

Sujet : Conception d'un hacheur Buck 200W 24V-12V

Étudiants : CASSAGNE Antoine

COCAUD Jérémy



**Polytech'Tours
Département Électronique et Systèmes de l'Énergie Électrique**

Du 12 Octobre 2011 au 24 Février 2012

Enseignant encadrant : Mr Ambroise SCHELLMANN

Remerciements

Tout d'abord, nous souhaitons remercier Mr Ambroise SCHELLMANN, enseignant-encadrant de notre projet de fin d'étude, qui a permis à quatre étudiants de travailler sur deux projets de fin d'étude dans le cadre du club Polytech' Eco-Marathon suite à la demande de plusieurs étudiants du club.

Nous tenons à remercier aussi Mr Mathieu LESCIEUX, enseignant à Polytech'Tours, et Mr Thierry VIELLA, assistant ingénieur en électronique à Polytech'Tours, de s'être intéressés à notre projet et de nous avoir apporté leur aide.

Nous remercions également Marius ATTIVI, président du club Polytech' Eco-Marathon et étudiant en 4^{ème} année à Polytech'Tours, Thomas QUINTON, ancien président du club Polytech' Eco-Marathon et étudiant en 5^{ème} année à Polytech'Tours, pour leur aide, ainsi que l'ensemble des membres du club.

Notre reconnaissance va également à Teddy BONNIN, étudiant en 5^{ème} année à Polytech'Tours également, pour sa précieuse aide pour le dimensionnement de notre inductance.

Enfin, nous remercions toutes les personnes travaillant au sein du Greman, anciennement Laboratoire de Microélectronique de Puissance (LMP), pour leur disponibilité et tout particulièrement Adelphe CALDEIRA pour avoir pris de son temps pour nous avoir donné un coup de pouce pendant la finalité de notre projet.

Sommaire

Remerciements	3
Glossaire	5
Introduction	6
I. Présentation de l'Éco-Marathon Shell	7
I.1 Principe	7
I.2 Catégories	7
I.3 Énergies	7
I.4 Circuit 2012	8
II. Présentation du club Polytech' Eco Marathon	9
II.1 Description du club.....	9
II.2 Prototype	10
III. Projet	11
III.1 Objectifs et contexte.....	11
III.2 Choix de la solution technologique.....	13
III.2.1 Choix de l'automate.....	13
III.2.2 Schéma théorique.....	13
III.3 Fonctionnement du schéma électrique.....	15
III.3.1 Capacités d'entrée.....	15
III.3.2 Alimentations	16
III.3.3 Driver de Mosfet.....	16
III.3.4 Optocoupleurs	17
III.3.5 Relais	17
III.3.6 Capteur de courant.....	18
III.4 Dimensionnement des composants	19
III.4.1 Mosfet.....	19
III.4.2 Diode.....	20
III.4.3 Optocoupleur.....	21
III.4.4 Capteur de courant.....	21
III.4.5 Driver de Mosfet.....	22
III.4.6 Alimentations régulées.....	22
III.4.7 Résistances de grille des Mosfets	22
III.4.6 Capacité de charge du driver.....	23
III.4.7 Inductance	24
III.5 Simulation.....	25
III.6 Réalisation de la carte électronique.....	27
III.8 Tests	27
III.7 Tests	28
III.9 Commande effectuée.....	30
III.10 Planning	31
Conclusion.....	32
Bibliographie.....	33
Index des illustrations.....	34
Annexes.....	35

Glossaire

Catia : Logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO).

CPS : Conception de Produits et Systèmes.

Greman : Groupe de Recherche en Matériaux, microélectronique, Acoustique, Nanotechnologies.
(anciennement LMP).

Hydrogène : Élément chimique de symbole H et de numéro atomique 1.

Kicad : Logiciel libre de conception pour l'électronique permettant le dessin de schémas électriques et la conception de circuits imprimés.

Labview : Logiciel de développement d'applications de la société National Instruments basé sur un langage de programmation graphique.

LMP : Laboratoire de Microélectronique de Puissance.

LT-Spice : Logiciel libre de conception pour l'électronique permettant le dessin et la simulation de schémas électriques.

PFE : Projet de Fin d'Étude.

PIC : Peripheral Interface Controller. Microcontrôleur qui intègre une mémoire de programme, une mémoire de données, des ports d'entrée-sortie (numériques, analogiques, MLI, etc ...) et une horloge interne.

Pile à combustible (PAC) : Pile servant à la fabrication de l'électricité se faisant grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air.

Shell : Compagnie pétrolière anglo-hollandaise à l'origine de la création de la compétition Eco-Marathon Shell.

Typon : Masque transparent sur lequel sont imprimées les pistes, dans une encre opaque aux ultraviolets, afin de permettre la gravure d'un circuit imprimé.

Introduction

Dans le cadre du respect de la planète et de l'environnement, l'école Polytech'Tours s'investit dans l'étude d'un prototype à hydrogène participant à la compétition Eco-Marathon Shell. L'école a proposé deux sujets de projet de fin d'étude sur ce prototype et, pour rester en phase avec l'option Energie & Environnement que nous étudions en 5^{ème} et dernière année d'école d'ingénieur, nous avons choisi de faire notre projet de fin d'étude sur l'un des deux sujets proposés.

Notre principal objectif, pour ce projet de fin d'étude, est de réaliser un convertisseur DC/DC type hacheur série. Ce convertisseur doit avoir le meilleur rendement que l'ancien déjà présent dans le prototype et être le plus optimisé possible (rendement, encombrement, poids, etc...). Nous devons étudier, simuler et enfin concevoir la carte électronique réalisant la fonction demandée.

Nous avons donc effectué notre projet de fin d'étude au sein de l'école Polytech'Tours du 12 Octobre 2011 au 24 Février 2012. Le laboratoire du CERER fut notre principal lieu de travail, le reste du temps fut passé en salle de TP d'électronique de l'école. Deux autres étudiants de Polytech'Tours, Loïc GHIBAUDO et Pierre-Yves LE NAOUR en 5^{ème} année également, ont réalisé en parallèle un autre projet de fin d'étude sur la pile à combustible du prototype à hydrogène de l'école. Nous avons réalisé 156 heures de travail sur notre projet ainsi qu'une partie de notre temps libre. Afin d'optimiser notre temps de travail, nous nous sommes répartis les tâches de travail.

Dans une première partie, nous allons parler de la compétition Eco-Marathon Shell 2012 à Rotterdam, aux Pays-Bas. Dans une deuxième partie, nous allons parler de l'environnement de notre projet, à savoir le club Polytech' Eco-Marathon de l'école Polytech'Tours. Et dans une troisième partie, nous allons traiter de notre projet étape par étape, de l'étude à la conception.

I. Présentation de l'Éco-Marathon Shell

I.1 Principe

L'Éco-marathon Shell est une compétition automobile annuelle organisée par la compagnie pétrolière Shell dont le but est de parcourir la plus longue distance avec un litre de carburant. Cette compétition est réservée aux étudiants de tous les niveaux (du collège jusqu'aux grandes écoles) et de tous pays.

Le principe du Shell Eco-marathon est donc simple: concevoir et construire un véhicule capable de parcourir la plus grande distance possible avec une quantité minimum de carburant, tout en minimisant ses émissions de CO₂. Le but de ce projet n'est pas d'établir de nouveaux records de vitesse, ni de terminer la course en tête, mais de consommer le moins de carburant possible sur une distance prédéfinie.

Les véhicules utilisés sont des prototypes étudiés et construits dans des structures scolaires ou universitaires.



I.2 Catégories

Les véhicules se distinguent en plusieurs classes : les prototypes et les urban concepts.

- La catégorie « prototypes » est généralement représentée par des véhicules à trois ou quatre roues dont les dimensions sont limitées par un règlement : la hauteur du prototype doit être inférieure à 1m. La conception de ces véhicules est relativement libre.



Prototype

- La catégorie « urban concepts » se rapprochent d'une voiture et pouvant circuler en agglomération. Le règlement leur impose des dimensions strictes, quatre roues, un volant, un système de freinage hydraulique et des phares.



Urban concept

I.3 Énergies

Les concurrents peuvent utiliser différentes énergies :

- Électrique
 - Solaire
 - Hydrogène
 - Batteries électriques

- Thermique

La performance de consommation est calculée en équivalence énergétique entre les différents carburants (mesurée par un joulemètre pour les véhicules solaires) et représente donc le rendement propulsif du système couplé à l'efficacité du véhicule sur la piste.

I.4 Circuit 2012

Le Shell Eco-Marathon Europe 2012 se déroulera cette année à Rotterdam, aux Pays-Bas, du 17 au 19 Mai 2012.

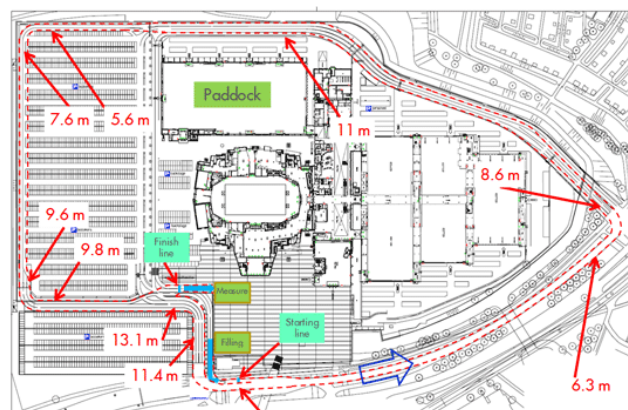


Image 1 - Circuit 2012

Adresse du circuit :

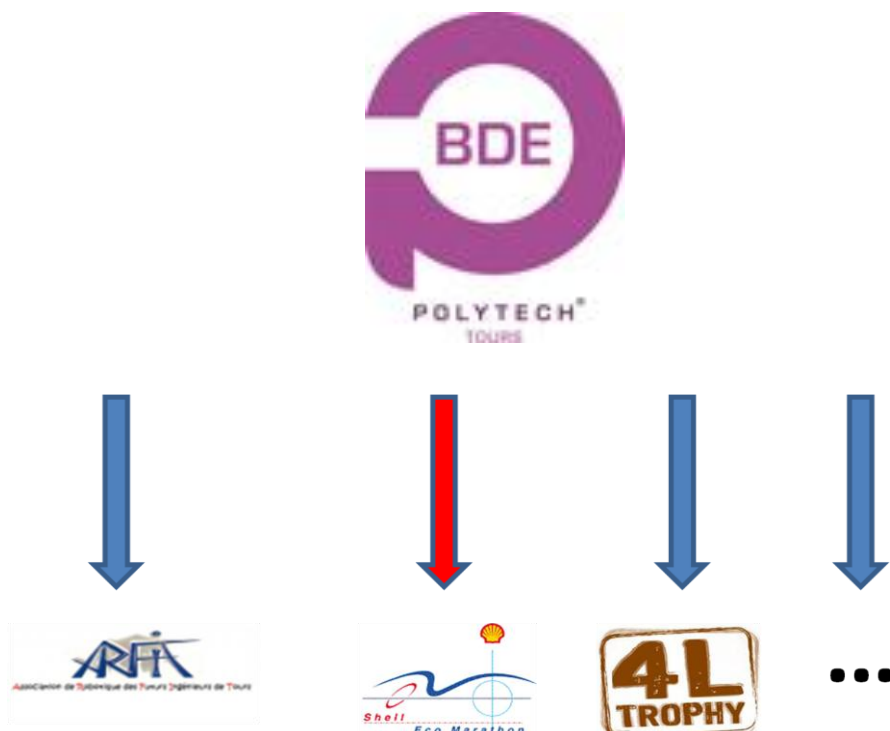
Ahoy Rotterdam
Ahoy-weg 10
3084 BA ROTTERDAM

II. Présentation du club Polytech' Eco Marathon

II.1 Description du club

Le club Polytech' Eco Marathon a pour but de mettre au point une voiture écologique pour participer à une compétition européenne : Shell Eco-Marathon Europe. Le club est composé de membres motivés prêt à contribuer à un projet pluridisciplinaire réunissant informaticiens, électroniciens et mécaniciens.

Le club appartient à l'association BDE Polytech'Tours, de l'école Polytech'Tours, au même titre que les clubs Arfit ou 4L Trophy par exemple.



II.2 Prototype

Le prototype à hydrogène 2011, ne répondant plus aux normes du règlement de l'Eco-Marathon Shell, ne participera pas à l'épreuve de cette année. Le club Polytech' Eco-Marathon a donc investi dans un nouveau châssis, en fibre de verre, répondant aux nouvelles normes. Il permettra d'avoir un gain de place dans la partie arrière du prototype ce qui permettra une meilleure maintenance. L'habitacle du pilote sera lui aussi nettement plus grand pour un meilleur confort et une meilleure visibilité.



Image 2 - Prototype 2011



Pour un problème de coût, le nouveau châssis ne sera pas en fibre de carbone mais en fibre de verre. La fibre de carbone possède une meilleure masse volumique, une meilleure résistance en traction et une meilleure limite élastique que la fibre de verre mais son coût est 4 fois plus élevé que la fibre de verre. C'est sur ce dernier critère que le choix a été fait.

Image 3 - Prototype 2012 (Modélisé sous Catia)

III. Projet

III.1 Objectifs et contexte

Le but de ce PFE est de concevoir un convertisseur DC/DC type hacheur série pour le nouveau prototype à hydrogène de l'école Polytech'Tours. Cette carte électronique est située entre la pile à combustible et le moteur. Elle devra avoir un meilleur rendement que l'ancien convertisseur présent sur l'ancien prototype de l'école et l'encombrement devra être réduit.

Le convertisseur DC/DC est un hacheur série (Buck) de 200W. En entrée, il doit recevoir 24VDC de la pile à combustible et, en sortie, doit fournir une tension continue de 0V à 24V selon la consigne demandée. La carte électronique doit aussi assurer l'alimentation des éléments extérieurs, cela comprend les autres cartes électroniques la voiture (carte de sécurité, carte de gestion de la pile, etc...).

L'ancien prototype possédait un système de commande moteur complexe et très encombrant. Il était équipé d'un moteur roue (aucune roue libre) et était commandé via un automate CompactRIO très encombrant et lourd qui rajoutait une difficulté de plus pour la maintenance car l'espace est très limité. De plus, l'automate était programmé avec le logiciel Labview. La chaîne de conversion de l'énergie de l'ancien est représentée sur l'Image 2.

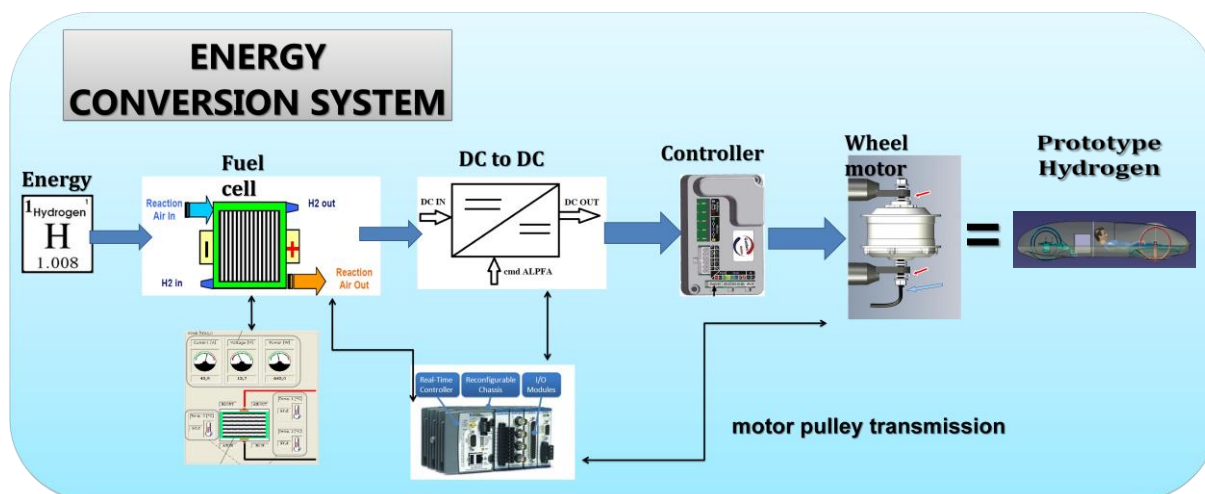


Image 4 - Chaîne de conversion de l'énergie du prototype 2011

Le nouveau prototype possèdera un moteur Maxon à courant continu. Nous n'aurons plus le « controller » de l'ancien prototype mais à la place, nous connecterons directement le convertisseur DC/DC au moteur. Nous diminuons donc les pertes en supprimant cet étage.

Un autre groupe d'étudiants, constitué de Loïc GHIBAUO et de Pierre-Yves LE NAOUR en 5ADEE, travaillent sur la pile à combustible. Le groupe de CPS en électronique travaille, quant à lui, sur le PIC.

Sur l'Image 5, on peut voir où se situe notre projet dans la chaîne de conversion de l'énergie du prototype 2012.

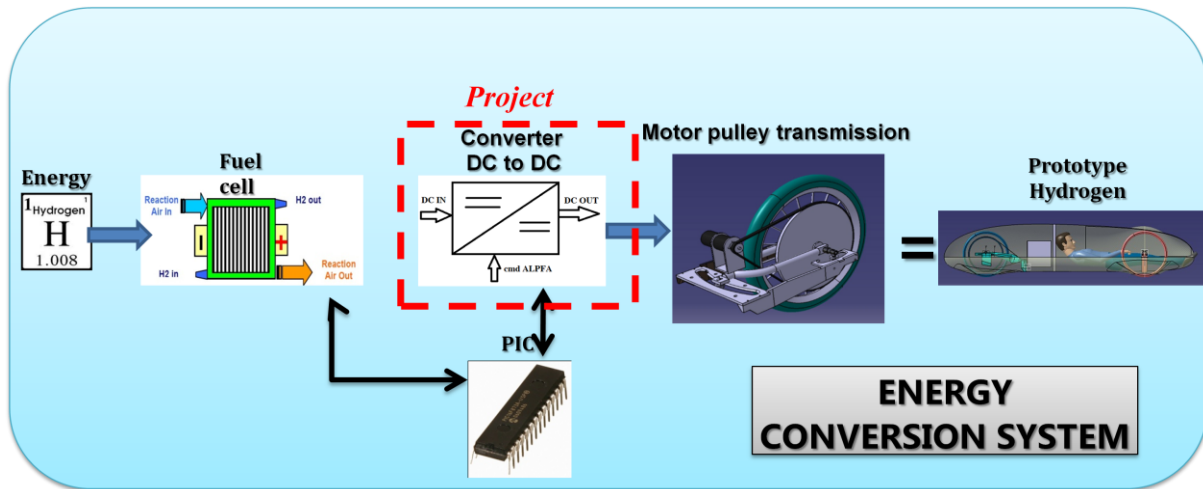


Image 5 - Chaîne de conversion de l'énergie du prototype 2012

Avec tous les membres du Marathon Shell, nous avons décidé d'un cahier des charges pour chaque carte électronique.

Cahier des charges récapitulatif :

- Tension d'entrée : 24VDC
- Tension de sortie variable : 0 à 24VDC
- Alimenter le composant gérant la commande (automate, PIC, compactRIO, ...)
- Fournir une tension de 12V à la PAC
- Charge : moteur à courant continu de 200W
- Rendement > 90%
- Faible encombrement

La finalité de ce projet est de pouvoir participer à la compétition Eco-Marathon Shell 2012 à Rotterdam, Pays-Bas, se déroulant du 17 au 19 Mai 2012.



III.2 Choix de la solution technologique

III.2.1 Choix de l'automate

Avec le groupe de CPS, nous avons choisi d'utiliser un microcontrôleur pour commander le Buck pour son faible encombrement et sa faible consommation énergétique. Après avoir envisagé de le mettre sur la même carte que le Buck, nous avons opté pour le placer sur une carte séparée. Il sera ainsi plus simple de tester, valider et améliorer le fonctionnement de chaque partie.

Nous pouvons donc ajouter au cahier des charges du Buck :

- l'alimentation du PIC en 5V
- l'isolation de la partie puissance et de la partie commande (optocoupleur) afin de protéger la partie commande en cas de défaillance.

III.2.2 Schéma théorique

La pile fournit une tension continue de 24V. En sortie, le moteur possède une tension nominale de 24V. Le convertisseur est donc un simple abaisseur de tension.

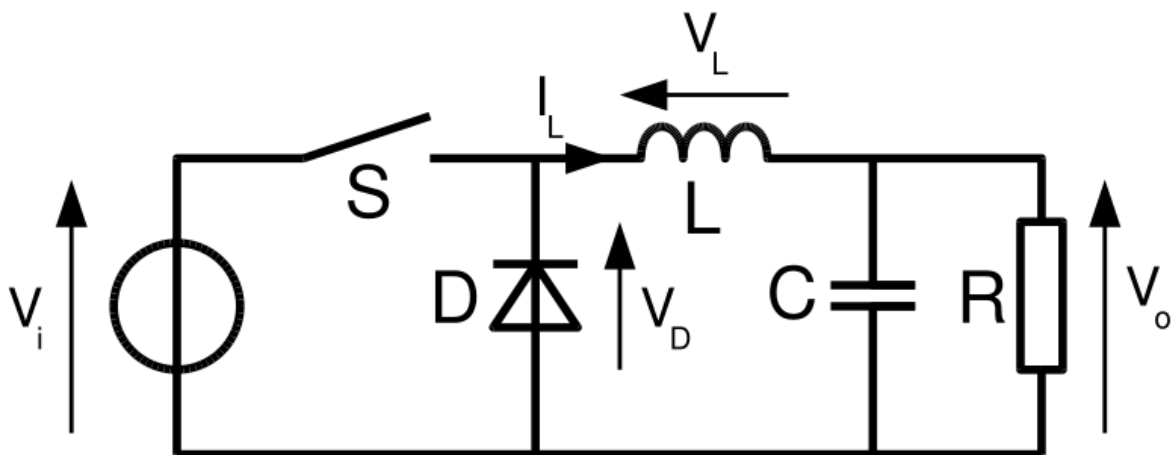


Image 6 - Fonctionnement d'un hacheur série

Ce montage est relativement simple. Notre projet consiste donc à dimensionner au mieux les composants pour avoir un rendement optimal.

Il existe différentes méthodes pour l'améliorer. Nous pouvons remplacer la diode de roue libre « D », par un autre transistor MOSFET à canal N. En effet, les diodes ont une chute de tension à leurs bornes lorsque celles-ci sont passantes (0,3V pour une bonne Schottky). Lorsque les Mosfets sont passants, leur principale perte se situe dans leur résistance série ($R_{ds,on}$), qui est de l'ordre de 10mΩ. Le courant nominal du moteur étant de 10 ampères, nous pouvons espérer une réduction des pertes de 3 watts.

Le schéma théorique est le suivant :

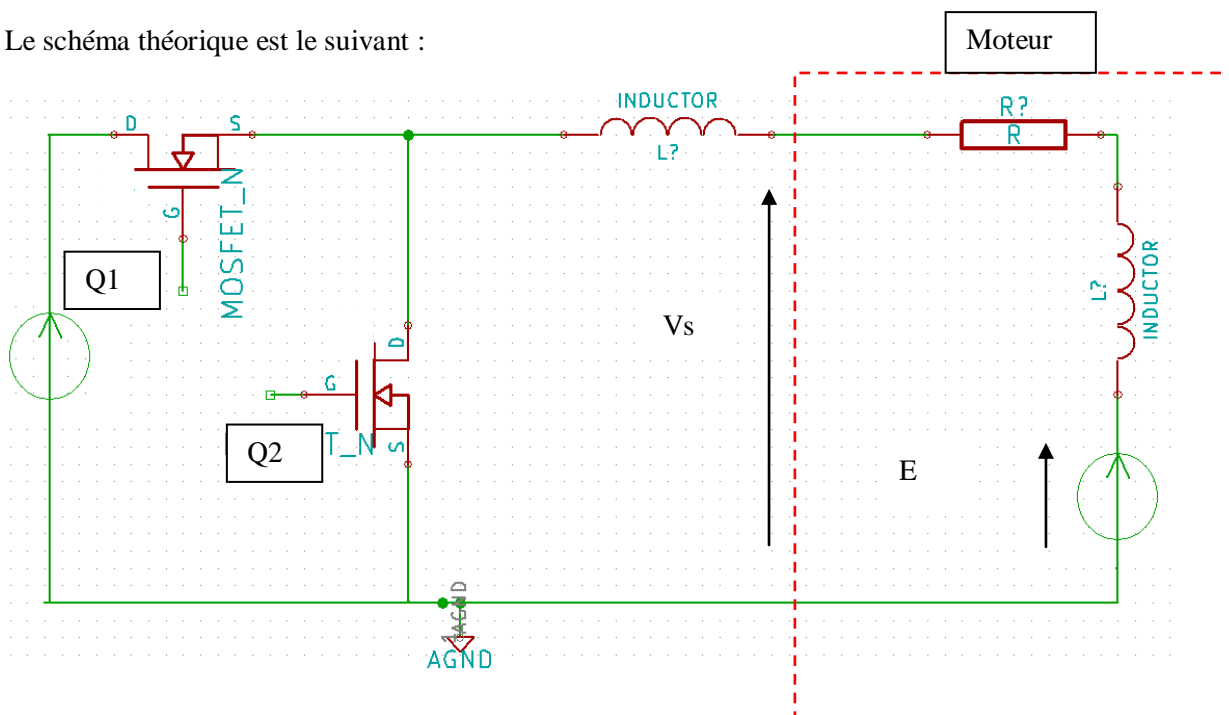


Image 7 - Buck synchrone théorique

Le Mosfet Q2 doit être commandé lorsque Q1 est bloqué. Si les deux sont commandés en même temps, nous créons un court-circuit entre la masse et le 24V ce qui est très destructeur. Nous devons donc laisser un temps mort entre le passage de Q1 passant à Q2 passant.

Nous n'avons pas mis de capacité en sortie de notre Buck. En effet, nous asservissons notre système en courant, la tension aux bornes du moteur n'a donc pas besoin d'être fixe. Un condensateur possède une résistance série, il est donc intéressant de ne pas en mettre.

III.3 Fonctionnement du schéma électrique

Le schéma final est en Annexe (*Image 22*).

III.3.1 Capacités d'entrée

La première partie du schéma est le filtrage de la tension en sortie de pile. En effet, la PAC peut avoir des chutes de tension lors d'un gros appel de courant. C'est pourquoi, nous devons mettre des capacités en entrée de notre carte pour « maintenir » une tension constante. Si la tension de la pile devient inférieure à la tension de ces capacités, elles pourraient se décharger dans la PAC. C'est pourquoi nous mettons une diode avant ces dernières.

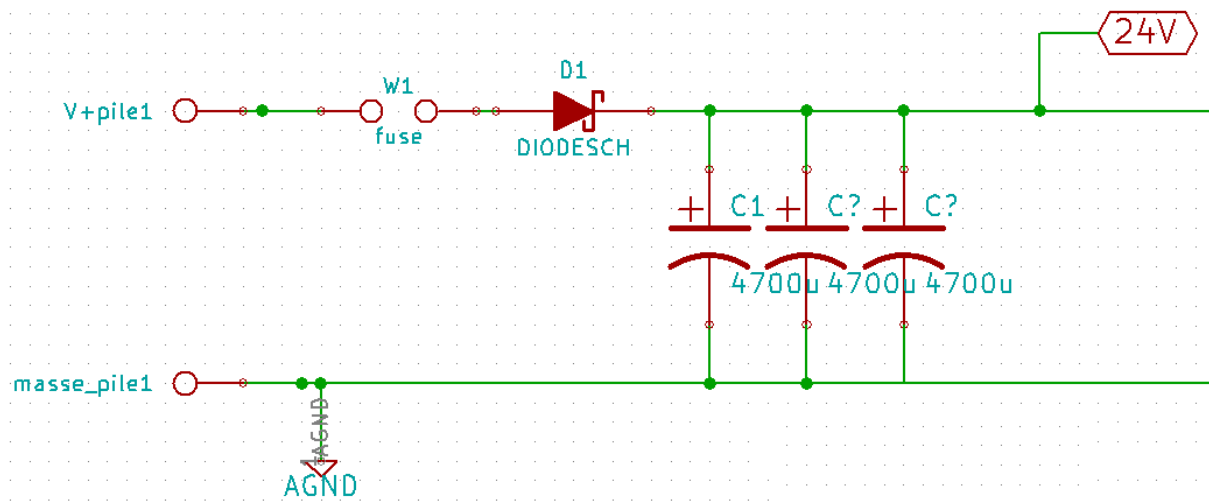


Image 8 - Capacités d'entrée

III.3.2 Alimentations

Comme dit précédemment, notre carte électronique doit fournir une alimentation 12V et une alimentation 5V isolée. Nous utiliserons des alimentations à découpages que nous dimensionnerons plus tard.

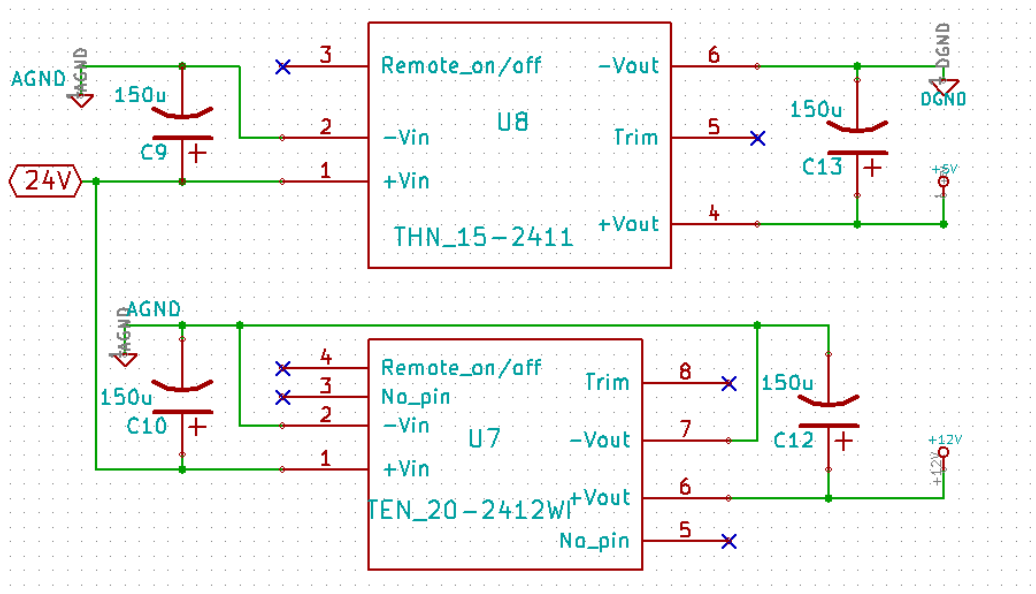


Image 9 - Alimentations régulées

III.3.3 Driver de Mosfet

Le driver de Mosfet permet de commander un Mosfet qui n'a pas sa source à la masse du montage. Nous appelons cela une alimentation « flottante ». De plus, la grille du Mosfet provoque un fort appel de courant pour charger ces capacités parasites. La sortie d'un microcontrôleur ne suffit souvent pas. Nous avons besoin d'un driver à double sortie pour commander les deux Mosfets.

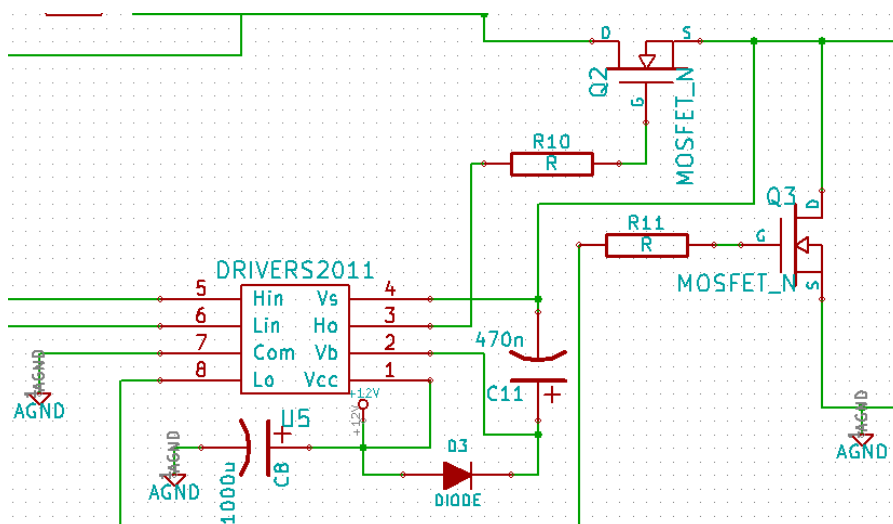


Image 10 - Driver de Mosfet

III.3.4 Optocoupleurs

Nous avons besoin d'isoler la partie commande de la partie puissance. Pour cela, nous utilisons des optocoupleurs. Nous avons donc deux masses bien distinctes dans notre carte. La première : la masse AGND qui est la masse de puissance et la masse de la pile. Ainsi que la masse DGND qui est la masse de commande et de l'alimentation 5V.

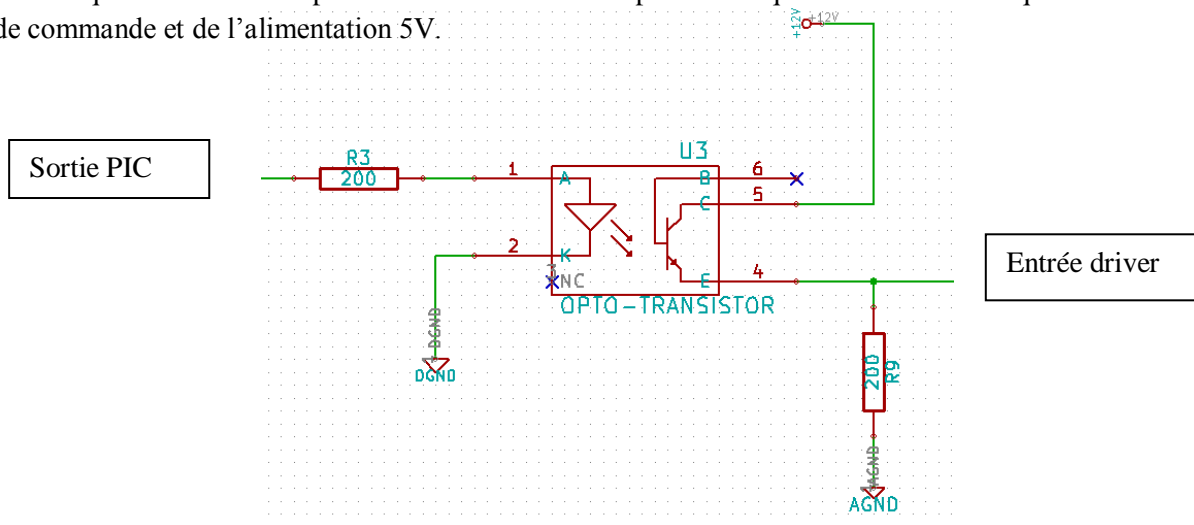


Image 11 - Optocoupleur

III.3.5 Relais

Avant de mettre sous tension le convertisseur, nous devons vérifier que les conditions nécessaires soient réunies : pas d'hydrogène dans l'habitacle, pas d'arrêt d'urgence enclenché, bon fonctionnement du PIC etc. Une fois cela effectué, le PIC envoie l'ordre de fermer les relais. Ces derniers sont aussi nécessaires pour couper l'alimentation en de présence d'hydrogène ou d'arrêt d'urgence enclenché.

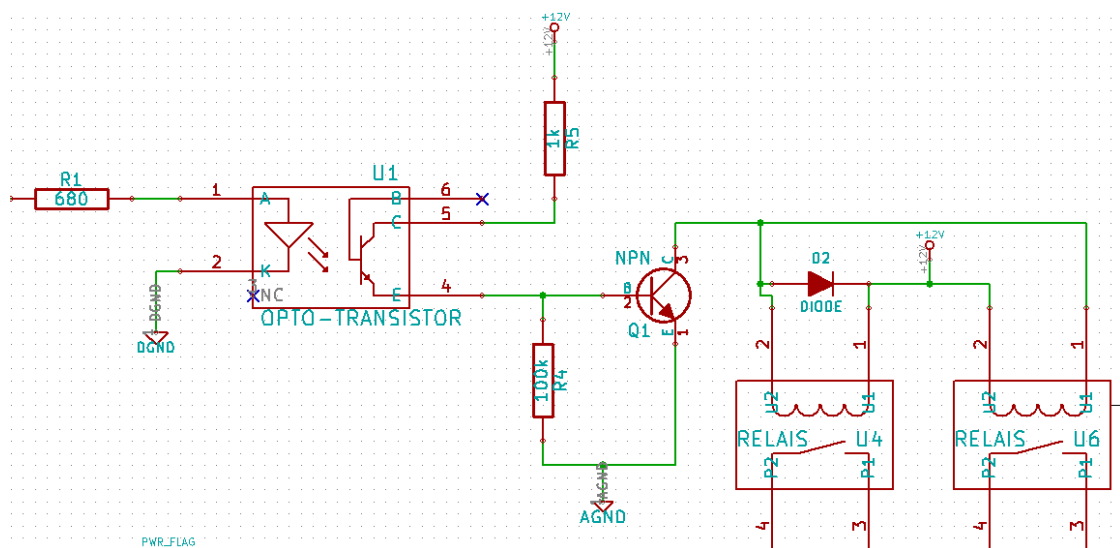


Image 12 - Relais

III.3.6 Capteur de courant

Notre asservissement étant en courant, nous devons le mesurer et renvoyer cette information au PIC.

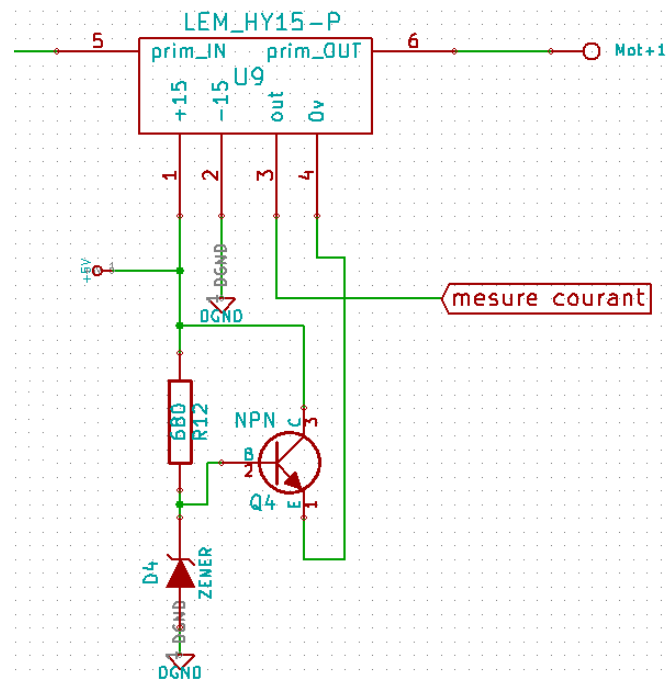
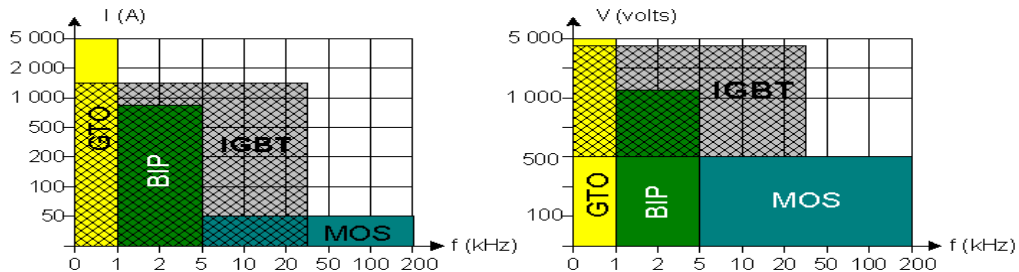


Image 13 - Capteur de courant

III.4 Dimensionnement des composants

III.4.1 Mosfet

Pour le choix des transistors, nous avons opté pour des transistors Mosfet.



On a choisi une fréquence de 20kHz car c'est inaudible et on a le moins de pertes par commutation.

Pour le choix de nos Mosfets, nous devons déterminer la tension inverse maximale qu'ils devront supporter, ainsi que le courant nominal les traversant.

Notre montage est un Buck avec une tension d'entrée de 24V. La tension maximale à leurs bornes ne dépassera donc pas 24V.

Le courant nominal du moteur est de 10A, mais peut être largement dépassé en cas de long démarrage. Par sécurité, nous prendrons un courant maximum de 20A.

Le dernier critère qui intervient est la R_{dson} du Mosfet. En effet, elle influence directement la chute de tension à ses bornes et donc le rendement du montage. Nous choisirons donc un Mosfet ayant la plus petite R_{dson} .

Avec un coefficient de sécurité, nous choisirons un Mosfet d'environ 30A pour 30V. De plus, nous avons la possibilité de mettre en parallèle deux Mosfets pour diviser leur R_{dson} par 2 et leur courant nominal.

Voici les références et les caractéristiques des transistors retenus :

STD40NF03LT4 :

30V-40A

$R_{dson}=9m\Omega$

2SK4043LS :

30V-20A

$R_{dson}=16m\Omega$

Calculs des pertes théoriques dans les Mosfets :

- **2SK4043LS** :

$$\begin{aligned} \text{Pertes en conduction : } P_{\text{cond}} &= R_{\text{dson}} \cdot (I)^2 && \text{avec } R_{\text{dson}} = 16\text{m}\Omega \\ &= 16 \cdot 10^{-3} \cdot (20)^2 \\ &= 6,4\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes en commutation : } P_{\text{commut}} &= (t_r + t_f) \cdot V \cdot I \cdot f_d && \text{avec } I = 20\text{A} ; f_d = 20\text{kHz} ; t_r = 190\text{ns} ; t_f = 280\text{ns} \\ &= (190 \cdot 10^{-9} + 280 \cdot 10^{-9}) \cdot 24 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 10^3 \\ &= 4,5\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes totales : } P_{\text{tot}} &= P_{\text{cond}} + P_{\text{commut}} \\ &= 10,9\text{W} \end{aligned}$$

- **STD40NF03LT4** :

$$\begin{aligned} \text{Pertes en conduction : } P_{\text{cond}} &= R_{\text{dson}} \cdot (I)^2 && \text{avec } R_{\text{dson}} = 9\text{m}\Omega \\ &= 9 \cdot 10^{-3} \cdot (20)^2 \\ &= 3,6\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes en commutation : } P_{\text{commut}} &= (t_r + t_f) \cdot V \cdot I \cdot f_d && \text{avec } I = 20\text{A} ; f_d = 20\text{kHz} ; t_r = 165\text{ns} ; t_f = 25\text{ns} \\ &= (190 \cdot 10^{-9} + 280 \cdot 10^{-9}) \cdot 24 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 10^3 \\ &= 1,8\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes totales : } P_{\text{tot}} &= P_{\text{cond}} + P_{\text{commut}} \\ &= 5,4\text{W} \end{aligned}$$

III.4.2 Diode

Pour le dimensionnement de la diode en entrée du Buck, nous devons nous servir du courant nominal et trouver une diode ayant la chute de tension la plus faible. Nous prendrons donc une diode Schottky. $I=30\text{A}$.

Référence : STPS60L30CW

$V_{\text{fmax}} = 380\text{mV}$

$I=30\text{A}$

$P_d=4\text{w}$

III.4.3 Optocoupleur

Les optocoupleurs ont été empruntés au Greman, ce sont des TIL111.

III.4.4 Capteur de courant

Les 4A CPS ont tout d'abord commandé un capteur LEM HTFS 200. Ce capteur est de type effet hall et permet de passer un câble dans sa boucle.

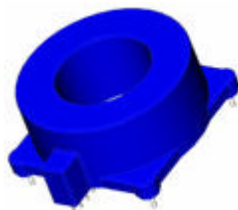
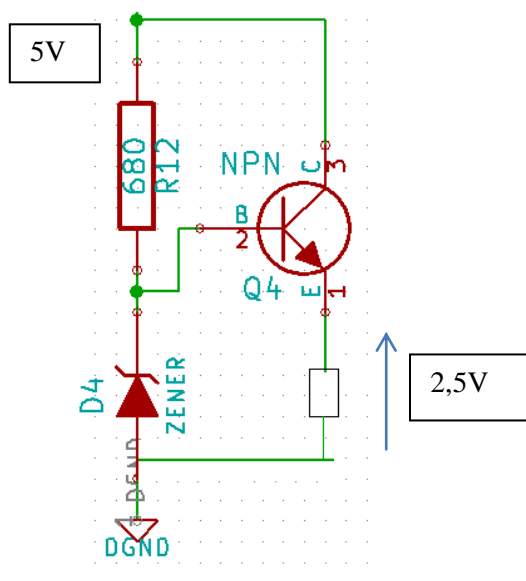


Image 14 - Capteur LEM HTFS 200

Cependant, il a un courant nominal de 200A. Il faut donc faire 10 spires à l'intérieur de cette boucle.

En testant ce capteur, nous nous sommes aperçu que sa plage de tension de sortie est de 1V pour un courant de 0 à 20A et 10 spires. Ceci n'est pas très précis.

Nous avons testé le capteur de l'ancienne carte de puissance du marathon Shell. Le capteur LEM HY15-P. Celui-ci est alimenté en +15V -15V. Nous ne disposons pas de ces alimentations mais nous testons de créer « une masse virtuelle » en mettant 2,5V sur le 0V du capteur, 5V sur le +15V et 0V sur le -15V. Nous obtenons une tension de sortie de 1,3V. Ce qui est déjà meilleur que l'autre capteur de courant. De plus, ce capteur ne consomme que 10mA contre 20mA pour le HTFS200. Nous décidons donc d'utiliser ce capteur. Il faut créer une tension de 2,5V :



Dans ce montage, nous calculons la valeur de la diode zener. $V_z = V_{be} + 2,5V = 3,2V$

Puis nous déterminons la résistance R12 en fonction du courant nominale de la diode zener (nous négligeons le courant dans la base du bipolaire)

III.4.5 Driver de Mosfet

Nous avons besoin d'un driver double sorties pour commander les deux Mosfets. Nous avons choisi le driver IR2011 qui a deux sorties et deux entrées. Chaque entrée commande un Mosfet, nous pouvons ainsi optimiser les temps morts entre chaque phase. De plus, ce driver inclut une protection qui empêche que les deux Mosfets soient commandés en même temps.

III.4.6 Alimentations régulées

Nous devons fournir du 5V et du 12V.

Le 12V alimentera les électrovannes, les Bucks de la carte de gestion de la pile, le driver IR2011 et les optocoupleurs. Cette consommation représente environ 1,5A. Nous avons décidé de prendre le Traco TEN 20-2412WI ayant un courant de sortie de 1,6A.

Le 5V isolé alimentera tous les PICS, les divers éléments extérieurs (volant, électroniques d'affichage etc). Nous avons estimé cette consommation à 2,5A. Nous avons donc commandé le Traco THN 15 2411 WI. Ces composants ont un rendement de 85%.

III.4.7 Résistances de grille des Mosfets

Nous avons dimensionné les résistances de grille pour deux Mosfets différents. En effet, chaque résistance doit être bien dimensionnée pour optimiser l'amorçage des transistors. Une résistance trop élevée ferait commuter le transistor trop lentement et une trop faible créerait un fort appel de courant dans la grille.

- **STD40NF03LT4** :

$$V_{gs}(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \cdot V_{cc}$$

avec : $V_{cc} = 10V$ tension de commande de la grille

$$\tau = R_g \cdot C_{issoff} \quad C_{issoff} = 1440pF \text{ pour } V_{DS} = 15V$$

(datasheet)

$$R_g = \frac{-t}{C_{issoff} \cdot \ln(1 - \frac{V_{gs}(t)}{V_{cc}})}$$

avec : $t = 45ns$ (avec $f = 20kHz$ $\alpha_{max} = 0,9$)

$$V_{gs}(t) = 1V \text{ (datasheet)}$$

$$R_g = 296,6\Omega \quad \rightarrow \quad \boxed{R_g = 300\Omega}$$

- **2SK4043LS** :

$$V_{gs}(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \cdot V_{cc} \quad \text{avec : } V_{cc} = 10V \text{ tension de commande de la grille}$$

$$\tau = R_g \cdot C_{issoff} \quad C_{issoff} = 3000pF \text{ pour } V_{DS} = 20V$$

(datasheet)

$$R_g = \frac{-t}{C_{issoff} \cdot \ln(1 - \frac{V_{gs}(t)}{V_{cc}})} \quad \text{avec : } t = 45ns \text{ (avec } f = 20kHz \alpha_{max} = 0,9)$$

$$V_{gs}(t) = 1,3V \text{ (datasheet)}$$

$$R_g = 107,7\Omega \quad \rightarrow \quad \boxed{R_g = 110\Omega}$$

III.4.6 Capacité de charge du driver

La capacité de charge du driver permet de stocker de l'énergie pendant la phase de roue libre du Buck pour la réutiliser pendant la phase de charge. Cette étape n'est nécessaire que pour un Mosfet n'ayant pas sa source à la masse du montage. Dans notre cas, la capacité de charge sera utile seulement pour le Mosfet Q1. Il est donc impossible d'avoir un rapport cyclique de 100% car il n'y aurait plus de charge de cette capacité.

Si cette capacité est trop petite, elle sera déchargée trop vite et le rapport cyclique sera limité.

La capacité de sortie du driver a été dimensionnée pour deux types de Mosfets différents.

- **STD40NF03LT4** : $C_{iss} = 1440 \text{ pF}$

L'énergie stockée dans le condensateur doit être supérieure au C_{iss} du Mosfet. Selon la datasheet, le C_{iss} du MOS est de 1440 pF. Par précaution nous prendrons le double de cette valeur.

Au moment de la commutation, le potentiel V_{DS} est U_{PAC} soit environ 24V. L'énergie nécessaire pour rendre le transistor passant s'élève à :

$$W_{MOS} = \frac{1}{2} \cdot C_{iss} \cdot (U_{PAC})^2$$

$$W_{MOS} = \frac{1}{2} \cdot (2880 \cdot 10^{-6}) \cdot (24)^2$$

$$W_{MOS} = 829 \text{ nJ}$$

Il nous faudra donc un condensateur capable d'apporter cette énergie avec un potentiel à ses bornes de V_{cc} . Voici donc la valeur minimale du condensateur permettant la commutation du MOS.

$$C = \frac{2 \cdot W_{MOS}}{V_{cc}^2}$$

$$C = \frac{2 \cdot (830 \cdot 10^{-6})}{12^2}$$

$$C = 12 \text{ nF}$$

- **2SK4043LS** : $C_{iss} = 3000 \text{ pF}$

L'énergie stockée dans le condensateur doit être supérieure au C_{iss} . Selon la datasheet, le C_{iss} du MOS est de 3000 pF. Par précaution nous prendrons le double de cette valeur.

Au moment de la commutation, le potentiel V_{DS} est U_{PAC} soit environ 24V. L'énergie nécessaire pour rendre le transistor passant s'élève à :

$$W_{MOS} = \frac{1}{2} \cdot C_{iss} \cdot (U_{PAC})^2$$

$$W_{MOS} = \frac{1}{2} \cdot (6000 \cdot 10^{-6}) \cdot (24)^2$$

$$W_{MOS} = 1,7 \text{ }\mu\text{J}$$

Il nous faudra donc un condensateur capable d'apporter cette énergie avec un potentiel à ses bornes de V_{cc} . Voici donc la valeur minimale du condensateur permettant la commutation du MOS.

$$C = \frac{2 \cdot W_{MOS}}{V_{cc}^2}$$

$$C = \frac{2 \cdot (1,7 \cdot 10^{-3})}{12^2}$$

$$C = 24 \text{ nF}$$

III.4.7 Inductance

Le détail des calculs de dimensionnement de l'inductance se trouve en Annexe. (*Annexes, Dimensionnement de l'inductance*).

On peut retrouver les caractéristiques principales dans le *Tableau 1* ci-dessous.

Symbole	Paramètre	Valeur	Unité
	Type du noyau	ETD59	
	Matériau	3C90/N87	
L	Inductance	100	μH
N	Nombre de spires	14	
Air gap	Entrefer	1	mm
A_L	Coefficient d'inductance	500	nH
l_e	Longueur effective	139	mm
μ_e	Perméabilité effective	150	
A_e	Section effective	368	mm^2
B_{max}	Champ magnétique max	91	mT

Tableau 1 - Dimensionnement inductance ETD59

Nous avons testé notre inductance avec un analyseur d'impédance. L'image est en annexe. Nous avons une inductance mesurée à 87uH et une résistance série de 78mΩ.

Rendement théorique :

$$Perte = P_{mos} + P_{diode} + P_L = 2 \times 5,4 + 4 + 3 = 18 \text{ watts}$$

Nous avons donc un rendement théorique de 91%

III.5 Simulation

Nous pouvons désormais simuler notre montage afin de valider son fonctionnement et déterminer les pertes envisageables. Nous avons utilisé le logiciel LT-Spice, qui est gratuit. Nous avons intégré chaque paramètre de nos composants déterminés précédemment.

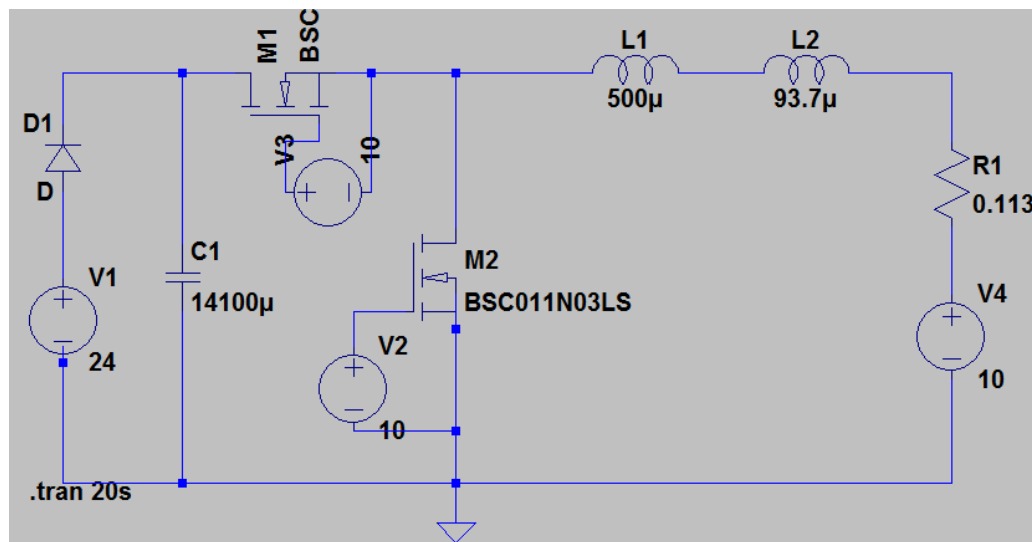
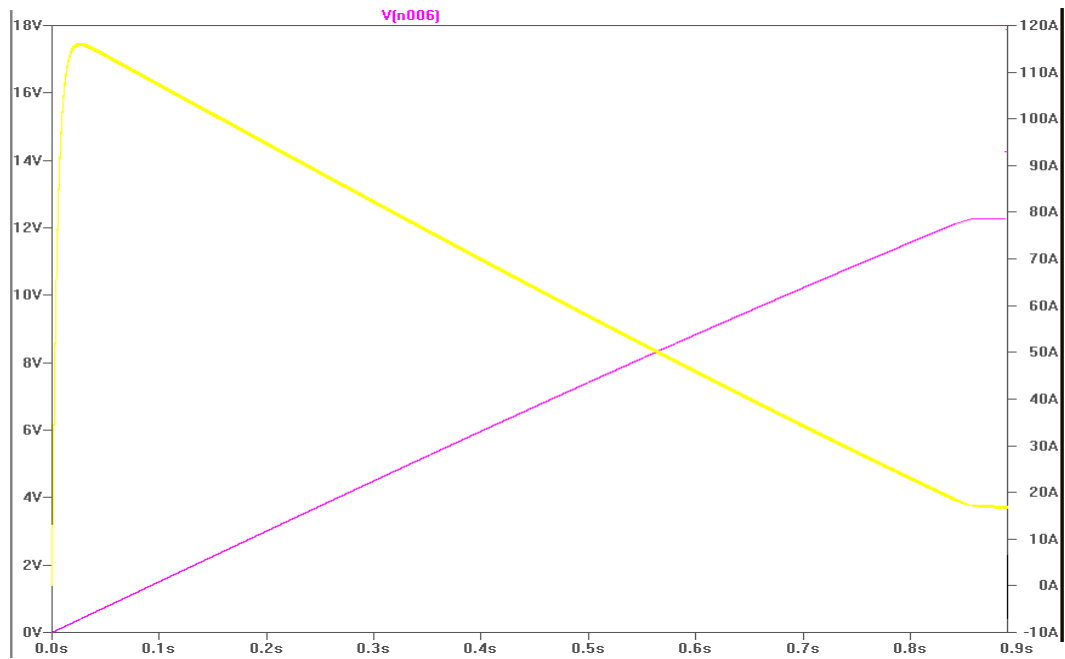
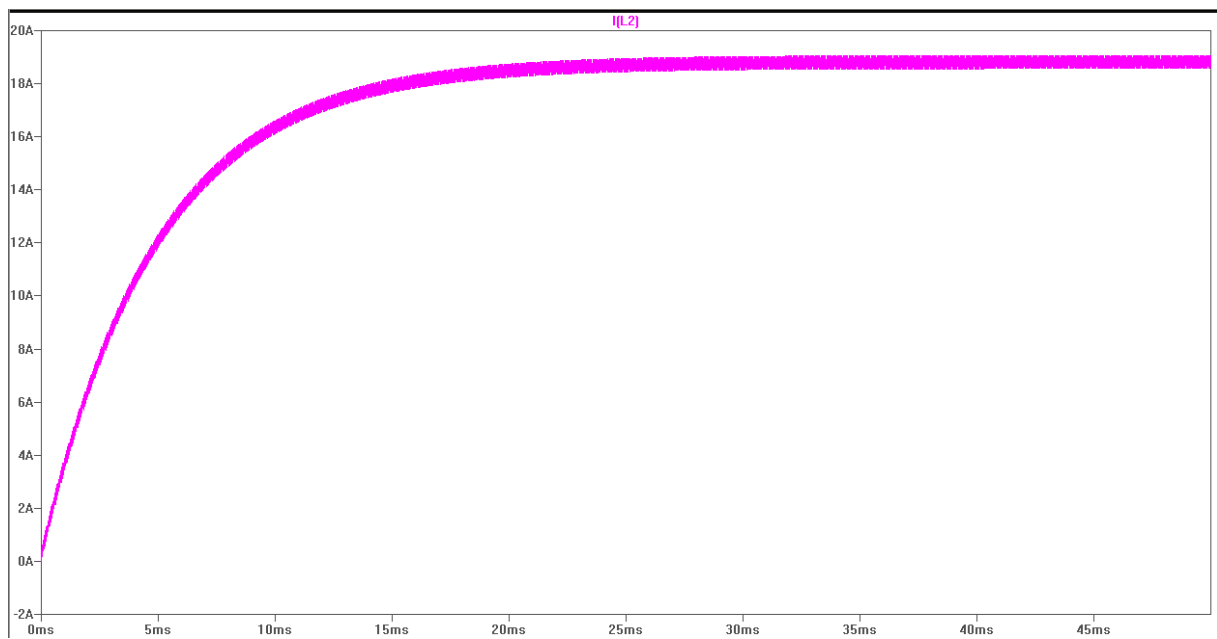


Image 15 - Simulation LT-Spice

Lorsque nous ne régulons pas le courant dans le hacheur, nous avons un fort appel de courant dans le moteur. Car en effet, au démarrage, le FEM du moteur étant nulle et la résistance série du moteur étant très faible, notre courant appelé atteint la valeur de 110A. Il est impératif de réguler ce courant au démarrage. Avec le retour du capteur LEM, nous pourrions réaliser cette fonction.



Après régulation, notre courant est croissant jusqu'à ce qu'il atteigne 20A.



Le rendement de notre montage est de 89%. Les principales pertes résident dans la diode d'entrée, les Mosfets et l'inductance.

III.6 Réalisation de la carte électronique

Nous avons réalisé la carte électronique correspondant au schéma final Annexe, *Image 22*. Nous avons utilisé le logiciel Kicad, qui est une application gratuite. Le routage doit respecter quelques règles de conceptions. Les pistes de puissance doivent supporter 20A. Nous avons donc utilisé une largeur de piste minimale de 7mm pour ces dernières. Les autres pistes n'ont pas règles particulières, mais ne doivent pas dépasser 1mm si ce n'est pas possible de faire plus.

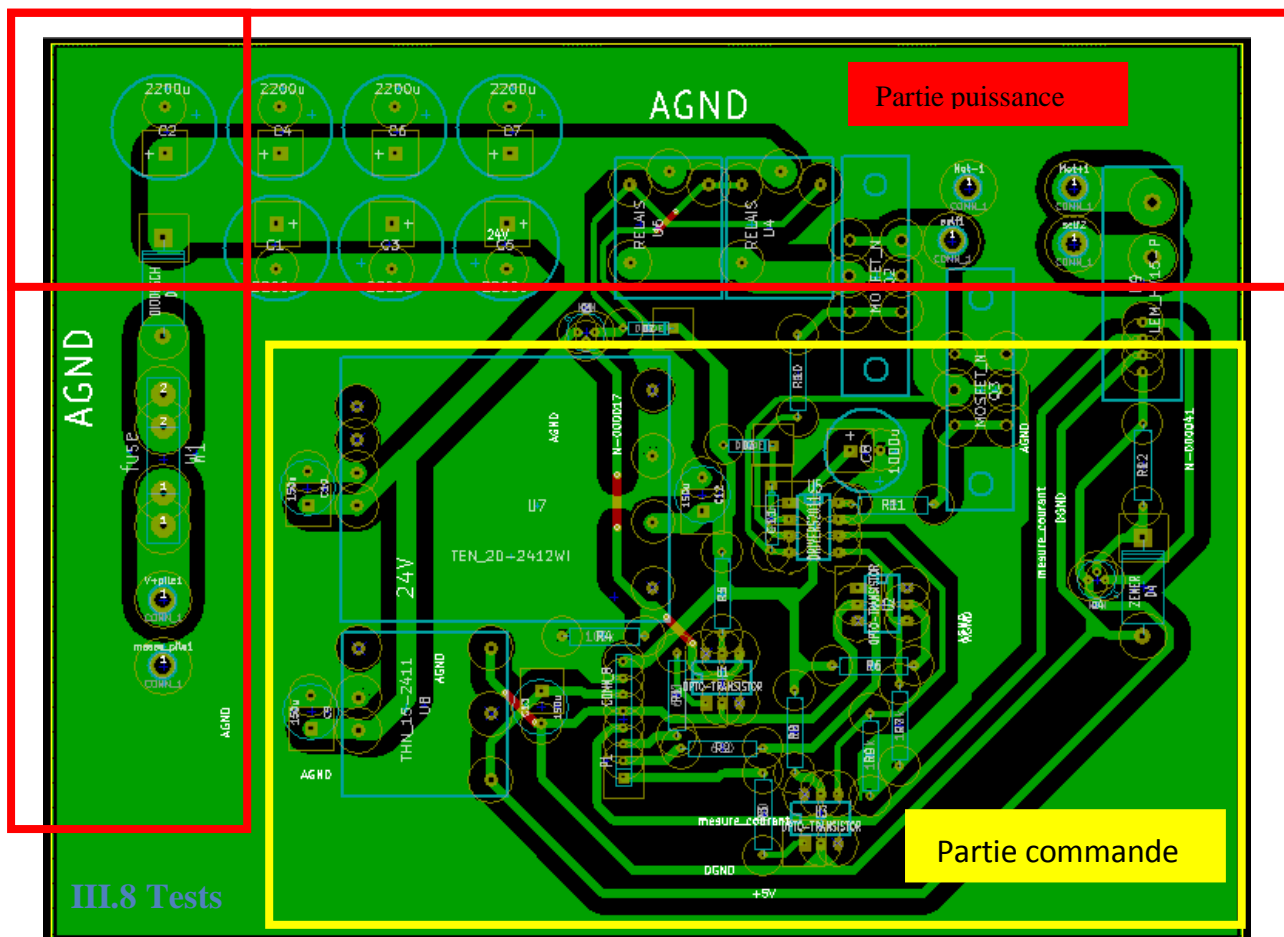


Image 17 - Layout

Nous avons réalisé cette carte à l'IUT GEII de TOURS, que nous tenons à remercier.

III.7 Tests

Lorsque nous avons voulu tester notre carte, il nous manquait le régulateur 12V. Nous avons donc utilisé une alimentation extérieure. Le driver IR2011, nous avons donc utilisé un driver IR2122 qui ne peut commander qu'un seul Mosfet. Nous avons donc utilisé une diode Schottky comme roue libre.

Tout d'abord nous utilisons une self de 1mH et un Mosfet IRLI 3705N ayant une R_{dson} de 10m Ω

Ventrée	Ientrée
20,2V	6,4A
Vs	Is
16,5V	6,6A

Le rendement est donc de 84,2%

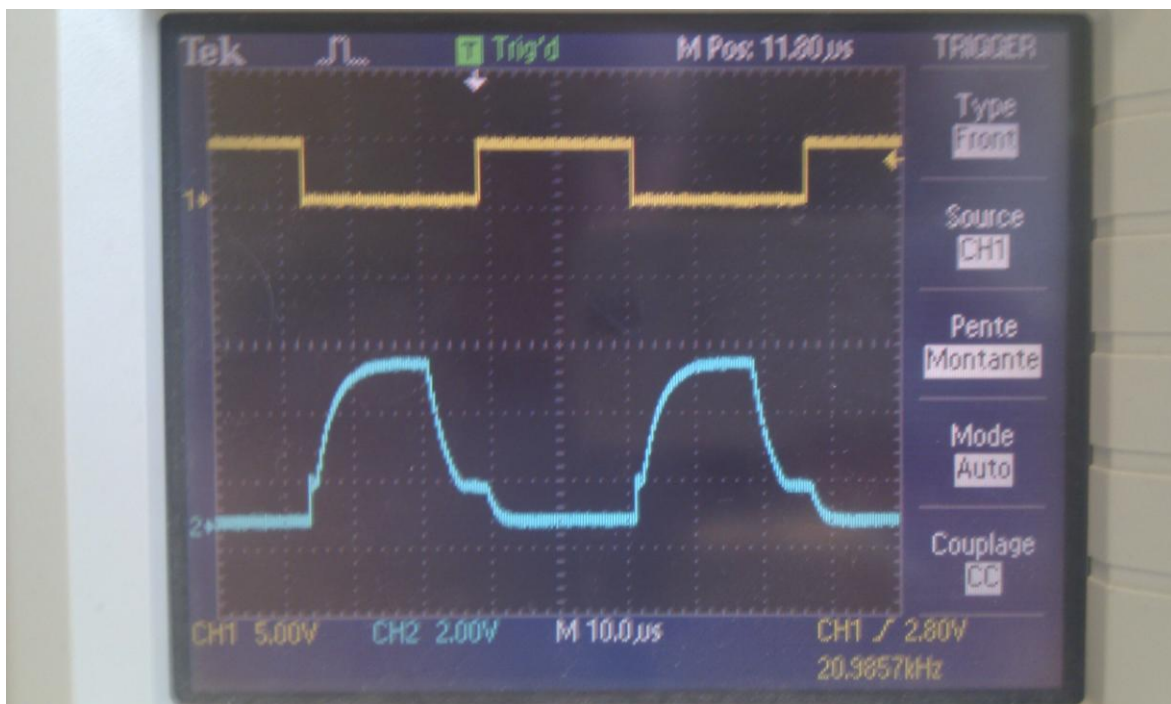


Image 18 - Vgs et la la commande MLI

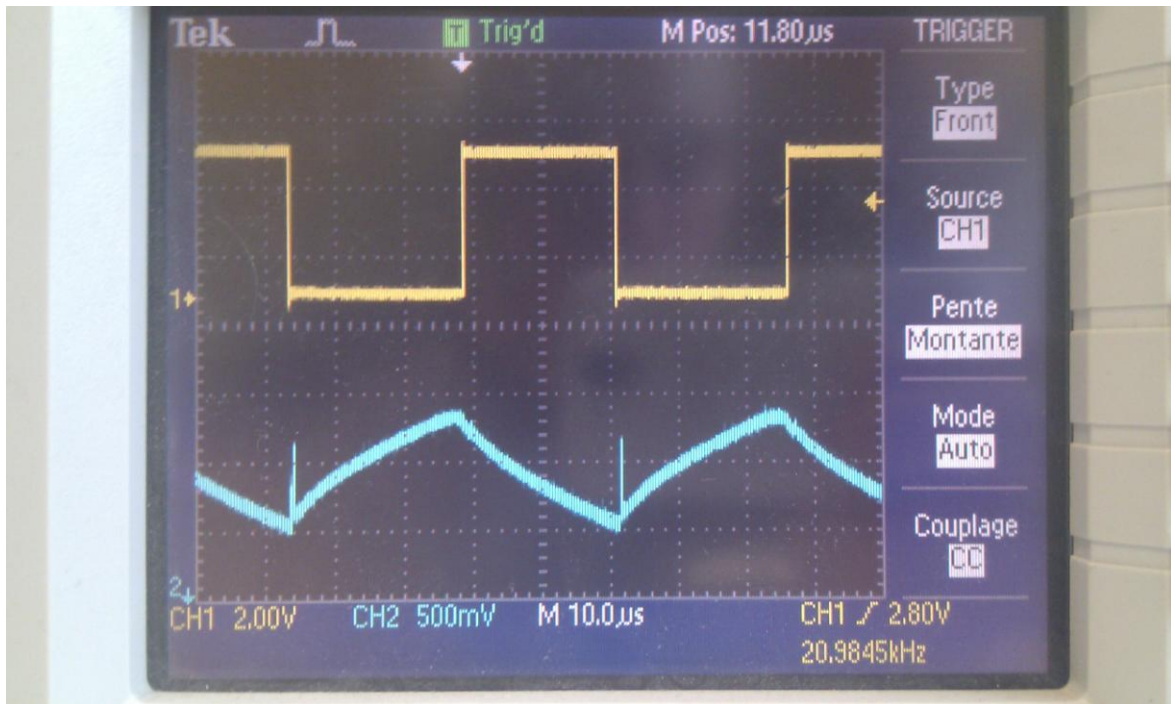


Image 19 - Commande MLI et IL

Nous testons maintenant avec notre self de 87uH.

Ventrée	Ientrée
20,21V	6,4A
Vout	Iout
16,8V	6,64A

Le rendement est de 86,2%

Nous observons une amélioration due à notre inductance qui est dimensionnée spécialement pour notre application.

Nous n'avons pas eu le temps de tester notre carte à son régime nominal de 10A.

Nous avons testé le moteur à vide : Les pertes à vides sont de 4 watts. Le rendement du montage était de 74%.

Cependant, les tests sont concluants et nous pouvons encore espérer une amélioration du rendement en régime nominal. De plus, quand le driver de Mosfet sera arrivé, les 4A pourront tester de faire fonctionner le Buck en synchrone et donc utiliser un autre Mosfet à la place de la diode Schottky. Il y aura encore un gain de 3 à 4 watts.

III.9 Commande effectuée

Composants	Fabricants	Ref fabricant	Code commande	Sites	Quantité	Prix unitaire HT	Total HT
Mosfet	SANYO	2SK4043LS	1735428	farnell	4	2,09 €	8,36 €
	STMICROELECTRONICS	STD40NF03LT4	1752039	farnell	4	0,69 €	2,76 €
Transistor NPN	MULTICOMP	2N2222A	9207120	farnell	10	0,40 €	4,00 €
Convertisseur DC/DC	TRACOPOWER	TEN 20-2412 WIN	1284267	farnell	1	42,60 €	42,60 €
	TRACOPOWER	THN 15-2411WI	1441226	farnell	1	40,40 €	40,40 €
Driver Mosfet	INTERNATIONAL RECTIFIER	IR2011PBF	1080612	farnell	6	2,98 €	17,88 €
Optocoupleur	ISOCOM	TIL111	1683361	farnell	8	0,41 €	3,28 €
Relais	RS	HF152F/012-1HST	476-804	radiospares	4	2,37 €	9,48 €
						Total	128,76 €

Image 20 - Commande totale du PFE

Le coût de la commande nécessaire pour réaliser notre projet s'élève à 128,76 €. Nous avons utilisés les résistances et les condensateurs du Greman.

III.10 Planning

Planning réel du PFE	Octobre 24h				Novembre 32h				Décembre 16h			Janvier 20h			Février 64h								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Recherche Bibliographique	■																						
Simulation	■				■				■														
Choix de la solution définitive					■				■														
Commande Composants									■			■											
Réalisation du schéma									■			■											
Réalisation du layout												■											
Dimensionnement												■			■								
Fabrication de la carte															■								
Tests															■								
Création du poster															■								
Rédaction rapport définitif															■								

Image 21 - Planning PFE

Dates clés du projet :

- Réunion le **17 Octobre 2011** à 13H30 avec M. SCHELLMANNNS.
- Réunion le **18 Octobre 2011** avec CPS Elec, M. SCHELLMANNNS et Mme. BATUT.
- Réunion le **19 Octobre 2011** avec Thomas QUINTON et CPS Elec.
- Réunion le **15 Décembre 2011** avec CPS Elec.
- Réunion bilan d'avancement de projet le **18 Janvier 2012** avec M. SCHELLMANNNS, Adelphe CALDEIRA et Sébastien JACQUES.
- Réception le **25 Janvier 2012** d'une partie de la commande effectuée.
- Validation de fonctionnement de la carte électronique le **23 Février 2012**.
- Remise du rapport de projet de fin d'étude le **24 Février 2012**.
- Soutenance du projet de fin d'étude le **07 Mars 2012**.

Les objectifs du projet ont été atteints dans les derniers jours mais le cahier des charges a été respecté.

Conclusion

Le projet a été mené à bien dans les tout derniers jours mais cela n'était pas une certitude il y a encore quelques semaines. Nous avons su nous répartir habilement les tâches pour réussir à terminer le projet dans les temps. L'autogestion, le travail d'équipe et l'autonomie qui nous était laissée seront bénéfiques pour notre avenir. Nous avons pu découvrir de nouveaux outils informatiques, comme Kicad, et nous perfectionner dans d'autres, comme Orcad. De plus, le suivi des projets via le club Polytech' Eco-Marathon de l'école nous a permis de laisser une trace de notre travail afin que les étudiants des années suivantes puissent reprendre et perfectionner le projet facilement. Nous avons pu remettre nos travaux du club, Marius ATTIVI, toutes les datasheets utiles, nos divers comptes-rendus, les schémas électriques et notre rapport de pfe. Toutefois, on peut regretter le temps d'attente dans la commande des composants et un réseau internet défaillant qui nous ont freinés dans l'avancement du projet.

Durant cette période de projet, nous avons aussi travaillé en collaboration avec différents groupes d'étudiants sur un même projet. Cela nous a permis de voir toutes les difficultés que cela peut engendrer et cela nous a obligé à nous adapter pour travailler en équipe. Il est à noter que le groupe de pfe qui travaillait en parallèle sur la pile à combustible a également réussi à remplir les conditions du cahier des charges de leur projet dans les temps.

Le thème des prototypes à hydrogène est dans la continuité de l'option Énergie et Environnement que nous avons choisi pour notre 5^{ème} et dernière année à l'école Polytech'Tours. De plus, nous avons pu mettre en pratique une partie des cours que nous avons suivis à l'école, ce qui nous a grandement aidé.

La compétition Eco-Marathon Shell est une belle aventure à laquelle nous avons la chance de participer pendant deux années, en 3^{ème} et 4^{ème} année d'école d'ingénieur. Cet événement nous a permis de découvrir différentes cultures de toute l'Europe et d'échanger avec de nombreux étudiants. Apprendre l'anglais reste un des objectifs pour qui souhaite devenir ingénieur et cet événement a contribué à mieux maîtriser cette langue. Ainsi, nous souhaitons un maximum de réussite à la nouvelle équipe qui participera à l'édition 2012 ainsi que toutes celles qui suivront.

Bibliographie

- Site du club Polytech' Eco-Marathon :
<http://www.wix.com/polytechtours/ecomarathonshell#!>
- Ferrites ferroxcube : <http://www.ferroxcube.com/appl/info/HB2009.pdf>
- Epcos, Ferrites and accessories ETD59/31/22 :
http://www.epcos.com/inf/80/db/fer_07/etd_59_31_22.pdf
- Site des manuels de formation Altium Designer : <http://www.altium.com/training/fr/manuals-and-downloads.cfm>
- Site de Thierry Lequeu : <http://www.thierry-lequeu.fr>
- Site de l'Eco-Marathon Shell :
http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/europe/2012_rotterdam/
- Règlement de la compétition Shell Eco-Marathon 2012 :
http://www-static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2012/SEM_global_Rules_2012_chapter_I.pdf
- Tutoriel Kicad auteurs : Renie S. Marquet Mitch Bradley :
www.kicadlib.org/Fichiers/Tutorial_Kicad_FR.pdf

Index des illustrations

Image 1 - Circuit 2012	8
Image 2 - Prototype 2011	10
Image 3 - Prototype 2012 (Modélisé sous Catia)	10
Image 4 - Chaîne de conversion de l'énergie du prototype 2011	11
Image 5 - Chaîne de conversion de l'énergie du prototype 2012	12
Image 6 - Fonctionnement d'un hacheur série	13
Image 7 - Buck synchrone théorique	14
Image 8 - Capacités d'entrée	15
Image 9 - Alimentations régulées	16
Image 10 - Driver de Mosfet	16
Image 11 - Optocoupleur	17
Image 12 - Relais	17
Image 13 - Capteur de courant	18
Image 14 - Capteur LEM HTFS 200	21
Image 15 - Simulation LT-Spice	25
Image 16 - Appel de courant au démarrage	25
Image 17 - Layout	27
Image 18 - Vgs et la la commande MLI	28
Image 19 - Commande MLI et IL	29
Image 20 - Commande totale du PFE	30
Image 21 - Planning PFE	31
Image 22 - Schéma complet	35
Image 23 - Choix de l'entrefer et du type de noyau (RM/1)	36
Image 24 - Choix du matériau en fonction de la fréquence	37
Image 25 - Choix de l'entrefer et du type de noyau (ETD)	37
Image 26 - Coefficient d'inductance et perméabilité effective sans entrefer (ETD)	38
Image 27 - Longueur effective (ETD)	38
Image 28 - Champ de saturation (ETD)	39
Image 29 - Coefficient d'inductance et perméabilité effective avec entrefer (ETD)	39
Image 30 - μ et μ_e en fonction de Air gap en mm (ETD)	40
Image 31 - Inductance mesurée à l'analyseur d'impédance	42

Annexes

Schéma électrique

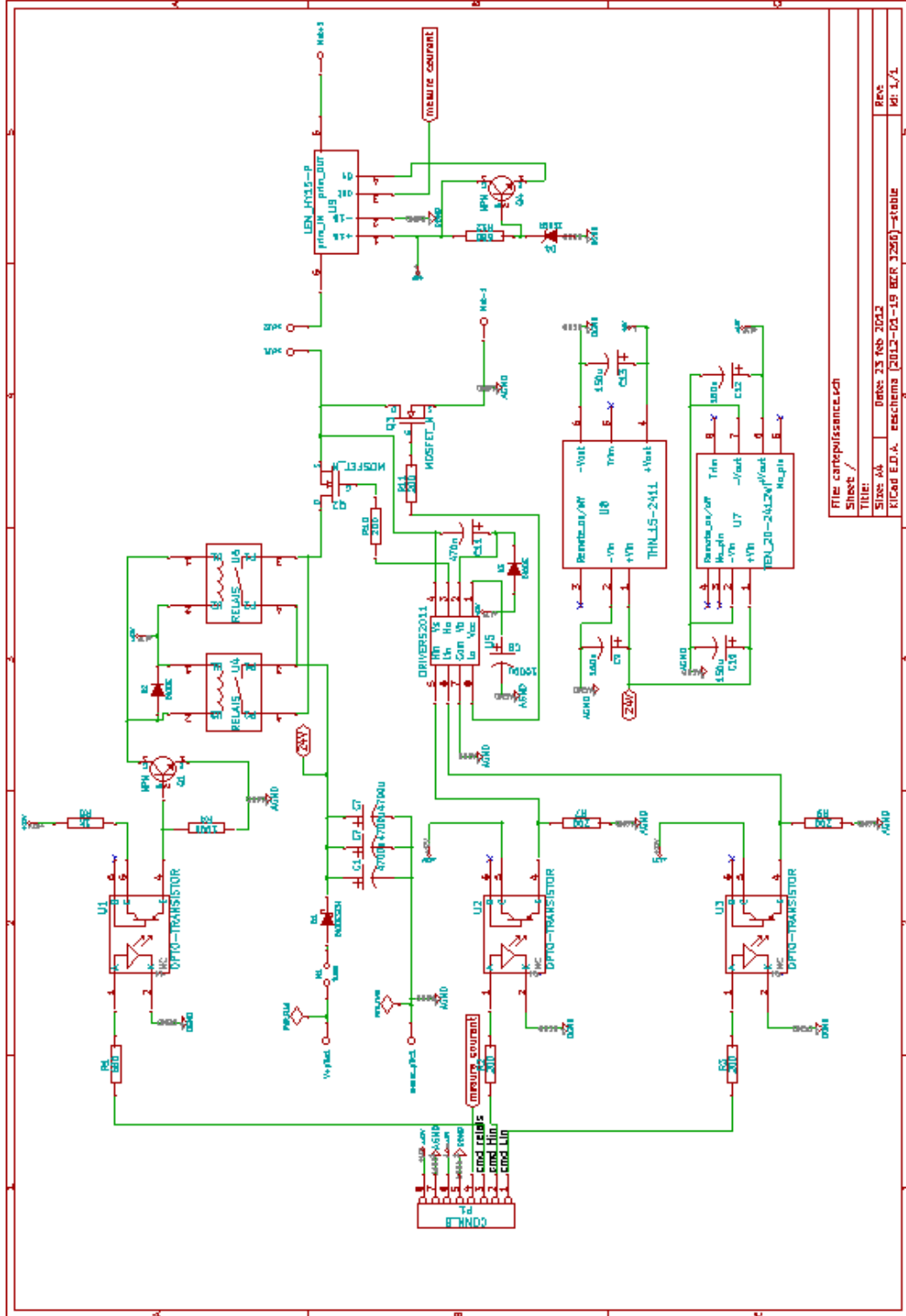


Image 22 - Schéma complet

Dimensionnement de l'inductance

Courant dans la charge :

$$I = \frac{P}{U} \quad \text{avec : } P = 200 \text{ W}$$

$$U = 24 \text{ V}$$

$$I \approx 10 \text{ A}$$

Calcul de l'inductance :

$$\Delta_i < 1,5 \text{ A (15\% de I)}$$

$$\Delta_i = \frac{(V_e \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha))}{L \cdot f} \quad \text{avec : } V_e = 24 \text{ V}$$

$$f = 20 \text{ kHz}$$

$$\alpha = 0,5$$

$$L = \frac{(V_e \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha))}{\Delta_i \cdot f}$$

$$\text{A.N : } L = \frac{(24 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5))}{1,5 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$L = 200 \mu\text{H}$$

$L_{\text{Total}} = L - L_{\text{moteur}}$ avec : $L_{\text{moteur}} = 100 \mu\text{H}$ (d'après datasheet moteur)

$$\text{A.N : } L_{\text{Total}} = 200 \cdot 10^{-6} - 100 \cdot 10^{-6}$$

$$L_{\text{Total}} = 100 \mu\text{H}$$

Calcul de $L I_{\text{max}}^2$:

$$L \cdot I_{\text{max}}^2 = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (20)^2$$

$$L \cdot I_{\text{max}}^2 = 0,04 \text{ J}$$

À partir de cette étape, nous avons le choix entre différents types de noyau pour notre inductance. Notre choix va se limiter à deux types de noyaux : la gamme des RM/1 et la gamme des ETD

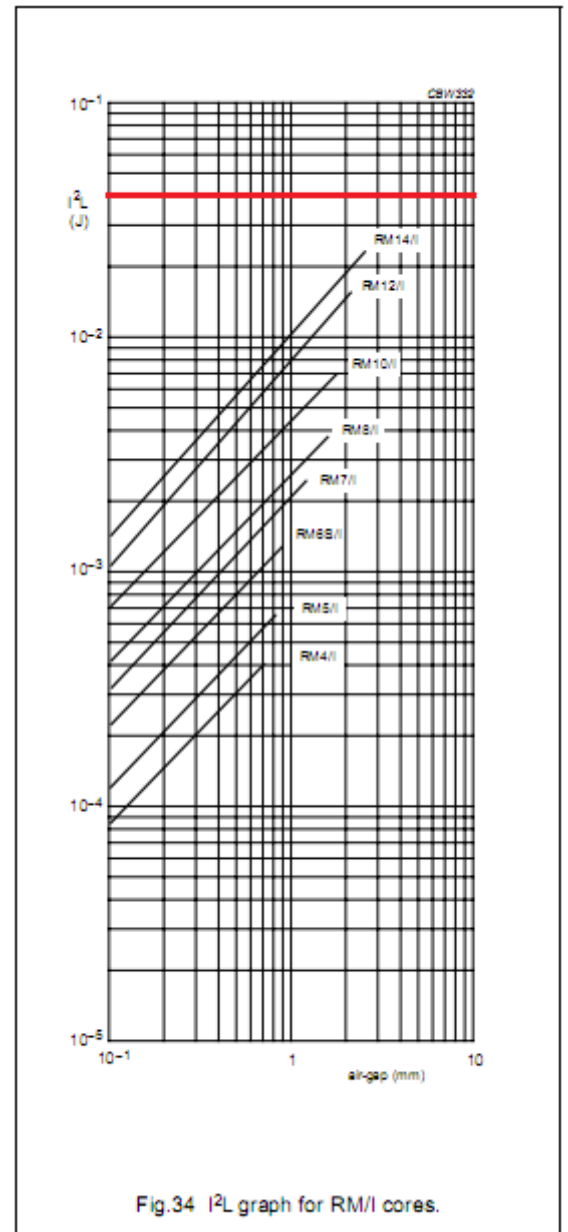


Image 23 - Choix de l'entrefer et du type de noyau (RM/1)

Choix du type de noyau :

D'après l'Image 10, on peut voir que la gamme des RM/l ne convient pas.

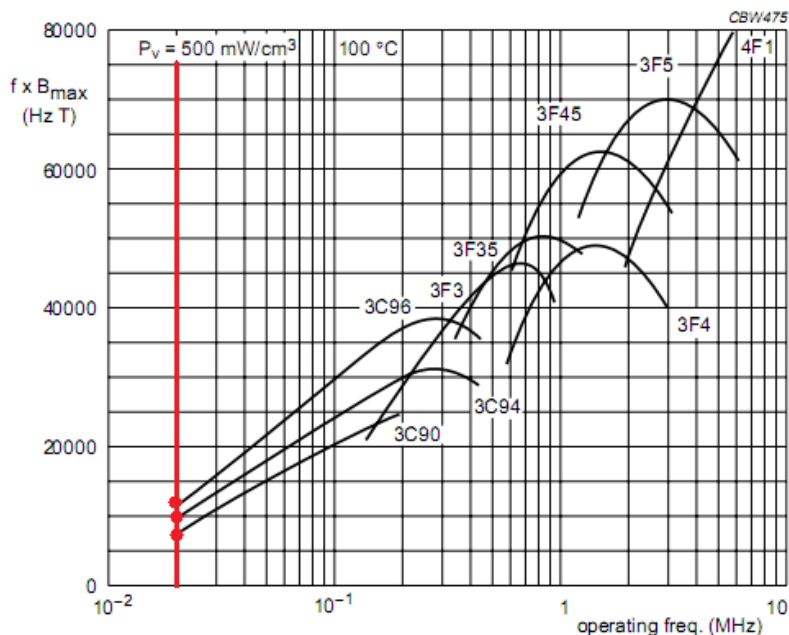


Image 24 - Choix du matériau en fonction de la fréquence

Calcul de l'entrefer (Air gap) :

D'après l'Abaque 3, on peut déterminer l'entrefer.

ETD59 → 2 mm
ETD54 → 3 mm

Nous choisirons comme type de noyau : ETD59 car il est préférable d'avoir le minimum d'entrefer.

D'après l'Abaque 2, nous pouvons choisir le type de matériau.

Nous avons le choix de matériaux suivant :

- 3C96
- 3C94
- 3C90

Nous avons choisi de prendre le matériau 3C90 pour la simple et bonne raison que nous avons pu récupérer uniquement les caractéristiques de ce matériau. L'équivalent du 3C90 chez le fabricant epsos est le N87.

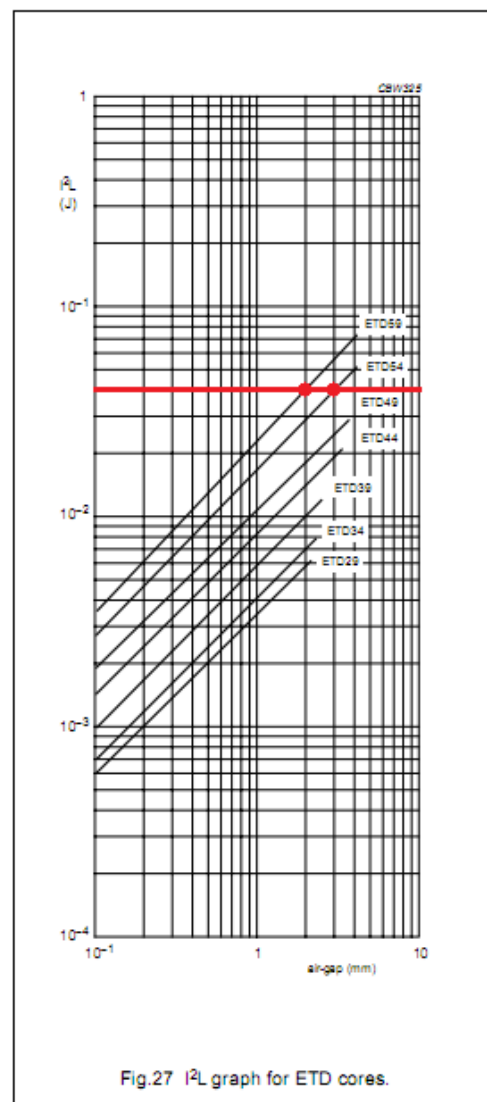


Fig.27 I²L graph for ETD cores.

Image 25 - Choix de l'entrefer et du type de noyau (ETD)

Calcul du nombre de spires sans entrefer :

D'après l'*Abaque 4*, on retrouve la valeur du coefficient d'inductance sans entrefer ainsi que la perméabilité effective : $A_L = 6000 \text{ nH}$; $\mu_e = 1800$

Core halves

Clamping force for A_L measurements, $70 \pm 20 \text{ N}$. Gapped cores are available on request.

GRADE	A_L (nH)	μ_e	AIR GAP (μm)	TYPE NUMBER
3C90	6000 $\pm 25\%$	≈ 1800	≈ 0	ETD59/31/22-3C90
3C94	6000 $\pm 25\%$	≈ 1800	≈ 0	ETD59/31/22-3C94
3C95 <small>des</small>	7340 $\pm 25\%$	≈ 2205	≈ 0	ETD59/31/22-3C95
3F3	5600 $\pm 25\%$	≈ 1680	≈ 0	ETD59/31/22-3F3

Image 26 - Coefficient d'inductance et perméabilité effective sans entrefer (ETD)

L'*Abaque 5*, quant à lui, nous donne la longueur effective : $l_e = 70 \text{ mm}$

En utilisant la relation $N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$, on obtient le nombre de spires pour notre inductance.

$$A.N : N = \sqrt{\frac{100 \cdot 10^{-6}}{6000 \cdot 10^{-9}}}$$

$$N \approx 4,08$$

$$N = 4 \text{ spires}$$

Effective core parameters

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(l/A)$	core factor (C1)	0.378	mm^{-1}
V_e	effective volume	51 500	mm^3
l_e	effective length	139	mm
A_e	effective area	368	mm^2
A_{min}	minimum area	360	mm^2
m	mass of core half	≈ 130	g

Image 27 - Longueur effective (ETD)

Calcul du champ magnétique sans entrefer :

$$B_{\max} = B_{DC} + B_{AC}$$

$$B_{\max} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_{DC}}{\frac{l_e}{\mu_e} + Air_{gap}} + \frac{\mu_0 \cdot N \cdot \hat{I}}{2 \cdot (\frac{l_e}{\mu_e} + Air_{gap})} \quad \text{avec : } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m (constante magnétique)}$$

$$B_{\max} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10}{\frac{139 \cdot 10^{-3}}{1800} + 0} + \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 0}{2 \cdot (\frac{139 \cdot 10^{-3}}{1800} + 0)} \quad \text{on peut négliger } B_{AC} \text{ car } \hat{I} \approx 0 \text{ A}$$

$$B_{\max} \approx 488 \text{ mT}$$

D'après l'Abaque 6, $B_{\text{sat}} = 330 \text{ mT}$. On a $B_{\max} > B_{\text{sat}}$ donc on va devoir ajouter un entrefer.

Properties of core sets under power conditions

GRADE	B (mT) at	CORE LOSS (W) at				
	H = 250 A/m; f = 25 kHz; T = 100 °C	f = 25 kHz; B̂ = 200 mT; T = 100 °C	f = 100 kHz; B̂ = 100 mT; T = 100 °C	f = 100 kHz; B̂ = 200 mT; T = 25 °C	f = 100 kHz; B̂ = 200 mT; T = 100 °C	f = 400 kHz; B̂ = 50 mT; T = 100 °C
3C90	≥330	≤ 6.2	≤ 7.3	–	–	–
3C94	≥330	–	≤ 5.2	–	≤ 31	–
3C95	≥330	–	–	≤ 32.4	≤ 30.9	–
3F3	≥320	–	≤ 6.7	–	–	≤ 12.8

Image 28 - Champ de saturation (ETD)

L'entrefer calculé précédemment est de 2 mm. On reprend donc les calculs en prenant en compte un entrefer de 2 mm.

D'après l'Abaque 7, on peut en déduire la Courbe 1. Cette courbe nous permet de retrouver A_L et μ_e pour un entrefer de 2mm.

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e	Ordering code ** = 27 (N27) = 87 (N87)
N27,	0.20 ±0.02	1588	476	B66397G0200X1**
N87	1.00 ±0.05	508	152	B66397G1000X1**
	1.50 ±0.05	381	114	B66397G1500X1**
	2.00 ±0.05	311	93	B66397G2000X1**

Image 29 - Coefficient d'inductance et perméabilité effective avec entrefer (ETD)

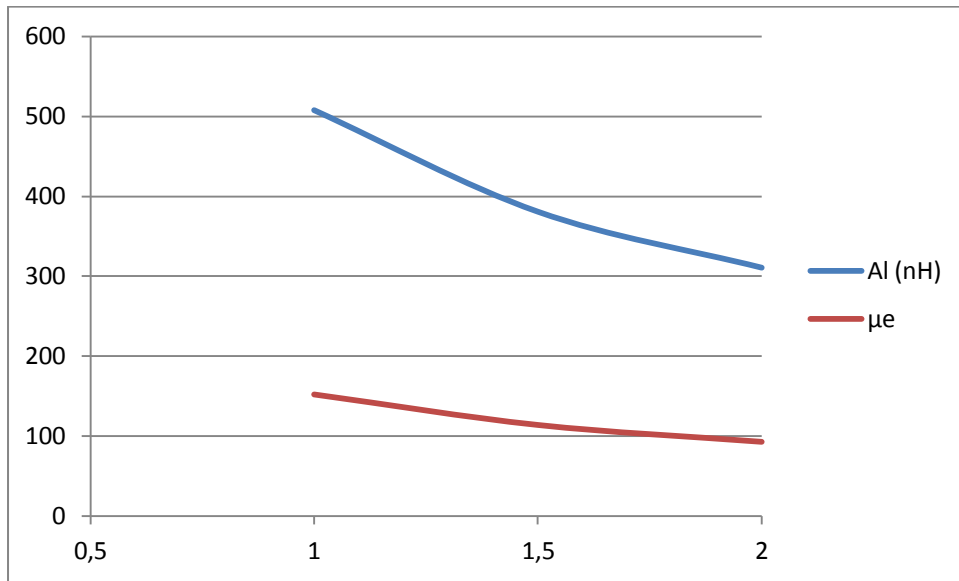


Image 30 - AL et μ_e en fonction de Air gap en mm (ETD)

On en déduit d'après la *Courbe 1* : $A_L \approx 300$ nH
 $\mu_e \approx 100$

Calcul du nombre de spires avec entrefer :

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$\underline{A.N} : N = \sqrt{\frac{100 \cdot 10^{-6}}{300 \cdot 10^{-9}}}$$

$$N \approx 18,25$$

$$N = 18 \text{ spires}$$

Calcul du champ magnétique avec entrefer :

$$B_{\max} = B_{DC} + B_{AC}$$

$$B_{\max} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_{DC}}{\frac{l_e}{\mu_e} + A l_{gap}} + 0$$

$$B_{\max} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 18 \cdot 10}{\frac{139 \cdot 10^{-3}}{100} + 2 \cdot 10^{-3}}$$

$$B_{\max} = 67 \text{ mT}$$

$$B_{\max} < B_{\text{sat}} \rightarrow \text{OK}$$

On peut diminuer l'entrefer pour diminuer les pertes électromagnétiques. On va donc augmenter notre champ magnétique max.

On part avec un entrefer de 1 mm. Et on retrouve comme valeurs :

$$A_L = 500 \text{ nH} ; \mu_e = 150 ; l_e = 139 \text{ mm} ; A_e = 368 \text{ mm}^2$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$\underline{\text{A.N.}} : N = \sqrt{\frac{100 \cdot 10^{-6}}{500 \cdot 10^{-9}}}$$

$$N \approx 14,14$$

$$N = 14 \text{ spires}$$

$$B_{\max} = B_{\text{DC}} + B_{\text{AC}}$$

$$B_{\max} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_{\text{DC}}}{\frac{l_e}{\mu_e} + \text{Airgap}} + 0$$

$$B_{\max} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 14 \cdot 10}{\frac{139 \cdot 10^{-3}}{150} + 1 \cdot 10^{-3}}$$

$$B_{\max} = 91 \text{ mT}$$

$$B_{\max} < B_{\text{sat}} \rightarrow \text{OK}$$

Conclusion choix de l'inductance :

Symbole	Paramètre	Valeur	Unité
	Type du noyau	ETD59	
	Matériau	3C90/N87	
L	Inductance	100	μH
N	Nombre de spires	14	
Air gap	Entrefer	1	mm
A _L	Coefficient d'inductance	500	nH
l _e	Longueur effective	139	mm
μ _e	Perméabilité effective	150	
A _e	Section effective	368	mm ²
B _{max}	Champ magnétique max	91	mT

Dimensionnement inductance ETD59

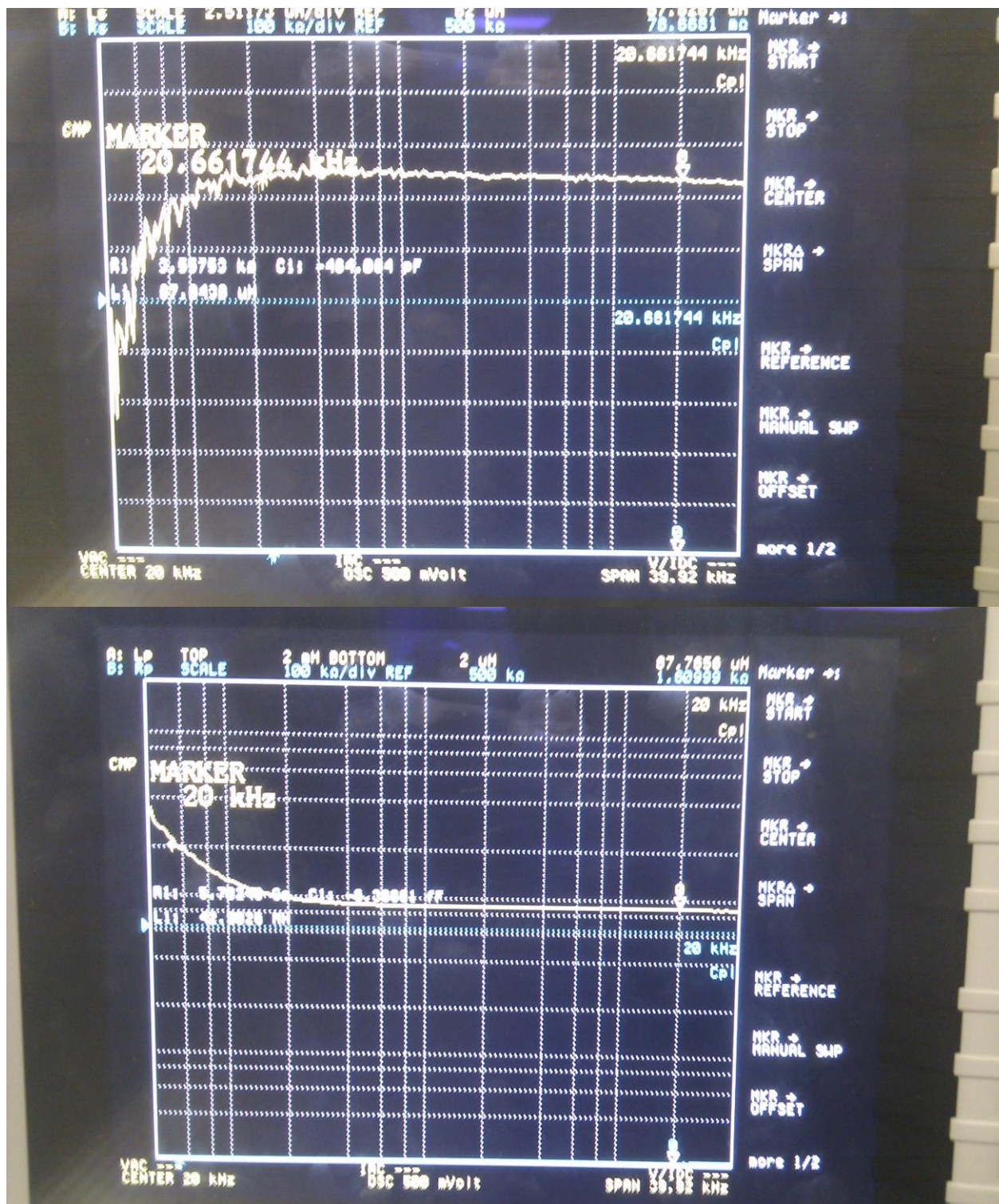


Image 31 - Inductance mesurée à l'analyseur d'impédance

Résumé

Nous sommes deux étudiants en 5^{ème} et dernière année à Polytech'Tours, département DEE : Antoine CASSAGNE et Jérémy COCAUD. Dans le cadre de nos études, nous avons eu à effectuer un projet de fin d'étude afin de valider notre dernière année à Polytech'Tours.

Ce projet s'est déroulé du 12 Octobre 2011 au 24 Février 2012, au sein de l'école Polytech'Tours. Nous avons eu l'opportunité de travailler un projet qui nous intéresse en rapport avec le club Polytech' Eco Marathon étant d'anciens membres du club.

Notre principal objectif fut de concevoir un système de conversion DC/DC pour le futur prototype à hydrogène du club Polytech' Eco-Marathon afin de pouvoir participer à la compétition Éco-Marathon Shell 2012. Nous avons donc la tâche de réaliser les simulations du nouveau convertisseur et de réaliser la future carte électronique. Notre enseignant encadrant a été Mr Ambroise SCHELLMANNNS, enseignant-chercheur à Polytech'Tours.

À travers ce rapport, nous allons présenter en partie la compétition Éco-Marathon Shell, le club Polytech' Eco Marathon et vous décrire notre travail effectué lors de notre projet de fin d'étude.

Mots clés : Hacheur série, Hydrogène, Pile à combustible, Typon, Carte électronique.

Abstract

We are two students in fifth and last year of Polytech'Tours, Electronic and Systems of Electric Energy department : Antoine CASSAGNE and Jérémy COCAUD. In the context of our studies, we have done a graduation project to validate our last year's study in Polytech'Tours.

Our project lasted from October 12th, 2011 to February 24th, 2012 in Polytech'Tours. We have had the opportunity to work on a project which we interest relevant to the Polytech' Eco Marathon club, where we were former members.

Our main project was to conceive a conversion system DC/DC for the future hydrogen prototype of Polytech' Eco Marathon club to be able to participate the Shell Eco-Marathon competition 2012. Consequently, we had the job to realize the simulation of the new converter and to fabricate his electronic card. Our project was carried out with Mr Ambroise SCHELLMANNNS, professor researcher from Polytech'Tours.

Through this report, we will present you partially the competition Shell Eco-Marathon, Polytech' Eco Marathon club and describe you our work carried out during our graduation project.

Key words : Buck converter, Hydrogen, Fuel cell, Print circuit board, Electronic card.

Antoine CASSAGNE et Jérémy COCAUD, 5ADEE.