Pour la réalisation de la partie puissance, nous avons choisi de passer à une nouvelle technologie (CMS) : cela permettra de réduire considérablement la taille de notre circuit imprimé (donc nous aurons beaucoup plus de place pour relier les composants en utilisant le logiciel ORCAD Release 9.0), par conséquent de notre carte.

Le principal reproche, de la pré-étude de l'an dernier, a été la clarté du rapport. En effet, les composants utilisés ont été cités sans y apporter une notice explicative. C'est la raison pour laquelle nous avons jugé nécessaire de recommencer le projet du début !

Conclusion

Nous venons d'adopter une démarche de concepteur avant de réaliser notre produit final : le hacheur 4 quadrants.

Cette partie est capitale dans la mesure où il faut déterminer les composants utiles pour notre réalisation.

Notre soucis a été de limiter les pertes au niveau de chaque composant. Nous avons décidé d'abandonner la technologie discrète au profit de la technologie CMS.

Toutefois, nous avons rencontré certaines difficultés : le rapport de l'année précédente ne fournissait pas une notice explicative des composants utilisés !

Nous espérons, qu'après tous ces efforts de recherches, ce projet sera récompensé par un succès. Le travail en binôme a été très bénéfique dans la mesure où nous avons pu nous partager les tâches pour gagner du temps et surtout pour que notre travail soit efficace.

ANNEXE 1

Nous avons débuté nos recherches par des composants utilisés en technologie « classique ». Nous nous sommes très vite aperçu que l'utilisation de la technologie CMS nous facilite la réalisation du hacheur 4 quadrants. Néanmoins, nous avons jugé nécessaire de fournir la documentation des composants de nos premières recherches.

- ◆ **ON Semiconductor** – *documentation technique d'une diode de puissance* – SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER 50 Amperes, 25 Volts – **MBR5025L** – 4 pages.

- ◆ **International rectifier** – *documentation technique d'une diode de puissance* – SCHOTTKY RECTIFIER 12 Amperes – **12CWQ03FN** – 6 pages.

- ◆ **International rectifier** – *documentation technique d'une diode de puissance* – SCHOTTKY RECTIFIER 12 Amperes – **12CWQ04FN** – 6 pages.

- ◆ **International rectifier** – *documentation technique d'un transistor de puissance* – HEXFET Power MOSFET – **IRF7413** – 4 pages.

- ◆ **Philips Semiconductors** - *documentation technique d'un transistor de puissance* – TrenchMOS transistor Standard level FET– **BUK7618-55** – 8 pages.

- ◆ **ST Microelectronics** - *documentation technique d'un circuit de puissance du hacheur quatre quadrants* - Dual Full-Bridge Driver – **L298** – 12 pages.

ANNEXE 2

Pour alléger ce dossier technique, nous avons choisi de donner une liste de la documentation des composants utilisés pour la réalisation de notre hacheur 4 quadrants.

Nous avons choisi de conserver le data sheet de chaque composant (voir **tome « DOCUMENTATION UTILISEE POUR LA REALISATION DU HACHEUR 4 QUADRANTS »**) par souci de commodité et d'efficacité pour la suite de notre étude.

1. REALISATION DE LA PARTIE COMMANDE

- ◆ **Unitrode** – *documentation d'une MLI pour moteur à courant continu* – SWITCHED MODE CONTROLLER FOR DC MOTOR DRIVE – **UC3637** – 7 pages.

2. REALISATION DE LA PARTIE PUISSANCE

- ◆ **International Rectifier** – *documentation technique d'un driver en technologie CMS* – HALF BRIDGE DRIVER – **IR2111** – 8 pages.
- ◆ **International Rectifier** – *documentation technique d'une diode de puissance en technologie CMS* – SCHOTTKY RECTIFIER 19 Amp – **19TQ015S** – 6 pages.
- ◆ **Motorola** – *documentation technique d'une diode de puissance en technologie CMS* – SCHOTTKY POWER RECTIFIER 1.0 Ampere, 30 Volts – **MBRS130LT3** – 3 pages.
- ◆ **ON Semiconductor** – *documentation technique d'un transistor de puissance en technologie CMS* – Power MOSFET 18 Amps, 30 Volts – **MTD3302** – 12 pages.
- ◆ **KEMET Electronics Corporation** – *documentation technique d'un condensateur en Tantale en technologie CMS* – TANTALIUM CHIP CAPACITORS low ESR, Surge Robust – **T495** – 3 pages.
- ◆ **muRata Innovator in Electronics** - *documentation technique de condensateurs en technologie CMS* – SURFACE MOUNT MONOLITHIC CHIP CAPACITORS HIGH DIELECTRIC CONSTANT TYPE – **GRM Series** – 4 pages.

Tableau de calculs pour la réalisation du projet

Courant max =	8									
Transistor MOSFET	Fabricants	Boitier	T jonction	T ambient	Rth J-A	RDSON	I_{max}	P_d	P_{max}	prix
IRF7413	IR	SOIC8	100	25	50	0,011	8	0,704	1,5	, €
MTD3302	ON	DPAK	100	25	67	0,01	8	0,64	1,119403	, €
BUK7618-55	PS	SOT404	100	25	50	0,018	8	1,152	1,5	, €
Diode Schottky	Fabricants	Boitier	T jonction	T ambient	Rth J-A	VF	I_{max}	P_d	P_{max}	prix
12CWQ03FN	IR	DPAK	100	25	67	0,42	8	3,36	1,119403	, €
12CWQ04FN	IR	DPAK	125	25	67	0,55	8	4,4	1,492537	, €
19TQ015S	ON	D²PAK	100	25	67	0,2	8	1,6	1,119403	, €
MBRS130LT3	ON	SMB	100	25						, €
Drivers de MOS et d'IGBT CMS	Fabricants	Boitier	prix							
IR2111	IR	SOIC8	, €							
Controleur de moteurs	Fabricants	Boitier	Rs entre Pin12 et Pin13	Tension d'écart	Pd	prix				
UC3637	Unitrode	DIL-18	0,025	0,2	1,6	, €				

ORGANISATION DU TRAVAIL

7 séances de 3 h 30 (semaines 45 à 51)
consacrées principalement à la recherche
bibliographique au **Centre de Documentation**
et d'**Information** de notre département et
utilisation d'Internet

De la **semaine 45** à la **semaine 47** : recherches sur Internet notamment sur le site www.google.fr : nous avons tapé les mots clés : hacheur 4 quadrants – conversion DC – DC. Nous avons recherché sur le cours d'électronique de puissance tome I disponible au CDI et également le projet 2000-2001 de Nicolas COJEAN et Alexandre SARANDAO traitant ce sujet.

De la **semaine 48** à la **semaine 49** : recherches des composants utilisés pour la réalisation du hacheur 4 quadrants. Nous avons été sur les sites de Radiospares www.radiospares.com, ON Semiconductor www.onsemi.com, International Rectifier www.irf.com et Motorola www.motorola.com pour rechercher les documentations des composants de puissance (ces documents sont disponibles sur des fichiers .pdf).

Les deux dernières séances ont été consacrées à la rédaction de notre rapport. Nous avons également recherché d'autres informations sur les différents composants utilisés.