



# *Commande du hacheur*

## *de type boost*





# *Commande du hacheur*

## *de type boost*



BUPTO Marie  
TOURGIS Jean-François  
Groupe EEP1  
Promotion 2005, seconde année

Enseignant encadrant :  
LEQUEU Thierry

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>DIAGRAMME SYNOPTIQUE GENERAL DU KART.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ANALYSE FONCTIONNELLE.....</b>	<b>8</b>
2.1	DIAGRAMME FONCTIONNEL DU SYSTEME ASSERVI .....	8
2.2	EXPLICATIONS DETAILLEES DE CHAQUE PARTIE DU DIAGRAMME SYNOPTIQUE .....	8
2.2.1	<i>Le diviseur de tension</i> .....	8
2.2.2	<i>Le soustracteur</i> .....	9
2.2.3	<i>Le correcteur PI</i> .....	10
2.2.4	<i>La M.L.I</i> .....	11
2.2.5	<i>Le limiteur</i> .....	12
<b>3</b>	<b>NOMENCLATURE PRECISE.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>TESTS ET MESURES .....</b>	<b>14</b>
4.1	LA M.L.I.....	14
4.2	LE DIVISEUR DE TENSION.....	15
4.3	LE SOUSTRACTEUR.....	15
4.4	LE CORRECTEUR PI.....	15
<b>5</b>	<b>RELAIS DE PUISSANCE.....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET .....</b>	<b>18</b>
6.1	PLANNING DE SUIVI DE PROJET .....	18
6.2	ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET.....	19
<b>7</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>22</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>23</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>30</b>
<b>12</b>	<b>ANNEXE 3 .....</b>	<b>34</b>

## Introduction

Cette année, comme la précédente, l'un des groupes EEP travaille sur le Kart électrique. Chaque binôme se charge d'optimiser le fonctionnement qui se divise en plusieurs parties :

- hacheur entrelacé réversible en courant 3x50A / 50V,
- hacheur réversible en courant 140A / 50V,
- circuit de commande pour un hacheur abaisseur de type BUCK réversible en courant 50V / 140A,
- circuit de commande pour un hacheur de type BOOST 24V-50V-7kW et 24V-110V-80mA,
- alimentations à découpage +15/-15V/+5V à partir d'une batterie de 24V,
- chargeur de batterie au plomb 12V 65AH à partir du secteur 230V 50Hz.

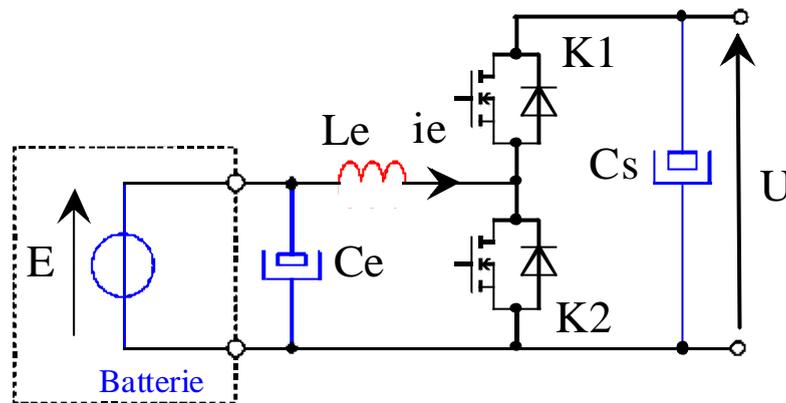
Chaque groupe de l'année dernière avait rempli son contrat sur la conception de la carte. L'objectif de cette année est d'augmenter les performances du véhicule afin qu'il ait une plus grande vitesse et plus de puissance au démarrage. Nous avons choisi de nous occuper de la partie commande du BOOST, la régulation du 50V et de l'alimentation du relais de puissance (24V → 110V). Pour ce faire, nous allons gérer chaque partie séparément ; nous avons dû d'ailleurs commencer par étudier le fonctionnement du hacheur BOOST afin de définir notre planning prévisionnel.

Dans un premier temps, nous aborderons le cahier des charges, qui regroupe toutes les conditions auxquelles doit répondre le produit, ensuite, les schémas synoptiques, qui illustrent tout le fonctionnement du Kart et de notre carte. Puis une partie détaillée sur l'étude de notre carte de commande expliquera en détail les principes de cette dernière. Par la suite, nous détaillerons tous nos tests et toutes nos recherches (Livres, Internet...) et enfin le planning qui nous a guidé lors de la réalisation du projet.

### Rappel du Cahier des charges

Le but de notre projet est de réaliser la partie commande du hacheur BOOST.

Reprenons tout d'abord le principe de fonctionnement de ce dernier dont le schéma de principe est le suivant :



Avec  $E = 24$  Volts et  $U = 50$  Volts.

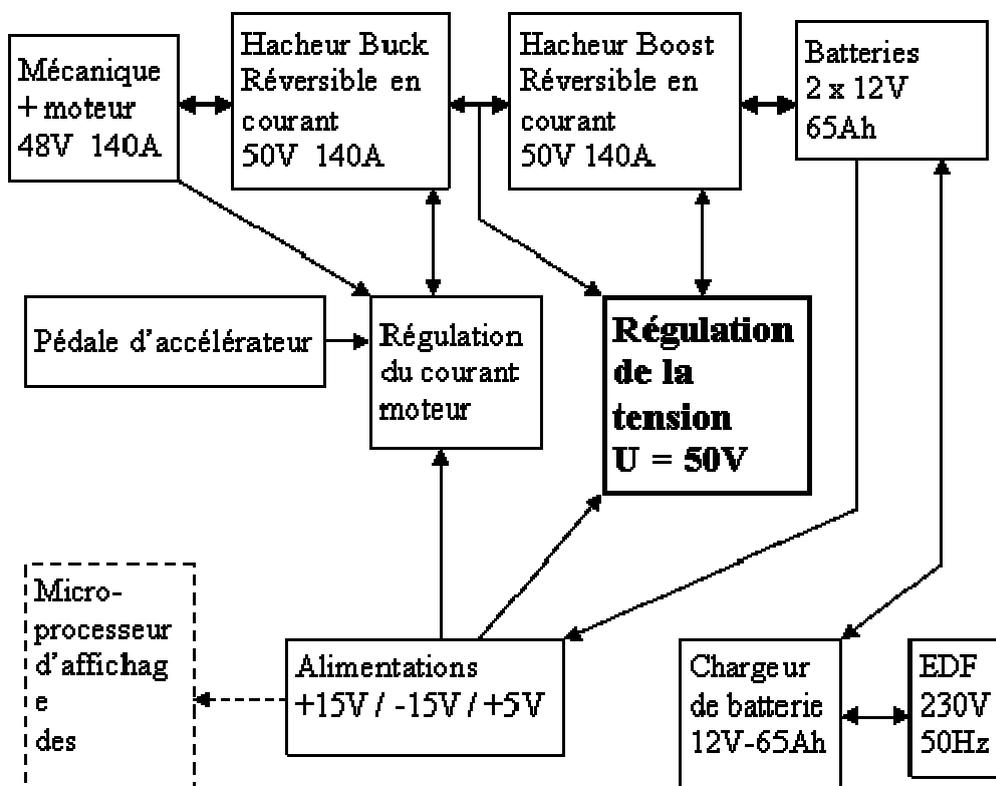
- pour  $t \in [0 ; \alpha T]$  : l'interrupteur K2 est fermé et K1 est ouvert. Pendant ce temps, l'inductance  $Le$  se charge et la charge est alimentée par le condensateur  $Cs$ .
- pour  $t \in [\alpha T ; T]$  : l'interrupteur K2 est ouvert et K1 est fermé. On obtient la relation suivante :  $v_{Le} = E - v_c = E - V_s$ . Or pour un hacheur de type BOOST,  $V_s > E$ , on a donc  $v_{Le}$  négatif. On en déduit que l'inductance  $Le$  se décharge et le condensateur  $Cs$  se recharge.

La partie commande que nous devons réaliser a pour but de piloter la fermeture et l'ouverture des transistors qui fonctionnent ici comme des interrupteurs (K1 et K2), à une fréquence de découpage  $F_d$ , afin de réguler la tension de sortie  $U$ . En effet, en fonction des variations de la tension que délivrent les batteries, notre montage permettra d'assurer une tension de sortie constante afin de protéger toutes les autres cartes d'une surtension.

De plus, notre carte devra répondre aux conditions suivantes :

- résister à des températures variant de  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $50^{\circ}\text{C}$ ,
- résister aux vibrations mécaniques du Kart,
- tenir dans l'emplacement prévu à cet effet (la place est limitée sur le Kart, avec les autres cartes),
- être munie d'un système de fixation.

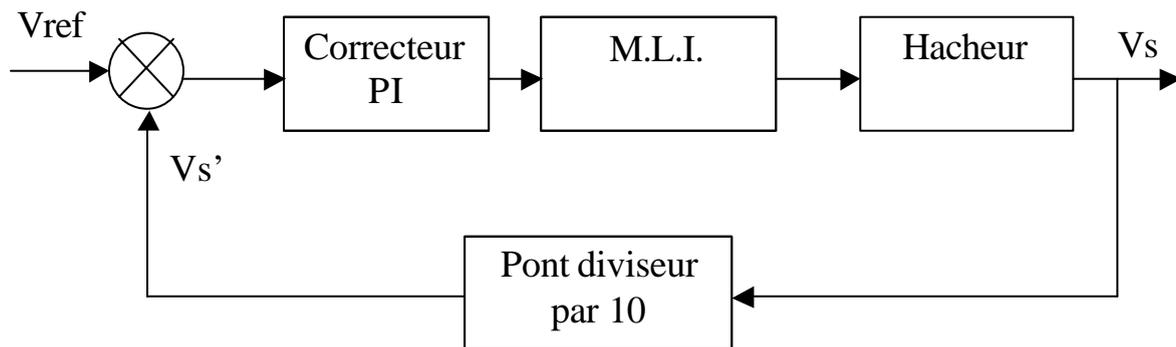
## 1 Diagramme synoptique général du Kart



## 2 Analyse fonctionnelle

Dans cette seconde partie, nous expliquerons les différents diagrammes à plusieurs niveaux de la commande du boost.

### 2.1 Diagramme fonctionnel du système asservi



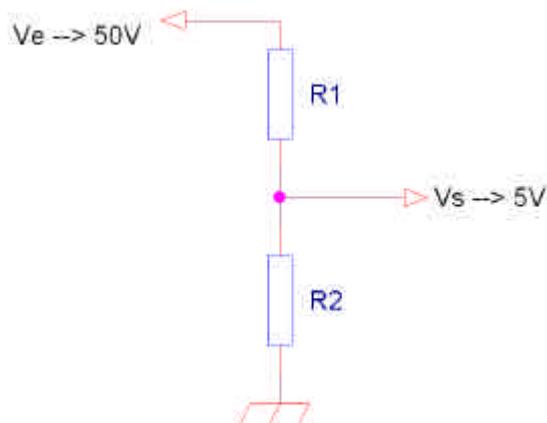
### 2.2 Explication détaillée de chaque partie du diagramme synoptique

La partie que nous allons développer ci-après, est la partie «régulation» dont nous avons parlé précédemment. En effet, en observant le dossier de pré-projet rédigé en début d'année, on peut voir que cette partie n'avait pas été développée et que nous n'avions pas eu le temps de commencer l'étude pendant les séances de TR. Comme la partie M.L.I (Modulation de Largeur d'Impulsion) a été réalisée avec succès et étudiée durant la première partie de l'étude, nous ne ferons qu'un bref rappel concernant son utilité et son principe de fonctionnement.

#### 2.2.1 Le diviseur de tension

Ce premier montage est simple de compréhension en ce qui concerne son but et son fonctionnement.

On voit sur le diagramme «synoptique général» que l'on récupère



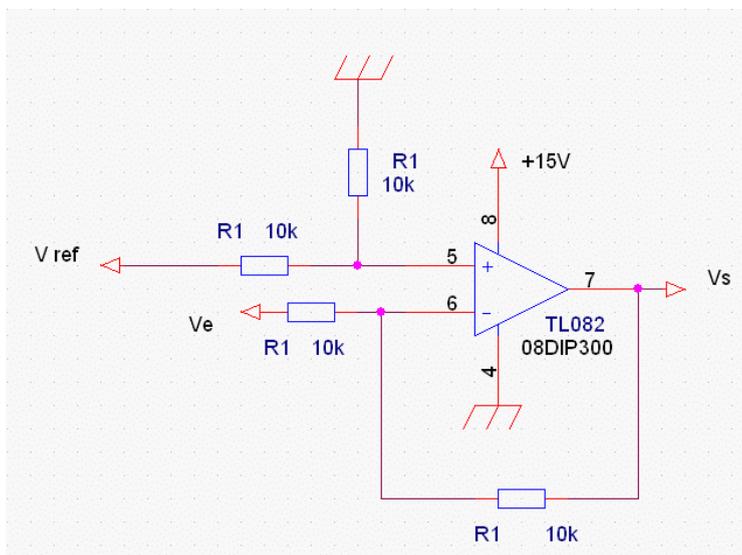
la tension de sortie du hacheur BOOST, afin d'observer son évolution.

Seulement, cette tension est beaucoup trop grande pour pouvoir l'analyser avec le reste du montage. Nous avons donc décidé de diviser cette tension par 10 afin de se ramener à une différence de potentiel de 50volts à 5 volts. La formule de ce montage est :  $V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_e$  avec  $V_e=50V$  d'où  $V_s=5V$  quand  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,1$ .

### 2.2.2 Le soustracteur

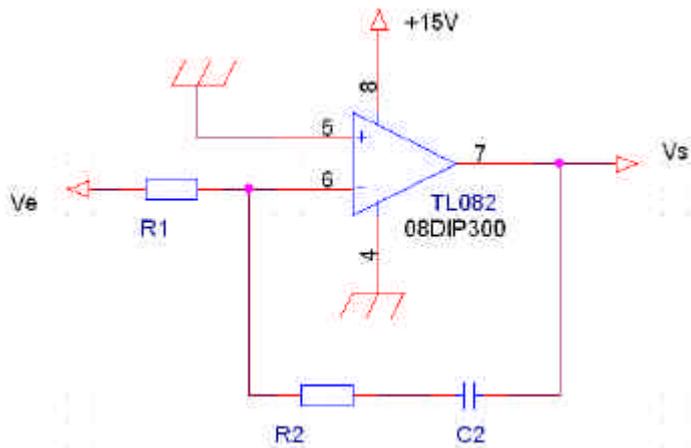
Le soustracteur a pour but de faire la différence entre une tension fixe de 5 volts et la tension récupérée à la sortie du diviseur de tension. En effet, le TL494 utilisé pour créer notre M.L.I nous fournit une tension continue de 5 volts garantie. Cette dernière nous servira de référence pour notre soustraction.

Voici ci-dessous le schéma du soustracteur :



On entre notre référence sur l'entrée + de l'AOp et la tension récupérée sur l'entrée - . Le montage nous permet donc de soustraire à notre valeur de référence la valeur image de la tension fournie par le hacheur BOOST. Dans le cas où le hacheur fournirait une tension de 50V, le soustracteur donnerait en sortie une tension nulle.

### 2.2.3 Le correcteur PI



Voici le montage d'un correcteur de type PI. Pour réaliser ce dernier, nous utilisons le second AOp que contient le TL082 (le premier est utilisé pour le montage soustracteur). Le correcteur PI a pour but d'augmenter la précision du montage et d'assurer une tension de 50 volts en sortie de hacheur.

Pour dimensionner le correcteur (R1, R2 et C2) il faut étudier au préalable le montage du hacheur en boucle ouverte. Nous verrons plus tard dans la partie des tests les résultats que nous avons obtenus ainsi que nos conclusions. Les caractéristiques de ce montage sont les suivantes :

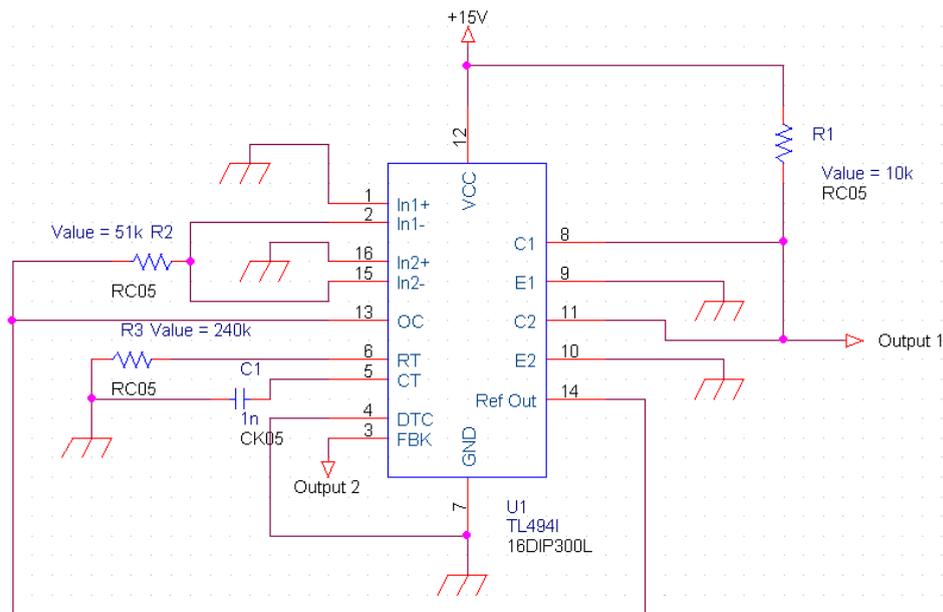
$$\frac{Vs(p)}{Ve(p)} = \frac{R2}{R1} \left( 1 + \frac{1}{R2 * C2 * p} \right) = Kr \left( 1 + \frac{1}{t_i * p} \right)$$

avec :  $Kr = \frac{R2}{R1}$  et  $t_i = R2 * C2$

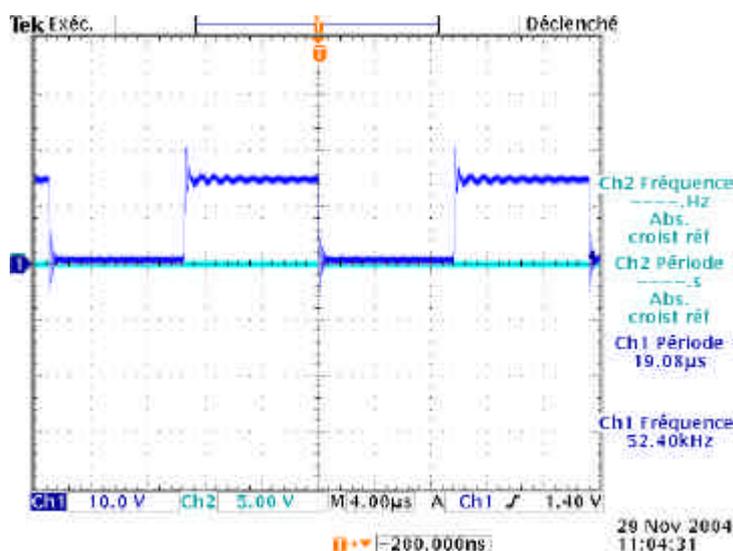
Le correcteur rajoute à l'équation du système non corrigé un pôle (intégrateur :  $\frac{1}{p}$ ), ce qui veut dire en d'autres termes que la sortie du correcteur est proportionnelle à l'intégrale de l'entrée. C'est ce qui permet d'augmenter la précision de notre régulation.

### 2.2.4 La M.L.I

Cette partie ayant été déjà développée dans le premier dossier nous ne nous attarderons pas sur un aspect trop technique, mais nous rappellerons juste comment il est réalisé et les quelques améliorations apportées depuis la première version. Voici ci-dessous le schéma de câblage du TL494 qui nous a permis de réaliser cette Modulation de Largeur d'Impulsion (M.L.I.) :



Comme c'est expliqué dans le premier dossier, le TL494 fournit une M.L.I en fonction d'une tension, en effet ; en appliquant une d.d.p à la patte 3 un signal comme ci-dessous.

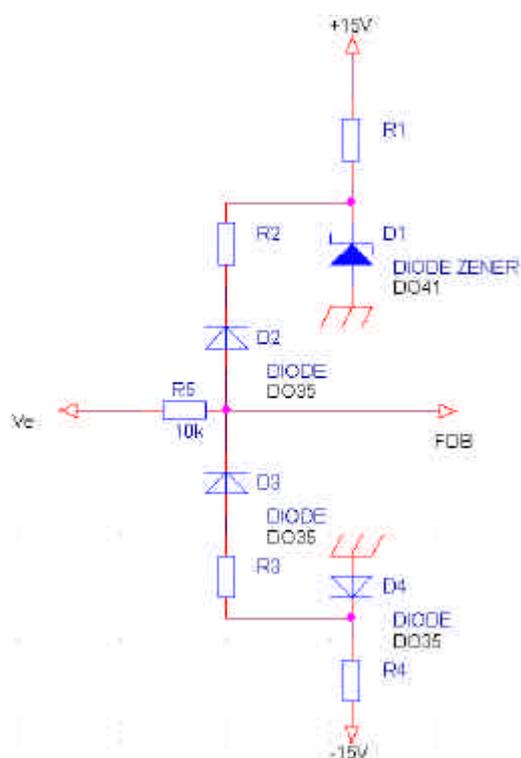


Voici à quoi ressemble notre signal, on peut voir qu'il a une fréquence d'environ 50kHz et un rapport cyclique d'un demi. Il est possible de voir sur le schéma de câblage que la patte 4 du TL494, le DTC, est relié à la masse. Ce dernier permet de limiter le rapport cyclique, afin qu'il n'atteigne pas un chiffre trop proche de 1.

Le reliaison à la masse permet de laisser au TL494 toutes ses capacités et d'obtenir si nécessaire n'importe quel alpha.

## 2.2.5 Le limiteur

Comme nous l'avons dit dans le paragraphe précédent, nous n'avons pas donné au TL494 de limite, ce qui sous-entend que nous pouvons transmettre au hacheur BOOST un alpha allant de 0 à 1. Cette donnée implique qu'il est possible de détériorer cette dernière puisque, théoriquement, il pourrait y avoir un courant infini dans le circuit du hacheur. Pour éviter cet accident, nous avons ajouté à notre montage un limiteur qui a pour but d'encadrer notre signal de commande du TL494. Ce montage n'apparaît pas dans les diagrammes synoptiques parce qu'il n'a qu'une fonction secondaire dans le principe de fonctionnement du système. Voici tout d'abord le montage de ce limiteur :



On peut voir sur ce schéma que la tension  $V_e$  est la tension de sortie du correcteur et que la tension de sortie FDB est connectée à la patte 4 du TL494 (Feedback), la tension de commande de ce dernier. Cette limitation se fait donc par la commande du TL494 ; en effet, cette commande est une tension qui va de 0 à 5V ; on encadre donc ce signal entre [0,7V ; 4,3V] pour être sûr de ne pas dépasser certaines limites.

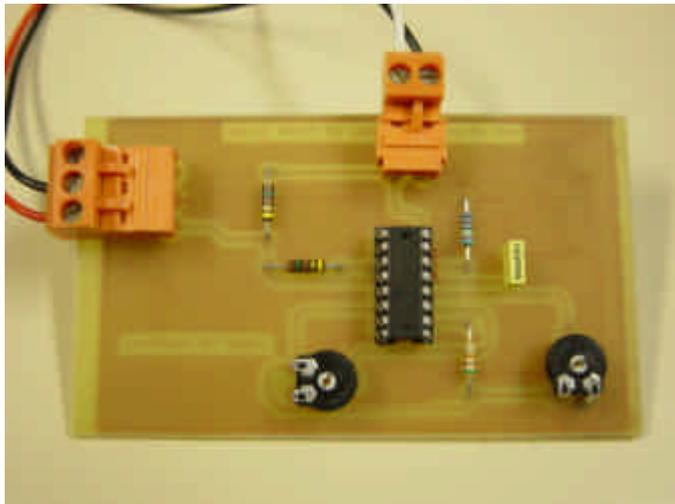
### **3 Nomenclature précise**

## 4 Tests et mesures

Après vous avoir expliqué et détaillé toute notre carte, il va sans dire que les différentes parties de notre montage n'ont pas toutes fonctionnées du premier coup. Voici donc les différents tests réalisés au cours de l'année.

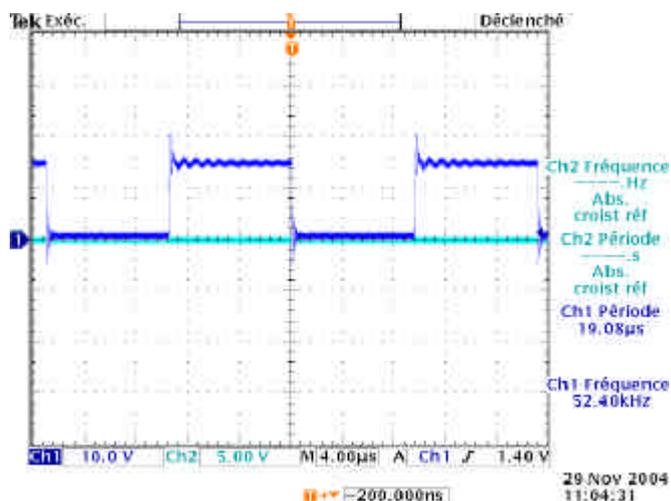
### 4.1 La M.L.I

La M.L.I est le premier montage à avoir été testé puisque c'est l'élément maître du système. Nous avons réalisé un prototype (cf. photo ci-dessous) avec sur les pattes 3 et 4 des



potentiomètres afin de voir l'impact de ces deux tensions sur notre signal.

Nous avons découvert que la patte DTC permettait de limiter notre rapport cyclique et que la patte du feedback nous permettait de régler alpha. Avec ces deux données, nous avons réussi à obtenir un signal comme ci-dessous :



Le hacheur a besoin de recevoir une commande pour ses transistors de 50kHz avec un alpha de un demi. Après avoir obtenu ces deux conditions, nous avons mesuré la tension du feedback afin de savoir combien il fallait lui envoyer pour répondre à notre cahier des charges, la tension nécessaire est donc de 2,12volts.

## 4.2 Le diviseur de tension

Ce test fut le plus rapide, le montage est des plus simple et son fonctionnement nous était garanti avant le test. Pour vérifier le bon fonctionnement de ce dernier, nous n'avons eu qu'à envoyer en entrée une tension de 10 volts et constater que nous obtenions en sortie une tension d'un volt.

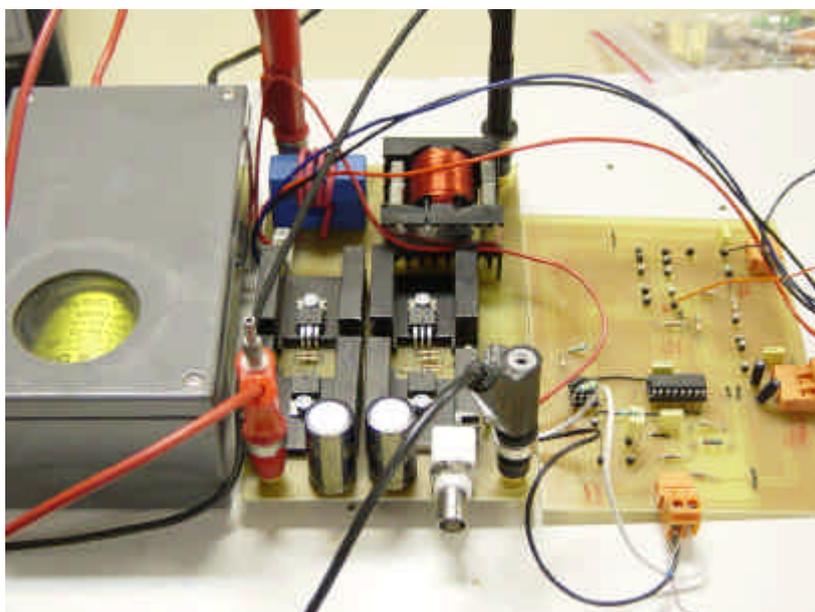
## 4.3 Le soustracteur

Ce montage n'a pas fonctionné aussi bien que nous l'espérions, en effet lors du premier test, le montage n'a donné aucun signal. Une erreur lors de la réalisation du typon a été faite et nous avons inversé les pattes 5 et 6 de l'AOp. Une fois ce problème résolu, nous nous sommes aperçus que le montage ne faisait pas office de soustracteur mais d'additionneur inverseur. En réalité, ce léger problème n'en n'est pas un puisqu'il suffit d'inverser le signal de sortie pour obtenir l'effet voulu.

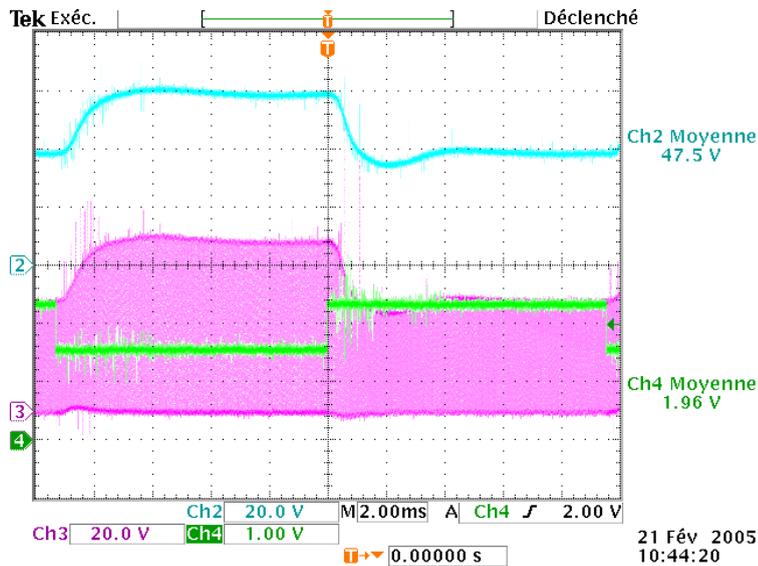
## 4.4 Le correcteur PI

L'objectif de ce test est de dimensionner les composants du correcteur PI en fonction du hacheur BOOST et d'observer son bon fonctionnement vis-à-vis du cahier des charges.

Pour tester ce montage, il nous a fallu tout d'abord caractériser le hacheur BOOST, nous avons donc pris le hacheur d'une année passée, puis nous avons commandé ce dernier afin d'observer comment il régissait. Voici la photo du montage qui nous a permis de réaliser nos tests :



Nous avons obtenu de très bons résultats puisque l'amplification de la tension de sortie de hacheur était celle souhaitée et nous avons donc pu étudier les relevés suivants :

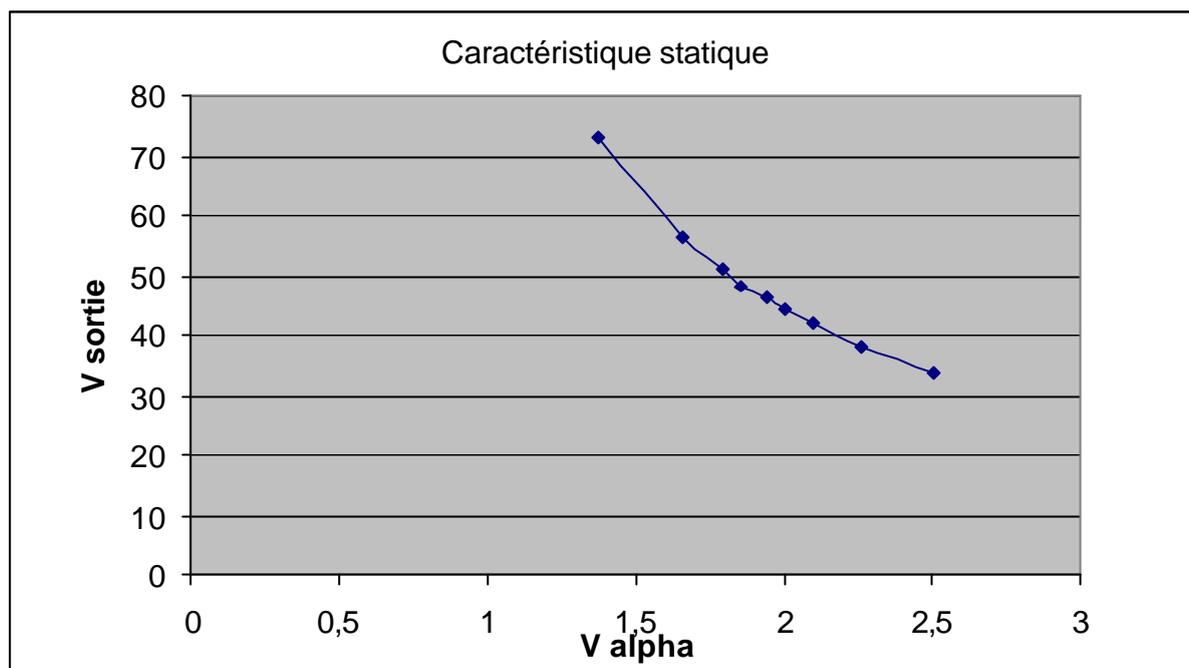


La tension bleue que nous observons ci contre est la tension de sortie du hacheur et la tension verte est le signal envoyé au feedback du TL494. Nous pouvons observer que pour une tension moyenne de 1,96V nous obtenons une tension moyenne de 47,5 volts en sortie du hacheur. Notre M.L.I permet donc au hacheur

BOOST de fonctionner correctement. L'observation de l'allure du signal bleu nous a aussi permis de définir les caractéristiques du système en boucle ouverte, ces dernières nous sont indispensables pour le dimensionnement du correcteur. Nous en avons déduit que nous pouvions considérer ce dernier comme un système du deuxième ordre. Pour une étude plus approfondie, nous avons aussi fait un relevé du rapport entre  $V_{\alpha}$  (la commande feedback) et  $V_{\text{sortie}}$  (la tension de sortie du hacheur). Cette étude nous a permis de définir la caractéristique statique du système :

caractéristique statique :

alpha (%)	$V_{\alpha}$ (V)	$V_{\text{sortie}}$ (V)
30	1,37	73,2
40,8	1,66	56,4
45	1,79	51,2
48	1,85	48,1
50,4	1,94	46,2
52,6	2	44,2
55,5	2,1	42
61,7	2,26	38,1
70,5	2,51	33,7



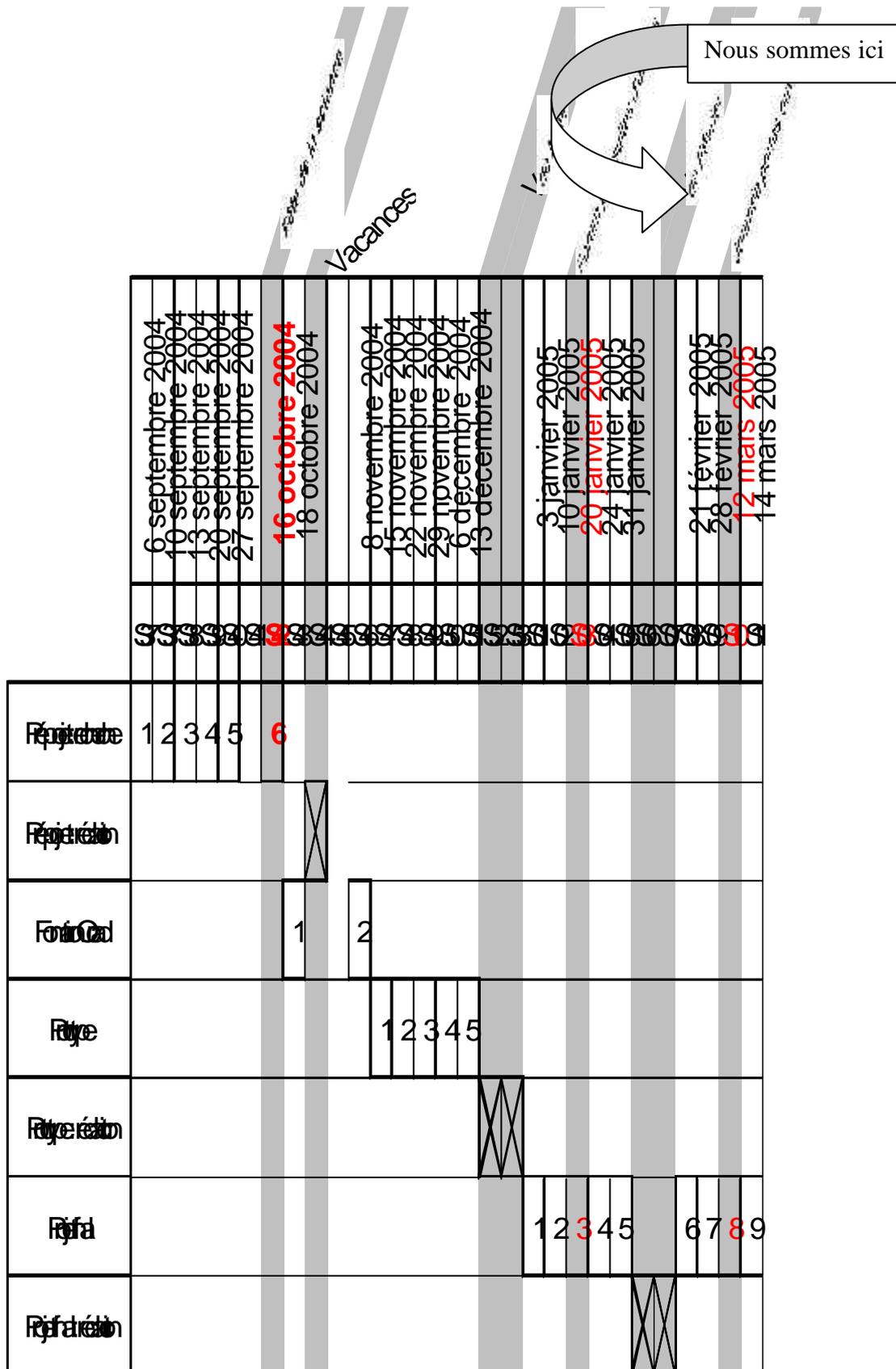
A ce stade d'avancement du projet, nous n'avons malheureusement pas fini tous nos tests et nous ne pouvons donc pas confirmer la fin et le bon fonctionnement de notre projet, mais en vue des tests déjà réalisés et du peu de travail qu'il reste à faire pour que tout fonctionne correctement, nous sommes en mesure de garantir le bon fonctionnement de notre carte d'ici la fin de l'année.

## **5 Relais de puissance**

Le relais de puissance fait aussi parti de notre projet, mais comme c'est une application identique à la régulation du BOOST, il faut attendre la fin de la régulation du hacheur pour passer à la suite. Le principe étant le même, cette dernière partie sera rapidement terminée.

## 6 Etat d'avancement du projet

### 6.1 Planning de suivi de projet



## 6.2 Etat d'avancement du projet

Si nous comparons l'avancement de notre projet avec celui préalablement établi nous pouvons voir que nous sommes en adéquation avec ce qui était prévu et comme nous l'avions annoncé lors du premier compte rendu, notre projet sera fini en temps et en heure. En fin de compte, il ne nous reste plus qu'un ou deux tests à réaliser, ainsi que le routage de la carte finale.

## **7 Conclusion**

Comme nous l'avions supposé en début d'année, le choix de ce projet nous a beaucoup intéressé, il nous a permis de travailler en autonomie durant toute l'année, avec bien sûr l'aide de Monsieur LEQUEU. Cette étude d'un système du début jusqu'à la fin nous a permis de découvrir toutes les étapes du développement d'un montage au sein d'un groupe, nous initiant au travail collectif, à l'écoute et au suivi des autres projets et enfin à l'obligation de suivre un planning prévisionnel. De plus, ce projet nous a permis de découvrir de nouvelles technologies, de nouvelles techniques, et nous permet même de participer au concours des jeunes inventeurs et créateurs. Pour conclure, nous dirons que travailler sur un projet tel que le Kart a été une très bonne solution pour nous intéresser un maximum durant toute l'année et que de voir le Kart fonctionner avec nos cartes à la fin de l'année serait une bonne expérience pour toute la classe.

## **8 Table des illustrations**

Figure 1 – Photo de Marie sur le Kart .....	p1 et 3
Figure 2 – Photo de Jean-François sur le Kart.....	p1 et 3
Figure 3 – Schéma du hacheur BOOST.....	p 5
Figure 4 – Diagramme synoptique du Kart.....	p 7
Figure 5 – Diagramme fonctionnelle du système asservi.....	p 8
Figure 6 – Schéma électronique du diviseur de tension.....	p 8
Figure 7 - Schéma électronique du soustracteur.....	p 9
Figure 8 - Schéma électronique du correcteur PI.....	p 10
Figure 9 - Schéma électronique du TL 494.....	p 11
Figure 10 – Oscillogramme du signal M.L.I.....	p11
Figure 11 - Schéma électronique du limiteur.....	p 12
Figure 12 – Photo du premier prototype.....	p 14
Figure 13 – Oscillogramme du signal M.L.I.....	p 14
Figure 14 – Photo de la carte de commande et du BOOST.....	p 15
Figure 15 – Oscillogramme de la sortie du hacheur de la tension au feedback.....	p 16
Figure 16 – Caractéristique statique .....	p 17
Figure 17 – Planning de suivi de projet.....	p 18

## **9 Bibliographie**

### Ouvrages consultés pour la compréhension du système

- Génie Electrotechnique : Edition NATHAN, écrit par :
  - R.MERAT
  - R.MOREAU
  - L.ALLAY
  - J.-P.DUBOS
  - J.LAFARGUE
  - R.LE GOFF
- Electronique De Puissance, Conversion de l'énergie : Edition Educavivre, écrit par :
  - M.LAVABRE
- L'outil graphique en électronique et automatique, écrit par
  - Jean BAILLOU
  - Gérard CHAUVAT
  - Claude PEJOT
- Cours de première et deuxième année.
  - Electronique
  - Electronique de puissance (cours de Monsieur Thierry LEQUEU sur les hacheurs)
  - Automatique (cours de Monsieur Jean BAILLOU)

### Revue d'électronique

- Electronique Pratique

Internet

- "Chargeur de batterie" hacheur élévateur de type boost

<http://www.techniques-ingenieur.fr/affichage/DispIntro.asp?nGcmId=E3994>

<http://www.techniques-ingenieur.fr/affichage/DispMain.asp?ngcmId=e3994&file=e3994/e3994-3.htm#I3.3.2>

- TL494 Gestion d'un signal de fréquence constante et de rapport cyclique variable

[http://artic.ac-besancon.fr/reseau\\_STL/FTP\\_STL/NIVEAU0502.doc](http://artic.ac-besancon.fr/reseau_STL/FTP_STL/NIVEAU0502.doc)

- Les hacheur, fonctionnement général

[http://www.physique.ens-cachan.fr/pagregp/enseignement/elec/electrotech/Cours\\_hacheurs.pdf](http://www.physique.ens-cachan.fr/pagregp/enseignement/elec/electrotech/Cours_hacheurs.pdf)

# Annexe 1: schéma du montage, typon...

# Annexe 2: datasheet du TL494