





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
5. Modifications apportées lors du semestre 4.....	32
5.1. Réalisation de la carte PI-MLI.....	32
5.1.1. Schéma de la carte PI-MLI.....	32
5.1.2. Typon de la carte.....	34
5.1.3. Tests de la carte.....	34
5.2. Réalisation du module avec SolidWorks.....	35
Conclusion.....	40
Index des illustrations.....	41
Bibliographie.....	42

Introduction

En deuxième année de DUT GEII, nous devons, dans le cadre du projet d'étude et réalisation du quatrième semestre, analyser, concevoir et/ou améliorer un système. Nous avons choisi de finir l'étude et la réalisation du double hacheur quatre quadrants prévu pour le kart biplace.

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

Lors du troisième semestre nous avons étudié le fonctionnement d'un hacheur et commencé à réaliser différentes solutions technologiques, mais par souci de temps nous n'avons pas réussi à terminer le projet.

Au cour de ce semestre nous avons à notre disposition 8 séances de 3,5 heures pour mené à terme celui-ci. Notre travail s'est effectué en deux parties réalisée séparément, la première consistait à créer le typons de la carte PI et MLI la seconde consistait à la réalisation du module entier. Nous avons choisi de procédé de la sorte pour optimiser le temps car la créations d'un typons ne requière pas la présence de deux personnes.

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:

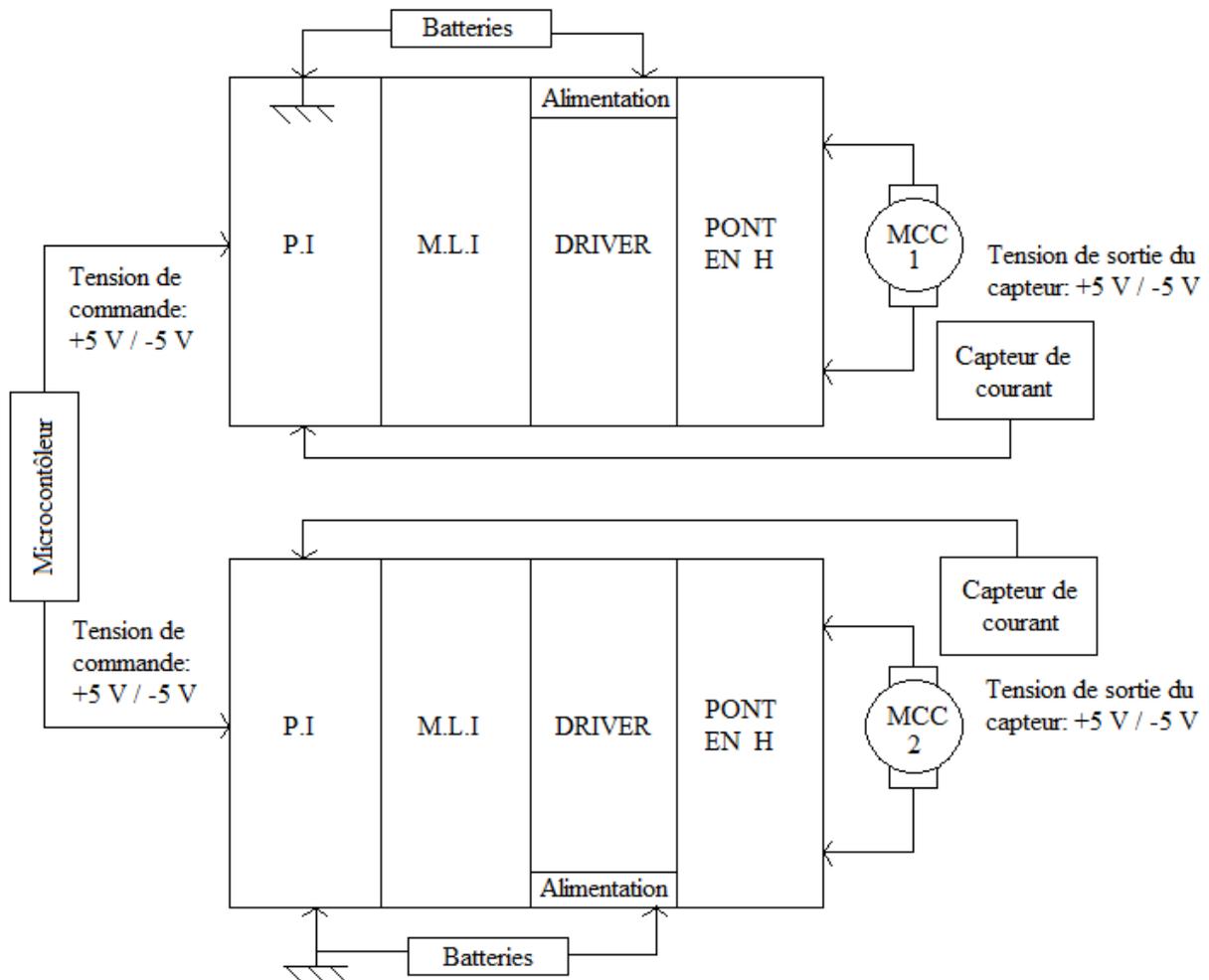


Illustration 1 : Schéma fonctionnel.

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 pourrions 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 $V_s = V_e \cdot \alpha$.

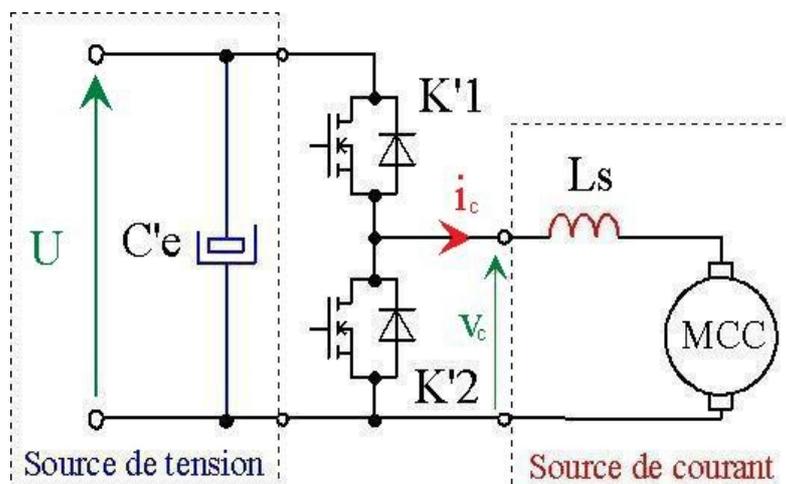


Illustration 4 : Schéma du hacheur réversible en courant de type BUCK.[2]

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.

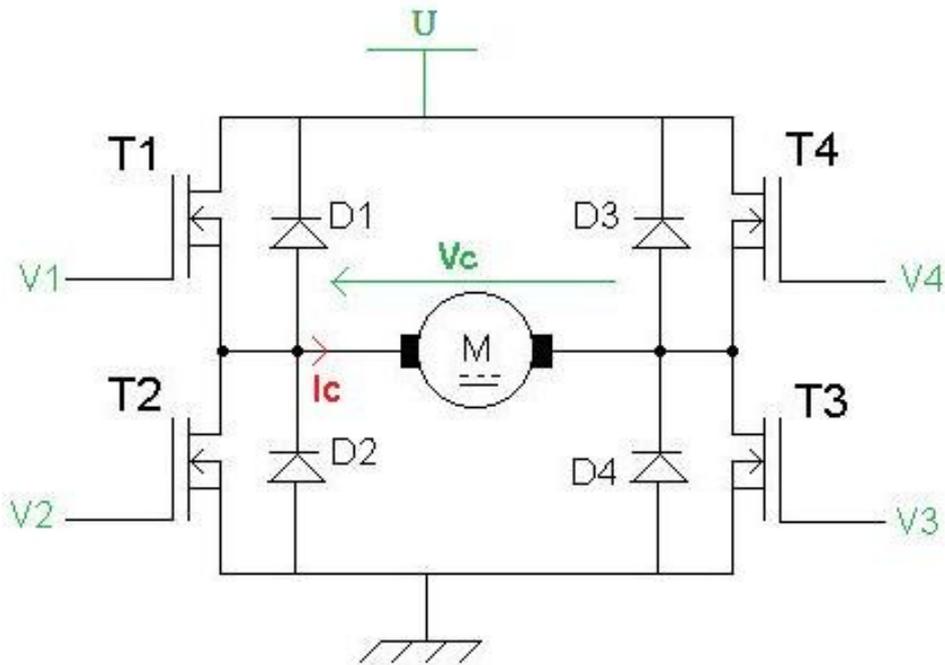


Illustration 5 : Schéma de la structure du pont en H avec la MCC.[3]

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

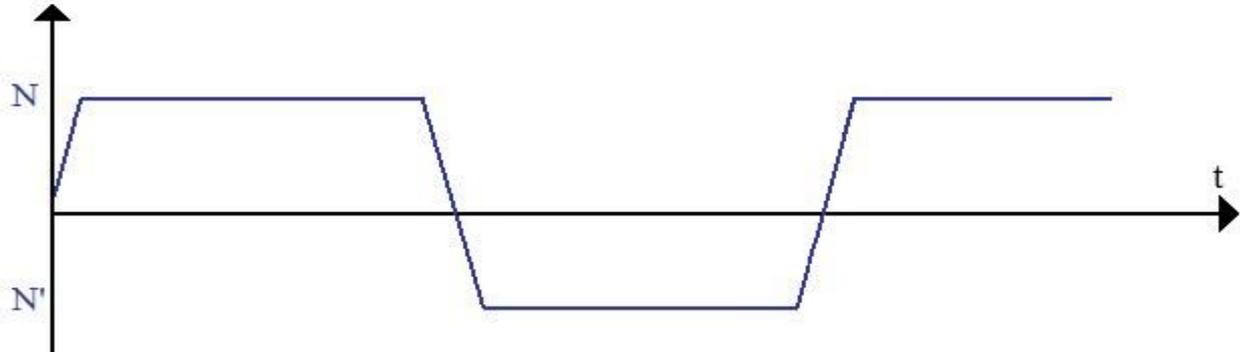


Illustration 6 : Exemple de cycle de rotation du moteur.

Nous obtenons alors le trajet du point de fonctionnement :

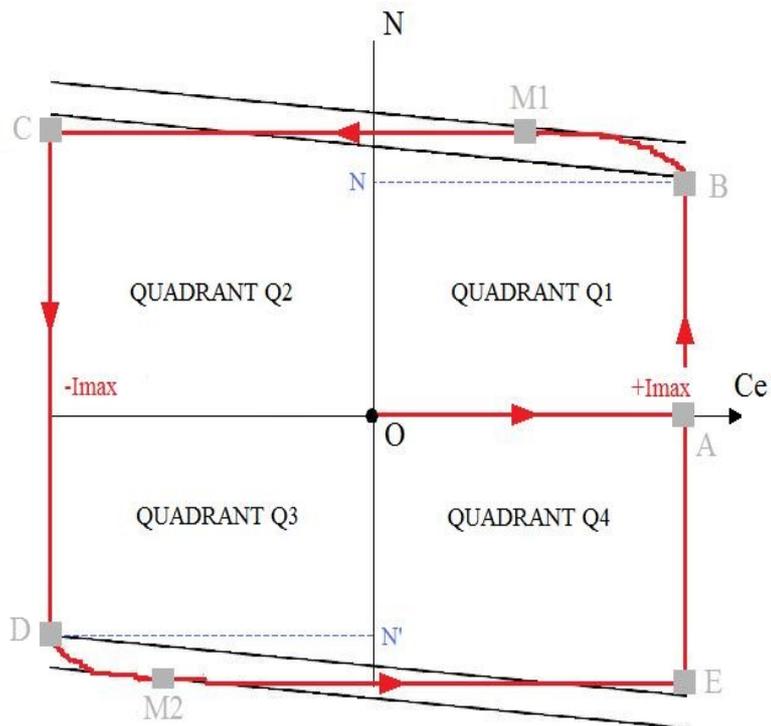


Illustration 7 : Diagramme de l'évolution du point de fonctionnement dans les 4 quadrants.[4]

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

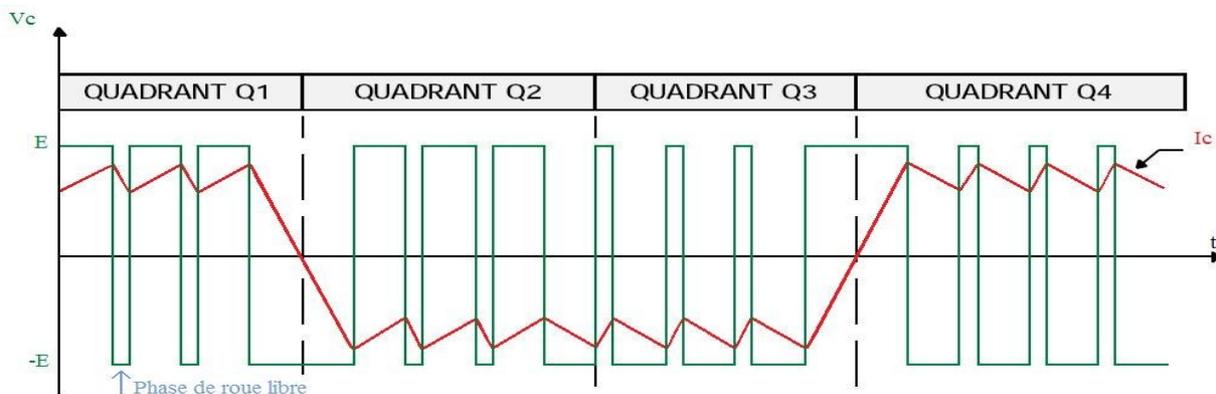


Illustration 8 : Forme d'onde issue du système.[4]

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

Schémas des différents cadrans

- Quadrant Q1

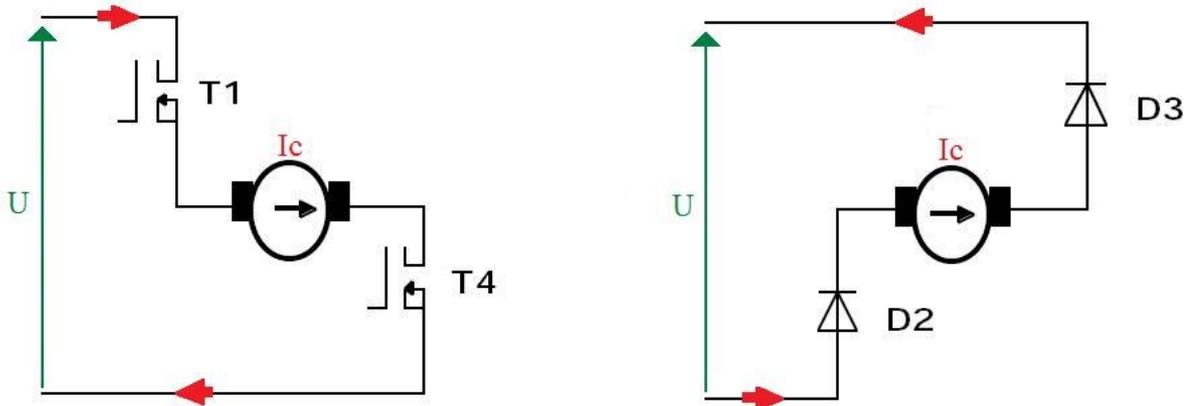


Illustration 9 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 1. [4]

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

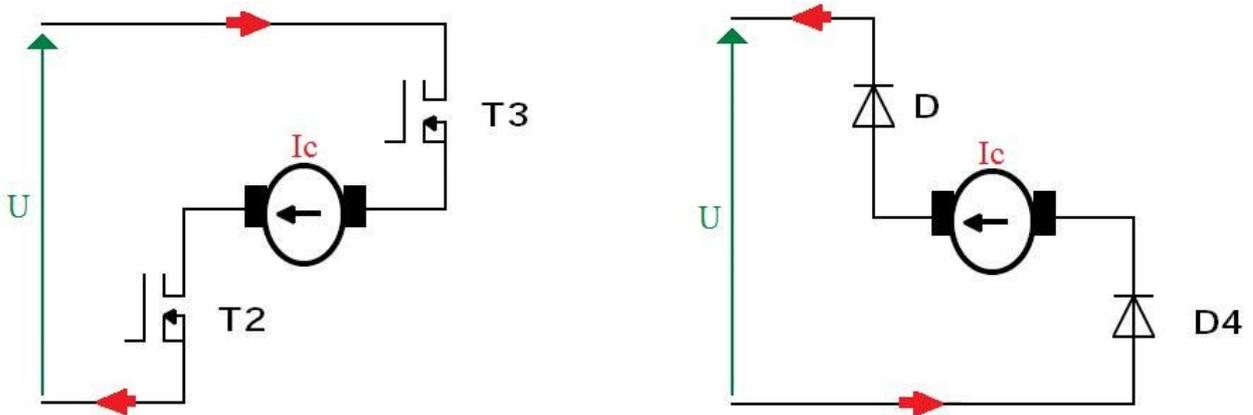


Illustration 10 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 2. [4]

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

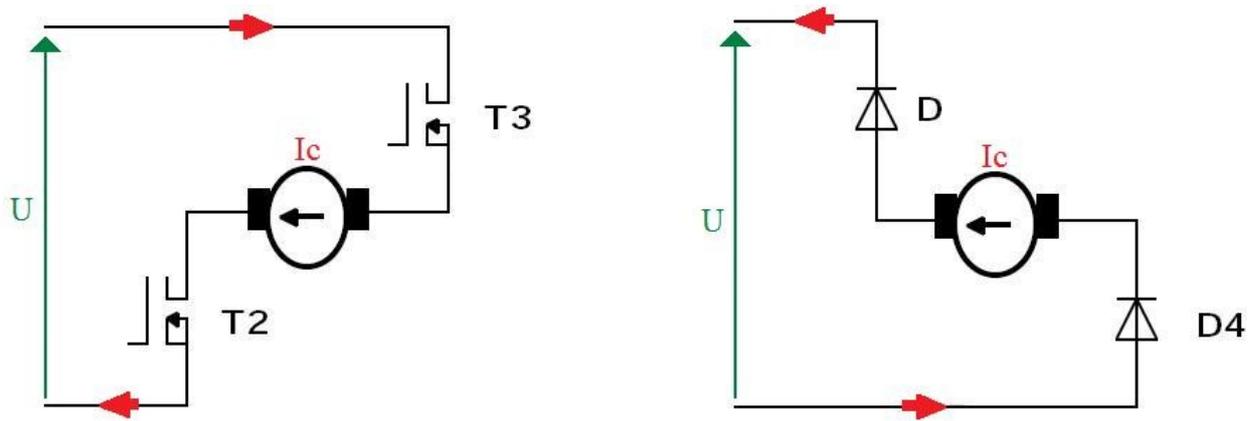


Illustration 11 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 3. [4]

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

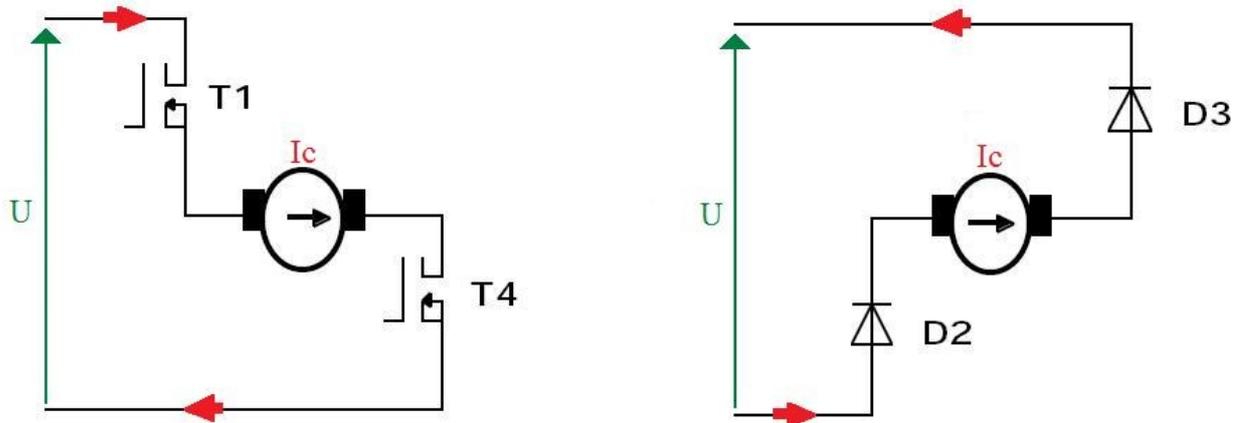


Illustration 12 : Schémas du passage du courant dans le moteur pour le quadrant 4. [4]

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.

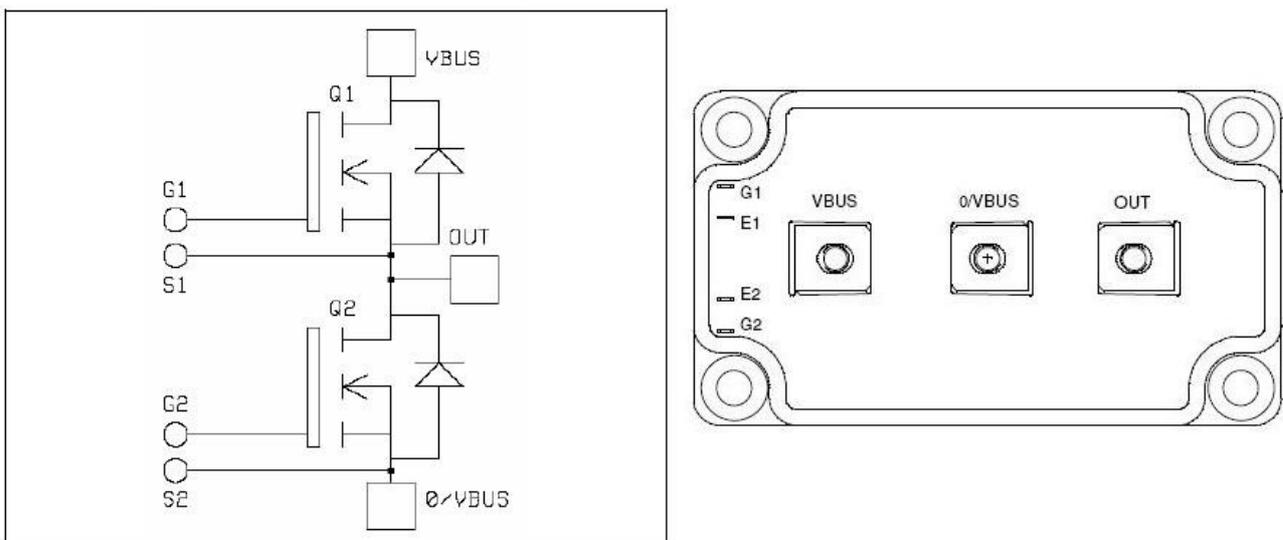


Illustration 13 : Schéma du transistor (à droite, la vue extérieure et à gauche, la composition interne d'un boîtier). [2]

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	$\text{m}\Omega$
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 150x300mm.

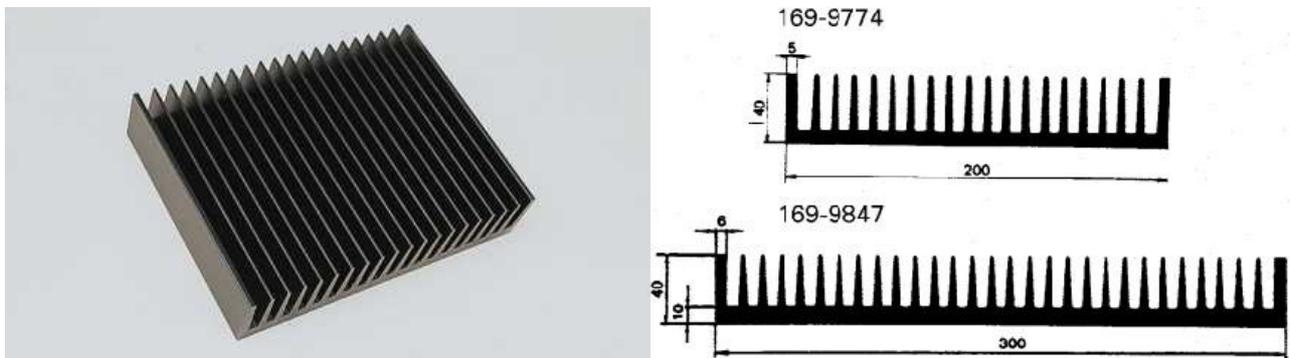


Illustration 15 : Photo du dissipateur (à gauche) et schémas du dimensionnement (à droite). [2]

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.

2.7. 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.

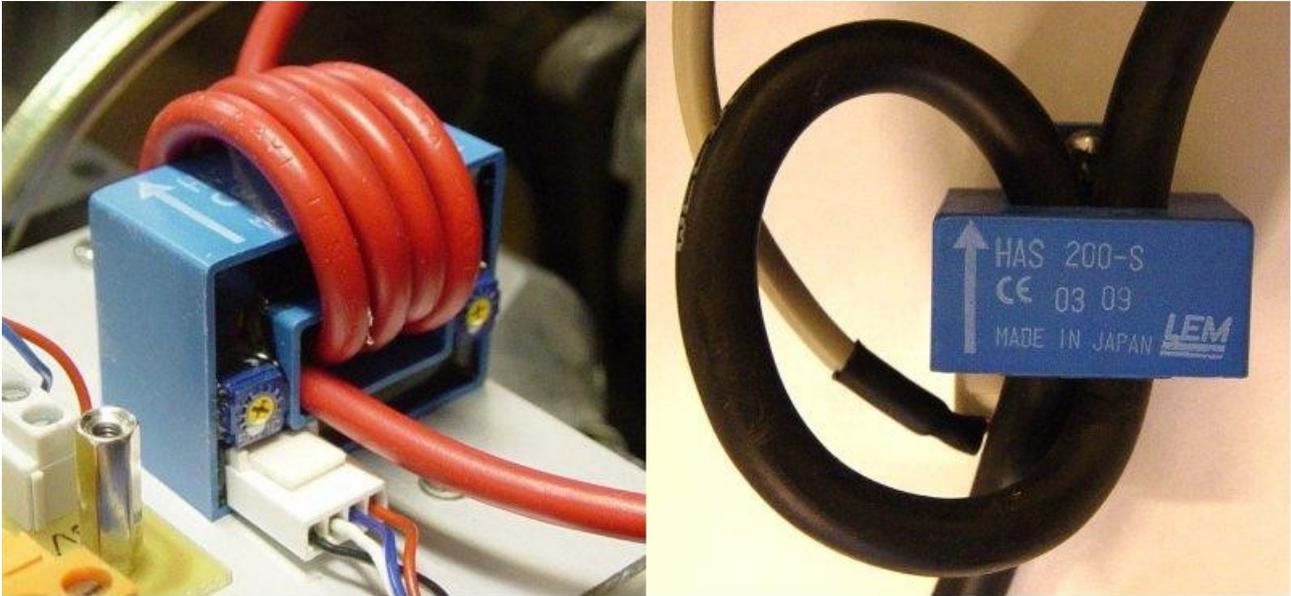


Illustration 16 : Photos du capteur de courant. [2]

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 Hall² pour la mesure.

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

- 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.

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

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

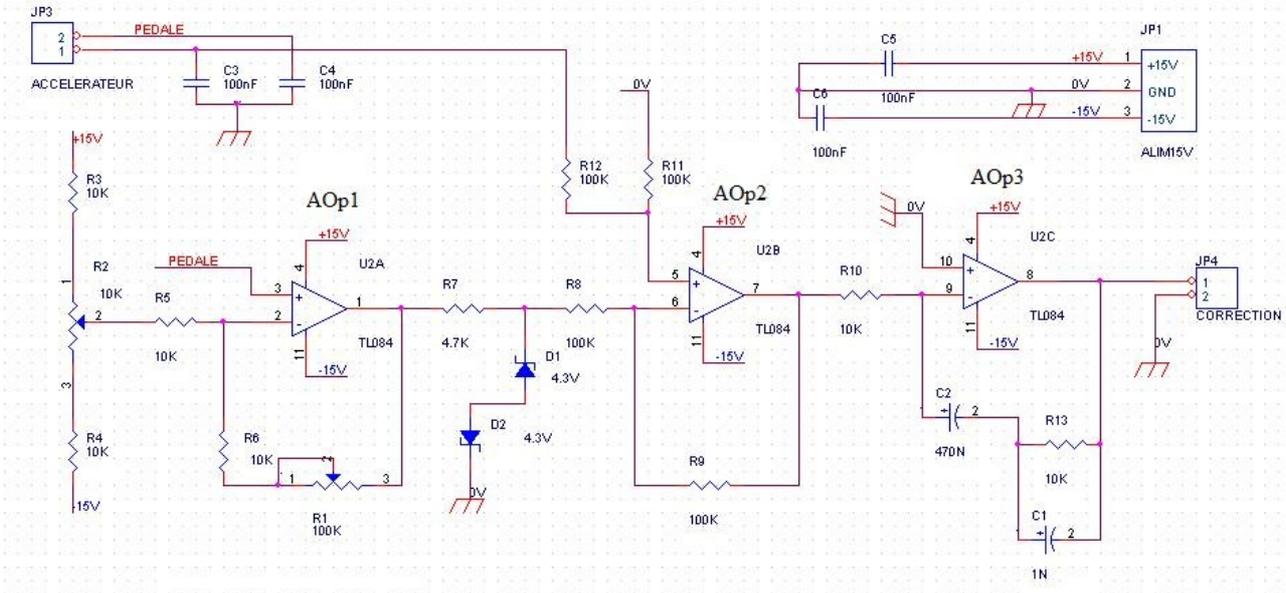


Illustration 17 : Schéma du montage de la carte correcteur PI.

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

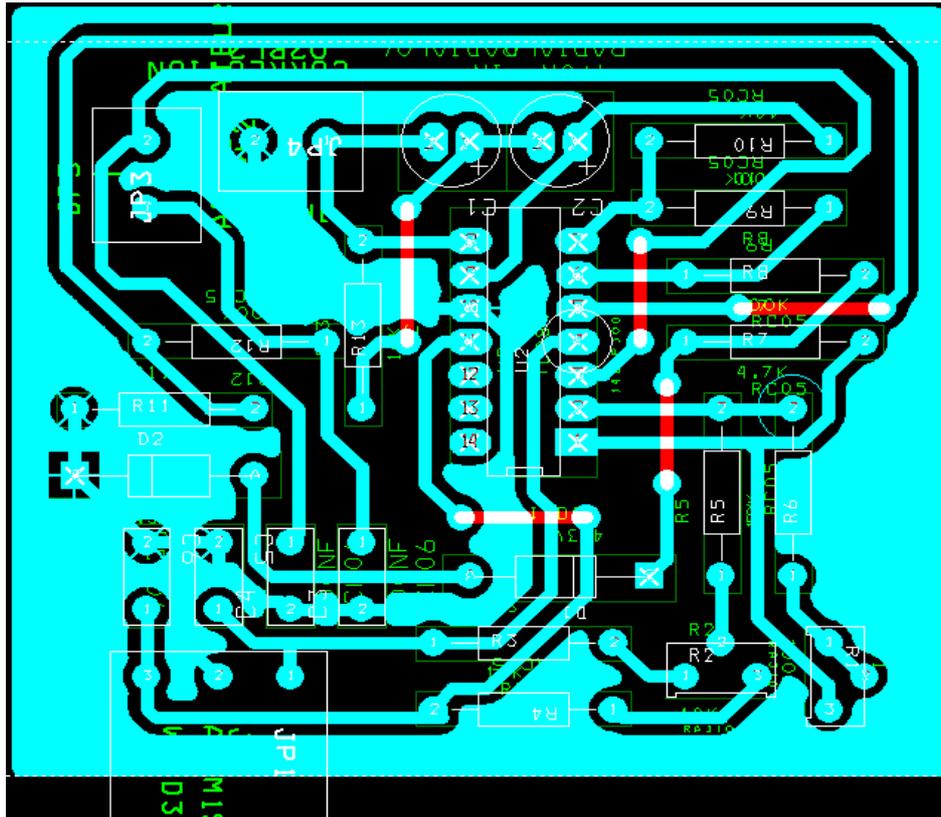


Illustration 18 : Typon de la carte correcteur PI.

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.

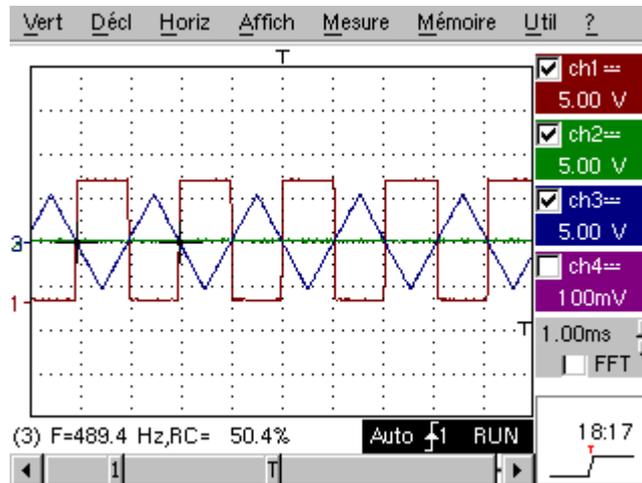


Illustration 19 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de 0 V.

Nous voyons sur ce relevé oscillographique le créneau généré par le MLI en rouge, la rampe en bleu et la tension de consigne en vert³.

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.

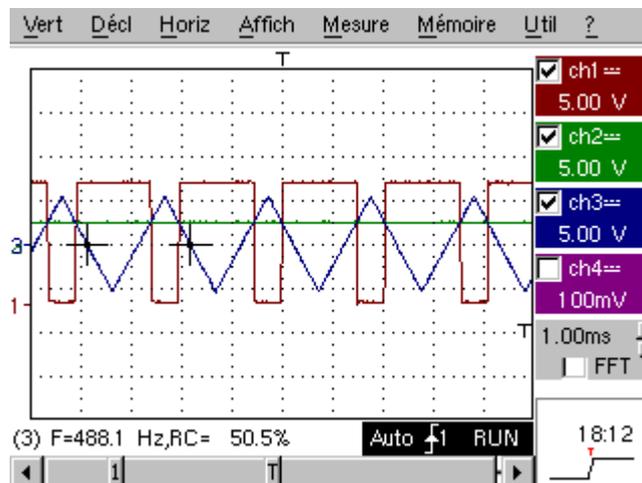


Illustration 20 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +2,5 V.

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.

³ Le créneau est positif car nous avons délibérément rabaisé celui-ci pour une meilleure visibilité.

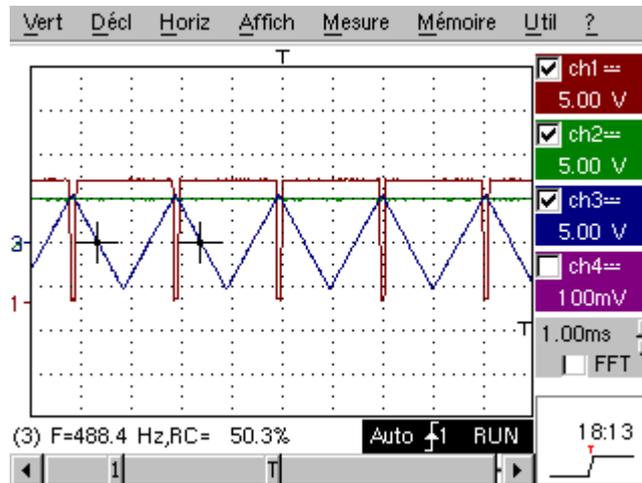


Illustration 21 : Relevé oscillographique pour une tension de commande de +5 V.

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.

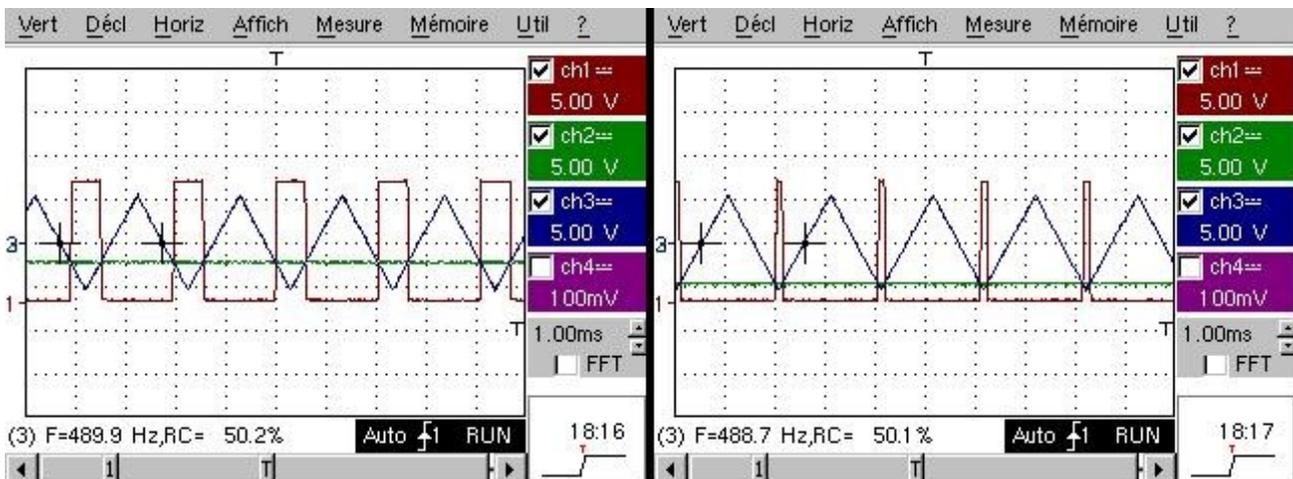


Illustration 22 : Relevé oscillographique pour une tension de commande négative de -2,5 V (à gauche) et -5 V (à droite).

3.2.2. La carte MLI

Schéma de la carte

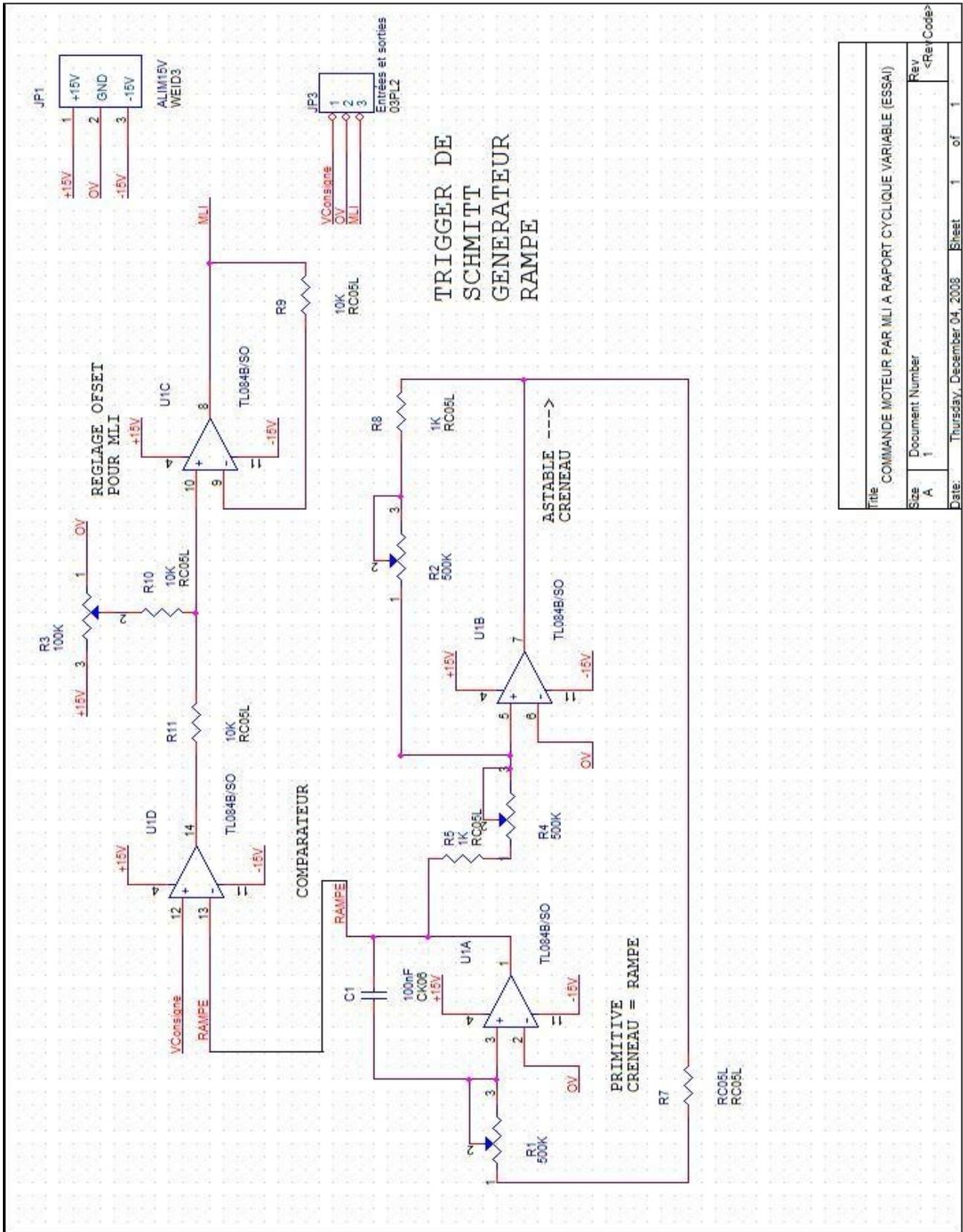


Illustration 23 : Schéma du montage de la carte MLI.

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

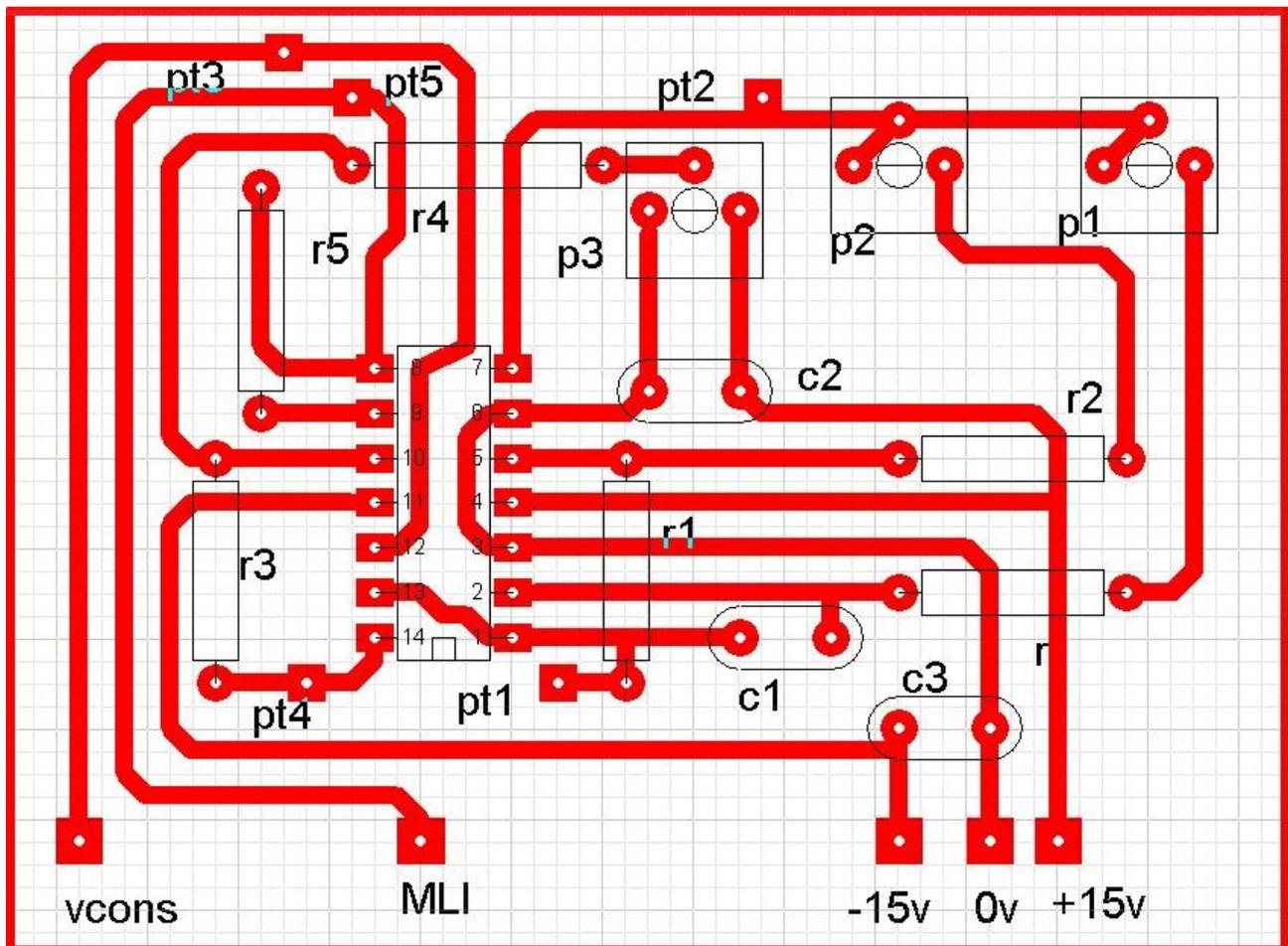


Illustration 24 : Typon de la carte MLI avec le TL084.

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°23.

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

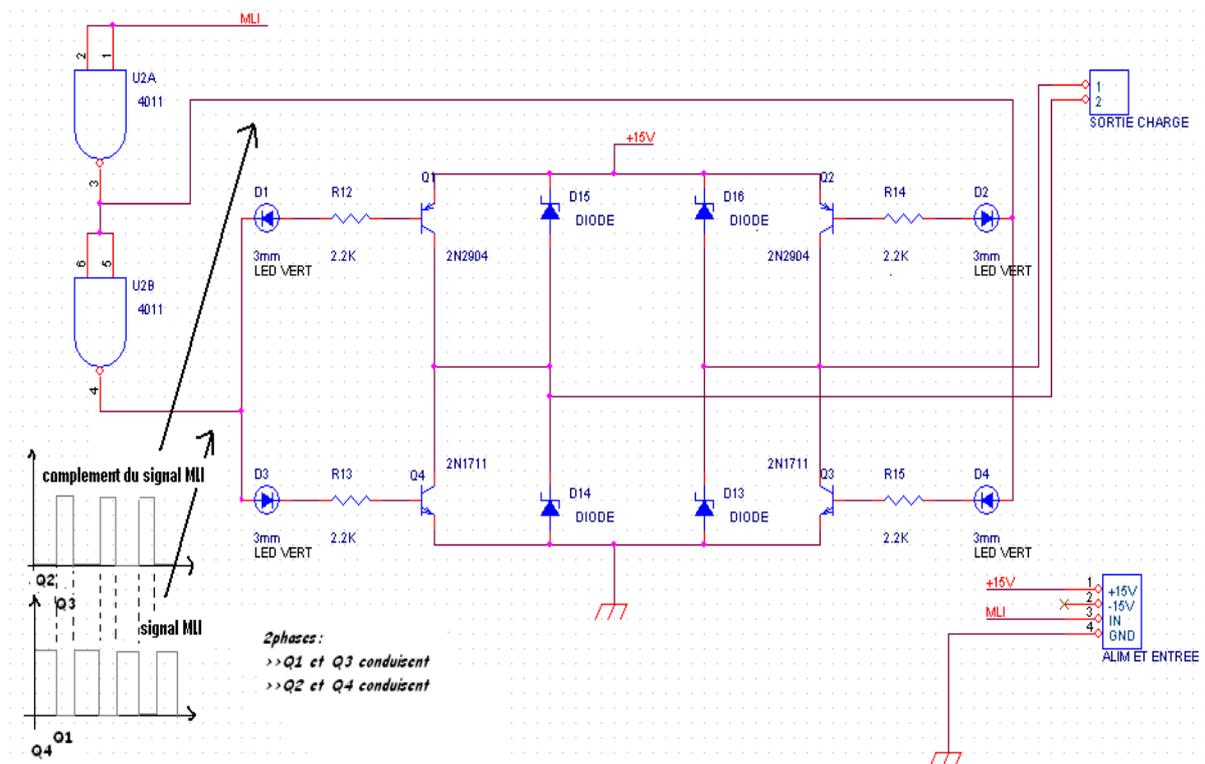


Illustration 25 : Schéma du montage de la carte driver avec le pont en H.

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

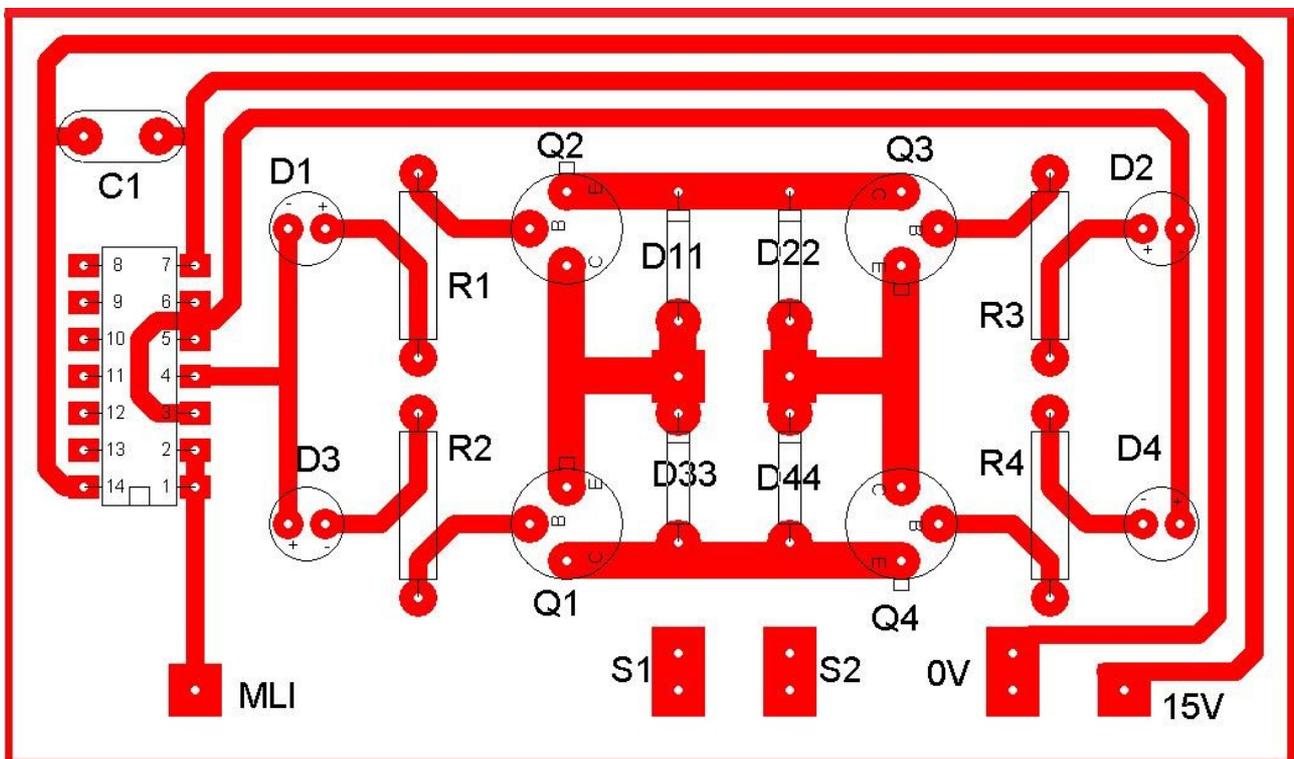


Illustration 26 : Typon de la carte driver et pont en H de la maquette d'essai.

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-ci⁴ 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 fourni 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

4 Voir référence du transistor APTM10AM02F en annexe 2.

4.2. Schémas des cartes finales

4.2.1. La carte MLI

Schéma de la carte

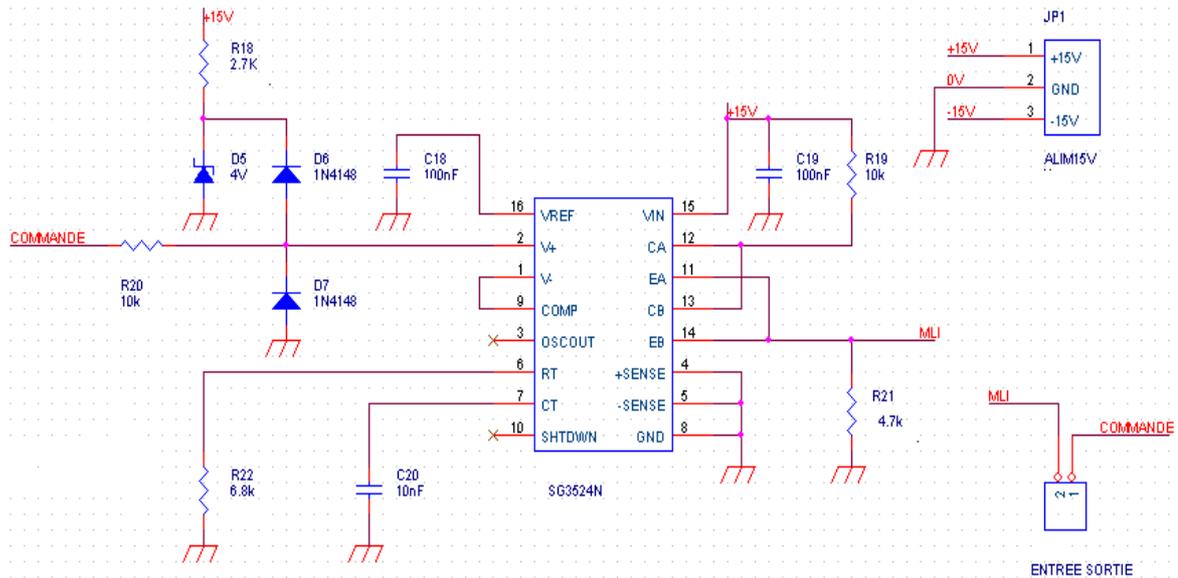


Illustration 27 : Schéma du montage de la carte final MLI.

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

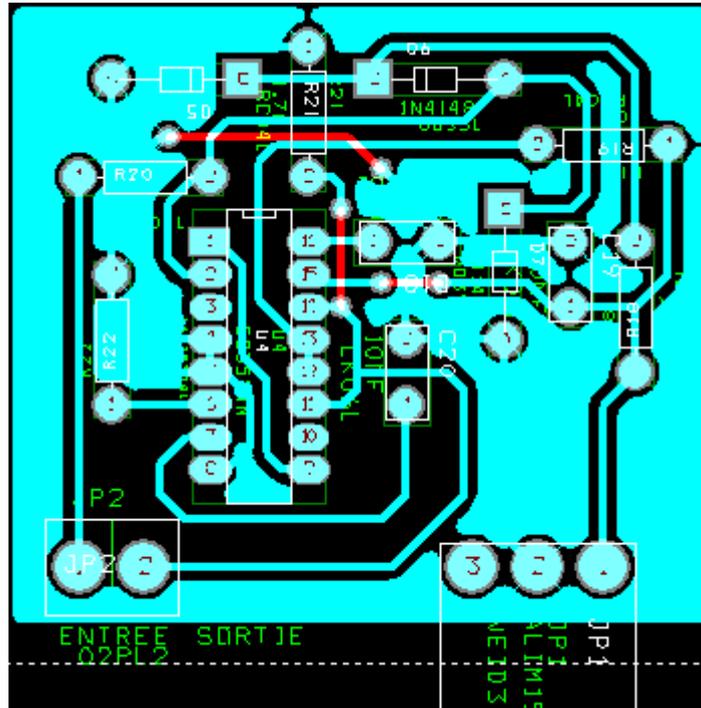


Illustration 28 : Typon de la carte MLI avec le composant SG3524N.

4.2.2. La carte driver

Schéma de la carte

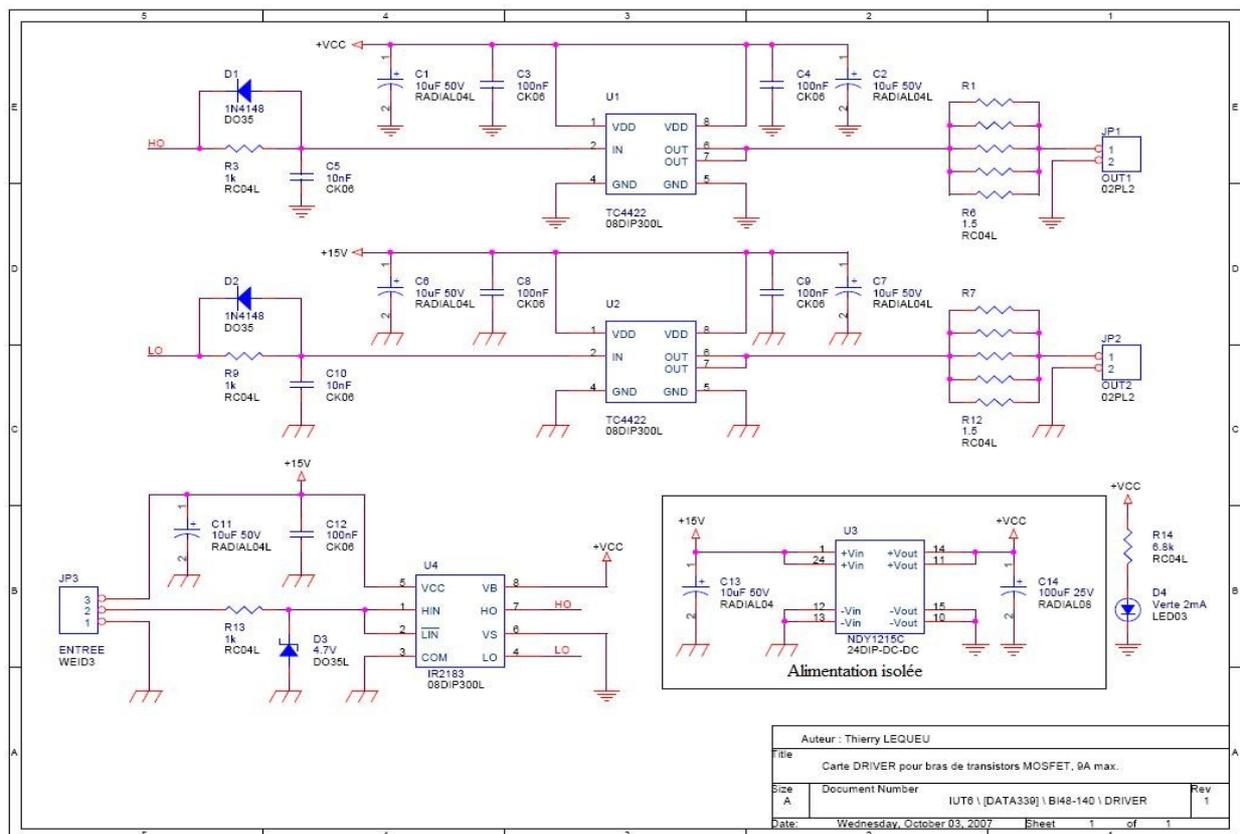


Illustration 29 : Schéma du montage de la carte driver.

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

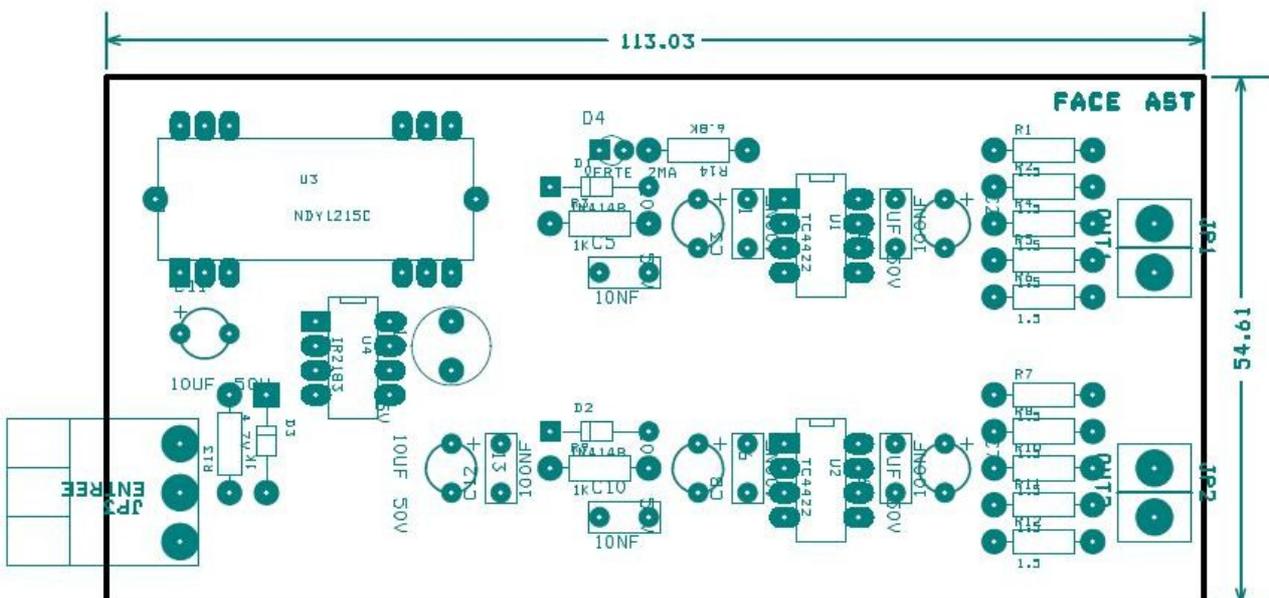
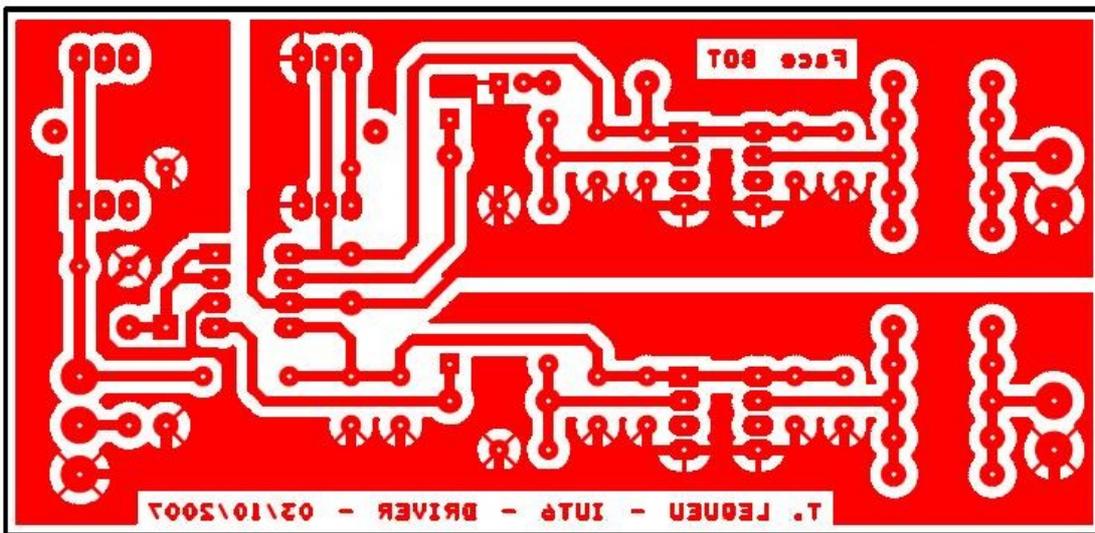


Illustration 30 : Typon de la carte driver (au dessus) et schéma d'implantation des composants (en dessous).

5. Modifications apportées lors du semestre 4

Dans cette partie nous allons exposer les modifications apportées au projet commencé au semestre 3. Ces modifications consistent dans un premier temps à réaliser une carte regroupant la fonction PI et MLI, puis de créer une carte monobloc comprenant 4 cartes driver et pour finir à réaliser les schémas qui serviront à la réalisation du montage complet comprenant tous les éléments constitutifs du projet qui sera ensuite implanté sur le kart biplace.

5.1. Réalisation de la carte PI-MLI

Pour optimiser la place et faciliter le montage du bloc entier nous avons regroupé la carte PI et MLI. Lors de la réalisation de cette carte nous avons utilisé les solutions retenues lors du semestre 3.

5.1.1. Schéma de la carte PI-MLI

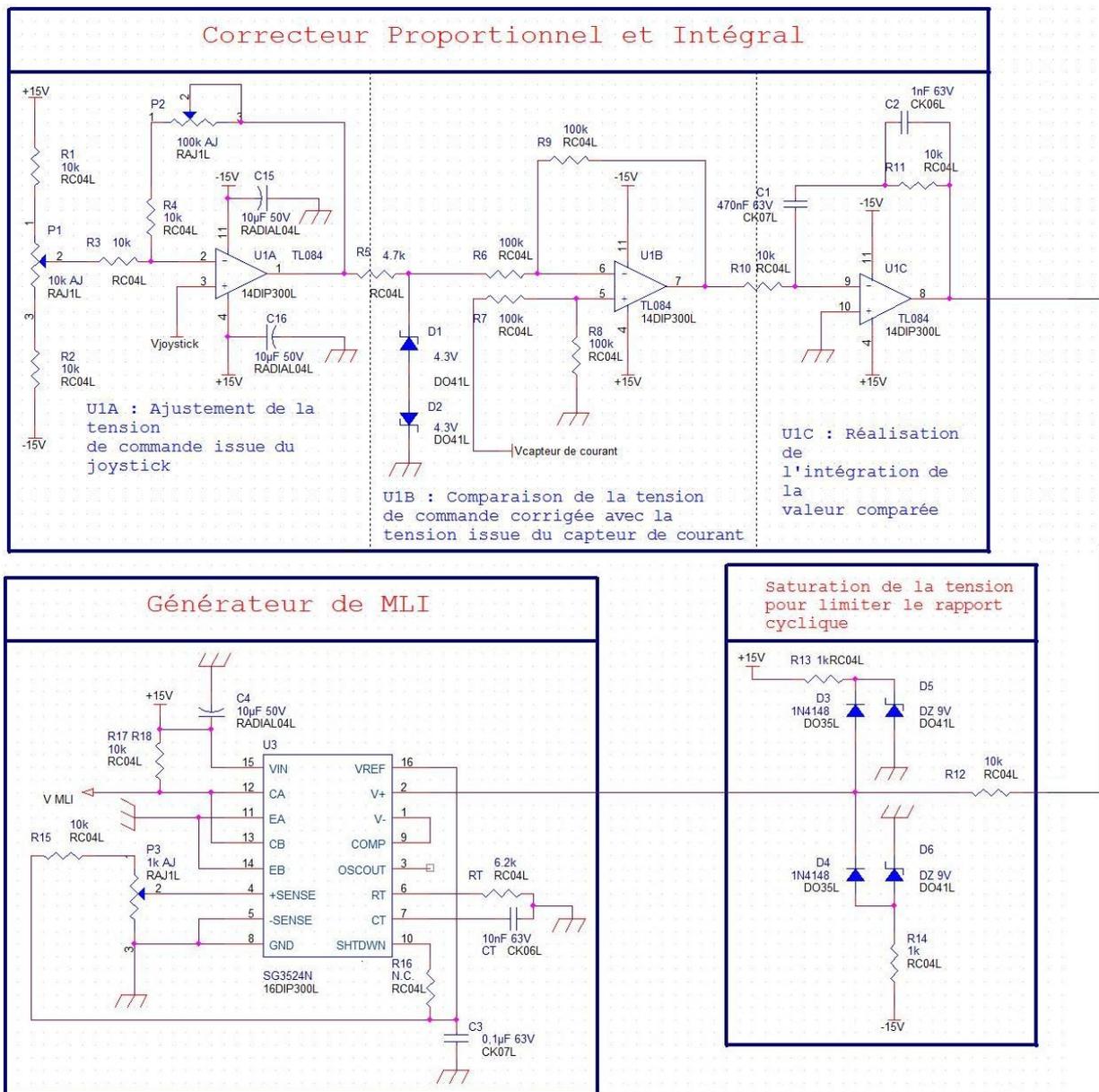


Illustration 31 : Schéma des fonctions PI et MLI.

Alimentation de la carte via le Traco power avec ajout de filtrage et LED témoin de fonctionnement

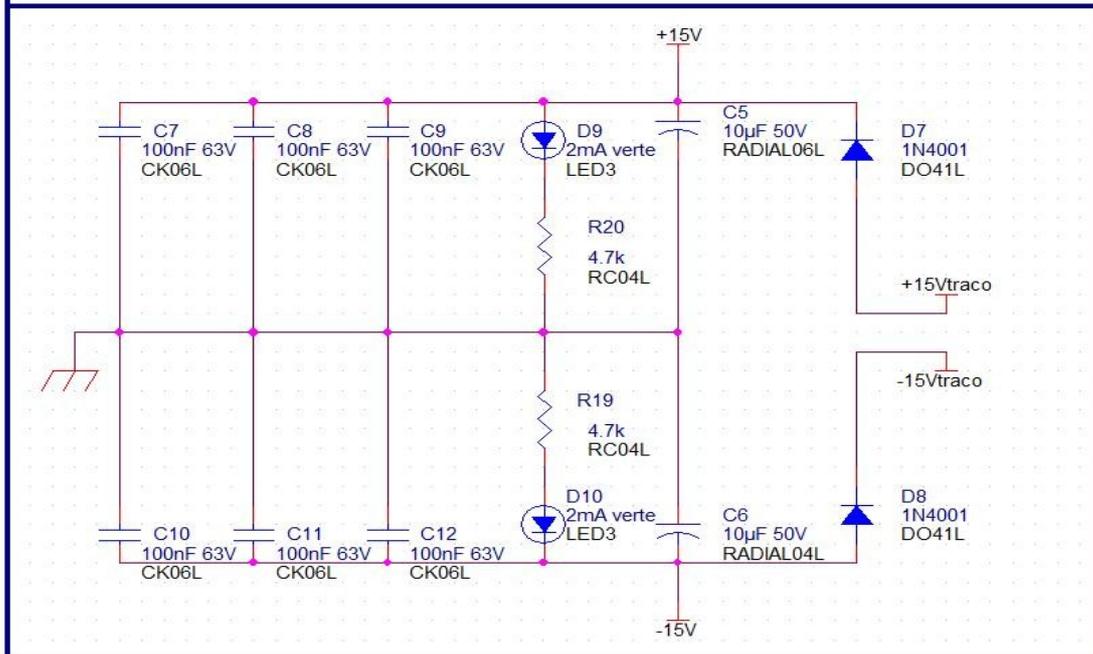
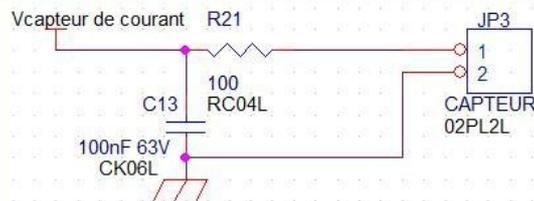
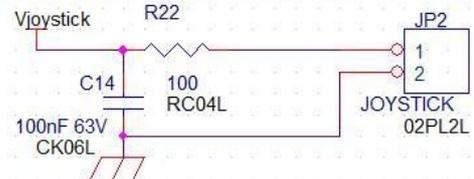


Illustration 32 : Schéma de la partie stabilisation de l'alimentation issue du traco power.

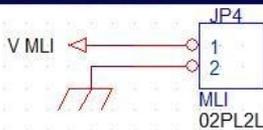
Tension issue du capteur de courant du moteur



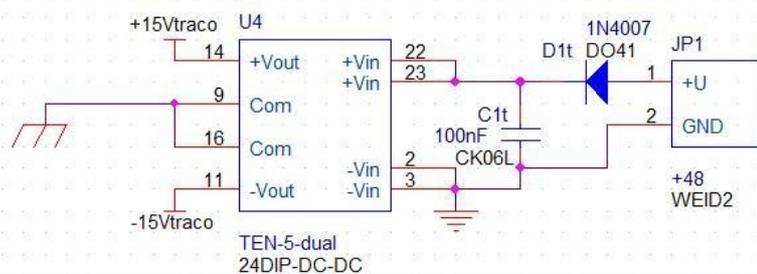
Tension issue du joystick



Signal de sortie MLI 20kHz



Alimentation 48V des batteries vers +15V et -15V



CLEMENT Quentin, groupe P1 IUT
GEII semestre 4 MC-ET4

Illustration 33 : Schéma de la partie réception de signal et alimentation via un traco power.

5.1.2. Typon de la carte

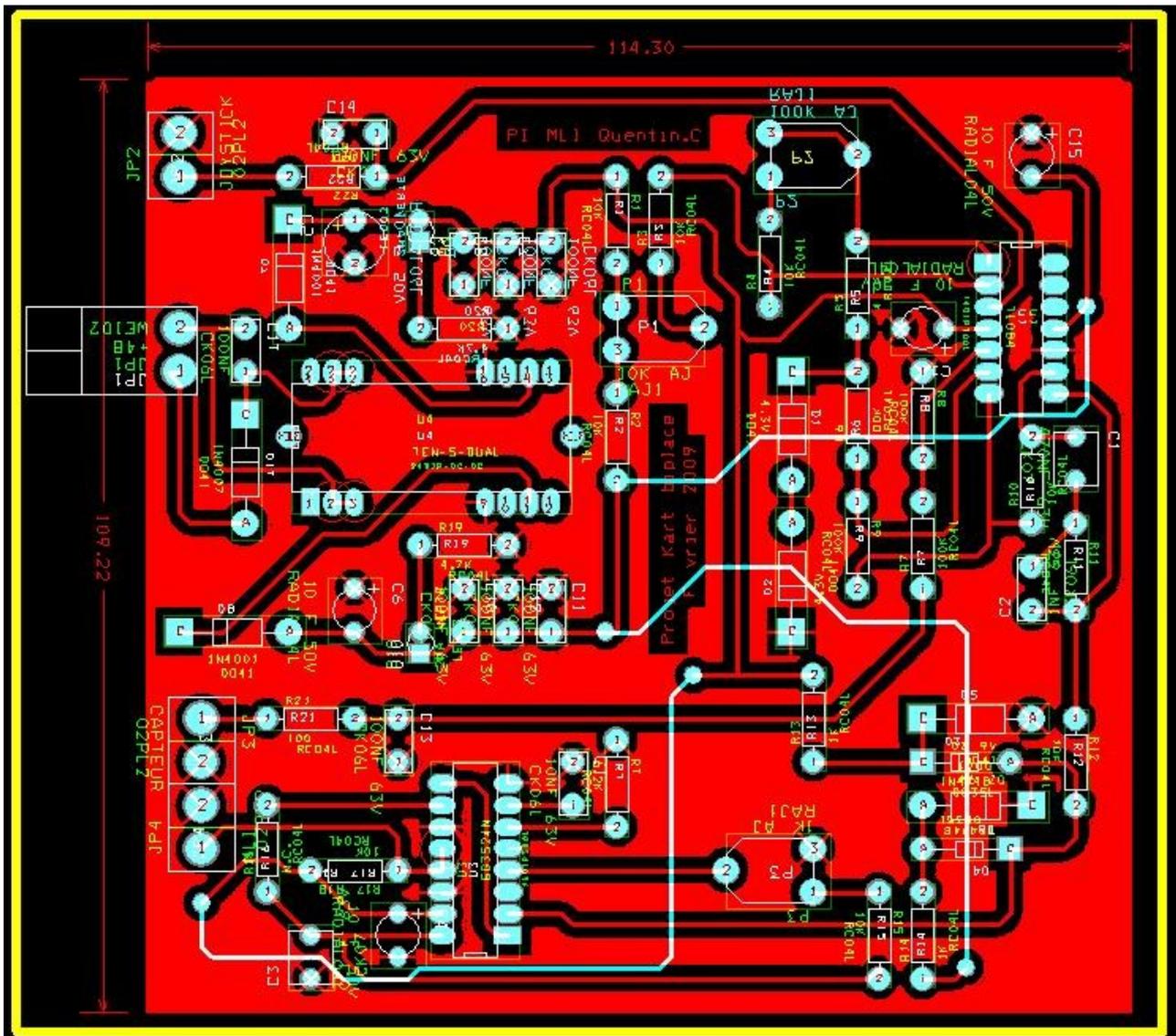


Illustration 34 : Typon de carte PI-MLI.

5.1.3. Tests de la carte

La carte étant réalisée, nous avons effectué des tests pour valider le fonctionnement du montage. Lors de ces tests nous nous sommes aperçu que le correcteur PI n'était pas fonctionnel. Après plusieurs vérifications nous avons identifiée la nature du problème, celui-ci est dû au fait que nous avons une pseudo boucle ouverte. En effet nous simulons le capteur de courant et l'accélérateur via des alimentations continues, mais le problème est que nous ne pouvons obtenir la corrélation entre ces deux mesures, ce qui a provoqué une erreur sur le correcteur intégrateur qui arrive très vite vers des valeurs corrigées allant à la saturation du composant.

Pour valider une partie du test de la carte nous avons shunté l'intégrateur tout en gardant le correcteur proportionnel. Ce test s'est révélé positif et conforme aux attentes voulues.

Ce test montre donc que la carte fonctionne dans son intégralité à l'exception du correcteur intégrateur qui n'a pu être testé.

Nous avons relevé les oscillogrammes de notre phase de test final :

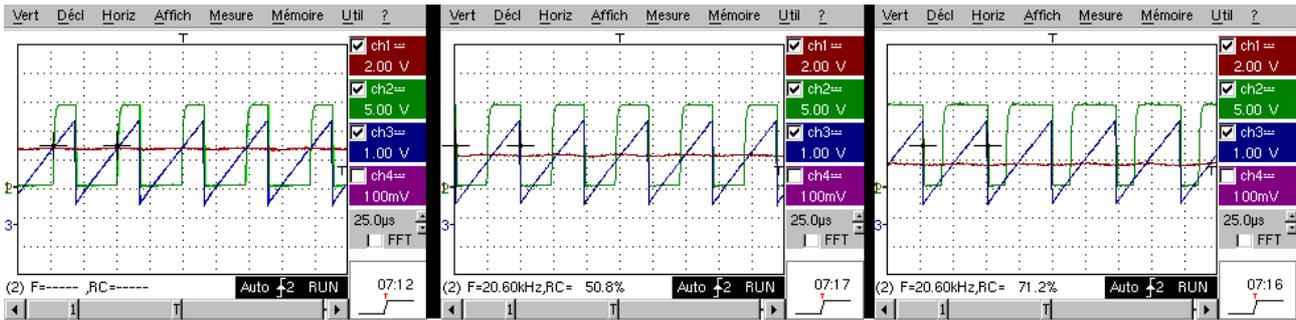


Illustration 35 : Relevés oscillographiques des tests de la carte.

La courbe en vert représente le signal de sortie (MLI), le signal en bleue est la rampe de référence créer par le SG8535 et la droite rouge est le signal issu du correcteur.

5.2. Réalisation du module avec SolidWorks

Dans cette partie nous expliquerons les solutions utilisées pour la conception du module (ou bloc) qui contient le hacheur.

Le logiciel SolidWorks est un logiciel de CAO 3D. Il permet :

- **la modélisation de pièces**, par le biais de fonctionnalité de modélisation de pièces basée sur des fonctions. Celles-ci permettent de créer aisément des conceptions en utilisant entre autres, des extrusions, des révolutions, des fonctions minces, des coques complexes, des répétitions dans une zone, ainsi que des perçages,
- **la modélisation d'assemblages** permet lors de la création des pièces de faire directement référence à d'autres pièces et conserver les relations existantes,
- **la mise en plan 2D** permet l'élaboration des mises en plan techniques, prêtes pour la production, sans tracer une seule ligne ou un seul arc. Les vues de mise en plan et les nomenclatures sont mises à jour chaque fois que la conception d'une pièce ou d'un assemblage subit des modifications.

Les illustrations ci-dessous représentent les différentes pièces composant le système modélisé sur SolidWorks, tels que le dissipateur, le boîtier de transistors, le condensateur, la barre de cuivre, la protection aluminium et les boîtes pvc.

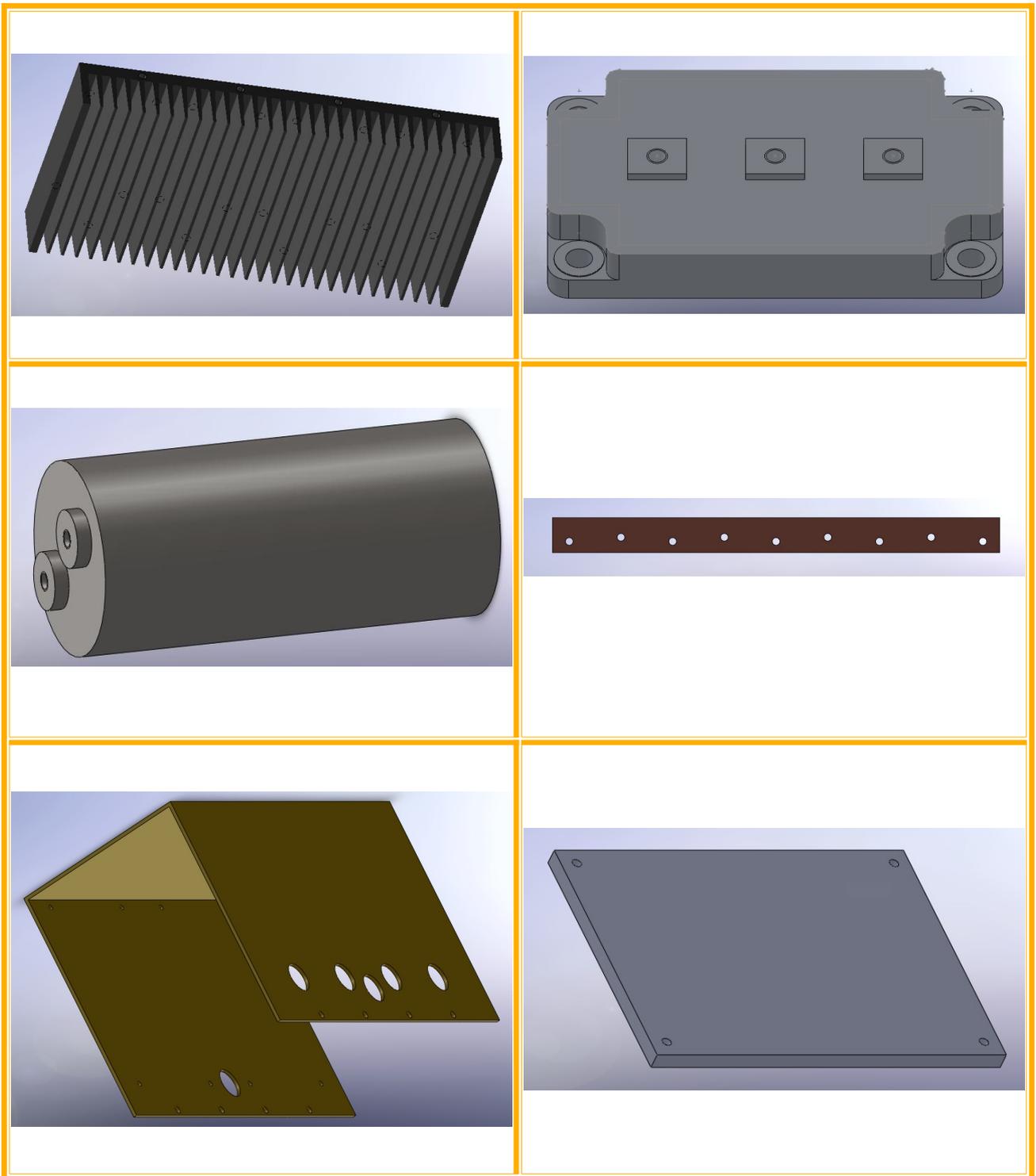


Illustration 36: Les différentes pièces du hacheur

Nous avons par la suite assemblé ces différentes pièces. Dans un premier temps, les pièces permettant de former le pont en H : le dissipateur, les 4 boîtiers de transistors et les barres de cuivre.

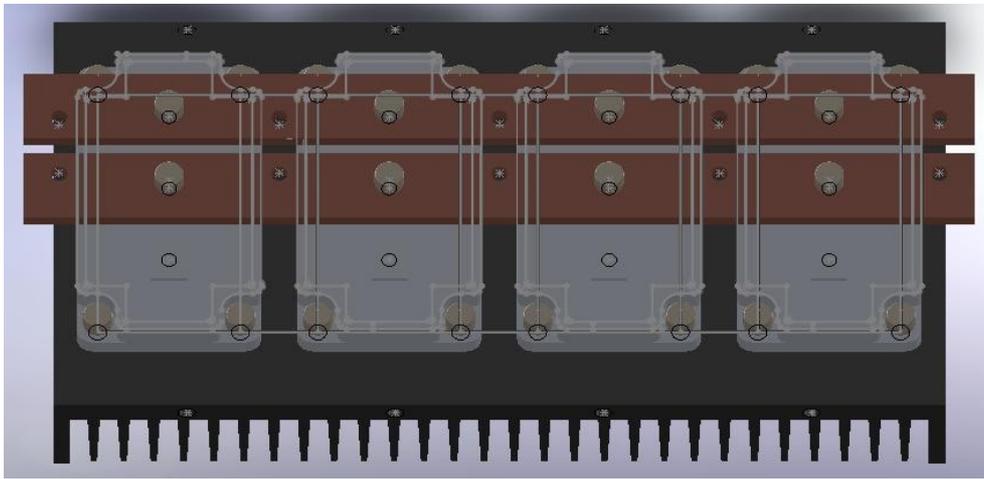


Illustration 37: Assemblage du pont en H

L'écart entre les deux barres de cuivre devait respecter une certaine distance pour ne pas produire un arc électrique. Celle-ci nous est fournie par le tableau ci-dessous :

Tension (en V)	Ecart mini (en mm)
0 à 50	0.5
50 à 100	0.7
100 à 170	1.0
170 à 250	1.2
250 à 500	3.0

Nos barres sont éloignées de 6mm donc nous sommes bien supérieurs à l'écart minimum.

Nous avons par la suite ajouté à l'assemblage, le module de récupération d'énergie. C'est-à-dire 5 condensateurs de 22 000 μ F ont été implantés entre les boitiers de transistors.

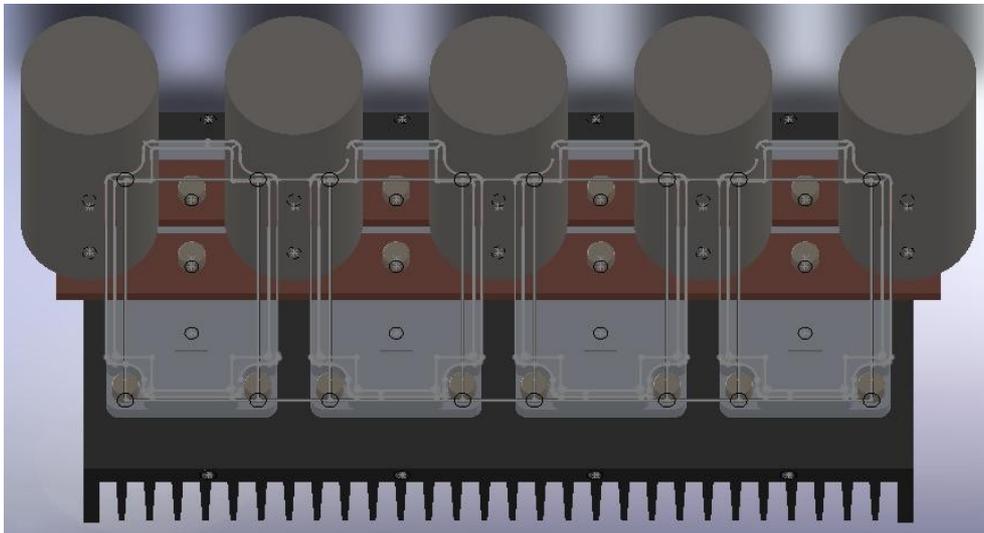


Illustration 38: Mise en place du module de récupération d'énergie

Pour protéger, le module de récupération d'énergie ainsi qu'éviter tout contact extérieur avec les barres de cuivre, nous avons mis en place une protection en aluminium fixé sur le dissipateur. Celle-ci possède différents perçage permettant le passage des différents câbles d'alimentation moteur et batterie.



Illustration 39: Mise en place de la protection aluminium.

Enfin, nous devons installer les cartes drivers le plus près possible des boitiers de transistor, pour cela nous avons mise en place les boites PVC sur la protection aluminium.

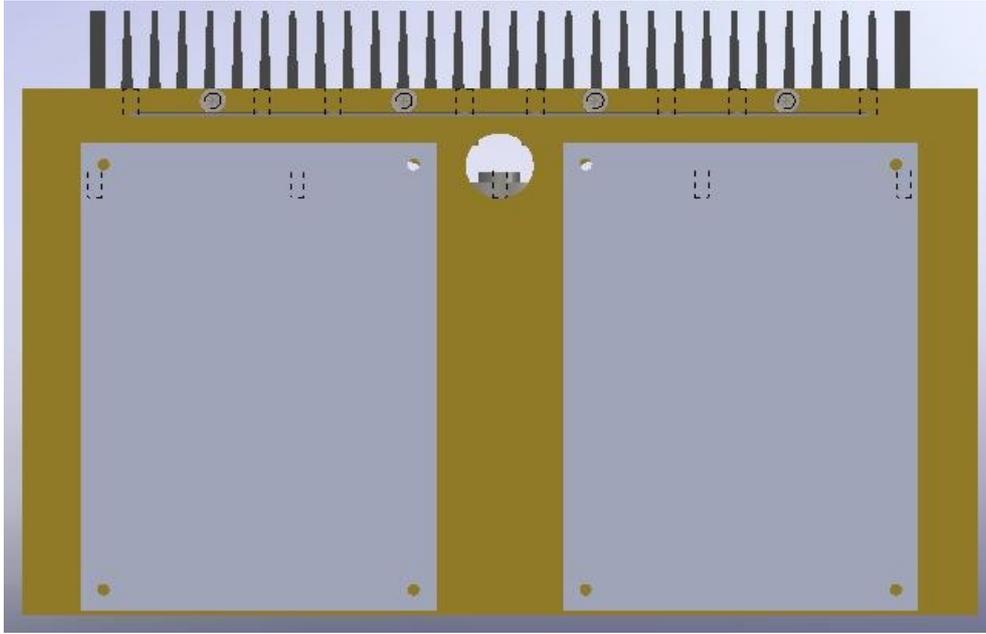


Illustration 40: Installation des boites de driver

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 de la carte PI-MLI 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 le module 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 les tests finaux.

Index des illustrations

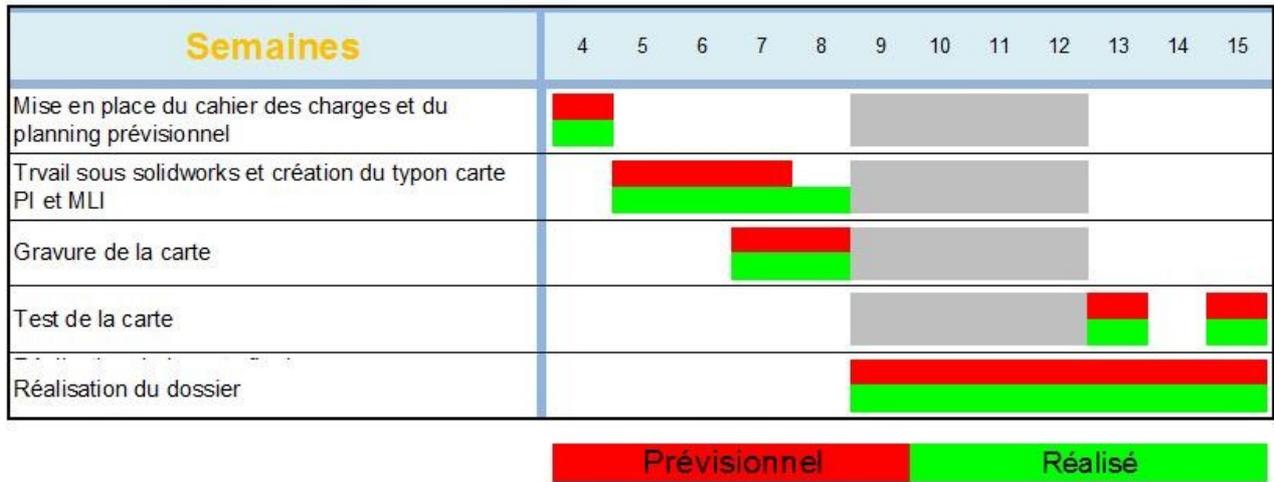
Illustration 1 : Schéma fonctionnel.....	6
Illustration 2 : Photo du moteur Lynch.[1].....	8
Illustration 3 : Batterie 12 V / 48 A.H, Optima jaune.[2].....	9
Illustration 4 : Schéma du hacheur réversible en courant de type BUCK.[2].....	9
Illustration 5 : Schéma de la structure du pont en H avec la MCC.[3].....	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 : Schéma 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 23 : Relevé oscillographique pour une tension de commande négative de -2,5 V (à gauche) et -5 V (à droite).....	23
Illustration 22 : 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 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.....	30
Illustration 30 : Typon de la carte driver (au dessus) et schéma d'implantation des composants (en dessous).....	31
Illustration 31 : Schéma des fonctions PI et MLI.....	32
Illustration 32 : Schéma de la partie stabilisation de l'alimentation issue du traco power.....	33
Illustration 33 : Schéma de la partie réception de signal et alimentation via un traco power.....	33
Illustration 34 : Typon de carte PI-MLI.....	34
Illustration 35 : Relevés oscillographiques des tests de la carte.....	35
Illustration 36: Les différentes pièces du hacheur.....	36
Illustration 37: Assemblage du pont en H.....	37
Illustration 38: Mise en place du module de récupération d'énergie.....	38
Illustration 39: Mise en place de la protection aluminium.....	38
Illustration 40: Installation des boites de driver.....	39

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

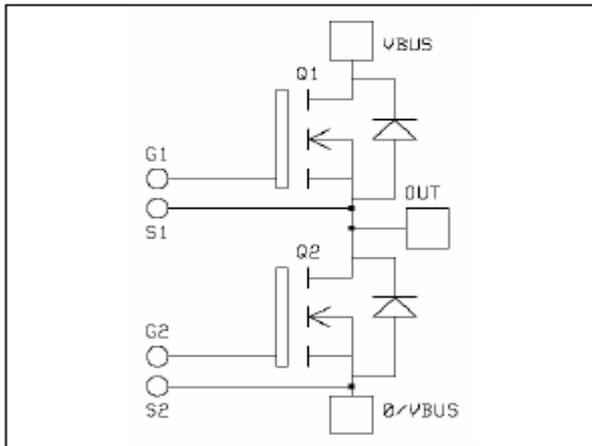
Annexe 1 : Planning du projet



Annexe 2 : Documentation constructeur de l'APTM10AM02F

Phase leg MOSFET Power Module

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



Application

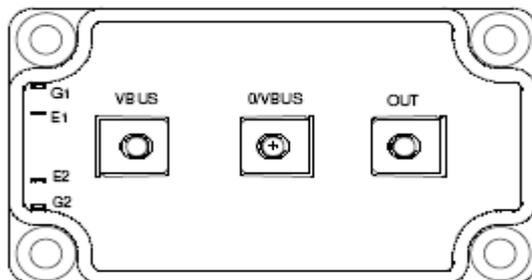
- Welding converters
- Switched Mode Power Supplies
- Uninterruptible Power Supplies
- Motor control

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	$I_S = -400A$ $V_R = 50V$ $di_S/dt = 400A/\mu s$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		190	ns
			$T_j = 125^\circ\text{C}$		370	
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	$I_S = -400A$ $V_R = 50V$ $di_S/dt = 400A/\mu s$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	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.

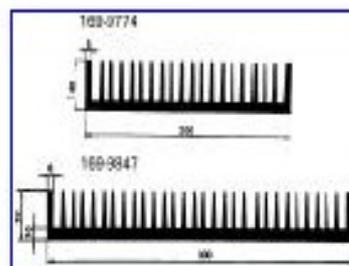
③ dv/dt numbers reflect the limitations of the circuit rather than the device itself.

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

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:	0,8°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



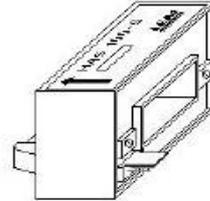
Current Transducers HAS 50 to 600-S

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 (± 5 %)	± 15	V
I_C	Current consumption	± 15	mA
I_{OC}	Overload capacity	30,000	At
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	MΩ
V_{OUT}	Output voltage @ ± I_{PN} , $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 4V ±	
40	mV		
R_{OUT}	Output internal resistance	approx. 100	Ω
R_L	Load resistance	> 1	kΩ

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (without offset)	< ± 1	%
ϵ_L	Linearity ²⁾ (0 .. ± I_{PN})	< ± 1	% of I_{PN}
V_{OE}	Electrical offset voltage, $T_A = 25^\circ\text{C}$	< ± 20	mV
V_{OH}	Hysteresis offset voltage @ $I_p = 0$; after an excursion of $1 \times I_{PN}$	< ± 20	mV
V_{OT}	Thermal drift of V_{OE}	HAS 50-S < ± 2 HAS 100 to HAS 600-S < ± 1	mV/K
TCE_G	Thermal drift of the gain (% of reading)	< ± 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	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 80	°C
m	Mass	approx. 60	g
	Standards ⁴⁾	EN 50178	

Features

- Hall effect measuring principle
- Galvanic isolation between primary and secondary circuit
- Isolation voltage 3000 V~
- Low power consumption
- Extended measuring range (3 x 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.

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

²⁾ Linearity data exclude the electrical offset.

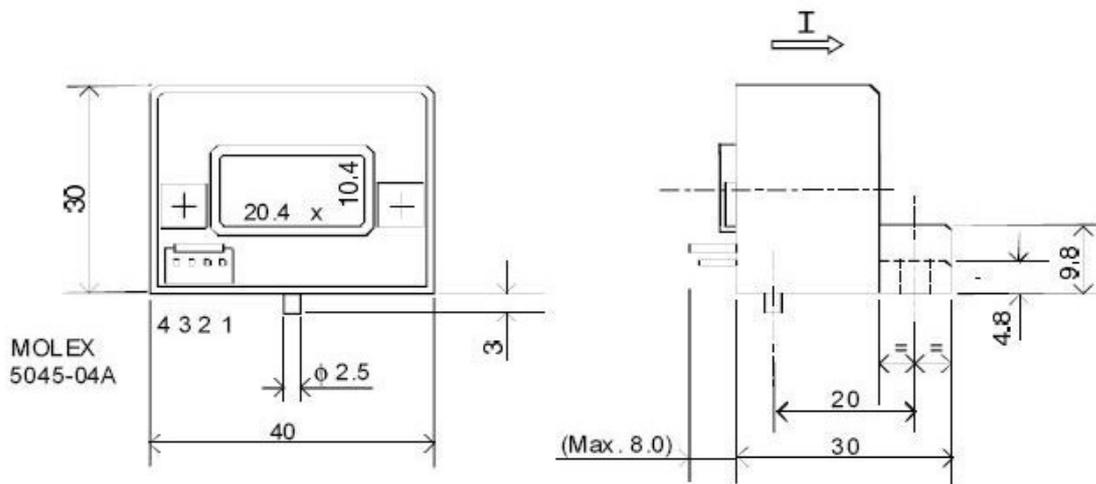
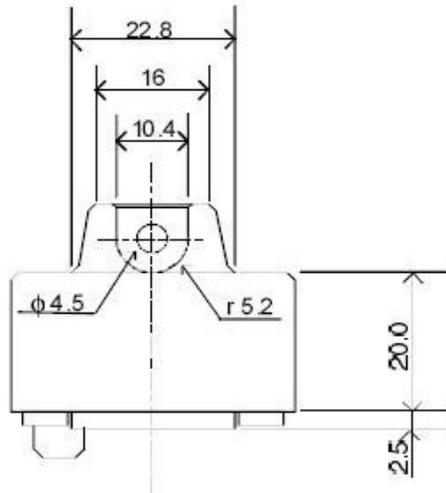
³⁾ Please refer to derating curves in the technical file to avoid excessive core heating at high frequency.

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

98 1007/4

HAS 50 to 600-S

Dimensions (in mm)



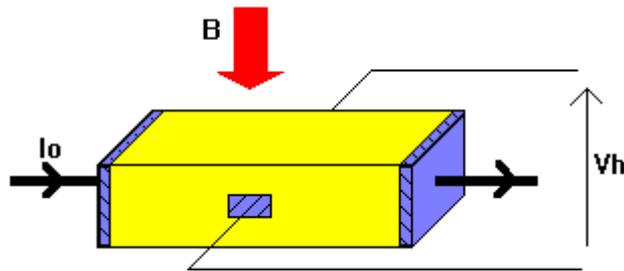
PINS ARRANGEMENT

- 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

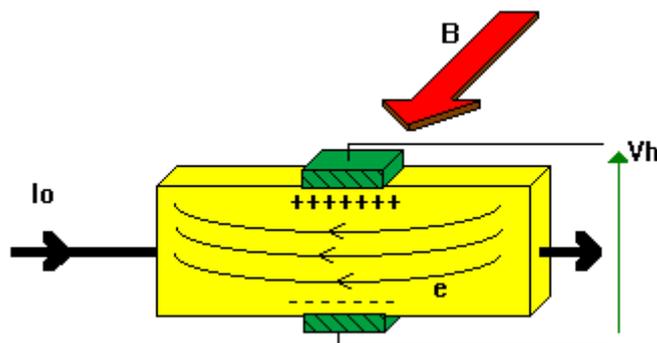


Si un courant I_0 traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction B est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension V_h , proportionnelle au champ magnétique et au courant I_0 , apparaît sur les faces latérales du barreau.

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.

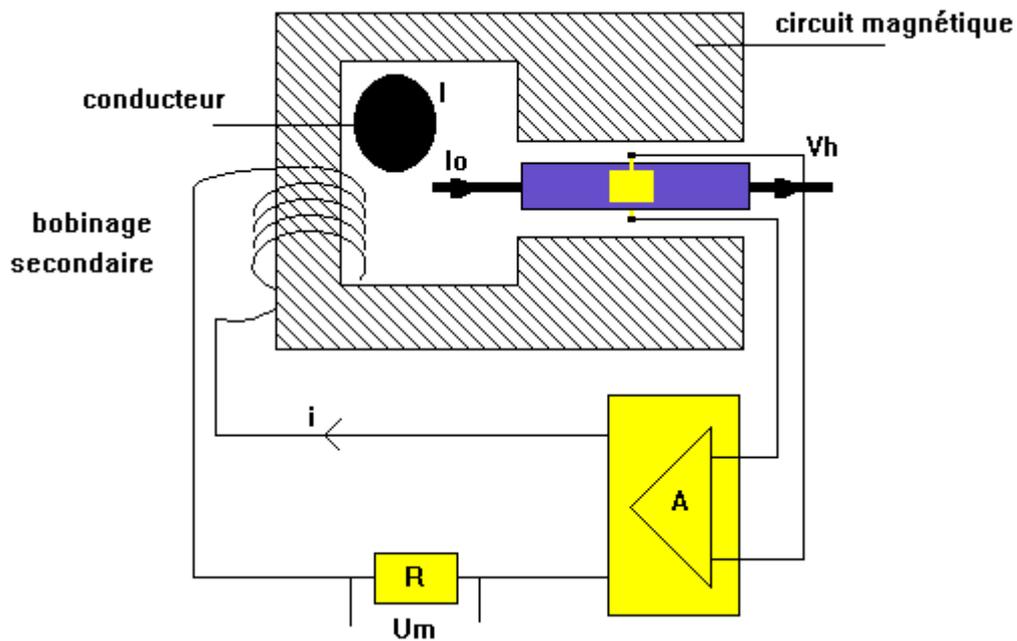
Application a la mesure avec isolation galvanique

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>