

SOMMAIRE

Introduction

<u>1°) CAHIER DES CHARGES</u>	p.5
<u>2°) FONCTIONNEMENT D'UN ONDULEUR</u>	p.6
<u>3°) SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES</u>	p.15
<u>4/ ETUDE DU FONCTIONNEMENT</u>	p.16
<u>5/ SYNOPTIQUE DE LA PARTIE PUISSANCE</u>	p.25
<u>6/ DETAILS DES SOUS FONCTIONS DU SCHEMA SYNOPTIQUE</u>	p.26
<u>7/ SYNOPTIQUE DE LA PARTIE COMMANDE</u>	p.31
<u>8/ DETAILS DES SOUS FONCTIONS DU SCHEMA SYNOPTIQUE</u>	p.32
<u>9/ LISTE ET PRIX DES COMPOSANTS PARTIE PUISSANCE</u>	p.37
<u>10/ LISTE ET PRIX DES COMPOSANTS PARTIE COMMANDE</u>	p.38
<u>11/ SCHEMA ELECTRIQUE ET TYPON DE LA PARTIE COMMANDE</u>	p.39
<u>12/ SCHEMA ELECTRIQUE ET TYPON DE LA PARTIE PUISSANCE</u>	p.40

Conclusion

BIBLIOGRAPHIE

p.42

ANNEXE COMMANDE

voir dossier annexe

ANNEXE PUISSANCE

voir dossier annexe

INTRODUCTION

Lors de notre deuxième année à l'I.U.T. de Tours en G.E.I.I., nous devons réaliser un projet. Nous avons alors décidé, lors de la pré étude, de concevoir un onduleur de secours. Nous avons alors choisi de réaliser un onduleur 12V-230V à modulation de largeurs d'impulsions (M.L.I.). Ce choix fut pris pour différentes raisons :

- tout d'abord, c'est un montage qui a une utilisation concrète et utile,
- puis sa conception comprend une partie puissance qu'il nous est très intéressant de traiter (nous sommes en option électronique de puissance).

Nous verrons alors trois grandes parties dans ce dossier. Premièrement une partie qui constitue une pré étude, ensuite l'étude de la partie commande du montage c'est-à-dire la M.L.I., et enfin l'étude de la partie puissance c'est-à-dire de l'onduleur quatre quadrants.

1°) CAHIER DES CHARGES

1-1°) Présentation

Le but de ce montage est de réaliser une alimentation autonome 220V 50Hz à partir d'une source d'énergie continue isolée de 12V (batterie de voiture). Trois problèmes apparaissent :

1. En considérant que le convertisseur à un rendement proche de l'unité, la puissance en entrée, cotée 12V, est égale à la puissance en sortie, cotée 220V.

Pour une charge 220V – 1A, $P = 220W$, le courant continu correspondant sera

$$I = \frac{P}{U} = \frac{220W}{12V} = 18.3A \quad !! \text{ Le convertisseur, qui sera placé sur la basse tension,}$$

devra gérer des courants importants.

2. L'adaptation de tension 12V – 220V se fera grâce à un transformateur. La fréquence de fonctionnement de ce transformateur déterminera la taille et donc le poids du circuit magnétique. A 50Hz, par exemple, un transformateur 220V – 12V – 220VA, doit faire environ 5kg, et coûter 200-300 francs...

3. ☠️ : Il est rappelé de prendre toutes les précautions nécessaires lors de la manipulation en présence de tension (voir habilitation électrique).

1-2°) Solutions technologiques

L'utilisation d'un transformateur à point milieu (Figure 1) permet de réduire le nombre d'interrupteurs.

La commande peut-être en pleine onde à rapport cyclique $\frac{1}{2}$ pour $f = 50Hz$, ou à MLI.

D'autres solutions sont envisageables, à savoir l'association d'un étage élévateur 12V – 311V puis d'un hacheur DC 311V – AC 220V eff.

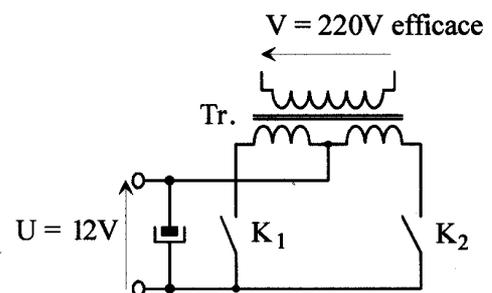
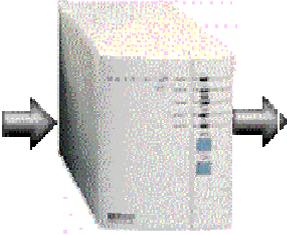
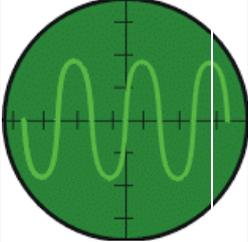


Figure 1 : Principe de l'onduleur à point milieu

2°) FONCTIONNEMENT D'UN ONDULEUR

Nous allons, grâce à des schémas, expliquer le principe général de l'onduleur. Dans notre cas, cette étude concerne un onduleur pour ordinateur.

Principe de fonctionnement de l'onduleur

Réseau électrique	Onduleur	Courant de sortie	Ordinateur
			
<p>Le courant électrique lors de son transport entre les centres de production et les utilisateurs est "pollué".</p>	<p>L'onduleur s'intercale entre le réseau brut et les équipements électroniques sensibles.</p>	<p>Derrière l'onduleur, le courant envoyé à l'ordinateur est appelé de haute qualité.</p>	<p>L'ordinateur reçoit le courant de haute qualité, ainsi il peut fonctionner en toute circonstance afin de garantir l'intégrité des informations traitées.</p>
<p>À l'arrivée il est d'une qualité brute incompatible avec les équipements électroniques sensibles comme les ordinateurs.</p>	<p>Il reçoit le courant de mauvaise qualité et le transforme en courant de haute qualité.</p>	<p>Il est compatible avec le bon fonctionnement des équipements électroniques sensibles</p>	

Nous allons étudier quatre technologies différentes :

- la technologie OFF LINE,
- la technologie LINE INTERACTIF,
- la technologie ON LINE MONO CONVERSION,
- la technologie ON LINE DOUBLE CONVERSION.

2-1°) La technologie OFF LINE

Cet onduleur porte le nom de «OFF LINE » car il est à l'arrêt lorsque le réseau est présent, et il se met en route qu'en celui-ci est absent.

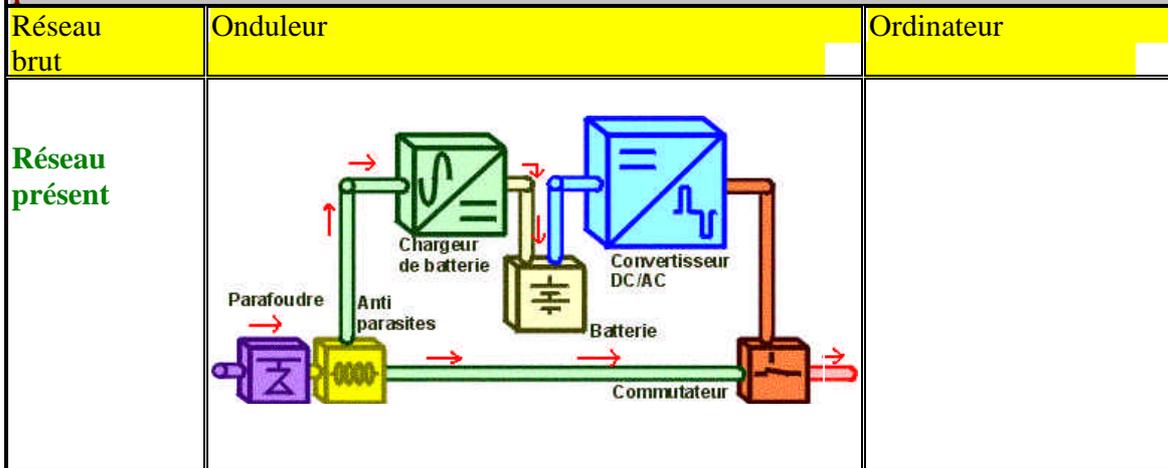
On peut observer dans les schémas suivant le fonctionnement général de cet onduleur.

Tout d'abord le schéma de principe avec le réseau présent :



Schéma de principe réseau

présent



Le courant qui sort du réseau passe dans le parafoudre, l'anti-parasites puis prend alors deux chemins : il va dans le commutateur puis dans l'ordinateur mais aussi va jusqu'à la batterie pour la charger.

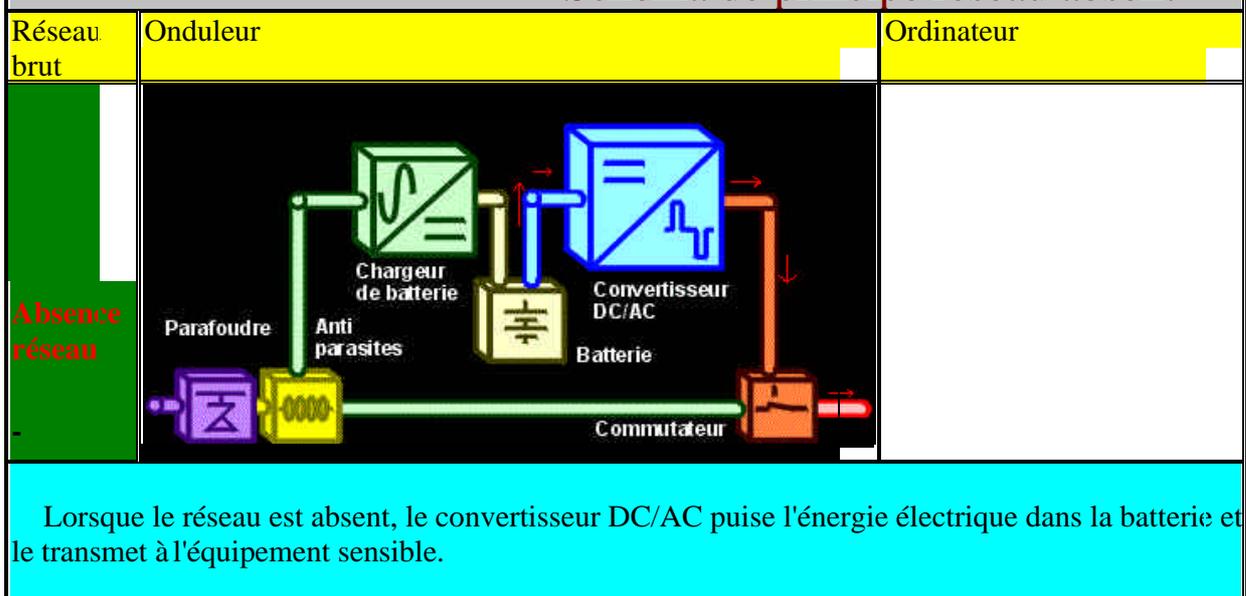
Lorsque le réseau est présent, il est transmis à l'ordinateur par le commutateur de transfert à travers un anti-foudre et un anti-parasite qui permettent d'épurer le courant.

Le chargeur est prévu pour recharger la batterie après une décharge.

Le convertisseur est à l'arrêt, il se met en route lorsque le courant brut disparaît.

Maintenant étudions le schéma lorsque le réseau est absent :

Schéma de principe réseau absent



Avantages et inconvénients

Les avantages de cet onduleur sont une faible consommation électrique (**l'onduleur est à l'arrêt**) mais aussi un coût assez avantageux.

Les inconvénients sont le temps de basculement. (**il y a une interruption de courant de 4 à 20 ms lors de la disparition du secteur**), l'onde pseudo sinusoïdale (**toutes les**

alimentations ne tolèrent pas ce type de signal), puis l'onduleur doit être installé à côté de l'ordinateur (ne convient pas pour les ordinateurs en réseau).

Protection

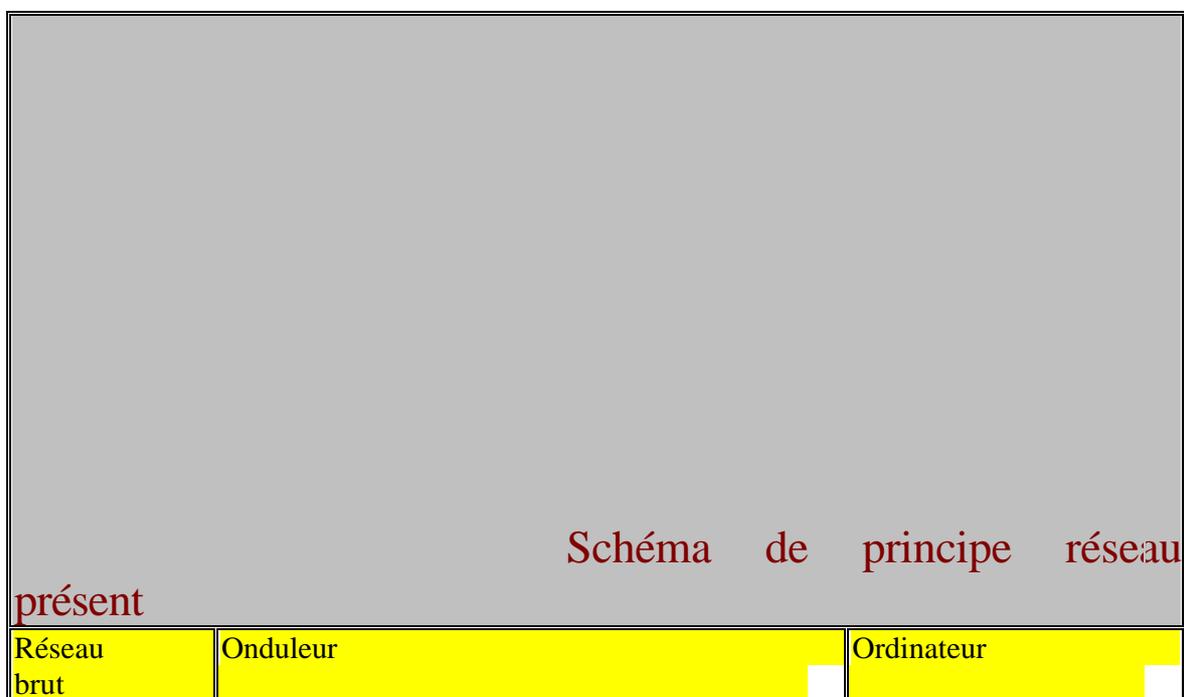
Cet onduleur protège contre les coupures et les micro-coupures, les parasites et la foudre.

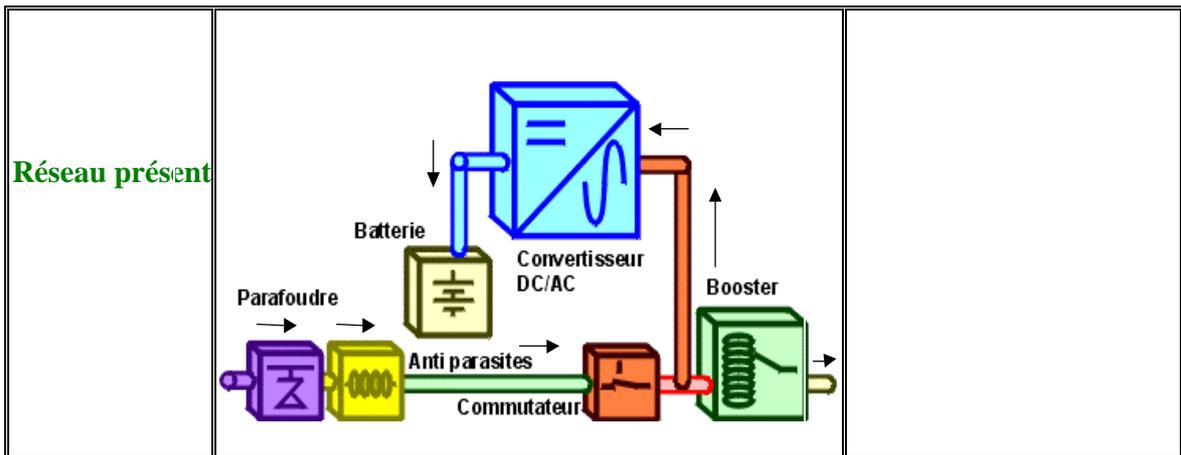
Il ne protège pas contre les variations de tension et de fréquence.

2-2°) La technologie LINE INTERACTIF

Cet onduleur est appelé "In line ou line interactif" car il est en interaction permanente avec le réseau.

Tout d'abord le schéma de principe avec le réseau présent :

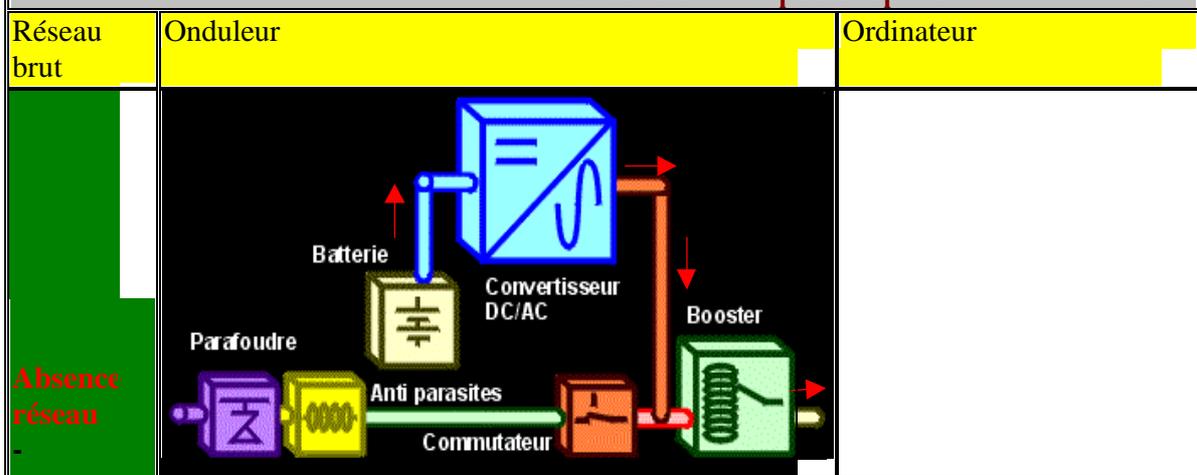




Lorsque le réseau est présent, ce dernier est transmis à l'ordinateur par le commutateur de transfert à travers un anti-foudre et un anti-parasite. Ces deux sous ensembles permettent d'épurer le courant. Le booster est un dispositif qui régule la tension du réseau, ainsi il est possible de supporter des variations de courant brut très importantes sans utiliser les réserves des batteries. La batterie est rechargée par l'onduleur qui fonctionne en sens inverse. L'onduleur est à l'arrêt, il se met en route lorsque le courant brut disparaît, au retour il recharge la batterie.

Maintenant étudions le schéma lorsque le réseau est absent :

Schéma de principe réseau absent



Le microprocesseur de l'onduleur scrute le réseau en permanence, dès que ce dernier sort d'une fenêtre de tolérance, un ordre de démarrage est transmis à l'onduleur qui va convertir le courant continu de la batterie en courant sinusoïdal pendant le temps de l'autonomie.

Le microprocesseur de l'onduleur agit également sur le booster lorsque la tension d'entrée est trop faible ou trop haute pour la ramener dans une valeur tolérée par l'ordinateur.

Avantages et inconvénients

Les avantages de cet onduleur sont une faible consommation électrique (**l'onduleur est à l'arrêt**), un prix très avantageux, il convient parfaitement pour les ordinateurs en réseau, il reproduit une onde sinusoïdale pour les hauts de gamme uniquement.

L'inconvénient est le temps de basculement. (**il y a une interruption de courant de 4 à 20 ms lors de la disparition du secteur**)

Protection

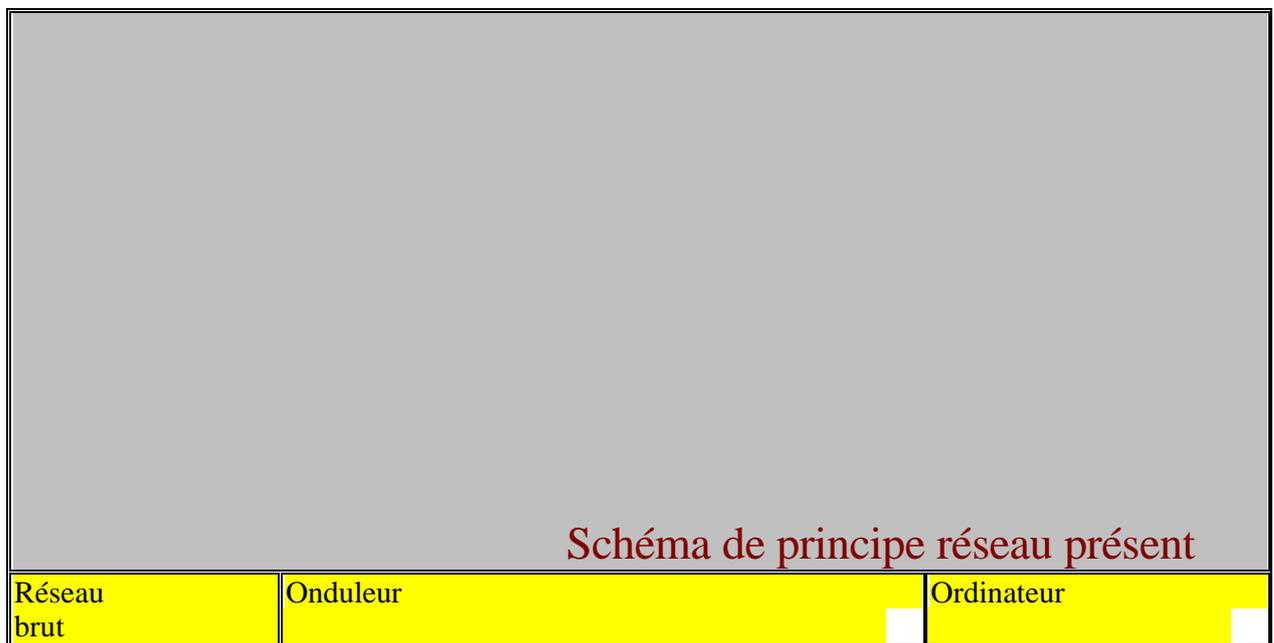
Cet onduleur protège contre les **coupures** et les micro-coupures, les surtensions, les creux de tensions, les **parasites** et la **foudre**.

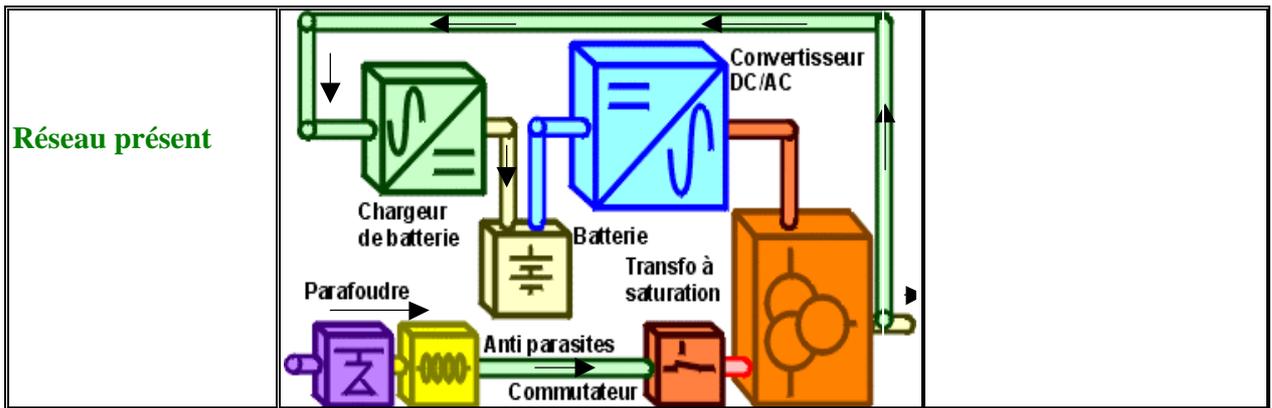
Il ne protège pas contre les variations de fréquence.

2-3°) La technologie ON LINE MONO CONVERSION

Cet onduleur est appelé "on-line mono conversion" car il a les mêmes caractéristiques qu'un on-line (pas de coupure en sortie), tout en ayant l'onduleur à l'arrêt. Il allie les performances de l'on-line double conversion avec celle de l'off line.

Voici le schéma de principe lorsque le réseau est présent :

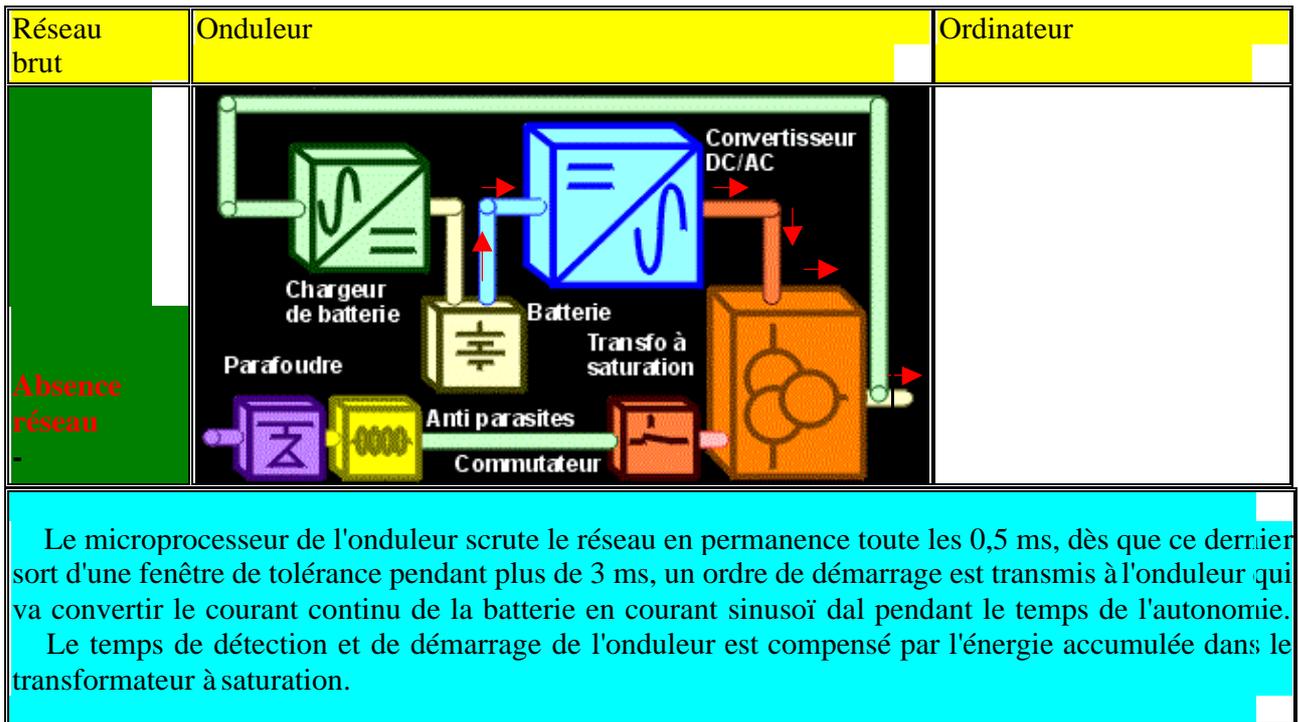




Lorsque le réseau est présent, ce dernier est transmis à l'ordinateur par le commutateur de transfert à travers un transformateur à saturation. Le transformateur à saturation isole le réseau brut de l'ordinateur, régule la tension de sortie, filtre les parasites et écrête les surtensions induites par la foudre. Il assure également une réserve d'énergie de 12 ms entre la disparition du réseau et le démarrage de l'onduleur. C'est le coeur de l'onduleur. La batterie est rechargée par un petit chargeur alimenté par le transfo à saturation. L'onduleur est à l'arrêt, il se met en route lorsque le courant brut disparaît, le temps de mise en route est compensé par l'énergie emmagasinée dans le transfo, ce qui permet de ne pas avoir de coupure en sortie.

Voici le schéma de principe lorsque le réseau est absent :





Avantages et inconvénients

Les avantages de cet onduleur est qu'il est sans coupure, qu'il a une faible consommation électrique (**l'onduleur est à l'arrêt**), son prix est très avantageux, il convient pour les ordinateurs en réseau, il reproduit une onde sinusoïdale, il protège de la foudre et il est robuste (**on passe à travers le transformateur 99% du temps**)

Ces désavantages sont le volume plus important dû par la présence du transformateur et le niveau de bruit est plus important.

Protection

Cet onduleur protège contre les coupures et les micro-coupures, les surtensions, les creux de tension et de fréquence, les parasites et la foudre.

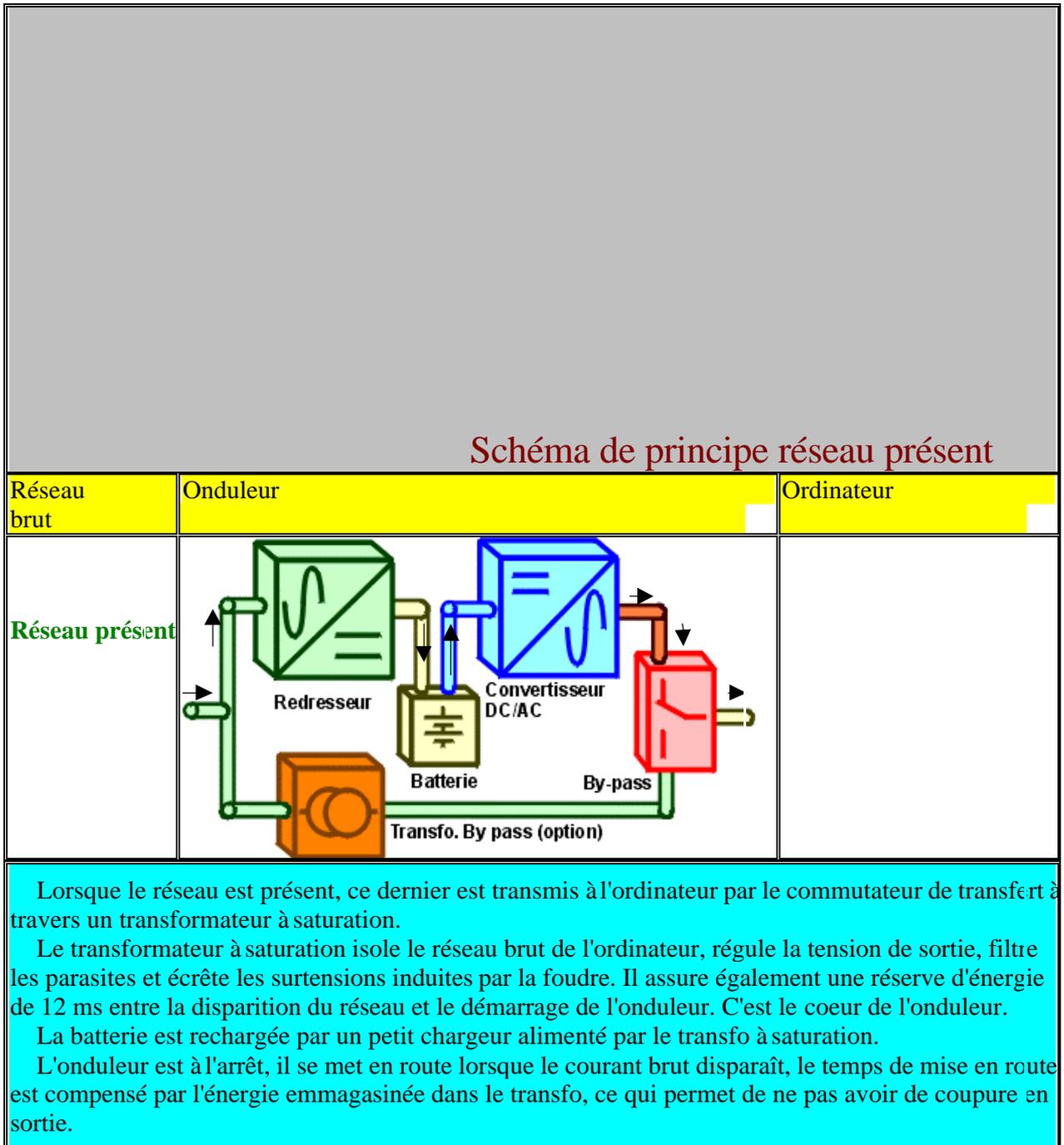
Il ne protège pas contre les perturbations en provenance du réseau.

2-4°) La technologie ON LINE DOUBLE CONVERSION

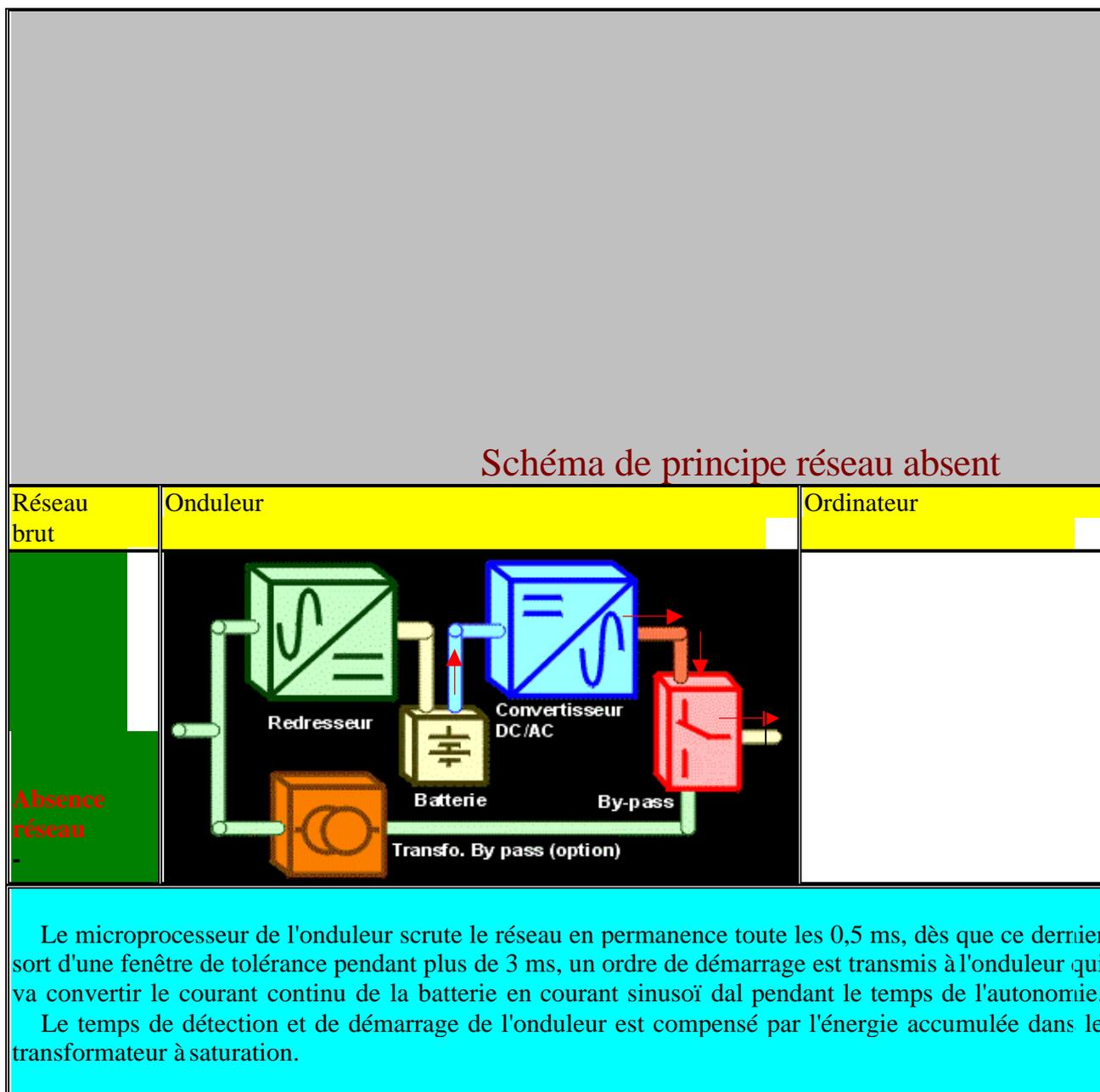
Cette technologie est appelée double conversion car le courant fourni par le réseau brut est converti deux fois avant d'alimenter l'ordinateur:

- une première fois en courant continu par le redresseur,
- une deuxième fois en courant alternatif par l'onduleur.

Voici le schéma de principe lorsque le réseau est présent :



Voici le schéma de principe lorsque le réseau est absent :



Avantages et inconvénients

Les avantages de cet onduleur sont qu'il est sans coupure, qu'il convient pour les ordinateurs en réseau et qu'il reproduit une onde sinusoïdale.

Les inconvénients sont une consommation électrique relativement importante (**mauvais rendement, car on convertit 2 fois le courant**), il ne protège pas contre la foudre et son fonctionnement est permanent (**même lorsque le réseau est présent**).

Protection

Cet onduleur protège contre les coupures et les micro-coupures, les parasites, les surtensions, et les creux de tension et de fréquence.

Il ne protège pas contre la foudre.

3°) SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

Nous avons décidé de continuer l'étude qu'avait mené les binômes précédents donc de concevoir un onduleur à modulation de largeur d'impulsion 12V-230V.

Nous détaillerons cette partie lors du compte-rendu final.

En effet nous allons devoir maintenant étudier et concevoir cet onduleur de secours.

Nous avons trouvé une étude permettant de calculer la puissance de l'onduleur :

Voici une liste des valeurs moyennes permettant de calculer la puissance en VA nécessaire pour alimenter notre équipement :

Unité centrale minitour type Pentium : 150 VA
Unité centrale grande tour Pentium : 200 VA
Ordinateur Macintosh type LC : 200 VA
Ordinateur Macintosh type Performa : 250 VA

Moniteur 15" couleur : 100 VA
Moniteur 17" couleur : 150 VA

Moniteur 20" couleur : 200 VA

Imprimante jet d'encre : 100 VA

Imprimante matricielle 80 colonnes : 100 VA

Imprimante matricielles 132 colonnes : 150 VA

Imprimante laser 6 / 8 pages mn : 1 000 VA

Imprimante laser 10 / 12 pages mn : 1 200 VA

Il est prudent d'arrondir ces valeurs au modèle immédiatement supérieur afin d'obtenir une marge de sécurité.

Exemple

Unité centrale PC minitour + moniteur 15" = 150 Va + 100 Va = 350 Va

Choisir au minimum un modèle 400 Va ou 600 Va

4/ ETUDE DU FONCTIONNEMENT

4-1°) Définition – Généralités

⇒ Onduleur : c'est un convertisseur statique permettant l'échange d'énergie entre une grandeur continue et une grandeur alternative.

⇒ Autonome : impose sa fréquence à la charge.

⇒ Assisté : c'est le contraire de autonome. En effet un onduleur assisté voit sa fréquence imposée par celle du réseau sur lequel il est branché.

4-2°) Fonctions des convertisseurs statiques

IL existe quatre groupes de convertisseurs :

- ⇒ les convertisseurs AC/DC (alternatif/continu),
- ⇒ les convertisseur DC/DC (continu/continu) ou encore hacheurs,
- ⇒ les convertisseurs DC/AC (continu/alternatif) ou encore onduleurs,
- ⇒ les convertisseurs AC/AC (alternatif/alternatif) entre autre les gradateurs et les convertisseurs de fréquence.

Cette classification ne tient pas compte d'un certain nombre de paramètres comme par exemple la réversibilité de ces convertisseurs. De plus l'association de plusieurs convertisseurs permet d'obtenir des convertisseurs indirects d'énergie (cf. figure 1).

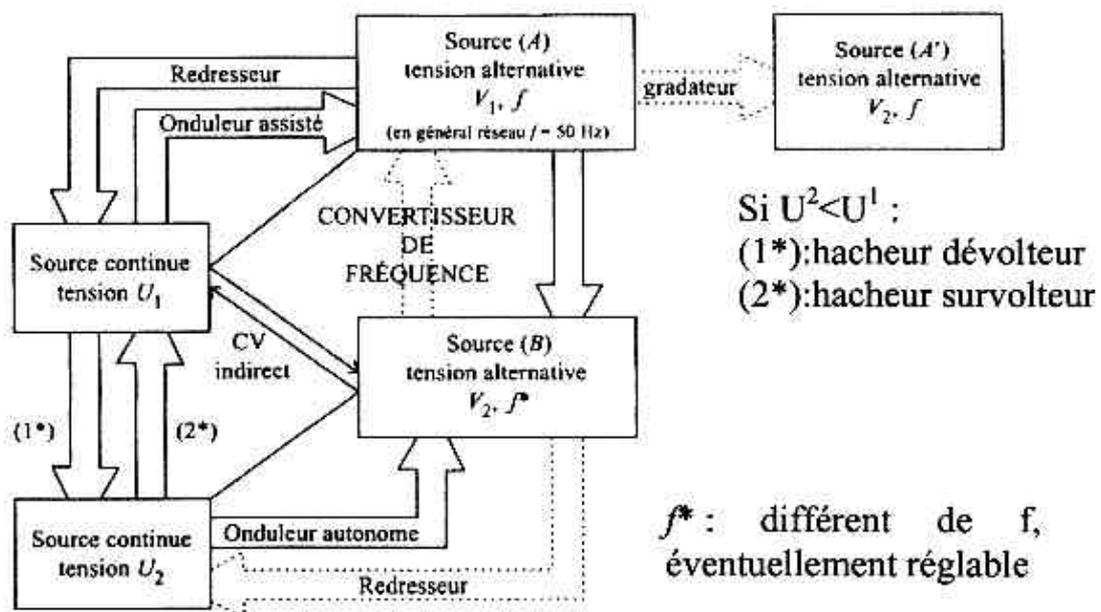


Figure 1 : classification des convertisseurs

La structure interne d'un convertisseur suit l'organisation de principe de la figure 2.

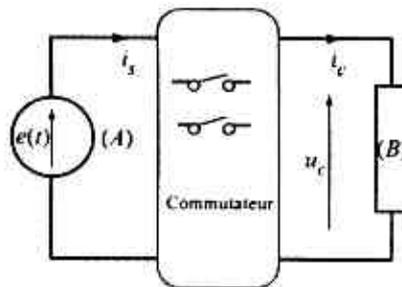


Figure 2 : structure générale d'un convertisseur

Remarque : si la source (A) est du type générateur de tension, le récepteur (B) est alors obligatoirement d'un type différent, c'est-à-dire du type courant.

Dans notre cas, nous nous intéressons à un convertisseur DC/AC (continu/alternatif). Nous allons donc étudier plus précisément ce cas là

Un convertisseur DC/AC peut être réalisé à partir des éléments suivants (cf. figure 3) :

- ⇒ une source de tension E supposée parfaite,
- ⇒ une association de quatre interrupteurs montés en « H »,
- ⇒ un récepteur constitué d'une résistance et d'une inductance en série.

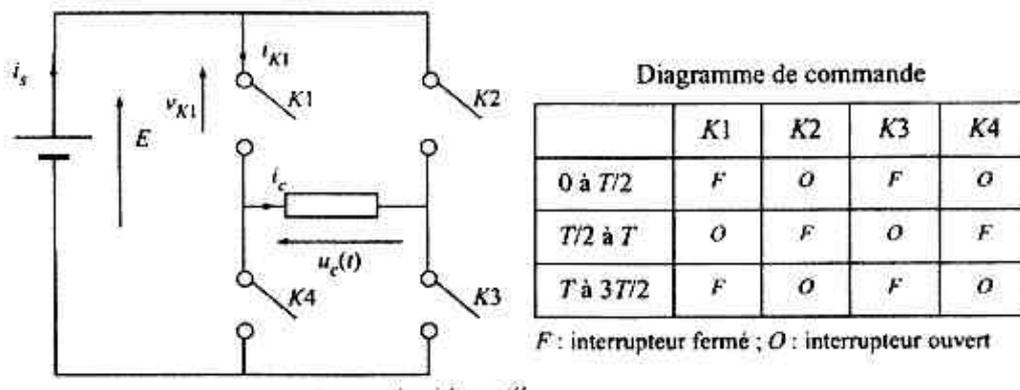


Figure 3 : principe de la conversion DC/AC

L'analyse du fonctionnement donne les résultats suivants :

⇒ la tension $u(t)$ est une tension alternative en créneaux ($\pm E$) à valeur moyenne nulle et valeur efficace E,

⇒ le courant moyen évolue entre +I et -I suivant des arcs de fonctions exponentielles. En effet la résolution de l'équation différentielle ($E=L*(di/dt) +Ri$ dans l'intervalle $[0, T/2]$) donne :

$$i = A \cdot e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)} + \frac{E}{R}$$

où A est une constante d'intégration déterminée en écrivant qu'à $t=0$, le courant vaut -I en régime permanent :

$$-I = A + \frac{E}{R}$$

L'expression du courant est alors : $i(t) = \frac{E}{R} \left(I + \frac{E}{R} \right) e^{(-t/\tau)}$, ce qui justifie l'allure de la fonction $i(t)$ tracé sur la figure 4. Pour obtenir la valeur de I on peut remarquer que :

$$i\left(\frac{T}{2}\right) = -I \Rightarrow I = \frac{E}{R} \left(I + \frac{E}{R} \right) e^{\left(\frac{-T}{2\tau}\right)}$$

Ce qui conduit à l'expression suivante :

$$I = \frac{E}{R} \frac{1 - e^{(-T/2\tau)}}{1 + e^{(-T/2\tau)}} = \frac{E}{R} \operatorname{th}\left(\frac{T}{4\tau}\right) = \frac{E}{R} \operatorname{th}\alpha$$

Où α désigne la quantité $T/4\tau$.

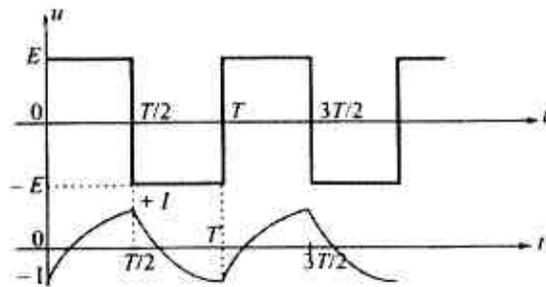


Figure 4 : forme d'onde d'un onduleur de tension

La puissance moyenne reçue par la charge, et dissipée par la résistance R , a pour expression :

$$\langle p \rangle = \frac{E^2}{R} \left(1 - \frac{\operatorname{th} \alpha}{\alpha} \right)$$

Le tout est conforme à la représentation de la figure 5 :

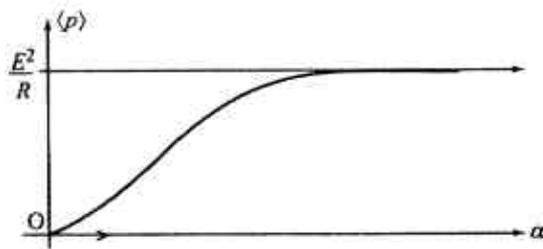


Figure 5 : puissance moyenne en fonction de α

La structure de base est celle de la figure 6 (montage simple) ou de la figure 7 (montage en pont). Un onduleur est donc un convertisseur capable de transformer de l'énergie à partir d'une source de tension ou de courant vers un récepteur. Celui-ci peut être passif, c'est-à-dire ne comporter aucune source d'énergie. Ce point écarte ainsi les onduleurs qui ne sont pas autonomes. Dans le récepteur, l'énergie est présente sous forme de tension et de courant alternatif. La puissance moyenne reçue sera non nulle et vaudra : $\sum V_k I_k \cos \phi_k$.

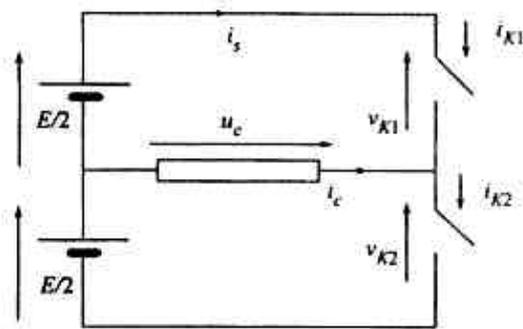


Figure 6 : onduleur
structure élémentaire biphasée

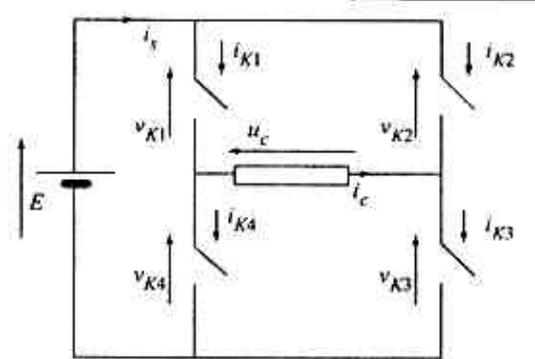


Figure 7 : onduleur
autonome structure en pont monophasé

4-3°) Synthèse des interrupteurs dans le cas d'une source de tension.

Nous prenons le cas de la figure 7 car c'est celui qui nous intéresse. On suppose alors la loi de fermeture des interrupteurs comme la suivante :

	[0 ; T/2]	[T/2 ; T]	[T ; 3T/2]
Interrupteurs fermés	$K_1 ; K_3$	$K_2 ; K_4$	$K_1 ; K_3$
Interrupteurs ouverts	$K_2 ; K_4$	$K_1 ; K_3$	$K_2 ; K_4$

Figure 8 : loi de fermeture des interrupteurs

La loi qui donne la variation de la tension u_c à la borne de la charge est alors celle de la figure 9. Si nous supposons que la conduction dans la charge est continue, la réponse est celle de i_c que l'on retrouve sur la même figure. Sa forme dépend de la charge lorsque la tension est en créneaux et qu'elle est imposée par le commutateur et la source.

Les diagrammes $[i_k ; v_k]$ pour les interrupteurs s'en déduisent et sont, pour chacun d'eux, ceux de la figure 10 : ce sont des interrupteurs « trois segments ».

Pour ce qui est des commutations, nous avons une commutation forcée à l'ouverture et à la fermeture (instants 0, T/2, T, etc.) et un passage naturel en t_1, t'_1 etc. d'une intensité $I' < 0$ à une intensité $I > 0$. L'interrupteur à utiliser sera celui de la figure 10b : un transistor (bipolaire, MOSFET, IGBT) et une diode de récupération montée en parallèle.

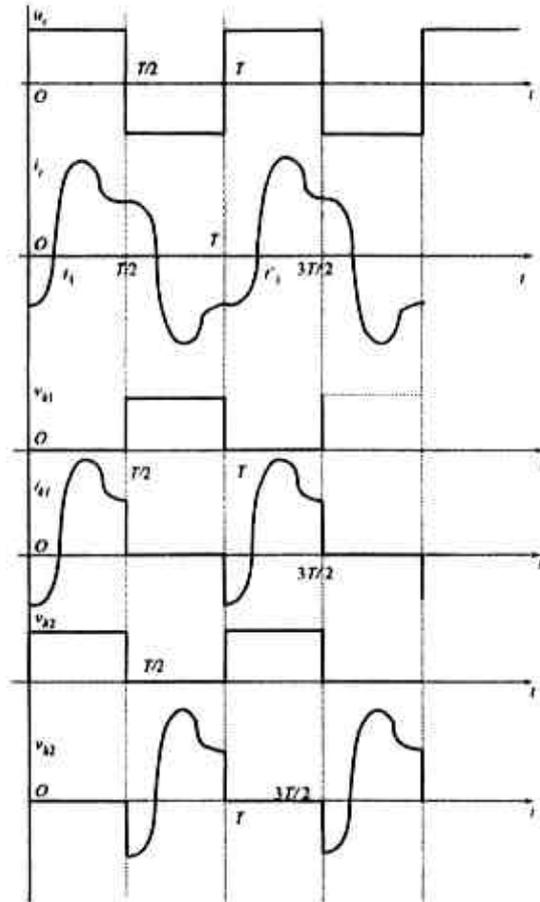


Figure 9 : formes d'ondes dans le cas d'un onduleur monophasé

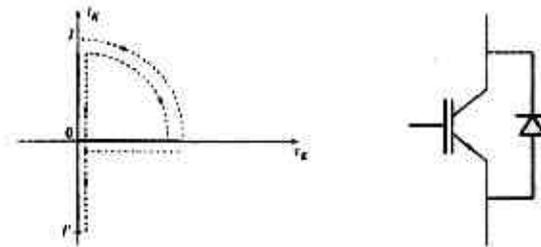


Figure 10 : contraintes et synthèse des interrupteurs de l'onduleur autonome

Dans la commande des interrupteurs il se pose le problème de l'empiètement. Si les interrupteurs ne se ferment pas ou ne s'ouvrent pas au moment voulu, il se peut que la source de tension soit court-circuitée ou que la source de courant soit ouverte ;

Si on se place dans le cas de la figure 7, on observe que durant la première demi période les interrupteurs K_1 et K_3 sont commandés par fermeture simultanément. Ainsi,

comme l'indique le tableau de la figure 8, K_2 et K_4 sont ouverts. Lorsque l'on passe à l'autre demi période, on se retrouve dans le cas inverse. C'est à ce moment précis que se pose le problème d'empiètement car si deux interrupteurs complémentés d'un bras de pont différent se retrouvent ouverts, la source se retrouve de même ouverte. Si l'on choisit un transistor de type MOSFET, nous savons (grâce à la documentation constructeur) que le temps de fermeture est supérieur au temps d'ouverture.

Ainsi la première solution technologique repose sur le fait d'insérer un circuit RC dont la constante de temps permette de retarder le temps d'ouverture. Cependant cette technologie n'étant pas suffisamment précise, nous utilisons des drivers de MOSFET qui géreront les temps de complémentation et de conduction des interrupteurs. Ces drivers seront étudiés plus précisément dans la suite de l'étude.

4-4°) Rôle du filtre de sortie

Le montage vu pour le moment permet d'obtenir un signal alternatif en créneau. Cependant nous désirons obtenir un signal sinusoïdal alternatif. C'est alors à ce moment que le filtre passe-bas joue un rôle : il permet d'atténuer toutes les fréquences au-delà de la fréquence de coupure ω_c choisie d'après les éléments du filtre. On conserve alors seulement le fondamental qui ici correspond à 50 Hz.

4-5°) Modulation de Largeur d'Impulsion (M.L.I.)

Pour notre étude nous avons été amené à utiliser une commande par M.L.I. Dans son principe, la commande M.L.I., s'obtient par le biais d'un comparateur sur les entrées duquel on lace deux tensions (cf. figure 11). Lors de notre étude, nous comparerons un signal sinusoïdal de 50 Hz avec un signal « en dents de scie ».

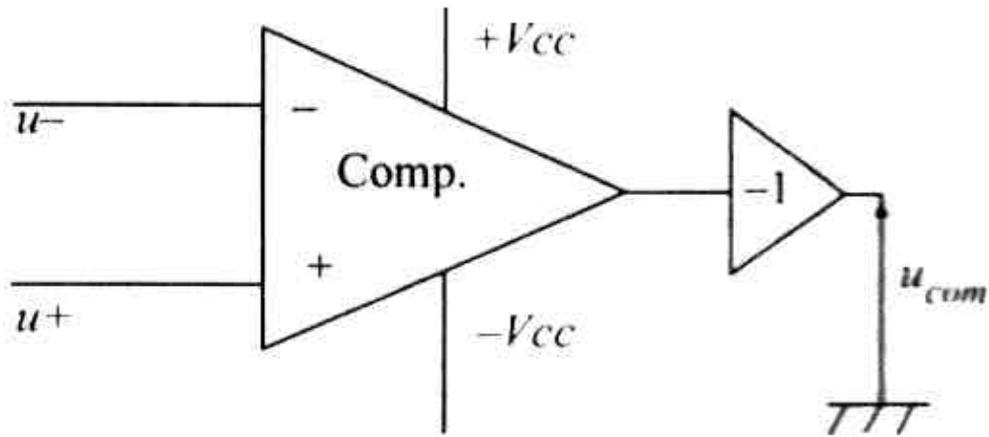


Figure 11 : principe de la M.L.I.

Le signal « en dents de scie » de fréquence F_p est appelé porteuse alors que le signal sinusoïdal est la tension fondamentale dont on désire favoriser le courant correspondant dans la charge.

La tension de sortie de ce comparateur sera la tension de commande d'un demi bras d'onduleur et la sortie u_c de ce demi bras onduleur sera une image de cette tension de commande.

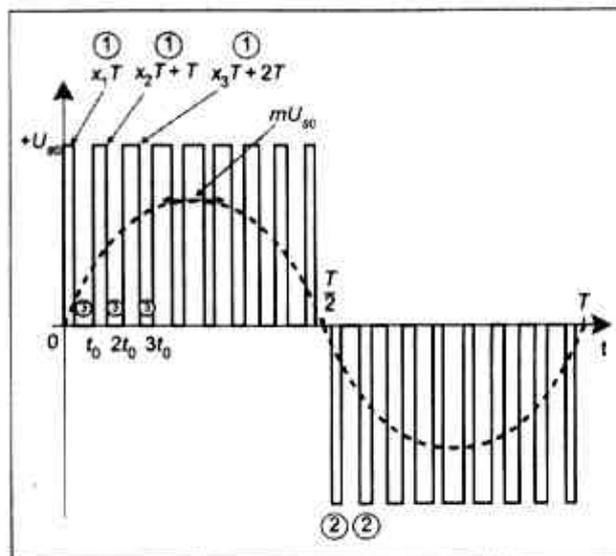


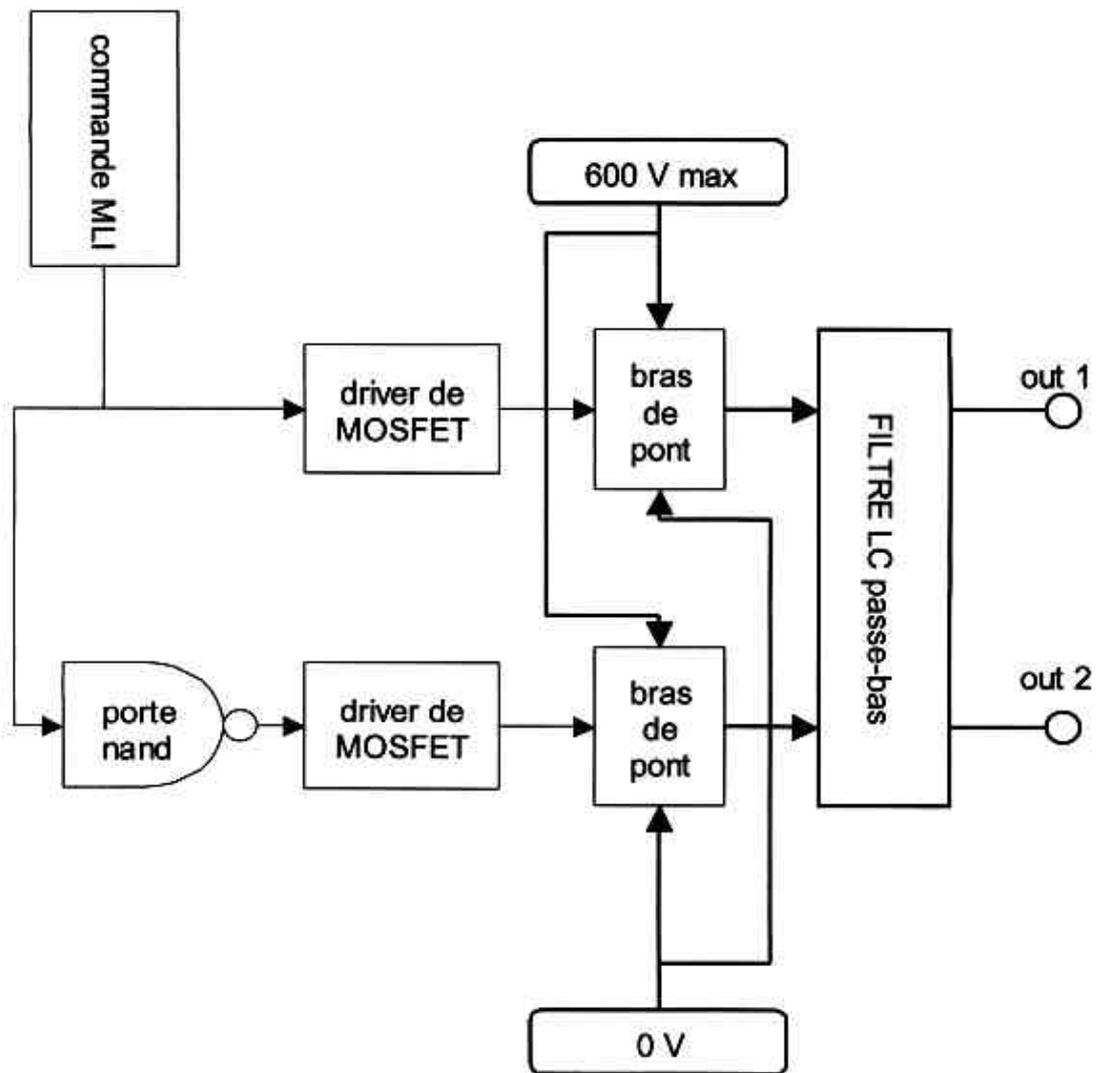
Figure 12 : tension de sortie d'un onduleur autonome à commande unipolaire

4-6°) Conclusion

L'étude du fonctionnement nous a permis de dégager certains points importants :

- ⇒ convertisseur DC/AC de type onduleur autonome,
- ⇒ l'importance d'un filtre de sortie,
- ⇒ l'utilisation de transistors de type MOSFET,
- ⇒ les avantages de la M.L.I..

5/ SYNOPTIQUE DE LA PARTIE PUISSANCE



6/ DETAILS DES SOUS FONCTIONS DU SCHEMA SYNOPTIQUE

Nous allons maintenant détailler chaque blocs fonctions en expliquant leurs rôles et leurs modes de fonctionnement.

6-1°) Driver de MOSFET IR2111 (cf. annexe PUISSANCE)

Le composant utilisé est le IR2111. Il permet de commander des transistors de type IGBT et MOSFET à forte tension et à vitesse élevée. Il possède deux signaux de sortie, un haut et un bas, utilisés pour la commande d'un bras de pont. Il permet aussi de résoudre le problème d'empiètement vu précédemment.

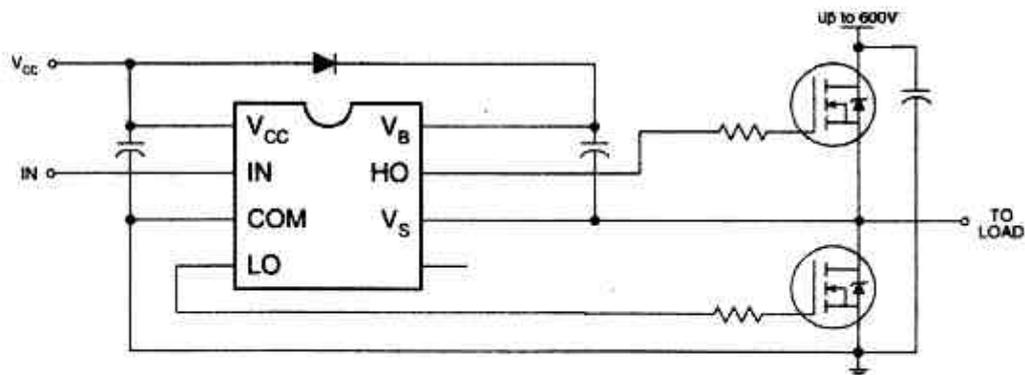


Figure 13 : schéma de connexion typique

D'après la figure 13, on voit que K_1 est piloté à partir de la sortie HO (High Output) à travers une résistance de grille de 33 Ω alors que K_2 est piloté à partir de la sortie LO (Low Output). Ainsi on obtient une commande complémentée par un bras de pont.

Le même driver est utilisé pour commandé l'autre bras de pont, sauf que le signal d'entrée en IN est complémenté par le biais d'une porte NAND.

La présence d'une diode à recouvrement rapide du type BYV95C permet de protéger le circuit lorsqu'un transistor est fermé, car, si l'on étudie le schéma, on remarque que la tension à onduler se retrouverait à la borne de Vcc et détruirait le circuit. D'où l'utilité de

mettre la cette diode pouvant supporter un tension inverse maximale V_{RRM} de 600 V, cette diode pouvant supporter un tension inverse maximale V_{RRM} de 600 V.

6-2°)La porte NANDE MC14011B

Elle permet de compléter le signal de commande MLI afin de commander l'autre bras.

La table de vérité d'une porte NAND est :

IN 1	IN 2	OUTPUT
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figure 14 : table de vérité d'une porte NAND

Donc si l'on met en permanence un niveau logique 1 sur une des entrées et le signal à compléter sur l'autre entrée on obtient bien son complément. Mais force est de constater que la porte logique retransmettra le signal complété avec un temps de retard, mais comme il est négligeable devant la fréquence du signal MLI, on n'en tiendra pas compte.

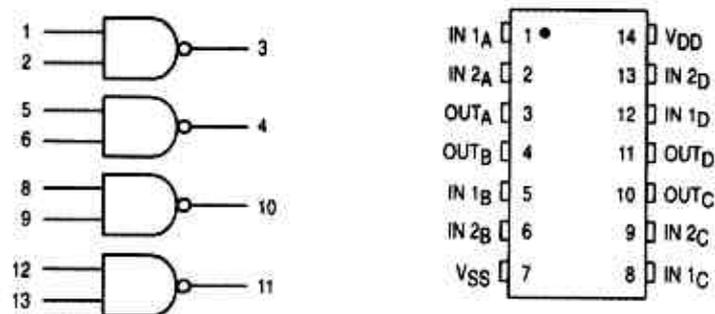


Figure 15 : schéma du package d'un MC4011B

6-3°) Le bras de pont

Il est constitué de deux transistors de type MOSFET IRF 840, commandé chacun par un signal MLI complétement par le driver. Nous avons porté notre choix sur ce type de transistor pour plusieurs raisons :

- il est commandé par la grille en tension et non en courant comme les transistors bipolaires,
- il supporte une tension entre son Drain et sa Source DE 500 V, ce qui est le double de ce que nous utiliserons,
- il supporte un courant de Drain de 8 A à température ambiante et de 5A à 100°C,
- il possède une faible résistance entre son Drain et sa Source à l'état fermé :
 $R_{DS(ON)} < 0.85 \Omega$

Ainsi ce composant satisfait de loin le cahier des charges que nous nous sommes fixé. Mais comme il apparaît sur la figure 11, le transistor n'est pas réversible en courant d'où l'utilité de l'associer à une diode en anti-parallèle afin d'assurer la continuité du courant lors de l'inversion du sens de celle-ci.

Nous utiliserons une diode à recouvrement rapide du type BYT08PI-400. Nous avons choisi cette diode car elle correspond au cahier des charges et est compatible avec le transistor MOSFET IRF 840:

- tension inverse maximale $V_{RMM} = 400 \text{ V}$,
- courant maximal à l'état passant $I_{F(AV)} = 8 \text{ A}$,
- temps de recouvrement maximal $T_{rr} = 35 \text{ ns}$.

Ainsi avec ce dispositif nous pourrions même faire évoluer les caractéristiques du cahier des charges grâce au léger surdimensionnement des composants.

6-4°) 400V max. ; 0V :

C'est la tension continue maximum que l'on peut onduler. Dans notre cas elle sera d'environ driver de MOSFET IR2111250 V à l'aide d'un hacheur élévateur du type BOOST. Cette partie est réalisée par un autre binôme, et nous permettra lorsqu'ils seront assemblés de reconstituer l'onduleur autonome en son intégralité. Pour plus de précision sur le hacheur se référer à leur compte-rendu de ce projet.

Remarque : le 0V de la tension à onduler se retrouve au même potentiel que la borne COM du, c'est à dire à V_{SS} (la masse). (cf. figure 13).

6-5°) Filtre passe-bas LC :

Sans filtre on n'obtient qu'une tension alternative en créneaux. Pour certains appareils cela ne poserait aucun problème car ils redressent directement cette tension, mais pour les appareils utilisant le signal sinusoïdal d'EDF, ils risquent de mal fonctionner. Donc on se propose de transformer ce signal alternatif en créneaux en signal alternatif sinusoïdal. Pour ce on se base sur le principe des séries de Fourier et sur les caractéristiques dynamiques d'un filtre passe-bas de type LC du deuxième ordre.

La fréquence du signal de commande en MLI à une fréquence porteuse de 1666 Hz et une fréquence modulante de Hz. Etant donné que la tension d'entrée du filtre est l'image du signal de commande des transistors sauf que l'amplitude est de 250 V et qu'on puisse éliminer toutes les harmoniques superposées au fondamental (signal alternatif sinusoïdal de fréquence 50Hz) et ne laisser que ce dernier, on récupérera le signal voulu.

Pour ce il faut éliminer toutes les fréquences supérieures à 50 Hz, mais ATTENTION, étudions d'abord la réponse dynamique d'un filtre du deuxième ordre.

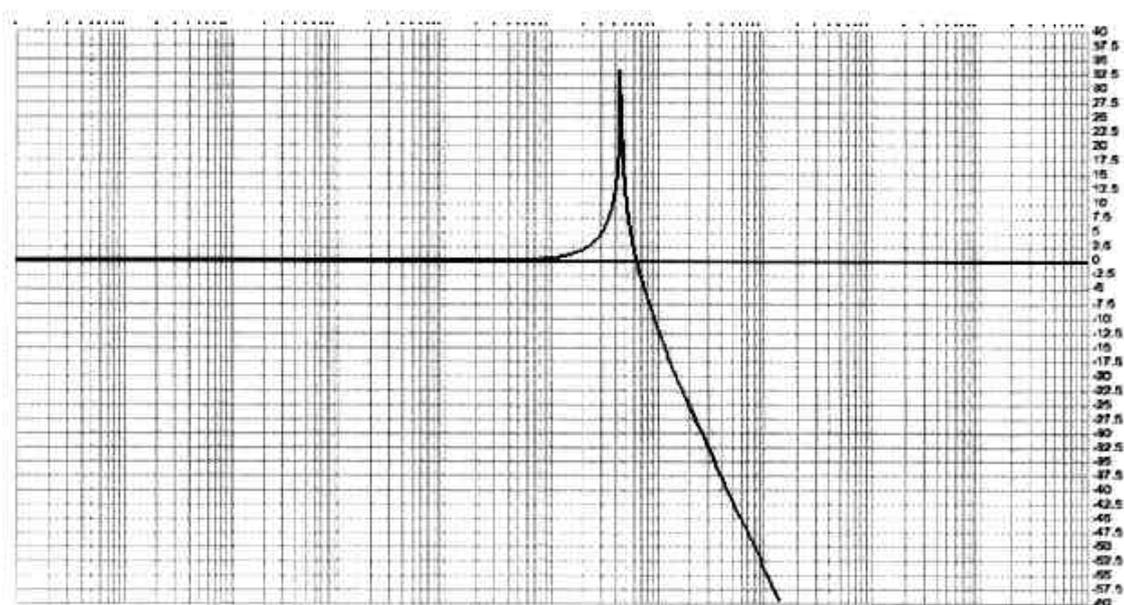


Figure 16 : réponse harmonique d'un filtre LC

Voici la fonction de transfert du filtre LC :

$$\frac{V_e}{V_s} = \frac{1}{1 - LC \omega^2} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$

avec $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ la pulsation de coupure.

Donc on constate que si l'on choisit L et C de façon à ce que la pulsation de coupure se trouve après la fréquence que l'on veut garder et après le pic de surtension, on éliminera bien toutes les harmoniques et ne conservera que le fondamental.

➤ Calcul des valeurs de L et C

Soit $|H(j\omega)|$ le module de $\frac{V_e}{V_s}$:

$$|H(j\omega)| = \frac{Z_c}{Z_c + Z_l} = \frac{1}{1 - LC\omega^2}$$

On veut que le module $|H(j\omega)|$ soit petit, environ égale à 10%, pour 1600Hz. C'est à dire $20\log|H(j\omega)| = -20\text{dB}$

Approximation : $|H(j\omega)| = \frac{1}{LC \omega^2} = 0,1 \Rightarrow LC = 49 \mu F$

On choisit L=1mH et C=49μF

Ainsi on obtient entre les bornes OUT1 et OUT2 une tension sinusoidale de fréquence 50Hz, comme sur la figure 17.

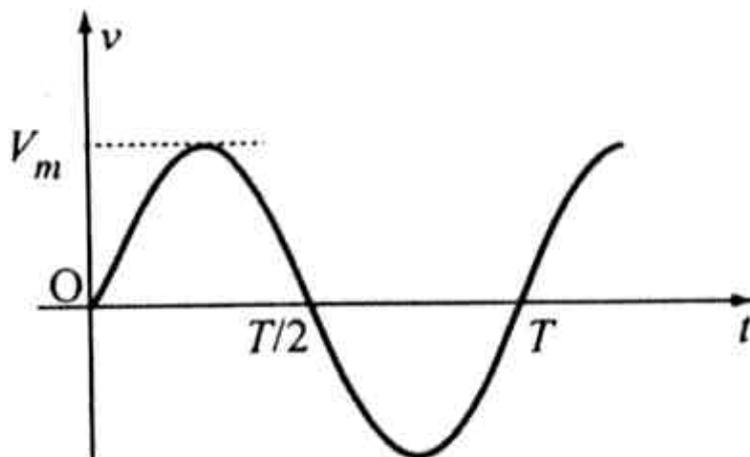
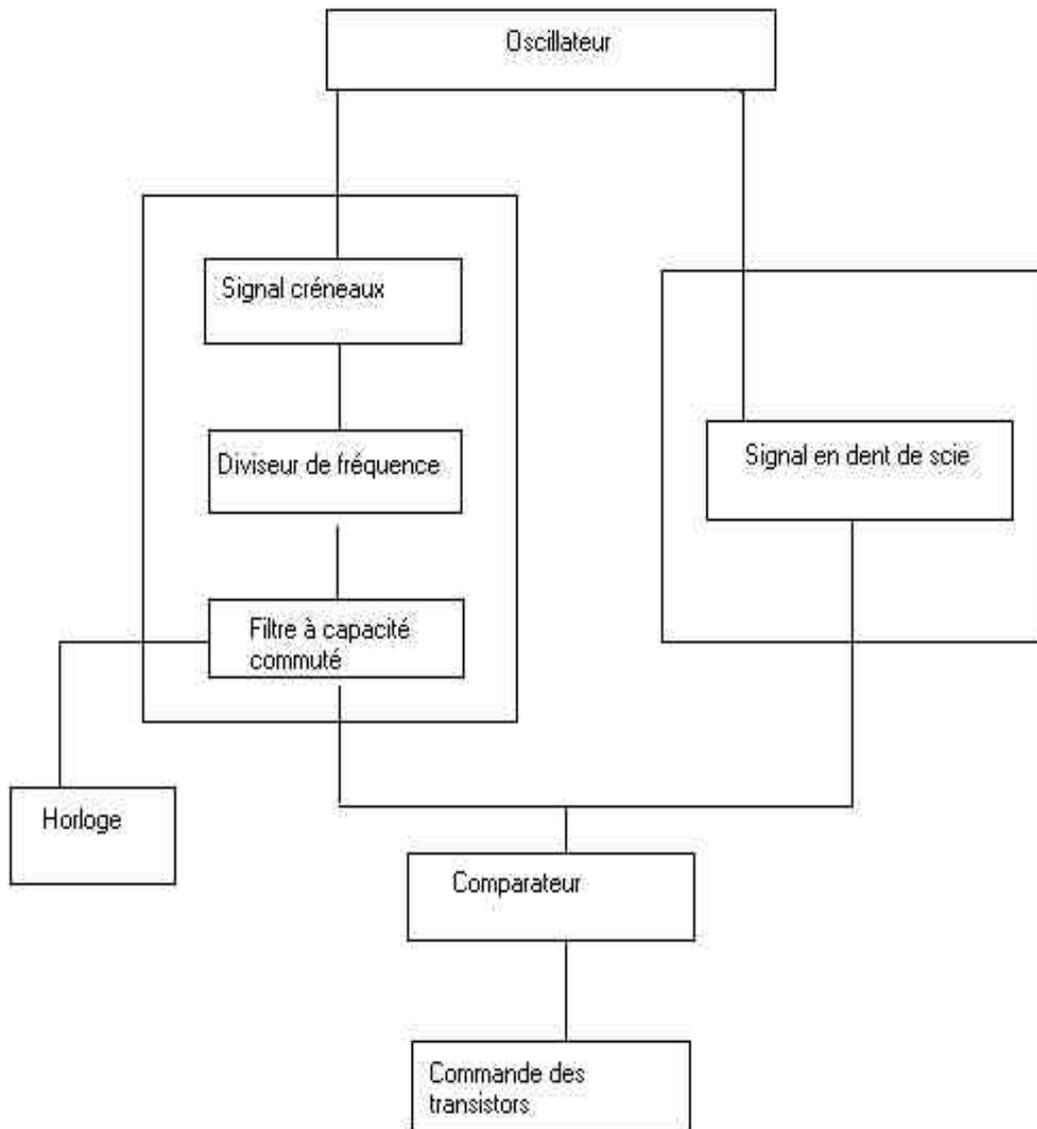


Figure 17 : tension de sortie du filtre LC

7/ SYNOPTIQUE DE LA PARTIE COMMANDE



8/ DETAILS DES SOUS FONCTIONS DU SCHEMA SYNOPTIQUE

8-1°)Oscillateur

C'est un oscillateur constitué par le bouclage d'un comparateur à deux seuils(non inverseur) et d'un intégrateur inverseur.

L'alimentation des amplificateurs opérationnels est symétrique, de niveaux+15/-15v.

La sortie du comparateur nous fournit un signal en créneau symétrique, évoluant entre les seuils de basculement du comparateur. Ces tensions de seuil ont pour valeur :.....

D'où la condition du fonctionnement $R2 > R1$.

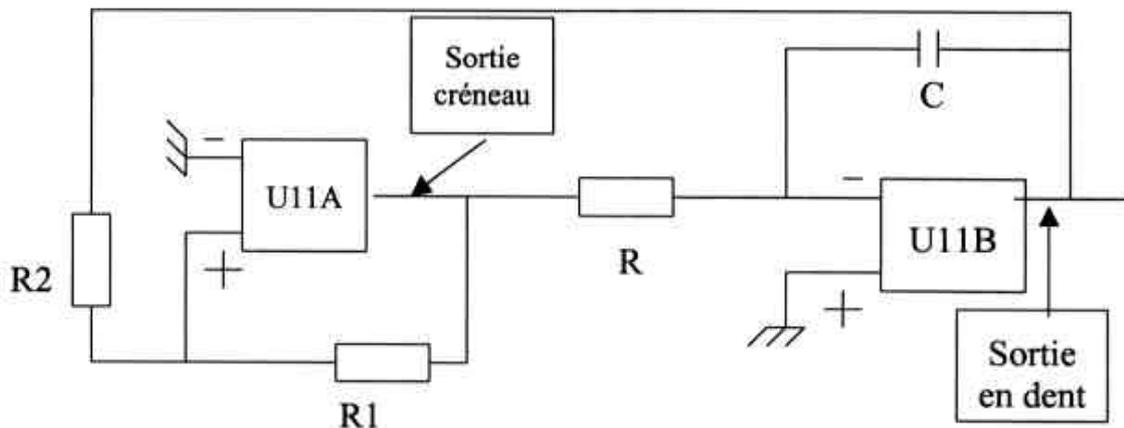


Figure 18 : schéma de montage de l'oscillateur

On trouvera donc en sortie de ce comparateur, un signal triangulaire et un signal créneau. Le signal en dent de scie correspondra donc à la fréquence porteuse du comparateur pour obtenir la MLI. Il doit être de fréquence nettement supérieure à celle de la sinusoïdale. On veut avoir une sinusoïdale de fréquence 50Hz, donc le signal de la porteuse doit être supérieur à cette dernière. On choisit une fréquence de 1666Hz.

➤ Calcul de la période d'oscillation :

Pour une demi période, évaluons la variation de quantité d'électricité sur chaque armature du condensateur. La charge de C s'effectue à courant constant à partir de l'AOP U11A.

$$\Delta q = I \Delta V = -C \Delta V$$

$$\frac{V_{cc} \cdot T}{2R} = 2C \frac{R2}{R1} V_{cc} \Rightarrow T = 4RC \frac{R2}{R1}$$

AN : On veut $F = 1666.66 \text{ Hz}$ donc $T = 0.6 \text{ ms}$

On fixe $C = 22 \text{ nF}$ ainsi qu $R1 = 18 \text{ k}\Omega$, $R2 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R = 5 \text{ k}\Omega$.

Afin de nous éviter des calculs, on rajoute, en série entre $R1$ et $R2$, une résistance ajustable de $4.7 \text{ k}\Omega$. Et on fait de même pour R . Ainsi, on pourra ajuster à notre guise, la fréquence du signal en dent de scie mais aussi celui du signal créneaux et donc sinusoïdale. Maintenant que l'on a obtenu notre signal en dent de scie, on va étudier le signal en créneaux, afin d'obtenir, une sinusoïdale de fréquence $F = 50 \text{ Hz}$.

8-2°) Le diviseur de fréquence

Comme le signal créneaux évolue à une fréquence de 1666 Hz , il faut trouver un système afin de diviser la fréquence de ce signal et ainsi obtenir une fréquence de 50 Hz . Pour cela on utilise un compteur 12 bits de la famille des CMOS.

On alimentera le circuit en $+5 \text{ V} / -5 \text{ V}$, d'où la nécessité d'incorporer au montage, une alimentation continue $+5 \text{ V} / -5 \text{ V}$. Pour cela on utilise deux régulateurs un $L7805$ pour obtenir le $+5 \text{ V}$ et un $L7905$, pour avoir le -5 V . On effectue le montage suivant :

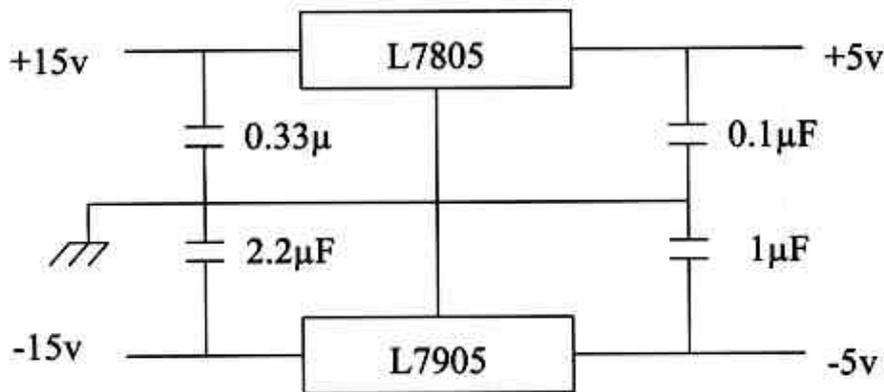


Figure 19 : schéma de l'alimentation $+5 \text{ V} / -5 \text{ V}$

Pour utiliser le compteur en diviseur de fréquence, il suffit d'injecter sur son entrée "clock", le signal dont on veut diviser la fréquence. Dans notre cas, on rentre le signal en créneaux.. Comme on veut obtenir du 50 Hz en sortie, il faut étudier sur quelle sortie on peut obtenir cette fréquence.

D'où le calcul suivant :

$$\frac{1666,6}{50} = 33,3 = 2^5 \Rightarrow Q^5$$

D'après la documentation du composant qui se trouve dans le tome des annexes, la sortie qui correspond est la numéro 2, d'où le schéma :

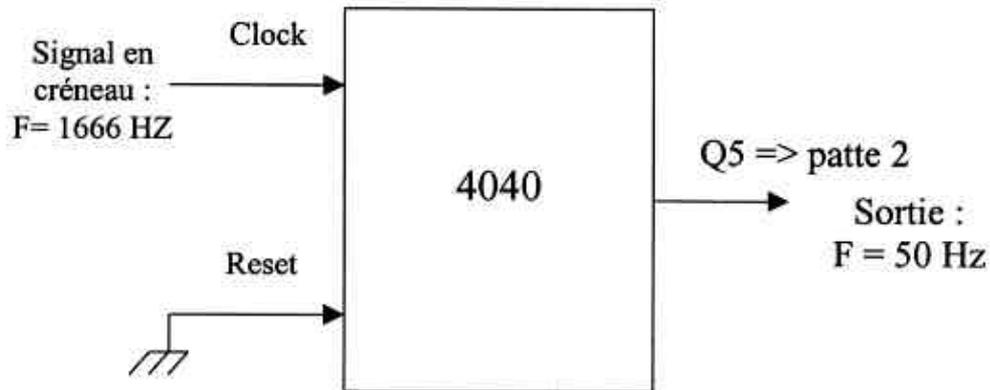


Figure 20 : schéma de montage du diviseur de fréquence

Une fois notre signal créneau de 50Hz obtenu, il va falloir le filtrer, afin d'obtenir la sinusoïde nécessaire au fonctionnement de la commande MLI.

8-3°) Le filtre

Pour pouvoir obtenir un signal sinusoïdal, il ne faut garder que le fondamental. Pour cela, on utilise un filtre passe-bas, afin d'éliminer les autres termes de pulsation \$2\omega\$, \$3\omega\$, etc. plus élevés que la pulsation du fondamental \$\omega\$, à condition que la fréquence de coupure \$F_0\$ du filtre soit telle que :

$$\frac{\omega}{2\pi} = T < F_0 < 2F$$

Le filtrage n'est performant que si la pente de la fonction de transfert pour \$F > F_0\$ est très grande, ce qui implique l'utilisation d'un filtrage d'ordre élevé. De plus, la fréquence de notre signal est basse, il faut donc pouvoir régler facilement et précisément la fréquence de coupure \$F_0\$.

C'est ce que réalise parfaitement le filtre à capacité commuté MF10. Sa fonction de transfert est du type Butterworth d'ordre 4. Il possède deux entrées du second ordre que l'on peut cascader afin d'obtenir un filtre du quatrième ordre. La pente de la bande atténuée vaut

donc -80dB/décade . Ainsi tous les harmoniques de rangs 3, 5, 7 ... seront supprimés. Le module de la fonction de transfert vaut alors :

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

Sur ce type de filtre, la fréquence de coupure F_0 est de $1/100^{\text{ème}}$ d'une fréquence d'horloge " F_{CLK} "

L'alimentation du filtre MF10 est de $5\pm 5\text{v}$, donc on utilisera les sorties de l'alimentation vue précédemment. Pour choisir le rapport $F_{\text{CLK}}/100$, il faut brancher la broche 12 sur la masse. Alors on rentrera une fréquence d'horloge de 8000Hz environ afin que la fréquence de coupure soit de 80Hz . Ainsi on obtiendra en sortie du MF10, une sinusoïde de fréquence 50Hz .

Afin de créer le signal d'horloge du MF10 on utilise un NE555. On réalise le montage suivant :

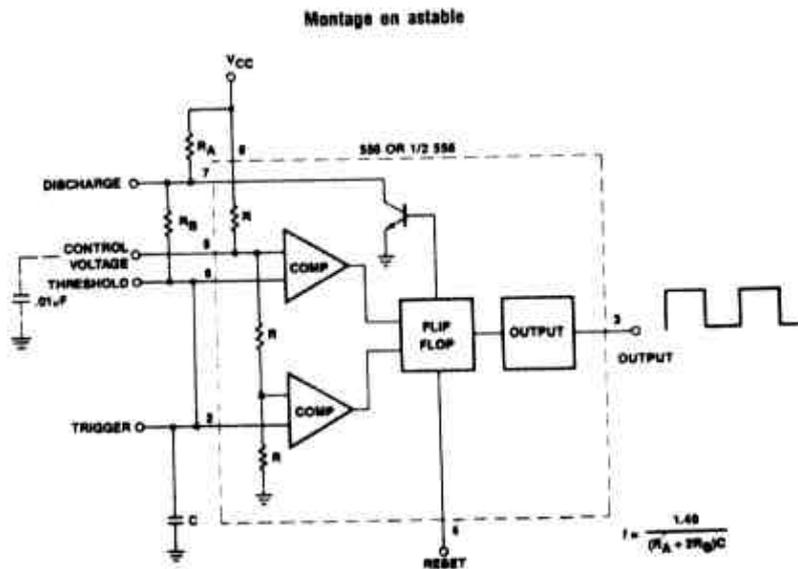


Figure 21 : schéma de montage du NE555 en astable

➤ Calcul des composants NE555 :

Sur la documentation du NE555, on nous donne la formule afin d'avoir la fréquence désirée.

$$F = \frac{1,49}{(Ra + 2Rb) \cdot C}$$

AN : On fixe $C = 1\text{nF}$ et $Rb = 68\text{k}\Omega$ et l'on veut une fréquence de 800Hz , donc on obtient $Ra = 50250\Omega$.

Mais pour obtenir une meilleure précision et une fréquence de coupure variable, on utilisera une résistance ajustable de $47k\Omega$ en série avec une résistance de $33k\Omega$ à la place de R_a .

➤ Calcul des composants du MF10 :

Sur la documentation du MF10, on nous donne le montage, ainsi que les valeurs qui vont avec, à savoir :

$R_3=10k\Omega$, $R_2=18.48k\Omega$ et pour le second filtre du MF10 on choisira $R'_3=13.06k\Omega$ et $R'_2=10k\Omega$.

En sortie du filtre, on constate que la sinusoïde est faible en gain et qu'elle comporte une composante continue, due au filtre capacitif. Donc, en sortie du compteur on rajoutera une capacité de $1\mu F$, afin de supprimer cette composante. Pour relever le gain, on réalise un montage inverseur avec gain ajustable, pour élever à notre guise la valeur du gain.

8-4°) Le comparateur

Maintenant que l'on a obtenu nos deux signaux, on réalise le comparateur.



Figure 22 : schéma du montage du MF10

Le comparateur fera partie comme les trois autres amplificateurs utilisés TL084. C'est un composant regroupant 4AOP.

8-5°) La commande des transistors de puissance

On a donc obtenu, notre commande MLI, en sortie du comparateur, il va donc falloir relier cette sortie sur une entrée du montage de puissance, afin de pouvoir commander les drivers.

9/ LISTE ET PRIX DES COMPOSANTS PARTIE PUISSANCE

<u>DESIGNATION</u>	<u>CARACTERISTIQUE</u>	<u>NOM DU COMPOSANT</u>	<u>PRIX en euros</u>
R14	47K	Resistance ajustable	0.05
R15	68K	Résistance	0.04
R2	5K	Résistance	0.04
R1, R4	4.7K	Resistance ajustable	0.05*2
R6, R8, R3, R13, R10, R12, R16	10K	Résistance	0.04*7
R9, R15	18K	Résistance	0.04*2
R11	13K	Résistance	0.04
R7	470	Résistance	0.04
U3	16Pattes	Circuit intégré 4040	1
U11	14Pattes	Circuit intégré TL084	1.16
U5	8Pattes	Circuit intégré NE 555	0.56
U7	20Pattes	Circuit intégré MF10	2.29
U8	5V	Régulateur L7805	1.19
U9	5V	Régulateur L7905	0.97
C4	22nF	Condensateur	0.18
C1, C2, C3, C5, C9	100nF	Condensateur	0.24*5
C8	330nF	Condensateur	0.25
C11	2.2nF	Condensateur polarisé	0.14
C6, C10	1µF	Condensateur polarisé	0.08*2
C7	10nF	Condensateur	0.16
C12	1nF	Condensateur	0.12
D1, D4	1N4148	Diode	0.04*2
D2, D3	1N4007	Diode	0.08*2
JP1		Connecteur	0.02
JP2, JP5		Connecteur	0.02*2
JP3		Connecteur	0.02
JP4		Connecteur	0.02
Tulipe 14 pattes			0.64
Tulipe 16 pattes			0.67
Tulipe 8 pattes			0.62
Tulipe 20 pattes			0.76
	TOTAL HT		12.29
	TVA		19.6%
	TOTAL TTC		14.82

10/ LISTE ET PRIX DES COMPOSANTS PARTIE

COMMANDE

<u>DESIGNATION</u>	<u>CARACTERISTIQUE</u>	<u>NOM DU COMPOSANT</u>	<u>PRIX en euros</u>
C1, C2, C3, C4, C5, C6	100nF 63V	Condensateur polarisé	0.24*6
C7,C8,C9	47µF 400V	Condensateur polarisé	12.33*3
D1,D2	BYV95C	Diode	3.25*2
D7,D8,D9,D10	BYT 08 PI 400	Diode	2.52*4
D3,D4,D5,D6	IRF840/TO	Diode	2.24*4
JH1, JH2, JH3, JH4, JH5, JH6, JH7, JH8, JH9, JH10, JH11	Connecteur	Header	3.11*11
R1, R2, R3, R4	33	Résistance	0.04*4
U3	14Pattes	Circuit intégré 4011	0.56
U1, U2	8Pattes	Circuit intégré IR2111	3.37*2
	TOTAL HT		105.62
	TVA		19.60%
	TOTAL TTC		126.33

11/ SCHEMA ELECTRIQUE ET TYPON DE LA PARTIE
COMMANDE

12/ SCHEMA ELECTRIQUE ET TYPON DE LA PARTIE
PUISSANCE

CONCLUSION

L'étude et la conception de ce projet, nous ont permis de nous mettre dans des conditions propices que l'on retrouvera dans une entreprise ou lors de notre stage.

L'étude de cet onduleur nous a aussi permis de voir quelles étaient les solutions les plus simples et les solutions les plus économiques pour pouvoir réaliser un projet qui puisse être rentable. Cependant les solutions les plus simples sont parfois les plus coûteuses. En effet nous aurions pu réaliser une partie commande beaucoup plus simple à l'aide d'un transformateur mais celui-ci est bien trop coûteux pour que l'on puisse envisager de prendre cette solution.

BIBLIOGRAPHIE

Sites Internet :

- www.farnell.com
- www.angliac.uk.com
- www.ecus-ondulique.fr
- www.onsemi.com

Documentation technique :

- C. FATIH, *Onduleur à commande MLI*, projet IUT GEII Tours, avril 2001, 26 pages.
- M. CHI, R. CUZON, *Onduleur de secours 12V – 220 V 50Hz*, projet IUT GEII Tours, mars 2000, 60 pages.
- E. AYMERIAL, N. MOUKHLISS, *Onduleur de secours 12V – 220V 50Hz*, projet IUT GEII Tours, mars 2000.
- T. LEQUEU, *Projet 05 – Onduleur 12V DC – 220 AC 50Hz à transformateur à point milieu*, Documentation technique, février 2000.
- G. LAVERGNE, J. ROULLET, *Onduleur à point milieu 12V/220V*, projet IUT GEII, mars 1999.
- MERLIN GERIN, *Convertisseur 12V/220V 50Hz – 220VA*, Radio Plans -Electronique Loisirs N° 423, p. 43-52