

Université François-Rabelais de Tours

Institut Universitaire de Technologie de Tours

Département Génie Électrique et Informatique Industrielle

UNIVERSITE FRANCOIS-RABELAIS

TOURS



Institut Universitaire de Technologie

Département
GENIE ELECTRIQUE ET
INFORMATIQUE INDUSTRIELLE



Axel BONTEMPS, Quentin CLEMENT, Thomas CANOY

2^{ème} Année - Q2

2007/2009

Enseignants

Jérôme BILLOUÉ

Sophie ROTHÉ

Université François-Rabelais de Tours

Institut Universitaire de Technologie de Tours

Département Génie Électrique et Informatique Industrielle

UNIVERSITE FRANCOIS-RABELAIS

TOURS



Institut Universitaire de Technologie

Département
GENIE ELECTRIQUE ET
INFORMATIQUE INDUSTRIELLE



Axel BONTEMPS, Quentin CLEMENT, Thomas CANOY

2^{ème} Année - Q2

2007/2009

Enseignants

Jérôme BILLOUÉ

Sophie ROTHÉ

Sommaire

Introduction.....	4
1. Présentation du projet.....	5
1.1. Fonctionnement global du kart.....	5
1.2. Cahier des charges.....	5
1.3. Recherche d'informations.....	7
2. Analyse technique du projet.....	8
2.1. Les moteurs.....	8
2.2. L'alimentation.....	9
2.3. Le hacheur.....	9
2.4. Le hacheur quatre quadrants.....	10
2.5. Les transistors.....	15
2.6. Le dissipateur.....	16
2.7. Module de stockage de l'énergie.....	17
2.8. Le capteur de courant.....	18
3. Conception de la maquette d'essai.....	19
3.1. Le correcteur P.I. (Proportionnel et intégral).....	19
3.1.1. Principe de fonctionnement.....	19
3.1.2. La carte correcteur PI.....	20
3.2. Le M.L.I. (Modulation de Largeur d'Impulsion) à rapport cyclique variable.....	21
3.2.1. Principe de fonctionnement.....	21
3.2.2. La carte MLI.....	24
3.3. Le driver.....	26
3.3.1. Principe de fonctionnement.....	26
3.3.2. La carte driver.....	26
4. Amélioration des cartes pour notre projet.....	28
4.1. Modification des cartes.....	28
4.2. Schémas des cartes finales.....	29
4.2.1. La carte MLI.....	29
4.2.2. La carte driver.....	30
Conclusion.....	32
Index des illustrations.....	33
Bibliographie.....	34

Introduction

En deuxième année de DUT GEII, nous devons, dans le cadre du projet d'étude et réalisation du troisième semestre, analyser, concevoir et/ou améliorer un système. Nous avons choisi l'étude et la réalisation d'un double hacheur quatre quadrants. Ce projet aura pour finalité d'être intégré au kart biplace, projet en association avec celui d'un élève réalisant une commande par joystick pour personne à mobilité réduite.

Ce projet nous permettra de mettre en pratique nos connaissances acquises jusqu'ici, de nous familiariser avec les méthodes de conceptions employées dans l'industrie et de nous permettre de développer à la fois une autonomie et un travail en équipe.

L'objectif de notre projet est, à partir d'un signal fournit par un microcontrôleur, de commander les deux moteurs à courant continu (MCC).

Pour effectuer cette mission, nous avons à notre disposition douze séances de travaux pratiques d'étude et réalisation sous la tutelle d'un enseignant.

Nous avons, dans un premier temps, réalisé des recherches sur le hacheur, puis nous avons décrit un cahier des charges pour situer les objectifs et les contraintes de notre système. Dans un second temps, nous avons réalisé une maquette munie d'une MCC basse puissance dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du hacheur. Pour cela nous avons découpé chaque fonction composant le système, puis nous les avons réalisées en s'appuyant sur nos connaissances déjà acquises l'année précédente pendant l'étude et réalisation. Pour finir nous avons adapté nos montages pour obtenir le hacheur quatre quadrants répondant aux critères du cahier des charges.

1. Présentation du projet

1.1. Fonctionnement global du kart

Notre projet correspond au « cœur » du kart électrique, il s'agit du variateur de vitesse. Lorsque le conducteur actionne le joystick, le microcontrôleur nous envoie un signal représentant le sens et la vitesse qu'il désire. La vitesse des moteurs doit varier en fonction de ce signal et pour un fonctionnement optimal nous devons réaliser un asservissement en courant afin de compenser les perturbations influençant notre système.

Pour mener à bien notre projet nous devons définir les fonctions, les impératifs et les limites du système à concevoir. Nous avons donc établi un cahier des charges.

1.2. Cahier des charges

Notre projet a pour finalité la réalisation d'un double hacheur quatre quadrants qui devra être adapté au kart biplace équipé de deux moteurs de type machine à courant continu (MCC) alimentés en 48 V / 200 A. Nous avons, afin de réaliser au mieux ce projet, imposé des contraintes sur la conception du système.

Listes des contraintes :

- Le système doit être adaptable au kart biplace et au projet joystick d'un autre étudiant qui nous fournit une tension de consigne +5 V / -5 V.
- L'alimentation du système se fera par 4 batteries plomb OPTIMA jaune 12 V / 48 A.H. Il faudra tenir compte des variations de tension de celles-ci. Les composants présents sur la carte sont eux alimentés en $\pm 15V$, il sera donc nécessaire de faire une conversion 48V/ $\pm 15V$.
- Le rendement des hacheurs doit être supérieur à 90 %.
- Le hacheur doit être régulé en courant, afin d'assurer plus de protection.
- Le pont en H est constitué de transistors de puissance et doit tenir sur un dissipateur de type RAWA 243-1 de dimension 150 x 300 mm.
- Afin de rendre le montage moins audible et optimiser la taille des composants de filtrage, le hacheur devra fonctionner à une fréquence de 20 kHz.
- Le système doit assurer la protection contre la réversion intempestive de la rotation des moteurs.
- Les deux cartes électroniques doivent résister aux multiples vibrations engendrées par le kart.
- Le système doit répondre à la norme IP 21.

Toutes ces contraintes nous ont permis d'élaborer le schéma fonctionnel de la carte :

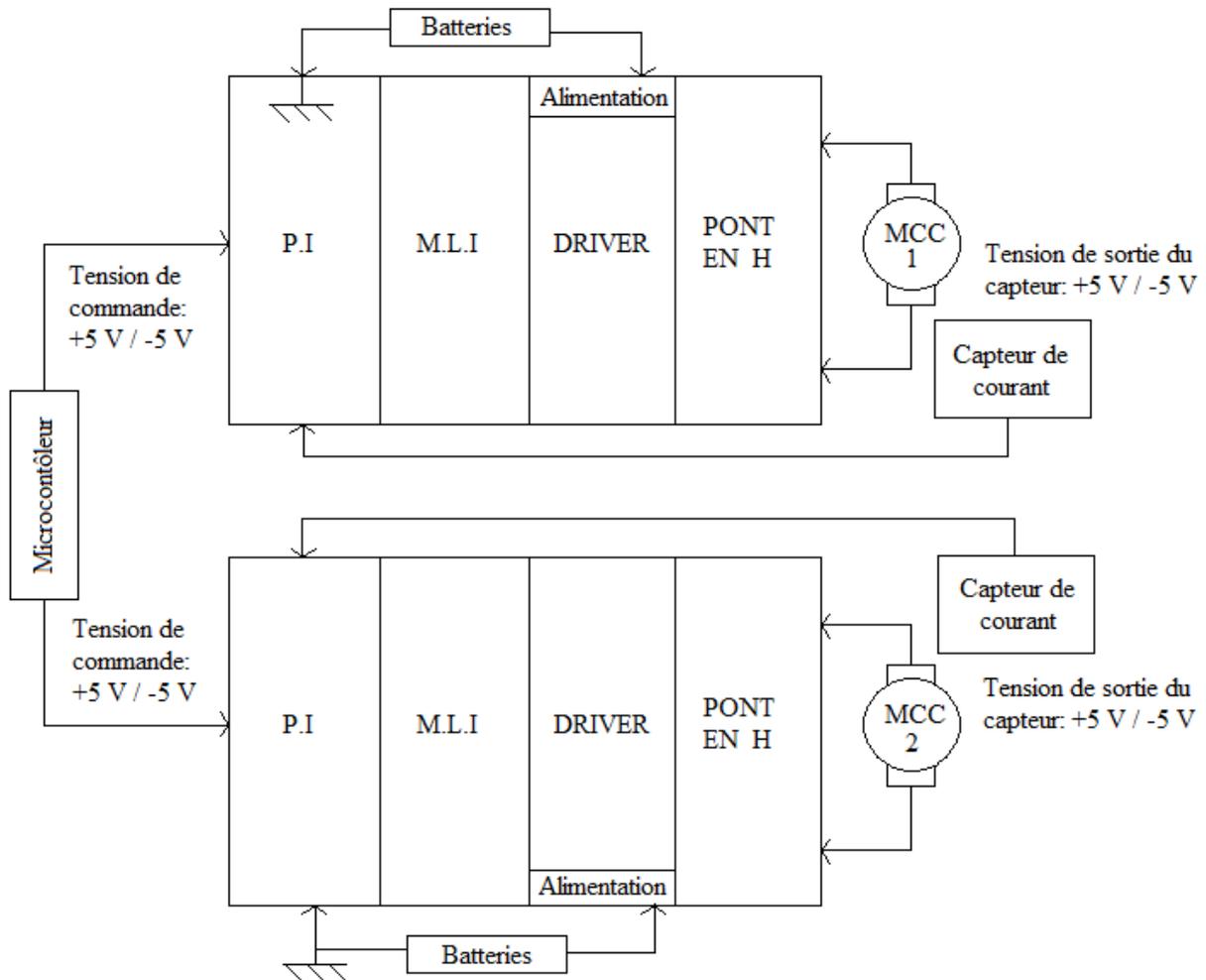


Illustration 1 : Schéma fonctionnel.

Le cahier des charges étant constitué, nous avons réalisé des recherches afin de mieux comprendre le fonctionnement des hacheurs et ainsi aboutir à l'élaboration de solutions techniques permettant la réalisation des différentes fonctions constituant notre projet. Celui-ci est composé d'un générateur M.L.I à rapport cyclique variable, d'un correcteur proportionnel et intégral (P.I) et d'un driver pour commander le pont en H (le pont en H est constitué de 4 transistors de puissance de type MOSFET).

1.3. Recherche d'informations

Dans un premier temps la recherche s'est orientée sur la base de données de M. LEQUEU, étant donné que celui-ci est à l'origine de notre projet. Nous avons trouvé plusieurs liens portant sur les recherches des étudiants des années précédentes sur des projets annexes¹.

Dans un second temps, nous avons recherché les solutions électroniques correspondant aux différentes étapes du traitement du signal de commande en vue de réaliser notre maquette.

Pour finir, afin de correctement répondre aux attentes du cahier des charges nous avons recherché les améliorations à apporter à la maquette pour obtenir le système final répondant au cahier des charges.

A partir des recherches, nous avons listé les différents composants qui sont présents au sein du projet.

¹ La liste des projets mentionnés est présente sur le site de Thierry LEQUEU à l'adresse internet suivante : <http://www.thierry-lequeu.fr/data/DATA337.HTM>

2. Analyse technique du projet

2.1. Les moteurs

Le kart biplace est équipé de deux moteurs à courant continu. Ceux-ci sont extraits du catalogue Briggs et Stratton's (référence: 695001).



LEM - 200 Model

Illustration 2 : Photo du moteur Lynch. [1]

Caractéristiques principales des moteurs :

- Tension nominale : 48 Volts
- Courant nominal : 200 A (400 A maximum par pic)
- Vitesse nominale à vide : 2592 tr/min
- Puissance nominale : 8550W
- Couple nominal : 18N.m (30 N.m maximum)

2.2. L'alimentation

Le kart est alimenté par 4 batteries de 12V / 48 A.H au plomb OPTIMA jaune.



Illustration 3 : Batterie 12 V / 48 A.H,
Optima jaune. [2]

Nous pourrons ainsi obtenir une alimentation continue de 48V (en réalité nous pouvons observer une variation allant de 44 V à 60 V) pour alimenter les moteurs qui fonctionnent à cette tension.

2.3. Le hacheur

Nous utiliserons un hacheur de type BUCK, celui-ci est un hacheur abaisseur permettant par l'intermédiaire de l'inductance L_s de fournir une tension moyenne variable.

Il sera donc impossible d'obtenir une tension de sortie supérieure à la tension d'entrée. La tension de sortie alimentant le moteur sera variable entre 0 et 48V en théorie (cela dépendra de la tension maximale des batteries). La variation dépendra du rapport cyclique de la commande des transistors MOSFET, soit la relation $V_s = V_e * \alpha$.

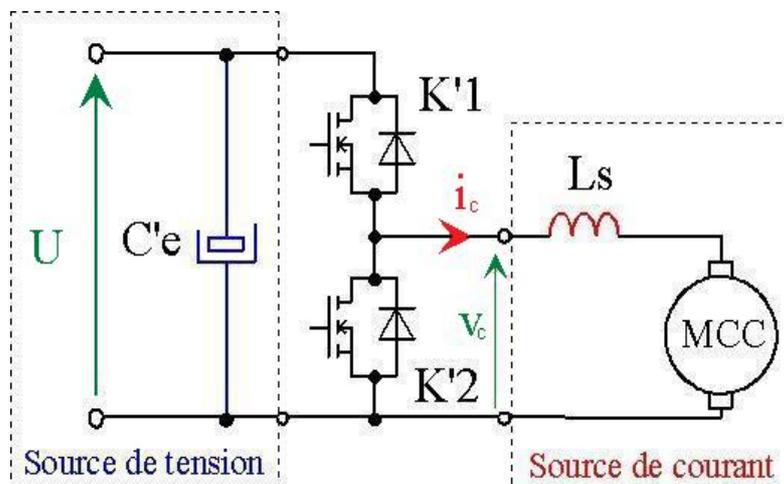


Illustration 4 : Schéma du hacheur réversible en courant de
type BUCK. [2]

2.4. Le hacheur quatre quadrants

Le hacheur quatre quadrants est composé de deux bras possédant chacun deux transistors montés en antiparallèles avec des diodes, le tout compose un pont appelé pont en H.

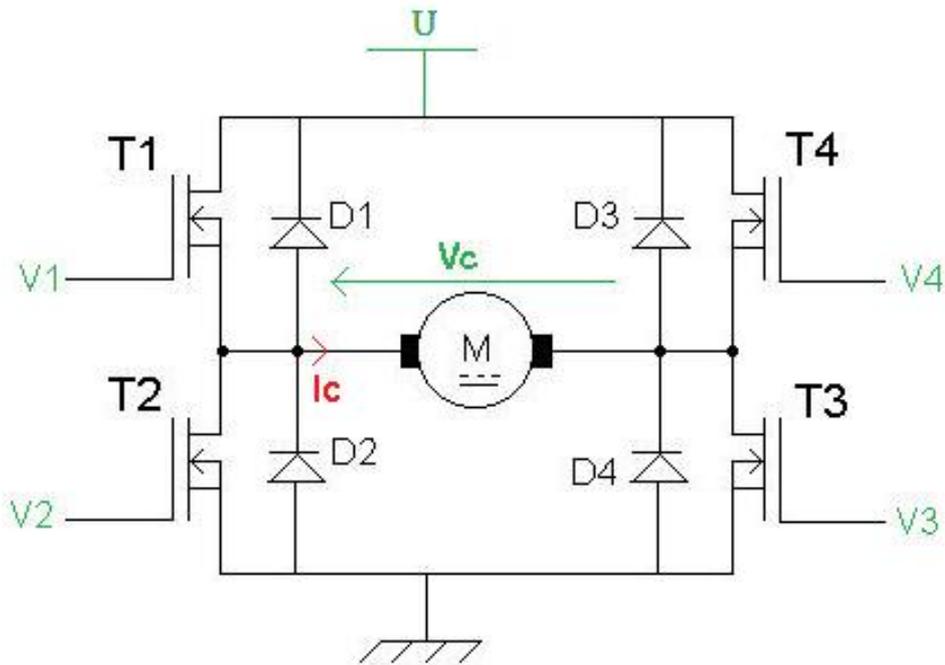


Illustration 5 : Schéma de la structure du pont en H avec la MCC. [3]

Ce montage en pont joue, vis-à-vis de la machine à courant continu, le rôle d'une source de tension variable réversible en tension et en courant. Il permet ainsi le fonctionnement dans les quatre quadrants.

Nous savons d'après les cours d'électrotechnique que :

- la vitesse N est proportionnelle à la force électromotrice F_{em} .
- Le couple électromagnétique C_e est proportionnel au courant I .

Nous pouvons donc définir dans un plan couple-vitesse quatre quadrants de fonctionnement.

Trajet du point de fonctionnement :

Nous étudierons le cycle suivant nous permettant :

- de travailler dans les deux sens de rotation
- d'obtenir une transition rapide d'un sens à l'autre

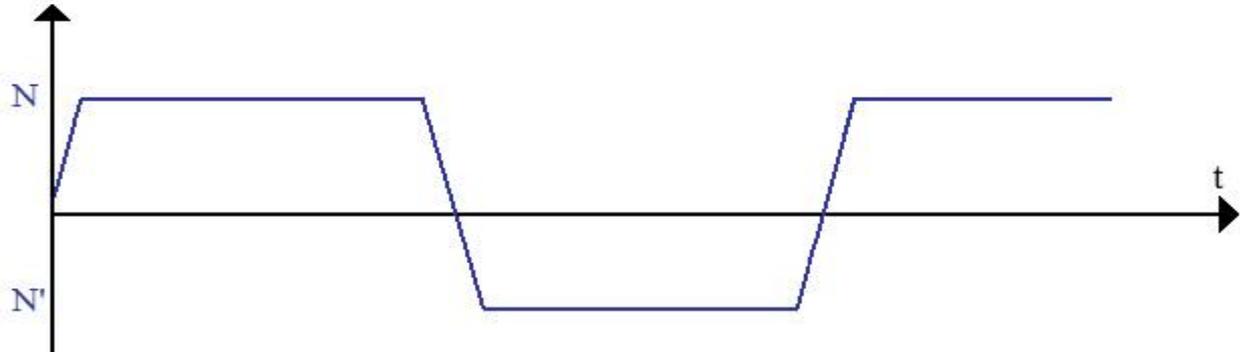


Illustration 6 : Exemple de cycle de rotation du moteur.

Nous obtenons alors le trajet du point de fonctionnement :

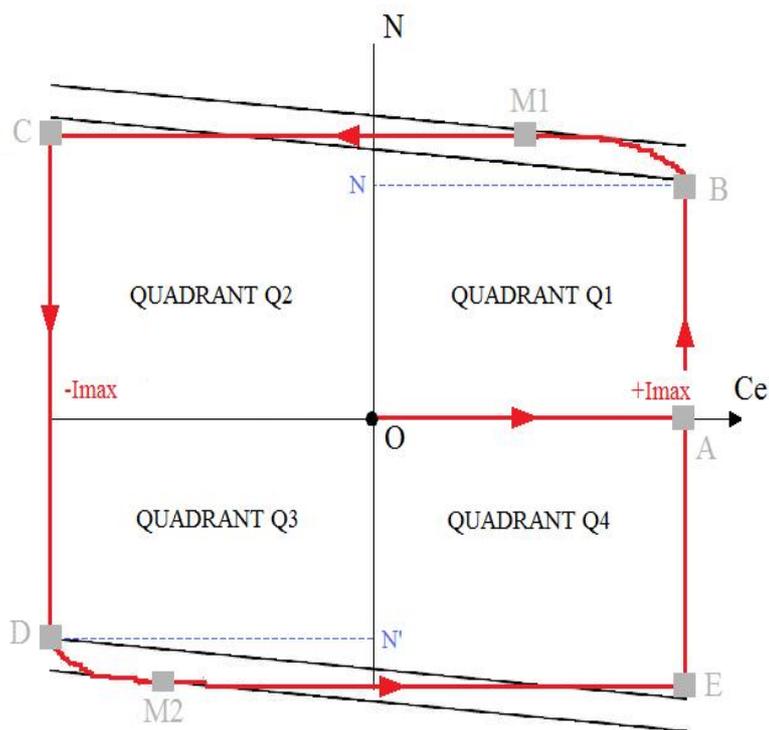


Illustration 7 : Diagramme de l'évolution du point de fonctionnement dans les 4 quadrants. [4]

Le point de fonctionnement est le point dont les coordonnées sont données par la vitesse du moteur en fonction du couple électromagnétique. Nous avons ainsi en ordonnée la vitesse exprimée en tours/min et en abscisse le couple électromagnétique exprimé en N.m.

Nous allons maintenant analyser les différentes phases de ce trajet :

- Phase A→B :

Lors de cette phase, la vitesse N augmente et le régulateur de courant règle α (rapport cyclique) pour maintenir I (courant dans les moteurs) à I_{MAX} . Lorsque le point de fonctionnement est au point B soit à la vitesse N , le système de commande commute sur le régulateur de vitesse étant donné que l'écart de réglage de la vitesse est faible.

- Phase B→M1 :

Le régulateur de vitesse règle α pour que le point de fonctionnement atteigne M1, une fois celui-ci atteint le régulateur stabilise le système à vitesse constante.

- Phase M1→C :

Au cours de cette phase la tension est brutalement abaissée par inversion du courant I (celui-ci passe de $+I_{MAX}$ à $-I_{MAX}$). Cette étape permet l'inversion rapide du couple, permettant une forte décélération.

- Phase C→D :

Nous souhaitons atteindre la vitesse N' . Pour cela, la tension V_c est diminuée tout en gardant le courant à $-I_{MAX}$.

- Phase D→M2 :

Le régulateur de vitesse règle α pour que le point de fonctionnement atteigne M2 et stabilise la vitesse de celui-ci. (Idem phase B→M1).

- Phase M2→E :

Au cours de cette phase, la tension est brutalement augmentée par inversion du courant I (celui-ci passe de $-I_{MAX}$ à $+I_{MAX}$). Cette étape permet l'inversion rapide du couple, permettant une forte accélération.

Nous obtenons pour les quatre quadrants du hacheur la forme d'onde suivante ($E=U$ =tension des batteries) :

Forme d'onde :

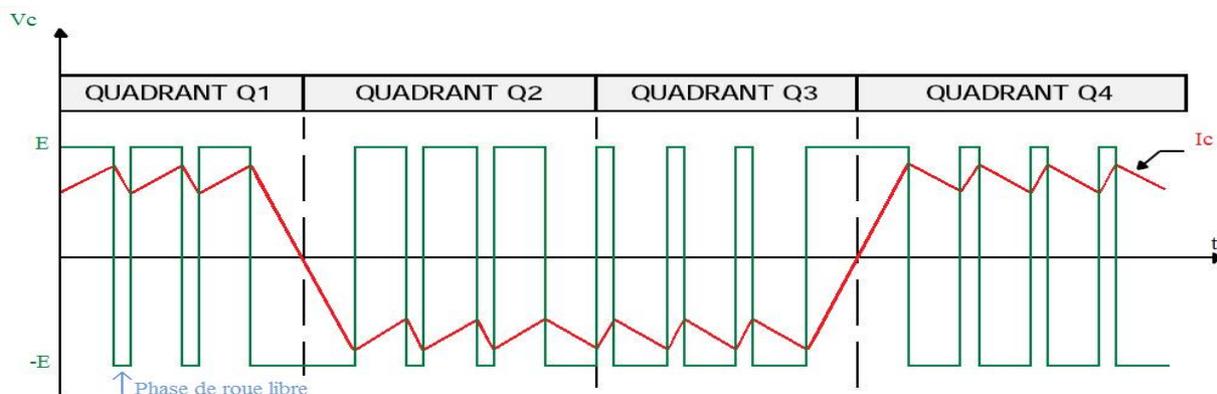


Illustration 8 : Forme d'onde issue du système. [4]

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce hacheur, nous avons détaillé chaque quadrant par un schéma.

Schémas des différents cadrans :

- Quadrant Q1 :

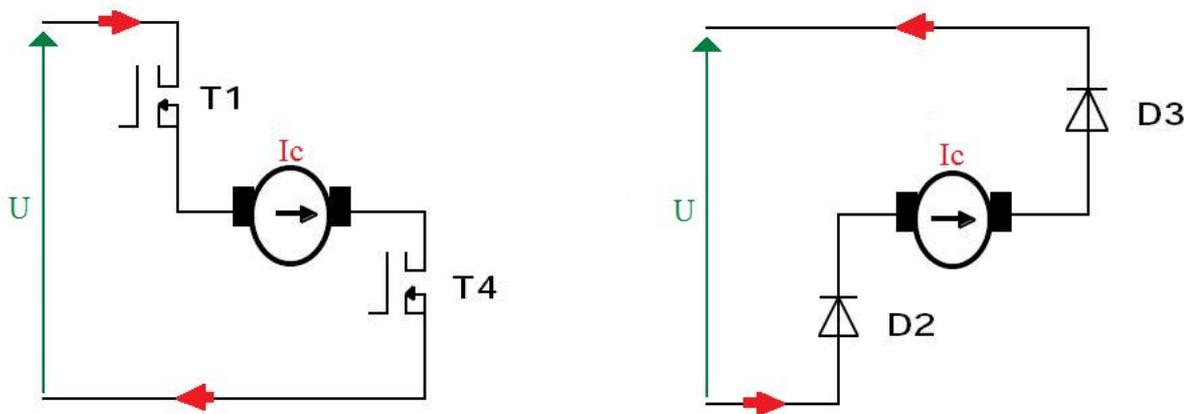


Illustration 9 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 1. [4]

Nous observons que ce quadrant fonctionne en régime moteur. Les transistors T1 et T4 reçoivent sur leur grille la commande de commutation du driver. Le courant tend vers $+I_{MAX}$ et se stabilise. Nous augmentons la tension V_c jusqu'à obtenir $+U$. La vitesse augmente pour atteindre le point de fonctionnement M1. Le moteur tourne alors en marche avant.

- Quadrant Q2 :

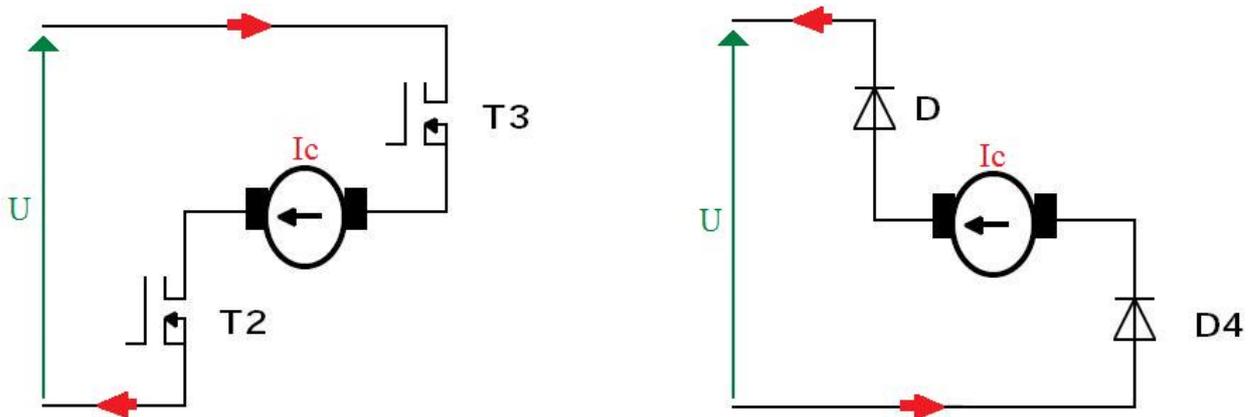


Illustration 10 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 2. [4]

Nous constatons que ce quadrant fonctionne en régime générateur. Les transistors T2 et T3 reçoivent sur leur grille la commande de commutation du driver. Le courant tend vers $-I_{MAX}$. La vitesse reste stable mais le couple change brutalement. Le moteur tourne toujours en marche avant.

- Quadrant Q3 :

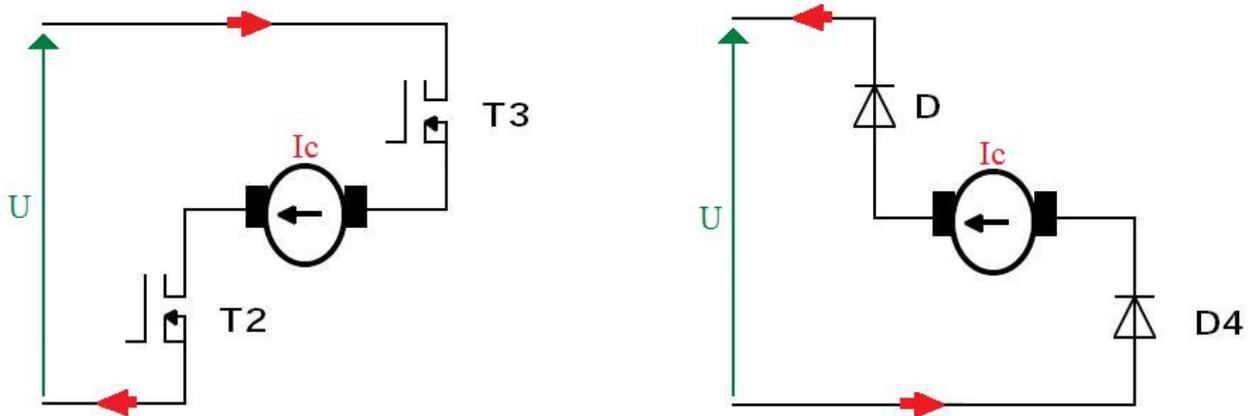


Illustration 11 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 3. [4]

Nous observons que ce quadrant fonctionne en régime générateur. Les transistors T2 et T3 reçoivent toujours sur leur grille la commande du driver. Le courant reste stable à la valeur $-I_{MAX}$. La tension V_c est diminuée jusqu'à obtenir $-U$. La vitesse augmente (dans les négatifs) pour atteindre le point de fonctionnement M2. Le moteur tourne alors en marche arrière.

- Quadrant Q4 :

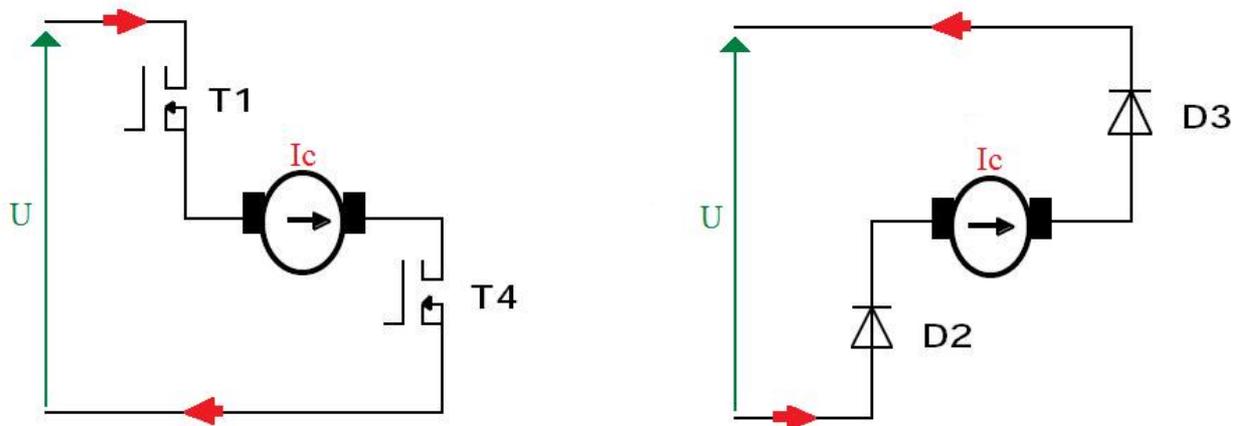


Illustration 12 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 4. [4]

Nous constatons que ce quadrant fonctionne en régime générateur. Les transistors T1 et T4 reçoivent sur leur grille la commande du driver. Le courant tend vers $+I_{MAX}$. La vitesse reste stable mais le couple change brutalement. Le moteur tourne toujours en marche arrière.

Après l'analyse de ce hacheur, nous devons étudier le type de transistor correspondant au fonctionnement recherché.

2.5. Les transistors

Le choix des transistors doit correspondre aux exigences du système. Le choix s'est donc porté sur un transistor de puissance de type MOSFET. Les transistors devront résister à certaines contraintes :

La contrainte en tension :

La tension que doit tenir le transistor M.O.S est la tension d'entrée maximale à savoir : $U_{MAX}=60V$. Afin de ne prendre de risque, nous prenons une marge de 50%, ce qui donne 90V.

Les transistors doivent supporter des tensions pouvant aller jusqu'à 90 V.

Les contraintes en courant :

La première contrainte sur le courant sera la valeur du courant maximal par pic que devra supporter le transistor M.O.S. :

$$I_{DM} = 400 \text{ A}$$

La deuxième contrainte est la valeur du courant moyen maximal qui passera dans le transistor :

$$I_D = 215 \text{ A}$$

Ces contraintes définies nous ont amenées à orienter notre choix sur le transistor APTM10AM02F de la marque Advanced Power Technology.

Ce transistor répond aux attentes fixées, de plus celui-ci présente l'avantage de posséder deux transistors dans un seul composant.

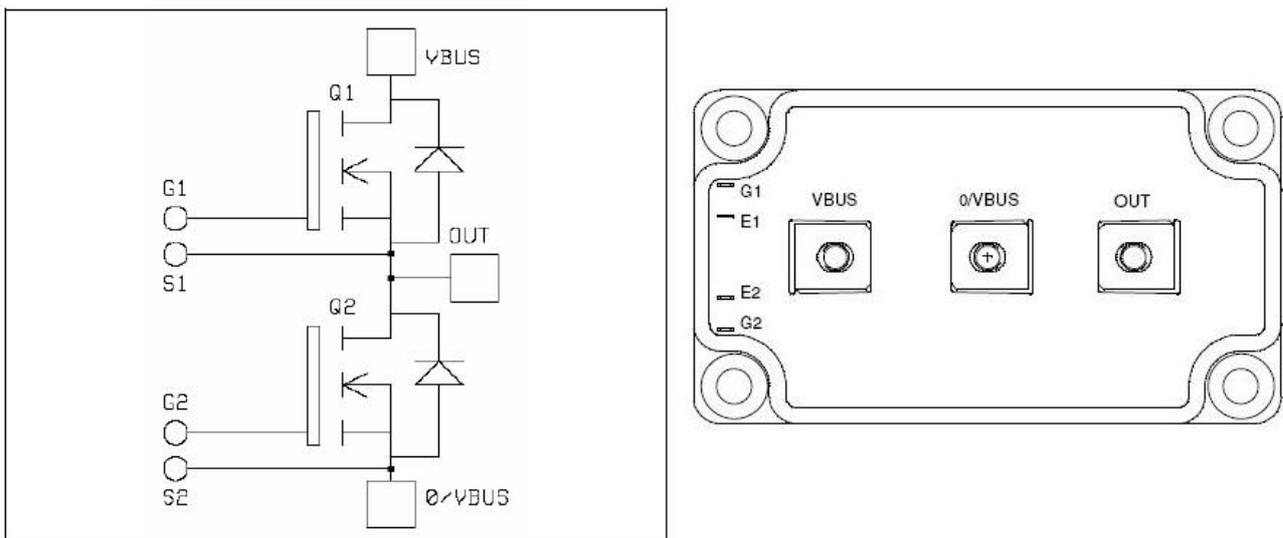


Illustration 13 : Schémas du transistor (à droite, la vue extérieure et à gauche, la composition interne d'un boîtier). [2]

Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Max ratings	Unit
V_{DSS}	Drain - Source Breakdown Voltage	100	V
I_D	Continuous Drain Current	$T_c = 25^\circ\text{C}$	495
		$T_c = 80^\circ\text{C}$	370
I_{DM}	Pulsed Drain current	1900	A
V_{GS}	Gate - Source Voltage	± 30	V
$R_{DS(on)}$	Drain - Source ON Resistance	2.25	m Ω
P_D	Maximum Power Dissipation	$T_c = 25^\circ\text{C}$	1250
I_{AR}	Avalanche current (repetitive and non repetitive)	100	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy	50	mJ
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy	3000	

Illustration 14 : Caractéristiques du transistor APTM10AM02F. [2]

Ce transistor étant choisi, nous avons dû les protéger de la température, car ils conduisent de la puissance et ils génèrent de la chaleur. Or il faut évacuer la chaleur pour ne pas détériorer les composants. Nous avons donc prévu un dissipateur.

2.6. Le dissipateur

Le dissipateur du pont en H sera constitué par un RAWA 243-1 de 150x300mm².

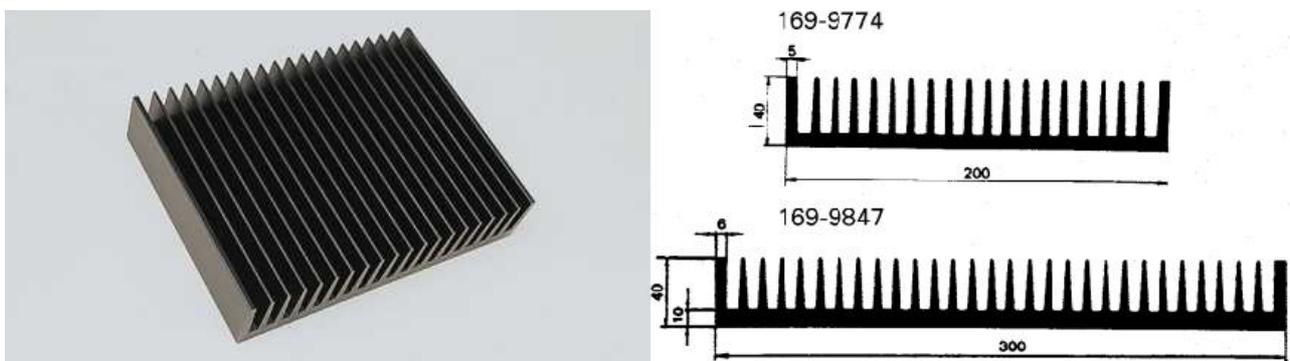


Illustration 15 : Photo du dissipateur (à gauche) et schémas du dimensionnement (à droite). [2]

Malheureusement, pour des raisons de temps, nous n'avons pu réaliser les calculs de cette partie.

Néanmoins le choix de ce dissipateur a été réalisé par M. Thierry LEQUEU.

2 Voir annexe 3 : documentation du dissipateur.

2.7. Module de stockage de l'énergie

Le module de stockage de l'énergie consiste en un condensateur électrolytique en aluminium placé en parallèle avec le hacheur.

Avantages :

Il stocke l'énergie pendant les phases de décélération et de freinage.

Évite le renvoi de l'énergie directement dans les batteries.

Il présente une structure simple composée uniquement de condensateur.

Inconvénients :

Le principal inconvénient est la production de surintensités importantes pour les diodes. En effet, le courant de pointe dans les diodes est très supérieur au courant moyen. En conséquence, il faut choisir des diodes pouvant supporter des courants de pointes élevés.

Dimensionnement :

Pour choisir un condensateur, il faut déterminer sa capacité et sa tension nominale.

Pour la tension, nous avons pris une marge de sécurité de 60 % soit $48 + 28,8 \cong 77$ V.

Détermination de la capacité :

Extrait du cahier des charges :

- Tension secondaire : $54 \text{ V} \pm 5 \%$.
- Tension continue : 60 V.
- Faible résistance série (E.S.R).
- Encombrement : hauteur minimale.
- Précision condensateur : $\pm 20 \%$.

2.8. Le capteur de courant

Afin de réaliser l'asservissement en courant (courant moteur), nous utiliserons un capteur de courant.

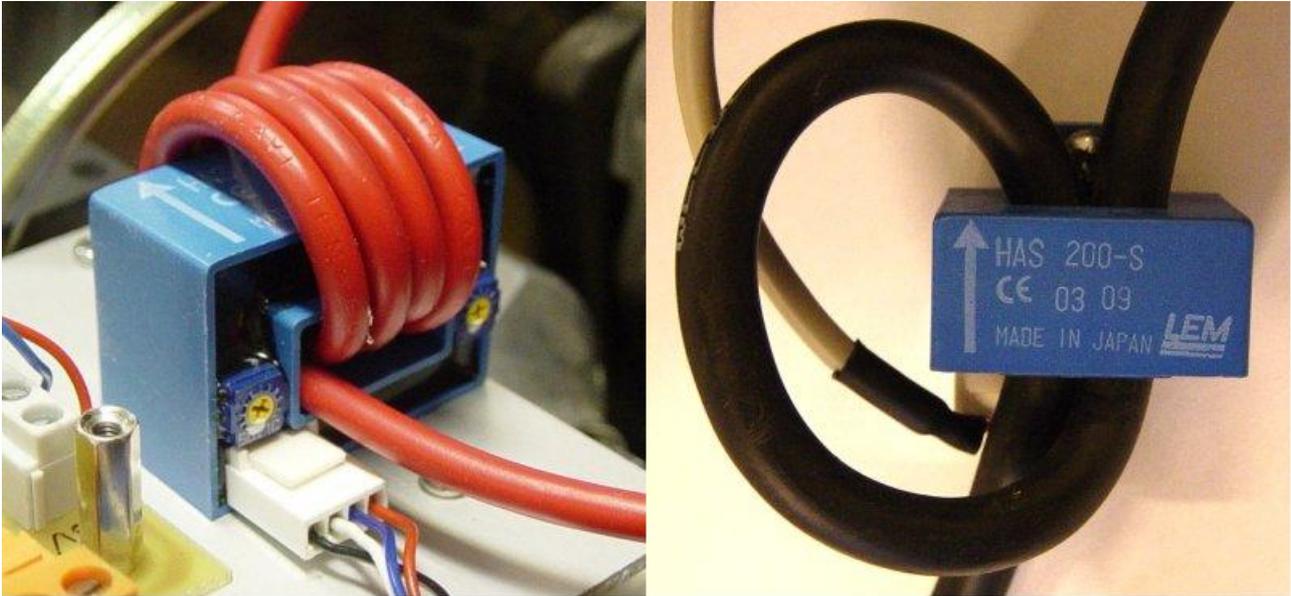


Illustration 16 : Photos du capteur de courant. [2]

Comme le montre les photos de l'illustration 16, nous insérons un câble d'alimentation du moteur dans le capteur. Dans notre cas un seul passage sera nécessaire.

Une fois alimenté le capteur va en fonction du courant qui passe dans le câble fournir une tension de sortie que nous allons acheminer vers le correcteur PI. Cet appareil utilise le principe de l'effet Hall³ pour la mesure.

Nous choisissons le composants HAS 200-S car il a pour caractéristiques⁴ :

- d'être composé d'une isolation galvanique entre le circuit primaire et secondaire
- de supporter un courant I_{rms} nominal de 200 A sur son primaire et des pointes de courant pouvant atteindre ± 600 A.
- Pour un courant de ± 200 A, il fournit en sortie une tension de ± 4 V avec une variation théorique de ± 40 mV (afin d'avoir une correspondance parfaite la tension de sortie du microcontrôleur devra être réajustée).
- L'alimentation de ce capteur consomme ± 15 mA, lors de son fonctionnement.

Le capteur est composé d'une connectique à quatre broches, trois pour l'alimenter (+15 V, -15 V, 0 V), et une pour récupérer la tension de sortie.

³ Voir annexe 5 : définition de l'effet Hall.

⁴ Voir annexe 4 : documentation du capteur de courant.

3. Conception de la maquette d'essai

Dans cette partie nous allons détailler les différentes fonctions qui constituent la base de l'étude de notre projet.

3.1. Le correcteur P.I. (Proportionnel et intégral)

3.1.1. Principe de fonctionnement

Le correcteur PI est la première fonction de notre système. Celui-ci nous permet de réaliser la régulation en courant du moteur. Le correcteur est réalisé à l'aide d'un AOp, néanmoins pour un meilleur fonctionnement nous avons utilisé trois AOp, nous avons choisi d'utiliser un TL084. Ce circuit imprimé à quatorze broches nous permet d'avoir quatre AOp dans un seul composant et ainsi on pourra limiter les connexions entre les AOp. Sur ce TL nous n'utiliserons que trois AOp (le quatrième nous servira de suiveur pour des adaptations d'impédances, si cela est nécessaire).

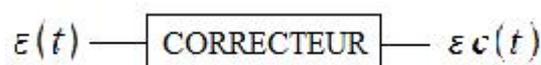
Le premier et le deuxième AOp sont montés en comparateur inverseur (notée AOp1, AOp2), le troisième est monté en intégrateur (notée AOp3).

L'AOp1 réalise la comparaison entre la tension de consigne reçue par la pédale d'accélération (ou le joystick) et une masse flottante. Nous avons choisi d'avoir une masse flottante qui peut à tout moment être supprimée grâce au potentiomètre branché entre +15 V et -15 V. Celui nous permettra de régler les défauts induits par les AOp, ainsi en fonction de la position du curseur du potentiomètre nous pourrons introduire un offset nul (curseur du potentiomètre au milieu) positif ou négatif.

L'AOp2 compare la tension de sortie de L'AOp1 avec la tension issue du capteur de courant du moteur. Grâce à cette opération nous allons pouvoir réaliser la régulation en courant du moteur.

L'AOp3 réalise une action proportionnelle et intégrale de la tension de sortie de l'AOp2 selon la formule suivante :

$$\varepsilon_c(t) = Rr * \varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_i} * \int \varepsilon(t) dt$$



Nous utilisons ce correcteur pour améliorer l'asservissement du système. Il ajoute (grâce à la multiplication de $\varepsilon(t)$ par Rr) un gain statique infini et rend ainsi le système très précis. L'action d'intégration permet d'avoir un système stable (rôle de la formule $(1/\tau_i) * \int \varepsilon(t) dt$). Il ajoute néanmoins une phase négative en basse fréquence qu'il n'ajoute pas en haute fréquence et comme notre système est prévu pour fonctionner à une fréquence de 20 KHz cela nous évitera de détériorer la stabilité de celui-ci.

3.1.2. La carte correcteur PI

Schéma de la carte :

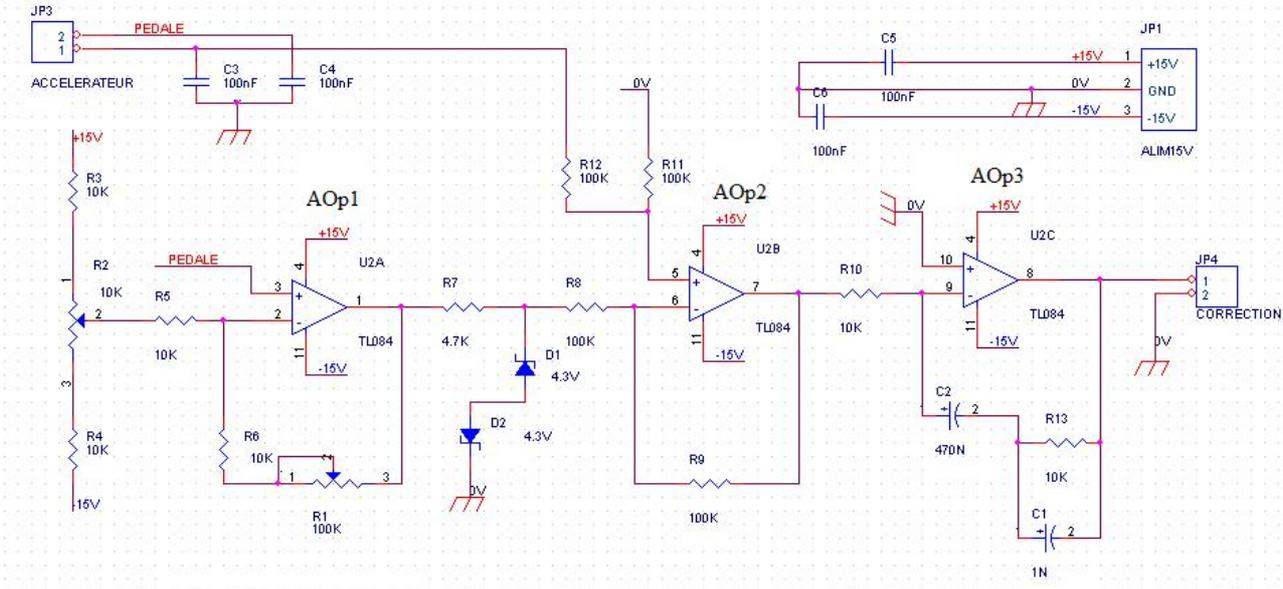


Illustration 17 : Schéma du montage de la carte correcteur PI.

Listes des composants :

Quantité	Nom	Désignation	Valeur
1	C1	Condensateur plastique	1 nF
1	C2	Condensateur plastique	470 nF
4	C3,C4,C5,C6	Condensateur plastique	100 nF
2	D2,D1	Diode	1N4148
1	JP1	Connecteur	Alimentation 15V
1	JP3	Connecteur	Accélérateur
1	JP4	Connecteur	Correction
5	R1,R8,R9,R11,R12	Résistance 1/4 de Watt	100 K Ω
7	R2,R3,R4,R5,R6,R10,R13	Résistance 1/4 de Watt	10 K Ω
1	R7	Résistance 1/4 de Watt	4.7 K Ω
1	U2	Circuit intégré	TL084

Typon de la carte :

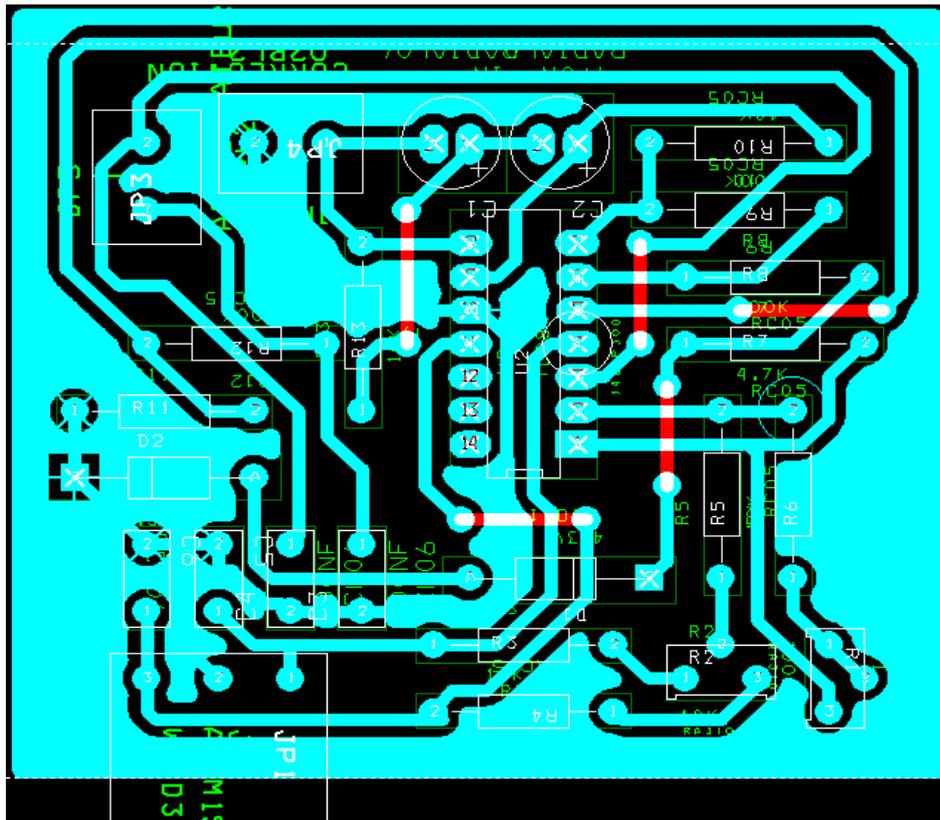


Illustration 18 : Typon de la carte correcteur PI.

3.2. Le M.L.I. (Modulation de Largeur d'Impulsion) à rapport cyclique variable

3.2.1. Principe de fonctionnement

Le MLI est le cœur du fonctionnement de la maquette. C'est lui qui à partir de la tension de consigne issue du correcteur PI va créer le signal qui via les drivers va commander la rotation ou non des moteurs.

Le principe de fonctionnement du MLI est simple. Il suffit de comparer une rampe de tension, créée par la charge et la décharge d'un condensateur soumis à un courant constant, avec une tension constante issue du correcteur PI. Cette comparaison s'effectue à l'aide d'un AOp monté en comparateur. La tension de sortie de cette AOp est un créneau dont le rapport cyclique évolue en fonction de la tension du PI. La tension constante modifie le seuil de basculement de l'AOp.

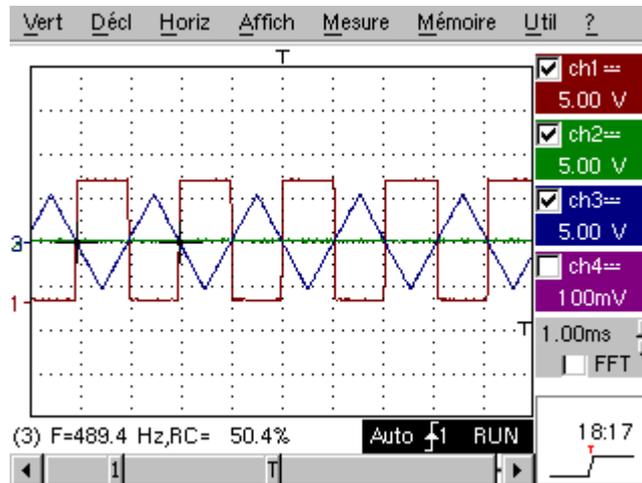


Illustration 19 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de 0 V.

Nous voyons sur ce relevé oscillographique le créneau généré par le MLI en rouge, la rampe en bleu et la tension de consigne en vert⁵.

Nous pouvons voir que pour une tension de consigne nulle le créneau possède un rapport cyclique de 50%.

Lorsque l'on augmente la tension de consigne nous obtenons un rapport cyclique pour le créneau différent.

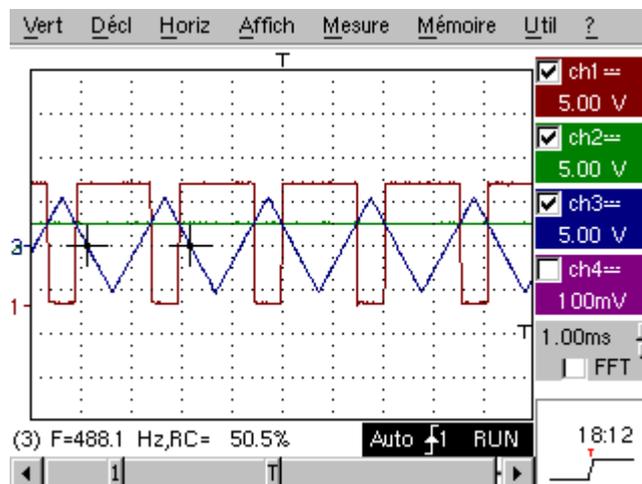


Illustration 20 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +2,5 V.

Pour une tension de consigne de 2,5 Volts le rapport cyclique a augmenté, ceci est dû au fait que l'on compare la rampe au signal continu et que le montage constitué d'un AOp fonctionne en trigger de schmitt. La tension de sortie est soit 0 V soit +15 V dans ce cas.

⁵ Le créneau est positif, nous avons délibérément rabaisé celui-ci pour une meilleure visibilité.

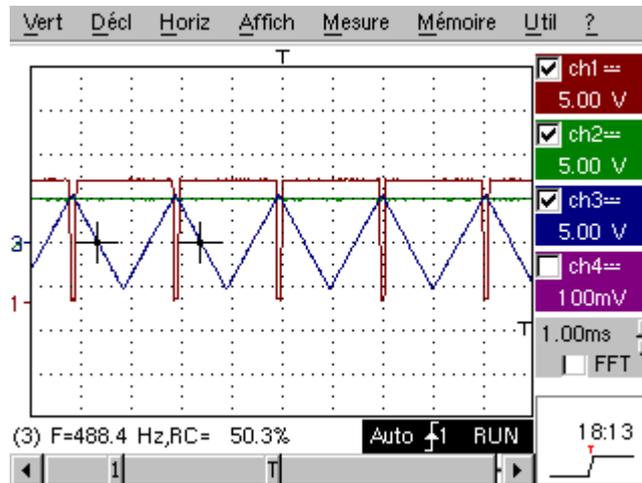


Illustration 21 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +5 V.

Pour une tension de 5 V le rapport cyclique est proche de 100% ce qui se traduit au niveau des moteurs par une vitesse maximale.

Nous avons vu que plus on augmente la tension de consigne plus le rapport cyclique augmente et plus le moteur accélère. Nous pouvons également à l'inverse entrer une tension négative ce qui donnera les effets inverses, c'est-à-dire que plus on baissera la tension de consigne plus le rapport cyclique va baisser et plus les moteurs vont ralentir jusqu'à tourner dans le sens inverse que précédemment lorsque l'on aura en consigne une tension négative.

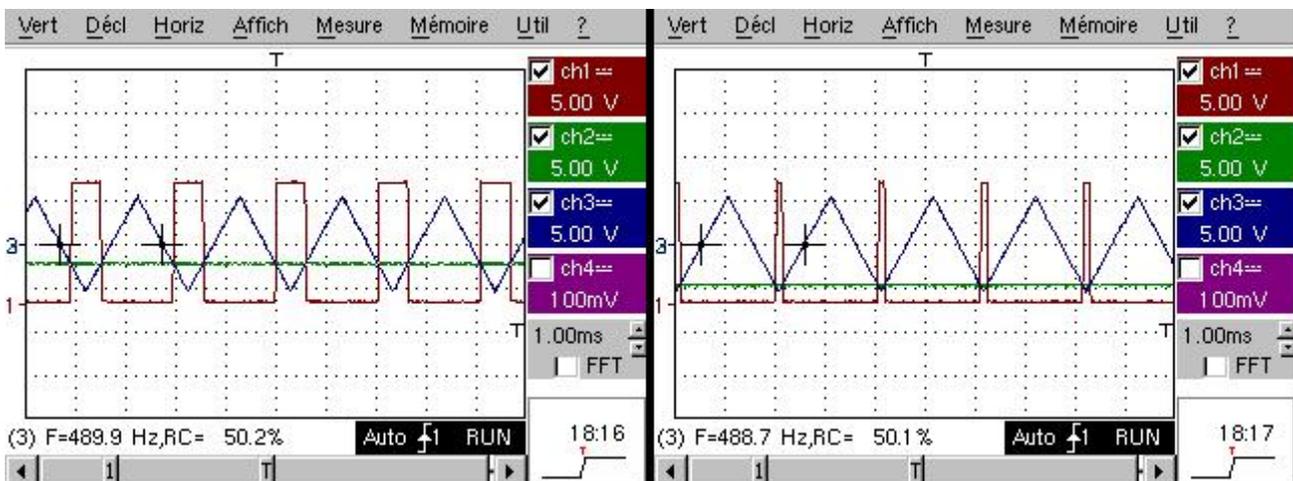


Illustration 22 : Relevé oscillographique pour une tension de commande négative de -2,5 V (à gauche) et -5 V (à droite).

3.2.2. La carte MLI

Schéma de la carte :

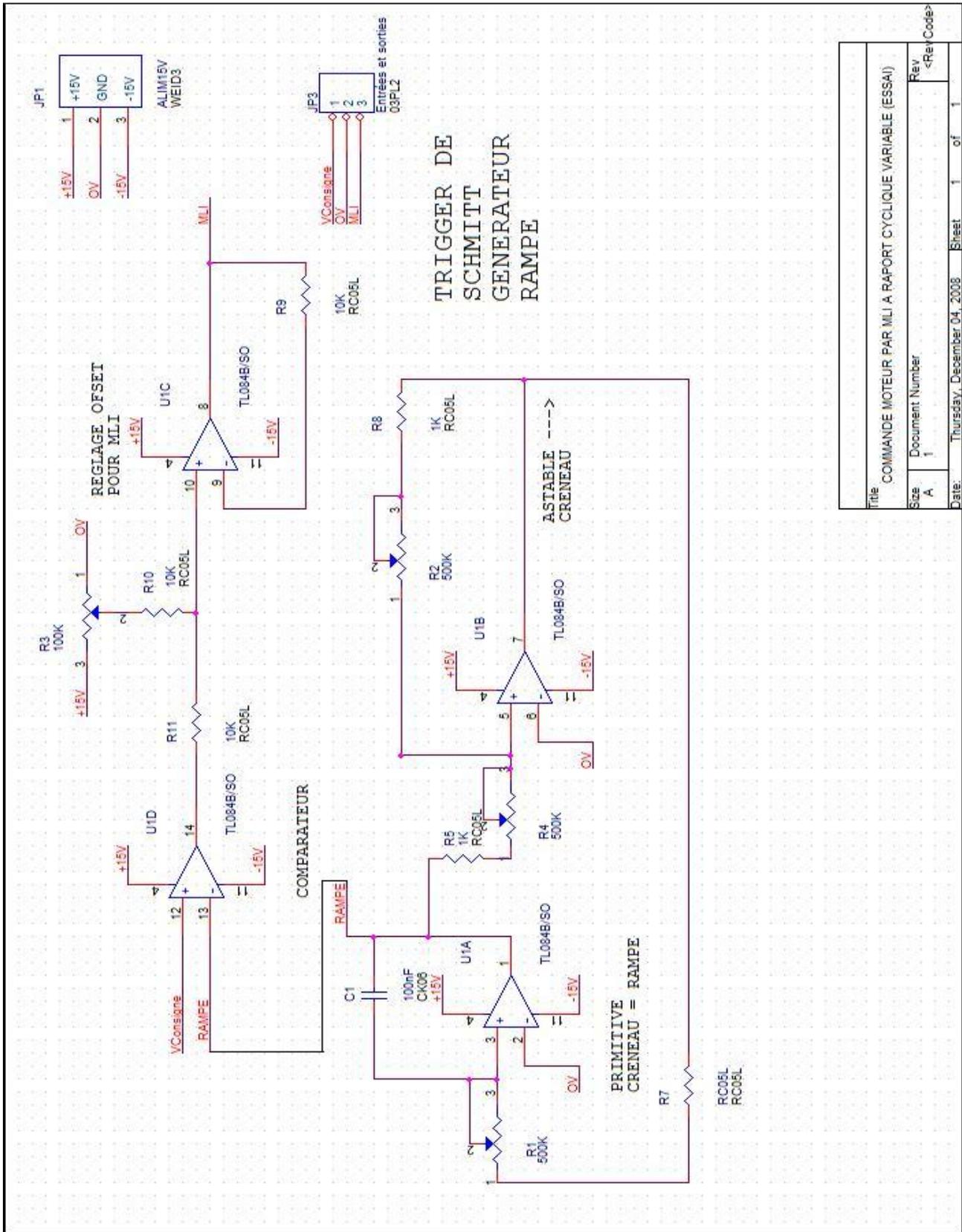


Illustration 23 : Schéma du montage de la carte MLI.

Liste des composants :

Quantité	Nom	Désignation	Valeur
1	JP1	Connecteur	Alimentation 15V
1	JP3	Connecteur	VCommande / MLI
5	R1,R2,R4	Résistance 1/4 de Watt	500 k Ω
1	C1	Condensateur plastique	100 nF
1	R3	Résistance 1/4 de Watt	100 k Ω
2	R5,R8	Résistance 1/4 de Watt	1 k Ω
1	R7	Résistance 1/4 de Watt	1,7 k Ω
3	R9,R10,R11	Résistance 1/4 de Watt	10 k Ω
1	U1	Circuit intégré	TL084B/SO

Typon de la carte :

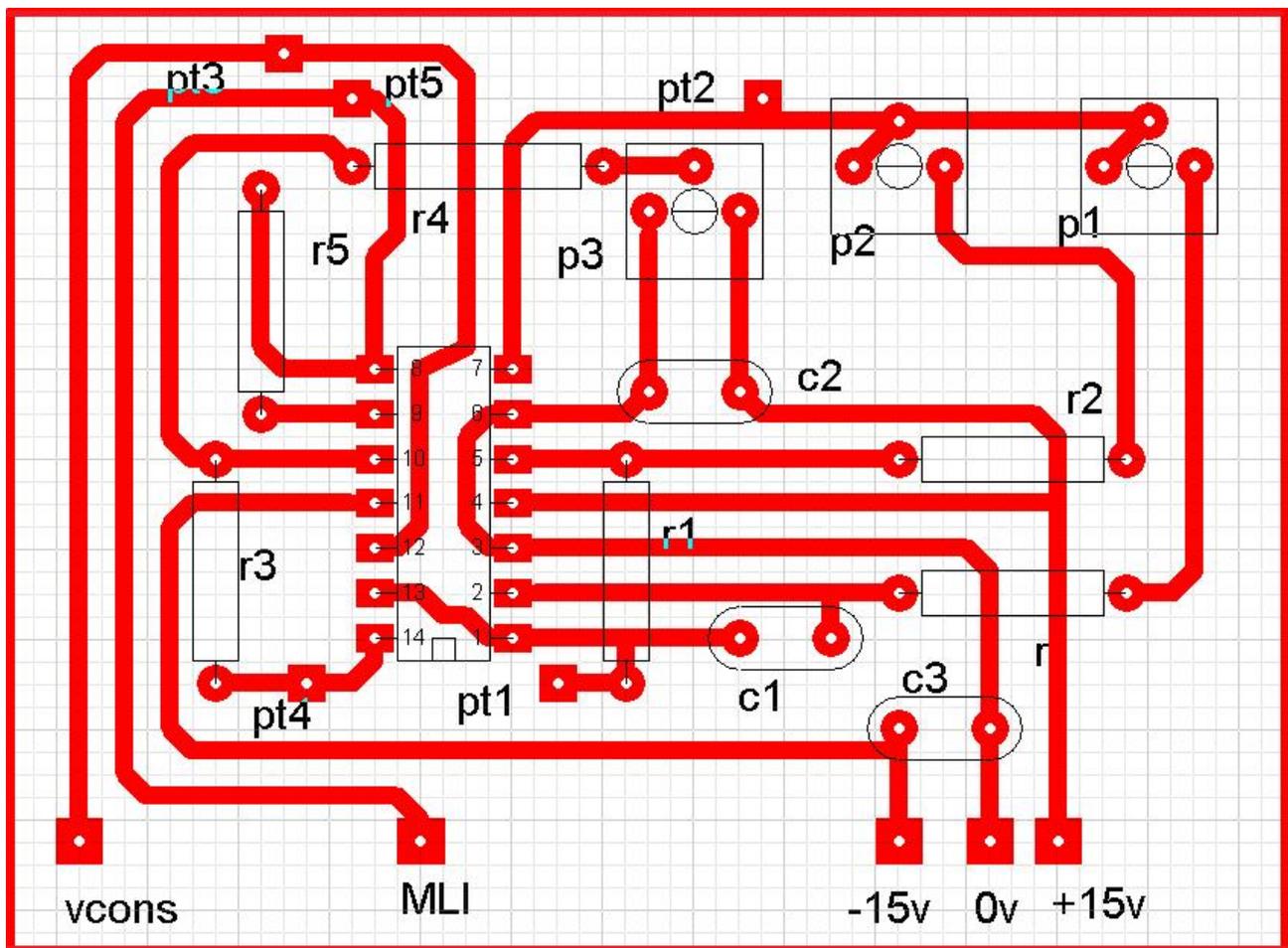


Illustration 24 : Typon de la carte MLI avec le TL084.

3.3. Le driver

3.3.1. Principe de fonctionnement

La partie driver est importante. Celui-ci va commander les transistors du hacheur quatre quadrants par couple, car si deux transistors d'une même branche conduisent simultanément, cela provoquerait un court circuit et détruirait les transistors. Pour que le montage fonctionne, il faut respecter l'ordre des états des transistors selon les couples suivants :

- Soit le couple Q1/Q3 est passant, ce qui donnera une tension positive aux bornes du moteur qui fera avancer le kart.
- Soit le couple Q2/Q4 est passant, ce qui aura pour effet d'inverser la tension et le courant aux bornes du moteur qui fera reculer le kart.

Sur notre prototype nous avons fait un driver à l'aide d'une porte HFE 4011 dont la fonction est décrite sur l'illustration n°25.

Grâce à ce système, le moteur pourra tourner dans un sens ou dans un autre plus ou moins vite.

Pour ce faire, il nous suffira de modifier le rapport cyclique ($\alpha = \text{temps à l'état haut} / \text{période}$) du MLI inséré à l'entrée du montage selon le principe décrit précédemment.

3.3.2. La carte driver

Schéma de la carte :

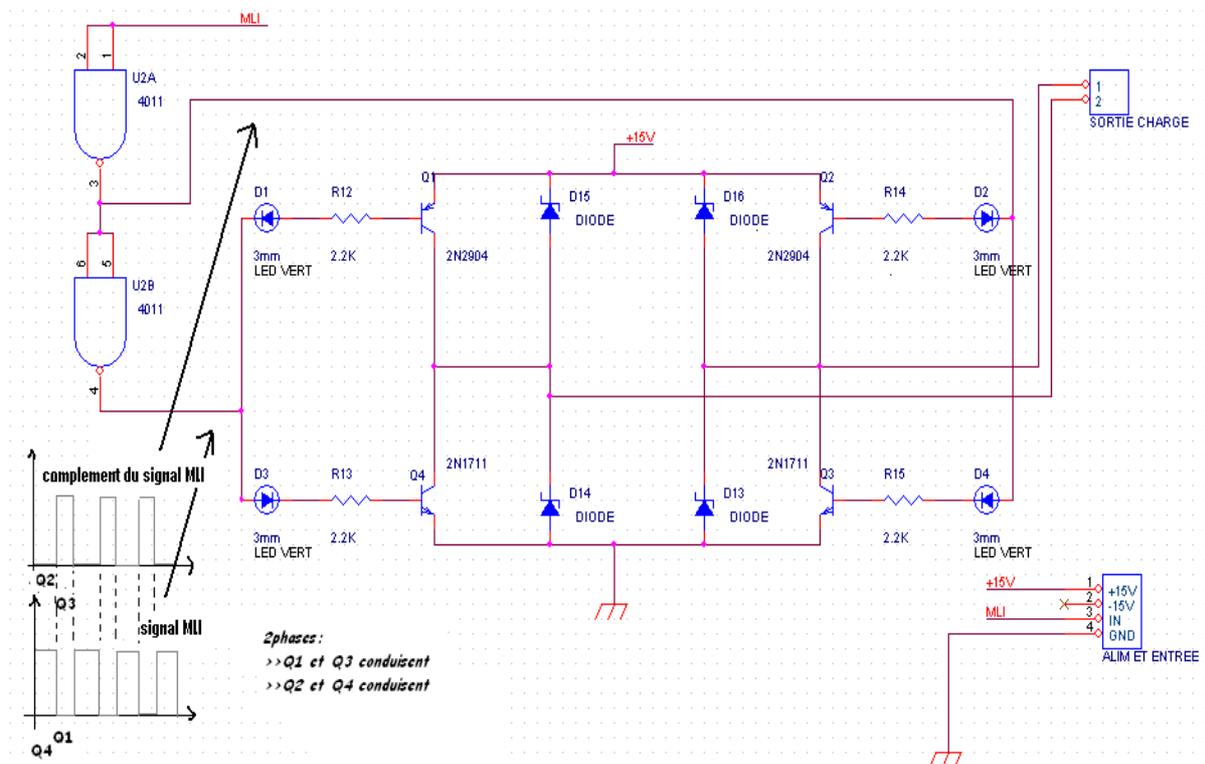


Illustration 25 : Schéma du montage de la carte driver avec le pont en H.

Liste des composants :

Quantité	Nom	Désignation	Valeur
4	D1,D2,D3,D4	DEL 3mm	20 mA
4	D13,D14,D15,D16	Diode Zener	1N4148
1	JP4	Connecteur	Sortie Moteur
1	JP5	Connecteur	Alim et Entrée
2	Q1,Q2	Transistor NPN	2N2904
2	Q3,Q4	Transistor PNP	2N1711
4	R12,R13,R14,R15	Résistance 1/4 de Watt	2,2 k Ω
1	U2	Circuit intégré	HFE 4011

Typon de la carte :

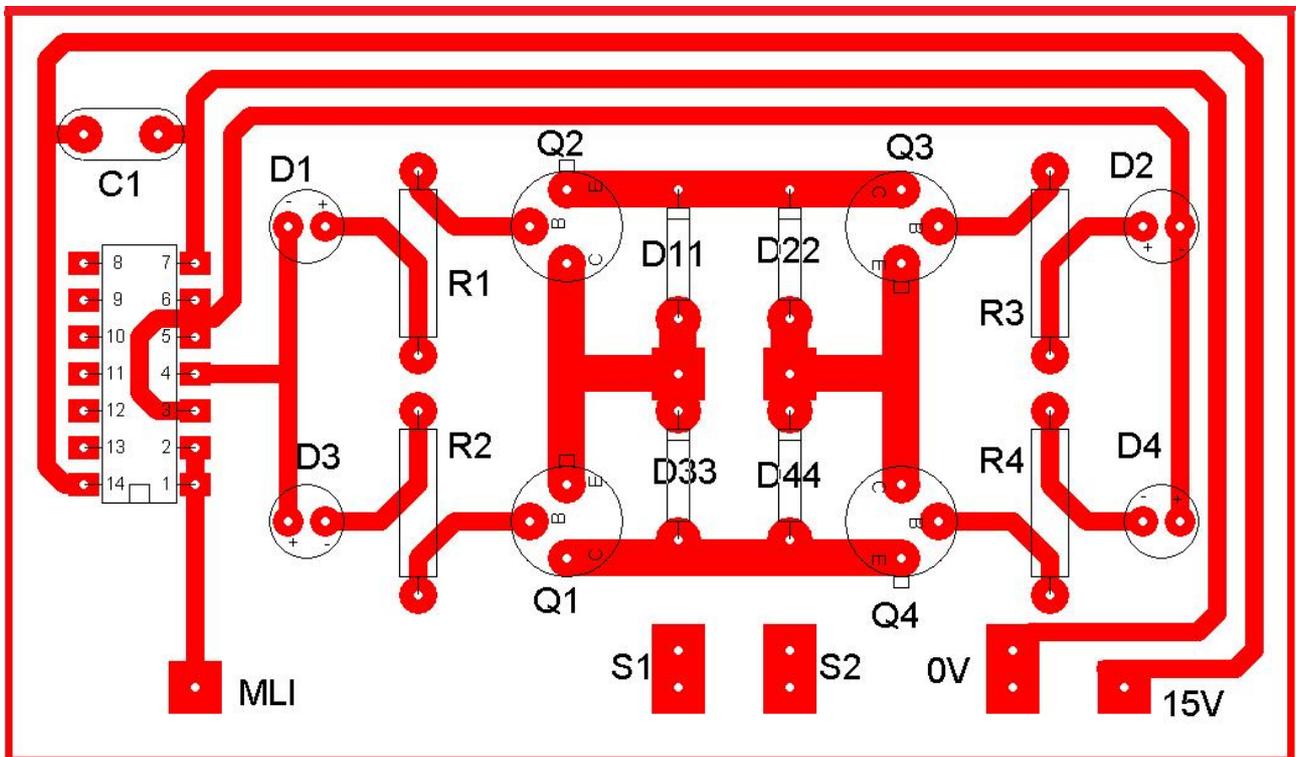


Illustration 26 : Typon de la carte driver et du pont en H de la maquette d'essai.

4. Amélioration des cartes pour notre projet

La première partie de notre projet réalisé et en possession de plus de connaissances sur le fonctionnement de notre système et sur d'autres composants, nous avons été amenés à modifier certaines cartes et à en ajouter une autre.

4.1. Modification des cartes

Tout d'abord, il a fallu modifier le driver et le pont en H, les transistors doivent conduire 200 A (courant qui ne peut être conduit par les petits transistors 2N2222), pour cela nous optons pour les transistors décrits au début.

Le fait de changer de transistor nous oblige aussi à changer notre driver, car celui-ci⁶ a besoin d'un courant de grille plus important pour être commandé.

Le driver que l'on utilisera sera celui réalisé les années précédentes et qui, après de nombreuses mises à jour, est opérationnel. Nous l'avons testé et ses caractéristiques correspondent avec notre cahier des charges.

Lors des recherches sur l'adaptation de nos montages nous avons pris connaissance d'un circuit intégré, le SG3524, dont la fonction est de générer un MLI. Nous avons décidé de l'étudier.

Le montage réalisé est celui fournit par le constructeur, de plus celui-ci nous donne les caractéristiques de fonctionnement pour une fréquence de 20 KHz, ce qui nous arrange étant donné que c'est la fréquence de fonctionnement du système. Pour régler celle-ci nous avons fixé la valeur du condensateur C_t à 10 nanofarad et grâce à la formule ci-dessous nous avons calculé la valeur de R_t à placer pour avoir une fréquence de 20 KHz.

$$F = \frac{1,18}{R_t * C_t}$$

Après calcul nous avons obtenu une valeur de 5,9 K Ω pour R_t .

Au vu des différents tests réalisés sur ce composant nous avons remarqué que son fonctionnement était le même que notre montage précédent et nous avons décidé de créer notre MLI via ce composant pour les raisons suivantes :

- Sa seule fonction est de créer le MLI
- Réglage par deux potentiomètres du signal de sortie
- Nous n'avons plus les offsets créés par les AOp

6 Voir référence du transistor APTM10AM02F en annexe 2.

4.2. Schémas des cartes finales

4.2.1. La carte MLI

Schéma de la carte :

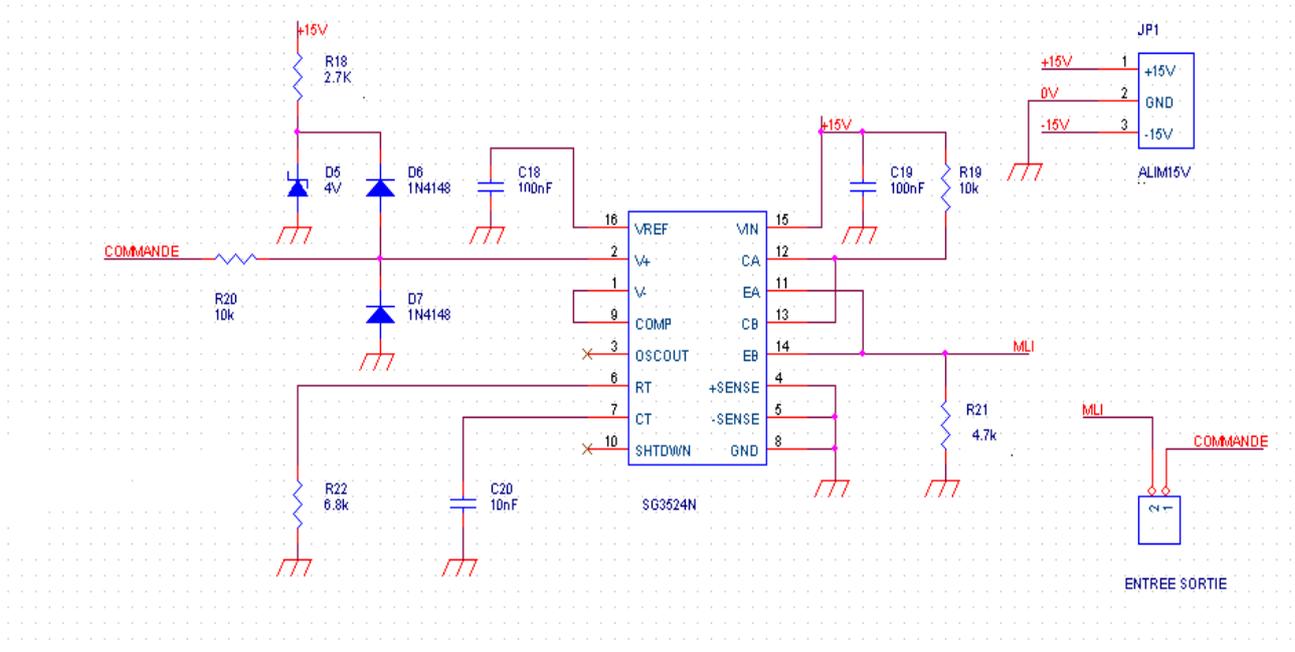


Illustration 27 : Schéma du montage de la carte final MLI.

Liste des composants :

Quantité	Nom	Désignation	Valeur
2	C19,C20	Condensateur plastique	100 nF
1	C2	Condensateur plastique	10 nF
1	D5	Diode zener	2BZX (4V)
2	D6,D7	Diode	1N4148
1	JP1	Connecteur	Alimentation 15V
1	JP2	Connecteur	ENTREE/SORTIE
1	R18	Résistance 1/4 de Watt	2,7 kΩ
2	R19,R20	Résistance 1/4 de Watt	10 kΩ
1	R21	Résistance 1/4 de Watt	4,7 kΩ
1	R22	Résistance 1/4 de Watt	6,8 kΩ
1	U4	Circuit intégré	SG3424N

Typon de la carte :

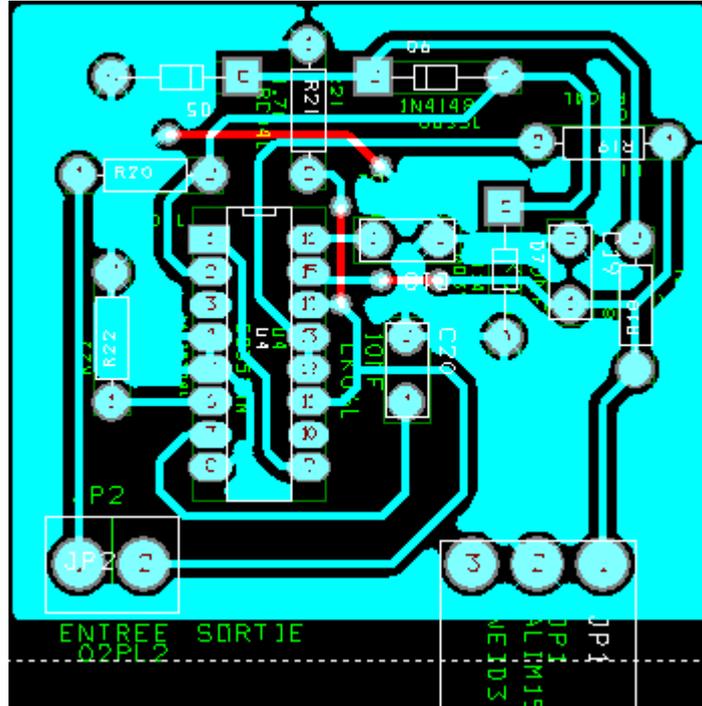


Illustration 28 : Typon de la carte MLI avec le composant SG3524N.

4.2.2. La carte driver

Schéma de la carte :

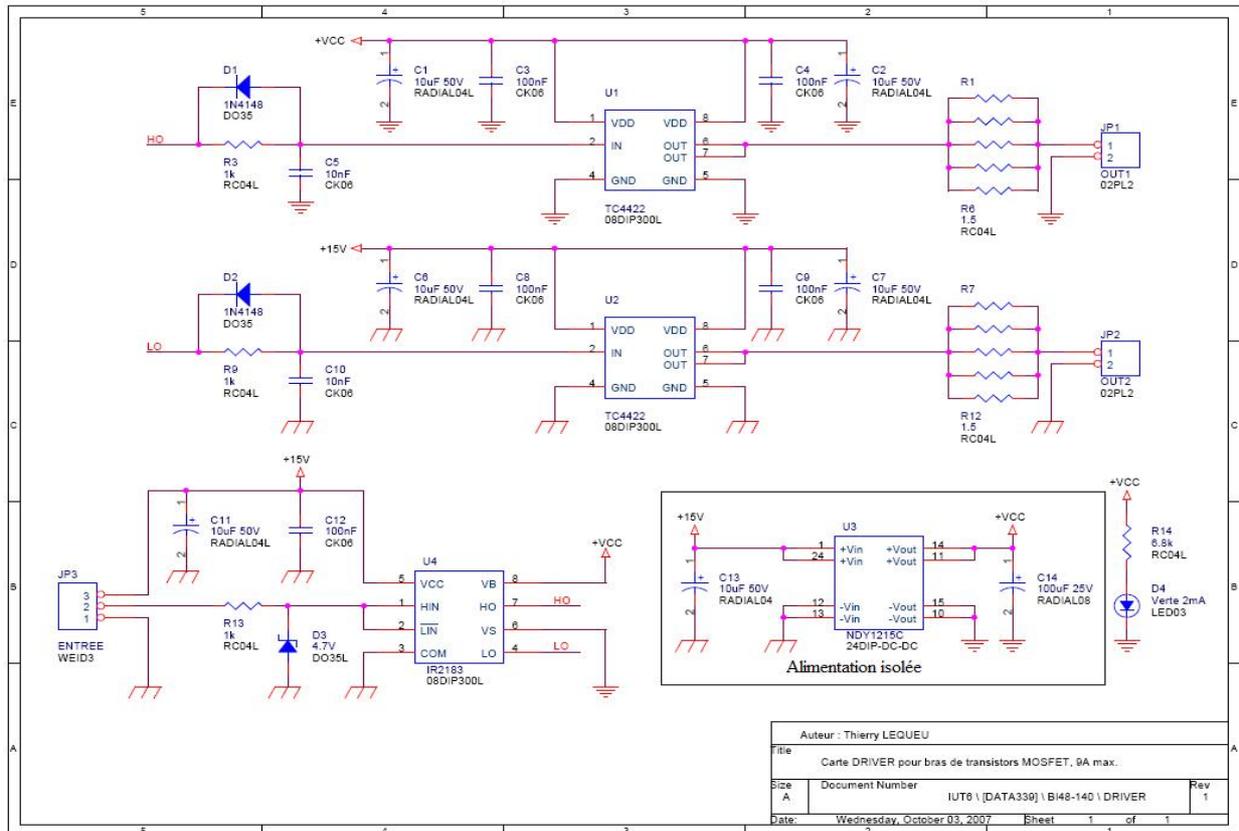


Illustration 29 : Schéma du montage de la carte driver. [2]

Liste des composants :

Quantité	Nom	Désignation	Valeur
5	C1, C2, C6, C7, C11	Condensateur chimique	10 μ F 50 V
5	C3, C4, C8, C9, C12	Condensateur plastique	100 nF
1	C13	Condensateur plastique	10 nF
1	C14	Condensateur chimique	100 μ F 25 V
1	JP1	Connecteur	Alimentation 15V
1	JP2	Connecteur	Accélérateur
1	JP3	Connecteur	Alimentation 15 V / 0 V et signal MLI
10	R1, R2, R4-R8, R10-R12	Résistance 1/4 de Watt	1,5 Ω
3	R3, R9, R13	Résistance 1/4 de Watt	1 K Ω
2	U1, U2	Circuit intégré	TC4422
1	U3	Circuit intégré	NDY1215C
1	U4	Circuit intégré	IR2183
2	D2,D1	Diode	1N4148
1	D3	Diode	4,7 V

Typon de la carte :

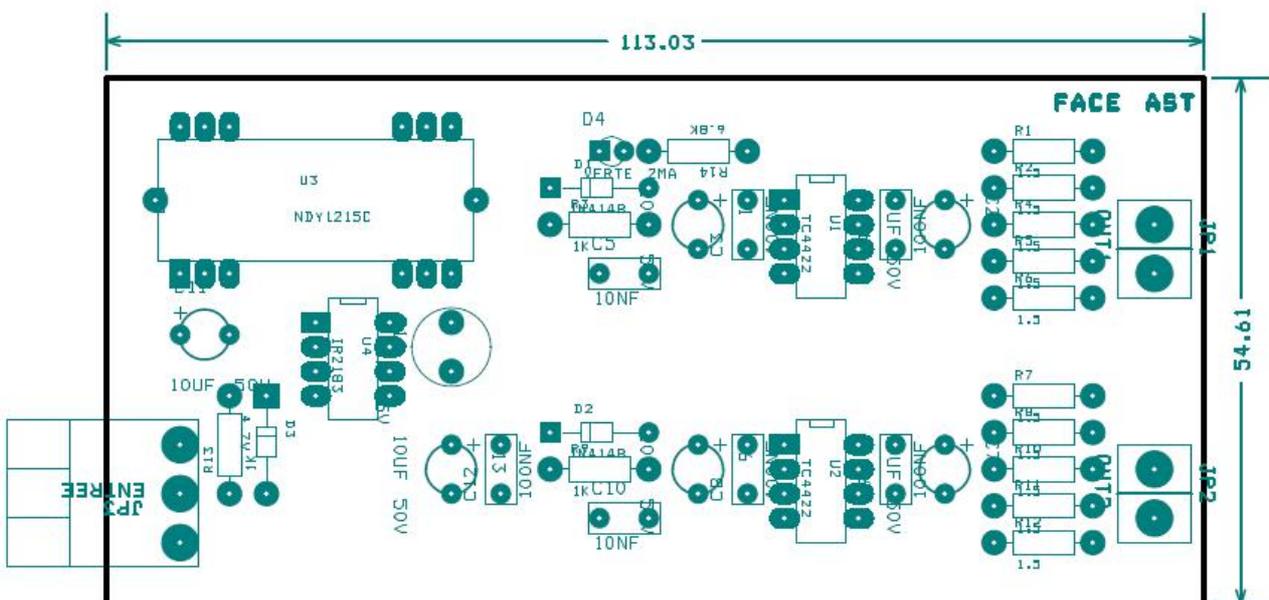
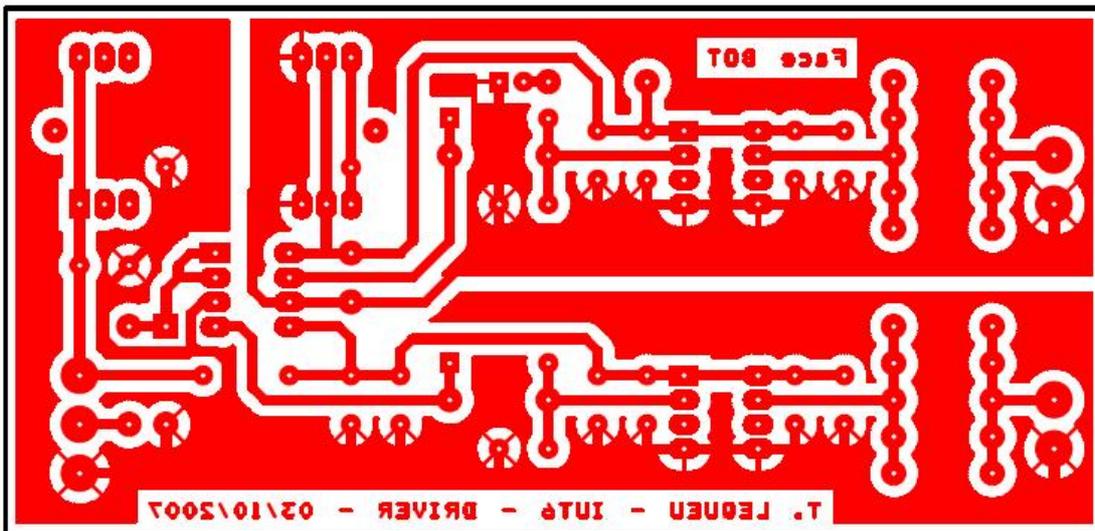


Illustration 30 : Typon de la carte driver (au dessus) et schéma d'implantation des composants (en dessous). [2]

Conclusion

La réalisation de notre projet nous a permis, dans un premier temps, de concevoir un système en équipe. De plus nous avons choisi de réaliser celui-ci dans le but d'obtenir au final un projet s'incluant dans le projet kart biplace. Projet qui a fait l'objet de plusieurs études menées par les étudiants les années précédentes. Nous avons donc, à partir des précédents travaux, réalisé le nôtre afin d'obtenir à la fin un système fini implanté dans le kart. Il nous a fallu pour cela corriger et améliorer les autres cartes. Malheureusement, pour des raisons de temps nous n'avons pas réussi à finir le projet. La réalisation des cartes séparées est achevée et opérationnelle mais la construction du pont en H est encore en cour. Celui-ci demande plus de temps et ne peut être réalisé au sein de l'IUT qui ne possède pas le matériel suffisant pour usiner le dissipateur. Ce contretemps implique que nous ne pouvons achever la carte finale car pour optimiser le fonctionnement du hacheur nous devons placer les drivers le plus près possible des connectiques des transistors

Nous n'arrêterons pas pour autant notre travail, car une fois l'usinage réalisé nous pourrons tout assembler et réaliser la fin des tests.

Index des illustrations

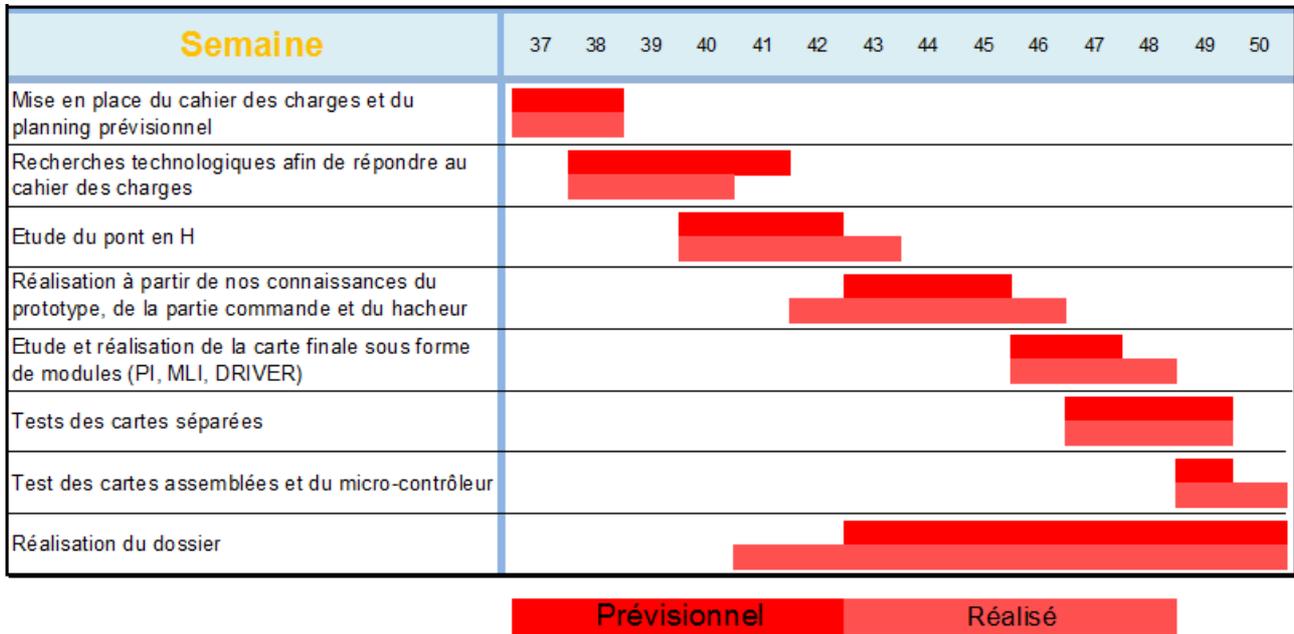
Illustration 1 : Schéma fonctionnel.....	6
Illustration 2 : Photo du moteur Lynch. [1].....	8
Illustration 3 : Batterie 12 V / 48 A.H, Optima jaune. [2].....	9
Illustration 4 : Schéma du hacheur réversible en courant de type BUCK. [2].....	9
Illustration 5 : Schéma de la structure du pont en H avec la MCC. [3].....	10
Illustration 6 : Exemple de cycle de rotation du moteur.....	11
Illustration 7 : Diagramme de l'évolution du point de fonctionnement dans les 4 quadrants. [4].....	11
Illustration 8 : Forme d'onde issue du système. [4].....	12
Illustration 9 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 1. [4].....	13
Illustration 10 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 2. [4].....	13
Illustration 11 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 3. [4].....	14
Illustration 12 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 4. [4].....	14
Illustration 13 : Schémas du transistor (à droite, la vue extérieure et à gauche, la composition interne d'un boîtier). [2].....	15
Illustration 14 : Caractéristiques du transistor APTM10AM02F. [2].....	16
Illustration 15 : Photo du dissipateur (à gauche) et schémas du dimensionnement (à droite). [2].....	16
Illustration 16 : Photos du capteur de courant. [2].....	18
Illustration 17 : Schéma du montage de la carte correcteur PI.....	20
Illustration 18 : Typon de la carte correcteur PI.....	21
Illustration 19 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de 0 V.....	22
Illustration 20 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +2,5 V.....	22
Illustration 21 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +5 V.....	23
Illustration 22 : Relevé oscillographique pour une tension de commande négative de -2,5 V (à gauche) et -5 V (à droite).....	23
Illustration 23 : Schéma du montage de la carte MLI.....	24
Illustration 24 : Typon de la carte MLI avec le TL084.....	25
Illustration 25 : Schéma du montage de la carte driver avec le pont en H.....	26
Illustration 26 : Typon de la carte driver et du pont en H de la maquette d'essai.....	27
Illustration 27 : Schéma du montage de la carte final MLI.....	29
Illustration 28 : Typon de la carte MLI avec le composant SG3524N.....	30
Illustration 29 : Schéma du montage de la carte driver. [2].....	30
Illustration 30 : Typon de la carte driver (au dessus) et schéma d'implantation des composants (en dessous). [2].....	31

Bibliographie

- [1] Lynch motor company, Site officiel de Lynch motor, 2008, <http://www.lmcltd.net>
- [2] Thierry LEQUEU, Site personnel, 2008, www.thierry-lequeu.fr
- [3] Lycée Louis Payen, Site du laboratoire des sciences de l'ingénieur du lycée Louis Payen, 2008, <http://louispayen.apinc.org>
- [4] Résélec, Réseau national de ressources en électrotechnique, 2008, <http://www.iufmrese.cict.fr>

Annexes

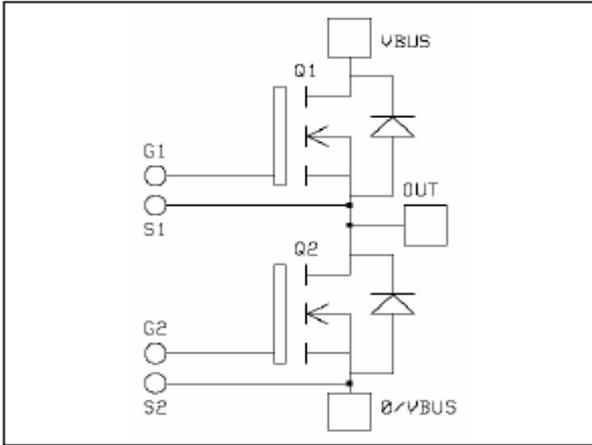
Annexe 1 : Planning du projet



Annexe 2 : Documentation constructeur de l'APTM10AM02F

Phase leg MOSFET Power Module

$V_{DSS} = 100V$
 $R_{DSon} = 2.25m\Omega \text{ max @ } T_j = 25^\circ C$
 $I_D = 495A \text{ @ } T_c = 25^\circ C$



Application

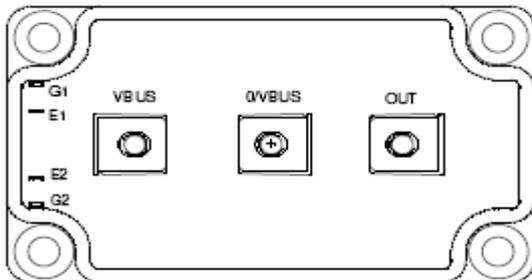
- Welding converters
- Switched Mode Power Supplies
- Uninterruptible Power Supplies
- Motor control

Features

- Power MOS V[®] FREDFETs
 - Low R_{DSon}
 - Low input and Miller capacitance
 - Low gate charge
 - Avalanche energy rate d
 - Very rugged
- Kelvin source for easy drive
- Very low stray inductance
 - Symmetrical design
 - M5 power connectors

Benefits

- Outstanding performance at high frequency operation
- Direct mounting to heatsink (isolated package)
- Low junction to case thermal resistance



Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Max ratings	Unit
V_{DSS}	Drain - Source Breakdown Voltage	100	V
I_D	Continuous Drain Current	$T_c = 25^\circ C$	495
		$T_c = 80^\circ C$	370
I_{DM}	Pulsed Drain current	1900	A
V_{GS}	Gate - Source Voltage	± 30	V
R_{DSon}	Drain - Source ON Resistance	2.25	m Ω
P_D	Maximum Power Dissipation	$T_c = 25^\circ C$	1250
I_{AR}	Avalanche current (repetitive and non repetitive)	100	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy	50	mJ
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy	3000	

CAUTION: These Devices are sensitive to Electrostatic Discharge. Proper Handling Procedures Should Be Followed.

All ratings @ $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Electrical Characteristics

Symbol	Characteristic	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
BV_{DSS}	Drain - Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 1mA$	100			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 100V$			400	μA
		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 80V$			2000	
$R_{DS(on)}$	Drain - Source on Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 370A$			2.25	$m\Omega$
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 10mA$	2		4	V
I_{GSS}	Gate - Source Leakage Current	$V_{GS} = \pm 30V, V_{DS} = 0V$			± 400	nA

Dynamic Characteristics

Symbol	Characteristic	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{GS} = 0V$		40		nF
C_{oss}	Output Capacitance	$V_{DS} = 25V$		15		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	$f = 1MHz$		5.5		
Q_g	Total gate Charge	$V_{GS} = 10V$		1360		nC
Q_{gs}	Gate - Source Charge	$V_{Bus} = 50V$		436		
Q_{gd}	Gate - Drain Charge	$I_D = 400A$		524		
$T_{d(on)}$	Turn-on Delay Time	Resistive Switching $V_{GS} = 15V$ $V_{Bus} = 50V$ $I_D = 400A$ $R_G = 0.15 \Omega$		160		ns
T_r	Rise Time			240		
$T_{d(off)}$	Turn-off Delay Time			500		
T_f	Fall Time			160		

Source - Drain diode ratings and characteristics

Symbol	Characteristic	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_S	Continuous Source current (Body diode)	$T_c = 25^\circ\text{C}$			495	A
		$T_c = 80^\circ\text{C}$			370	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	$V_{GS} = 0V, I_S = -400A$			1.3	V
dv/dt	Peak Diode Recovery ①				5	V/ns
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_S = -400A$ $V_R = 50V$ $di_S/dt = 400A/\mu\text{s}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		190	ns
			$T_j = 125^\circ\text{C}$		370	
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	$I_S = -400A$ $V_R = 50V$ $di_S/dt = 400A/\mu\text{s}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	1.6		μC
			$T_j = 125^\circ\text{C}$	6.8		

 ① E_{on} includes diode reverse recovery.

② In accordance with JEDEC standard JESD24-1.

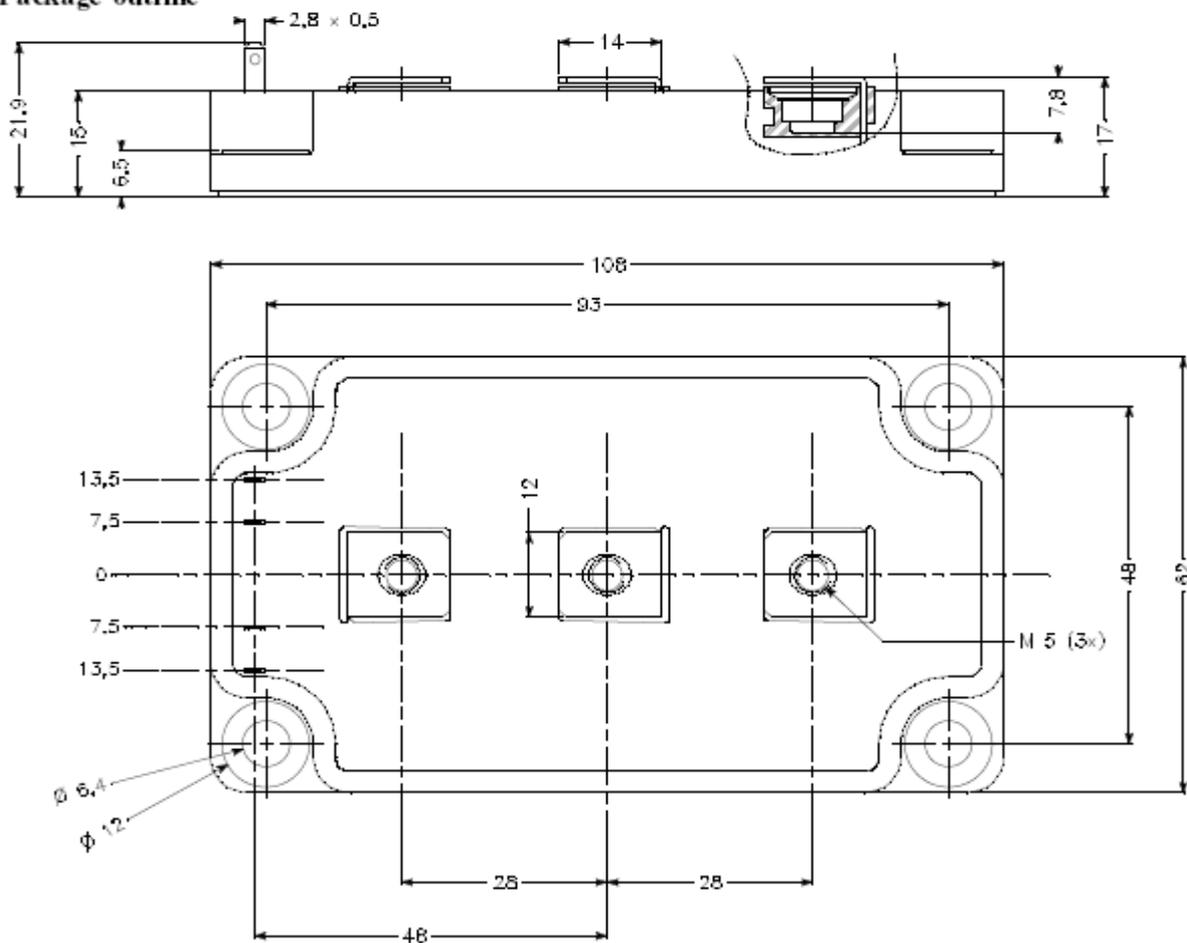
 ③ dv/dt numbers reflect the limitations of the circuit rather than the device itself.

 $I_S \leq -495A$ $di/dt \leq 400A/\mu\text{s}$ $V_R \leq 50V$ $T_j \leq 150^\circ\text{C}$

Thermal and package characteristics

Symbol	Characteristic	Min	Typ	Max	Unit	
R_{thJC}	Junction to Case			0.1	°C/W	
V_{ISOL}	RMS Isolation Voltage, any terminal to case $t=1$ min, $I_{ISOL}<1mA$, 50/60Hz	2500			V	
T_J	Operating junction temperature range	-40		150	°C	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-40		125		
T_C	Operating Case Temperature	-40		100		
Torque	Mounting torque	To heatsink	M6	3	5	N.m
		For terminals	M5	2	3.5	
W_t	Package Weight			280	g	

Package outline



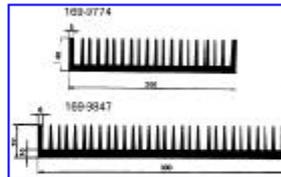
APT reserves the right to change, without notice, the specifications and information contained herein

APT's products are covered by one or more of U.S. patents 4,895,810 5,045,903 5,089,434 5,182,234 5,019,522 5,262,336 6,503,786 5,256,583 4,748,103 5,283,202 5,231,474 5,434,095 5,528,058 and foreign patents. U.S. and Foreign patents pending. All Rights Reserved.

Annexe 3 : Documentation constructeur du dissipateur thermique

Dissipateurs thermiques - types RAWA 213-1 et 243-1

Seifert



Spécifications techniques

Réf.:	RAWA 213-1	RAWA 243-1
Longueur:	150 mm	150 mm
Résistance thermique:	0,6°C / W	0,3°C / W
Modèle RAWA 213-1: en liste GAM		

U.D.V.=1

réf.	code	prix de l'U.D.V.		
		1-9	10-24	25+
RAWA 213-1	169-9774	245.00 Fr	196.00 Fr	171.50 Fr
RAWA 243-1	169-9847	340.00 Fr	272.00 Fr	238.00 Fr

Annexe 4 : Documentation constructeur du capteur de courant



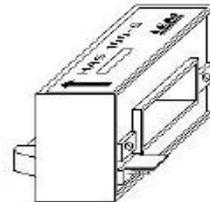
Current Transducers HAS 50 to 600-S

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



$$I_{PN} = 50 \dots 600 \text{ A}$$

$$V_{OUT} = \pm 4 \text{ V}$$



Electrical data

Primary nominal r.m.s. current I_{PN} (A)	Primary current measuring range I_p (A)	Type
50	± 150	HAS 50-S
100	± 300	HAS 100-S
200	± 600	HAS 200-S
300	± 900	HAS 300-S
400	± 900	HAS 400-S
500	± 900	HAS 500-S
600	± 900	HAS 600-S

V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	± 15	mA
I_{OC}	Overload capacity	30,000	A
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50/60 Hz, 1 mn	3	kV
V_o	R.m.s. rated voltage, safe separation	500 ¹⁾	V
R_{is}	Isolation resistance @ 500 VDC	> 1000	M Ω
V_{OUT}	Output voltage @ $\pm I_{PN}$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 4\text{V} \pm$	
40	mV		
R_{OUT}	Output internal resistance	approx. 100	Ω
R_L	Load resistance	> 1	k Ω

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (without offset)	$< \pm 1$	%
ϵ_L	Linearity ²⁾ ($0 \dots \pm I_{PN}$)	$< \pm 1$	% of I_{PN}
V_{OE}	Electrical offset voltage, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$< \pm 20$	mV
V_{OH}	Hysteresis offset voltage @ $I_p = 0$; after an excursion of $1 \times I_{PN}$	$< \pm 20$	mV
V_{OT}	Thermal drift of V_{OE}	HAS 50-S HAS 100 to HAS 600-S	$< \pm 2$ mV/K $< \pm 1$ mV/K
TCE_G	Thermal drift of the gain (% of reading)	$< \pm 0.1$	%/K
t_r	Response time @ 90% of I_p	< 3	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/ μs
f	Frequency bandwidth (-3 dB) ³⁾	DC .. 50	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	-10 .. +80	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-25 .. +80	$^\circ\text{C}$
m	Mass	approx. 60	g
	Standards ⁴⁾	EN 50178	

Notes : ¹⁾ Pollution class 2, overvoltage category III.

²⁾ Linearity data exclude the electrical offset.

³⁾ Please refer to derating curves in the technical file to avoid excessive core heating at high frequency.

⁴⁾ Please consult characterisation report for more technical details and application advice.

Features

- Hall effect measuring principle
- Galvanic isolation between primary and secondary circuit
- Isolation voltage 3000 V~
- Low power consumption
- Extended measuring range ($3 \times I_{PN}$)
- Insulated plastic case made of polycarbonate PBT recognized according to UL 94-V0

Advantages

- Easy mounting
- Small size and space saving
- Only one design for wide current ratings range
- High immunity to external interference.

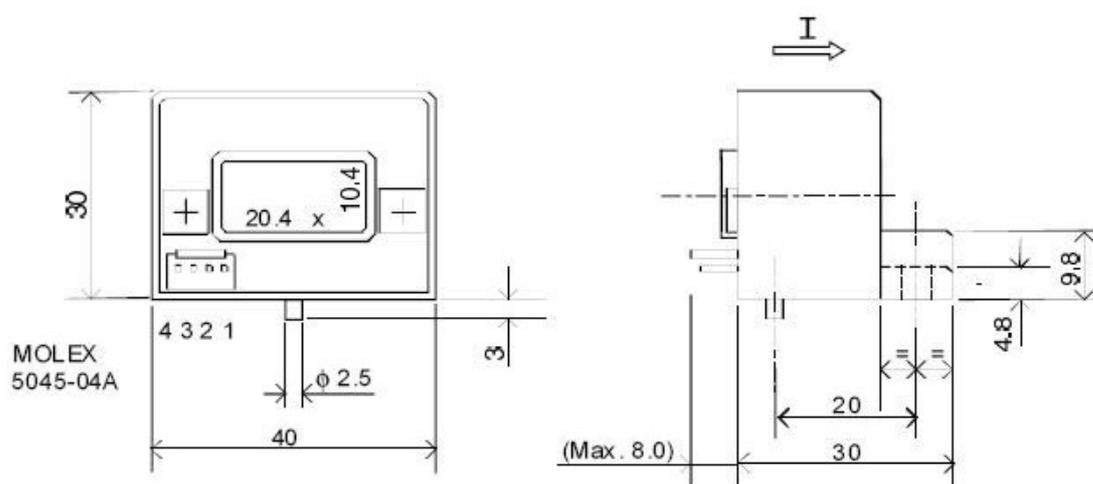
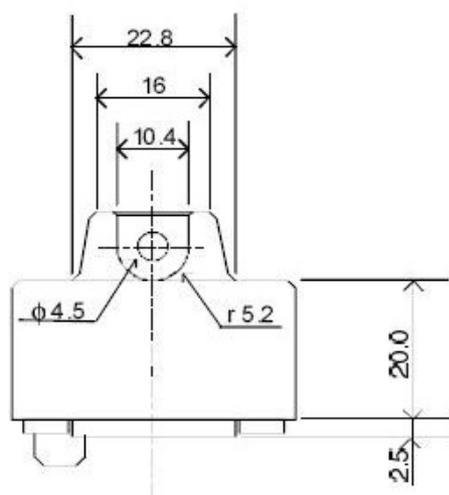
Applications

- AC variable speed drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

98 1007/4

HAS 50 to 600-S

Dimensions (in mm)



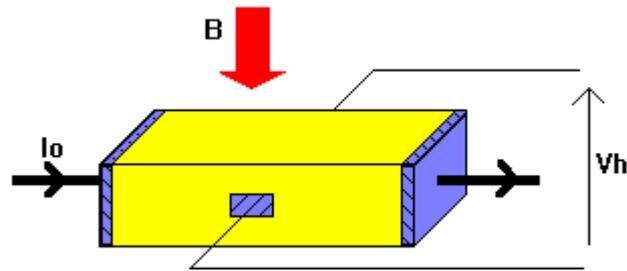
PINS ARRANGEMENT

- 1 = +15V
- 2 = -15V
- 3 = OUTPUT
- 4 = 0V

LEM reserves the right to change limits and dimensions.

Annexe 5 : Principe de l'effet Hall

Rappel du principe de l'effet Hall :

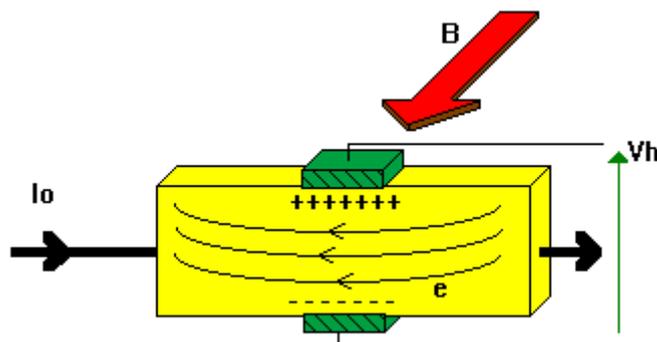


Si un courant I_0 traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction B est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension V_h , proportionnelle au champ magnétique et au courant I_0 , apparaît sur les faces latérales du barreau.

C'est la tension de Hall (du nom de celui qui remarqua le phénomène en 1879).

$V_h = K_h * B * I_0$ avec K_h : constante de Hall, qui dépend du matériau utilisé.

Cause de l'effet Hall :



Les électrons sont déviés par le champ magnétique, créant une différence de potentiel appelée tension de Hall.

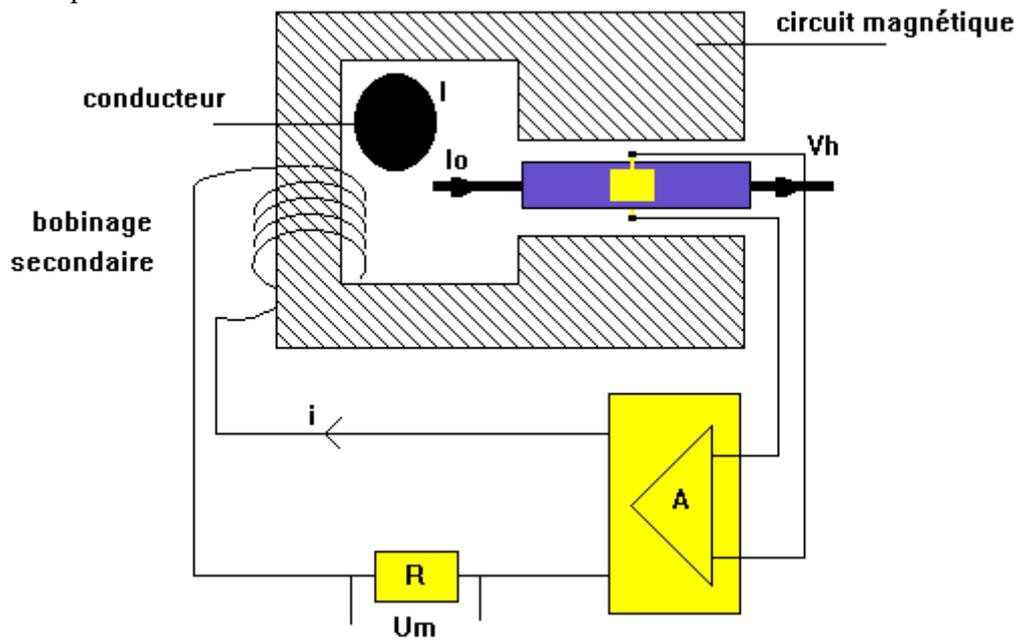
Application a la mesure avec isolation galvanique :

Un circuit magnétique constitué de ferrite permet de canaliser le flux créé par le conducteur parcouru par le courant I .

Un générateur de courant constant fournit le courant I_0 . Une tension V_h proportionnelle au courant I_0 et à l'induction produite par le courant I apparaît.

Cette tension est amplifiée pour fournir un courant i dans les N spires du bobinage secondaire, de façon à produire un flux opposé à celui créé par I .

A l'équilibre: $B = 0$ et $I = N * i$



La valeur du courant I est proportionnelle à la tension U_m obtenue aux bornes de la résistance de mesure R .

Le courant I peut être quelconque (sinusoïdal, continu...).

Source : <http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abati/hall.htm>