

CHAPITRE IV: REALISATION DE LA CARTE DE COMMANDE

I- Introduction :

La commande de vitesse des moteurs électrique constitue l'application la plus importante de l'électronique de puissance. Les installations industrielles automatisées utilisent de plus en plus des variateurs électronique de vitesse à thyristors soit pour obtenir la vitesse d'entraînement optimale de machine pour chaque étape d'un procédé industriel, soit pour asservir la vitesse d'un ou plusieurs moteurs entraînant des équipements électromécaniques. Dans le cas des entraînements contrôlés à vitesse variable, on utilise principalement les moteurs à courant continu (série et à excitation séparée) et les moteurs à courants alternatifs (synchrone et asynchrone).

Les moteurs à courant continu sont alimentés :

- A partir d'un réseau alternatif (monophasé ou triphasé) par l'intermédiaire de redresseurs contrôlés à thyristors ou des redresseurs à diodes suivis des hacheurs à thyristors.
- A partir d'un réseau continu ou d'une batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire de hacheurs à thyristors.

II- Variateurs de vitesse :

Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentant un moteur électrique de façon à pouvoir faire varier sa vitesse de manière continue de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale. La vitesse peut être proportionnelle à une valeur analogique fournie par un potentiomètre, ou par une commande externe : un signal de commande analogique ou numérique, issu d'une unité de contrôle.

II-1- Principe de base des variateurs de vitesse :

Depuis la venue de la technologie des semi-conducteurs, la variation de vitesse des moteurs électriques a pris le dessus sur les anciens systèmes. Cette technologie, devenue fiable, part toujours du même principe : à partir d'une source, le variateur de vitesse va recréer en sortie :

- Une tension triphasée variable en fréquence et en amplitude pour les moteurs à courant alternatif.

- Une tension continue variable en amplitude pour les moteurs à courant continu.

Le variateur de vitesse est composé essentiellement de :

- D'un redresseur qui, connecté à une alimentation monophasée ou (triphasee), génère une tension continue à ondulation résiduelle (le signal n'est pas parfaitement continu). Le redresseur peut être de type commandé ou simple.
- D'une électronique de commande pilotant (transmission et réception des signaux) le redresseur.

Le variateur de vitesse est principalement caractérisé selon la séquence de commutation qui commande la tension d'alimentation du moteur, on trouve alors.

- les variateurs à source de courant (CSI).
- les variateurs à modulation d'impulsions en amplitude (PAM).
- les variateurs à modulation de largeur d'impulsion (PWM/VVC).

II-2- Principe de fonctionnement de variateur de vitesse par redresseur :

Les variateurs de vitesse à base de circuit de redressement utilisés par les moteurs à courants continue sont constitués de différents blocs. La figure suivante donne le schéma blocs d'un tel circuit. En effet un variateur de vitesse doit contenir :

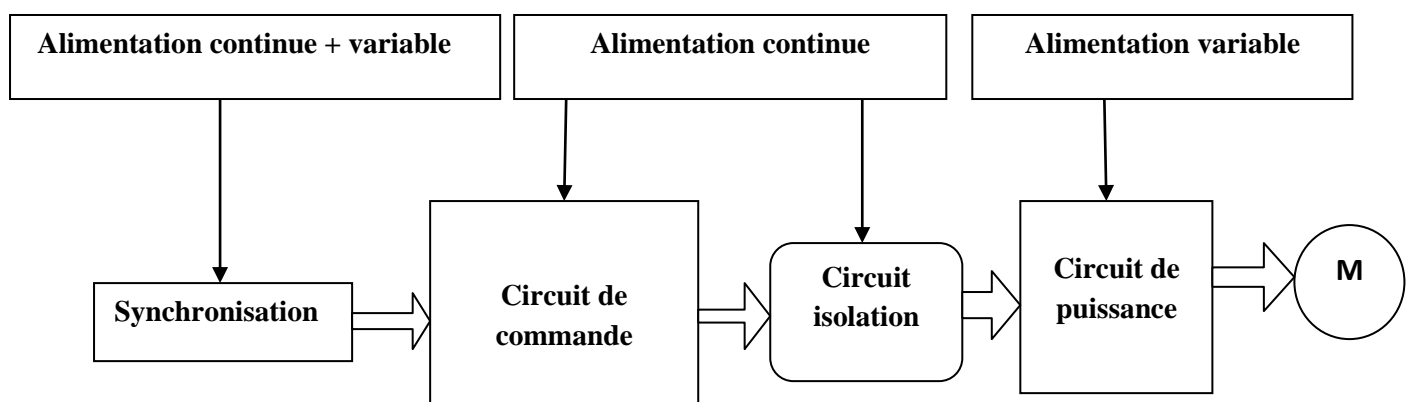


Figure Ch.4-1 : Structure et principe de fonctionnement

II-2-1- Le circuit d'alimentation :

Le circuit d'alimentation fournit toutes les tensions continues et alternatives nécessaires respectivement pour alimenter les CI du montage et l'entrée de synchronisation utilisé par le dispositif de commande dans notre cas le PIC 16F876A pour générer le signal PWM qu'on verra en détail plus loin au cours de ce chapitre.

II-2-2- Le circuit de commande :

Le circuit de commande servant à amorcer les interrupteurs de puissances qui sont dans notre cas des thyristors. Ces derniers ont pour but de faire varier la valeur moyenne d'un signal alternatif et par conséquent fournir une tension continue variable qui servira à alimenter le moteur.

II-2-3- Le circuit d'isolement:

Ce circuit est une interface entre le bloc de commande qui est la sortie du PIC et le module de puissance qui est le circuit à thyristors. Son rôle sera montré plus loin au cours de ce chapitre.

II-2-4- Le circuit de puissance :

Le circuit de puissance a pour rôle de fournir la puissance nécessaire aux dispositifs tels que les moteurs ; la puissance généralement très importante pour le fonctionnement.

III- Circuit électrique principal du redresseur :

Le circuit en totalité conformément à la figure plus haut, est constitué ; des blocs d'alimentations en continu et en alternatif, du circuit de commande qui est le PIC, du circuit d'isolement constitués principalement de deux opto-coupleurs et finalement du bloc de puissance qui contient, les diodes de redressement de puissance, les thyristors et finalement le moteur. La figure (Ch.4-2) montre les principaux blocs seulement du circuit, les autres blocs étant éliminés pour éviter l'encombrement inutile de cette figure.

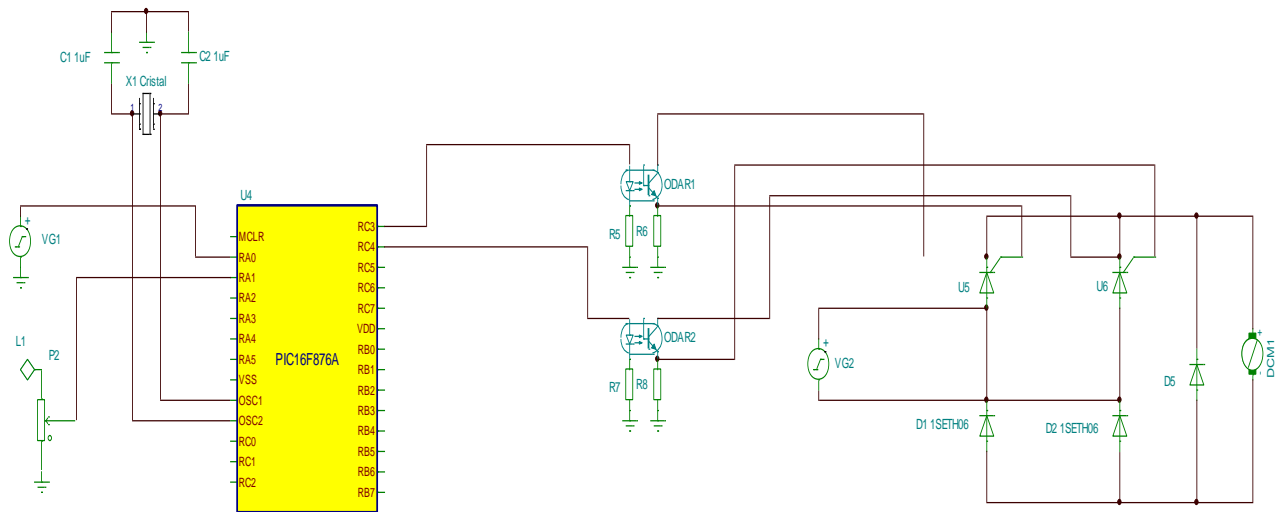


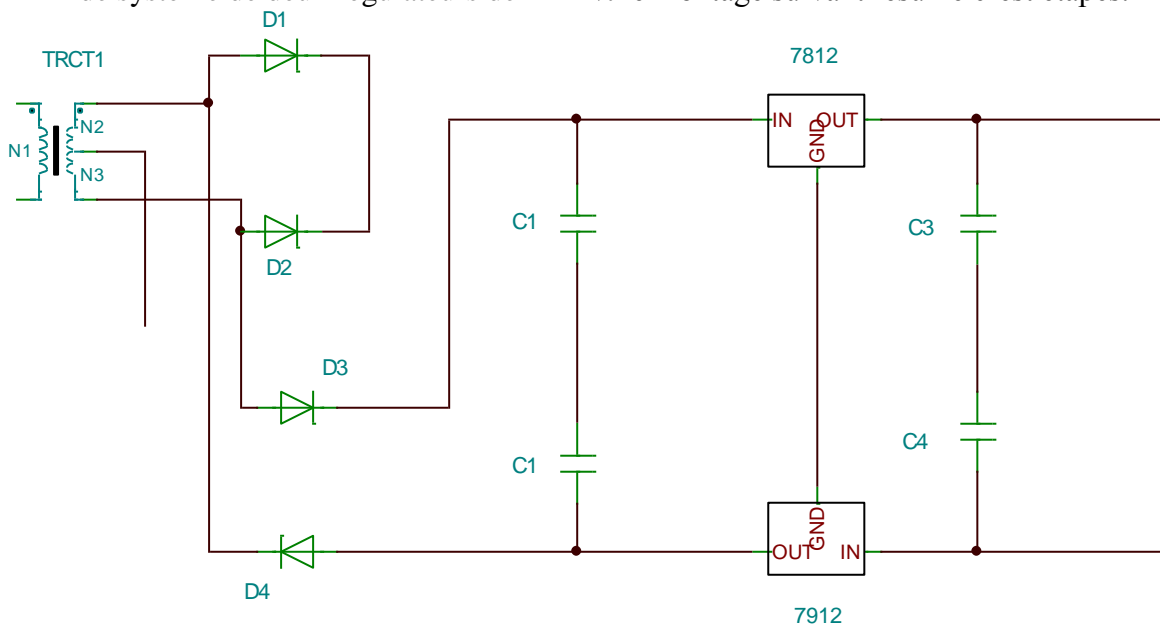
Figure Ch.4-2: partie commande et puissance de la carte

Dans ce qui suit nous allons traiter le schéma bloc de la figure (Ch.4-1) étage par étage.

III-1- Alimentations continues :

III-1-1- Alimentation ± 12 volt continue :

- Les tensions ± 12 continue sont obtenues à partir du transformateur 2* 12V à point milieu, suivie d'un système de redressement double alternance, un circuit de redressement puis de système de deux régulateurs de ± 12 v. le montage suivant résume c'est étapes.

Figure Ch.4-3: Circuit électronique de l'alimentation stabilisé donnant le ± 12 V

Le rôle de ces tensions est le suivant :

- Pour le $\pm 12V$, il sert à alimenter l'amplificateur opérationnelle intégré Lm358N, d'un côté et le potentiomètre de consigne aussi pour le montage produisant le signal de synchronisation.

III-1-2- Alimentation 5 volt continu :

Servant à alimenter le PIC 16F876A d'un côté et le potentiomètre de consigne d'un autre côté, elle obtenue da manière suivante et aussi le circuit produisant le signal de synchronisation.

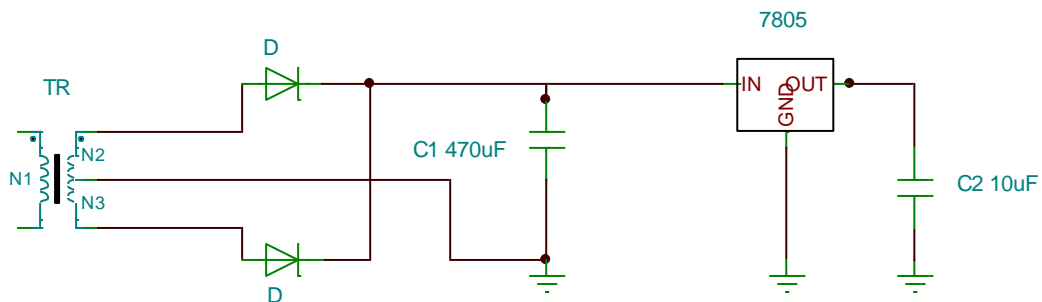


Figure Ch.4-4: Circuit électronique de l'alimentation stabilisé donnant le 5V

III-1-3- Alimentation 12V altératif :

En plus de c'est alimentations continue on a besoin d'une tension alternatives de 12V pour produire le signal de synchronisation du PIC, cette tension est obtenue directement à partir du transformateur $2 \times 12V$ à point milieu.

III-2- Signal de synchronisation :

C'est un circuit qui permet de générer un signal alternatifs variant ente 0 et 5V, la figure Ch.4-5 donne le schéma électronique de ce circuit. Le signal de synchronisation est appliqué à la pine RA_0 du PIC et servant à synchroniser le signal PWM délivré par ce dernier pour piloter les interrupteurs de puissances qui sont les thyristors dans notre cas. La forme de ce signal est donnée en figure Ch.4-6.

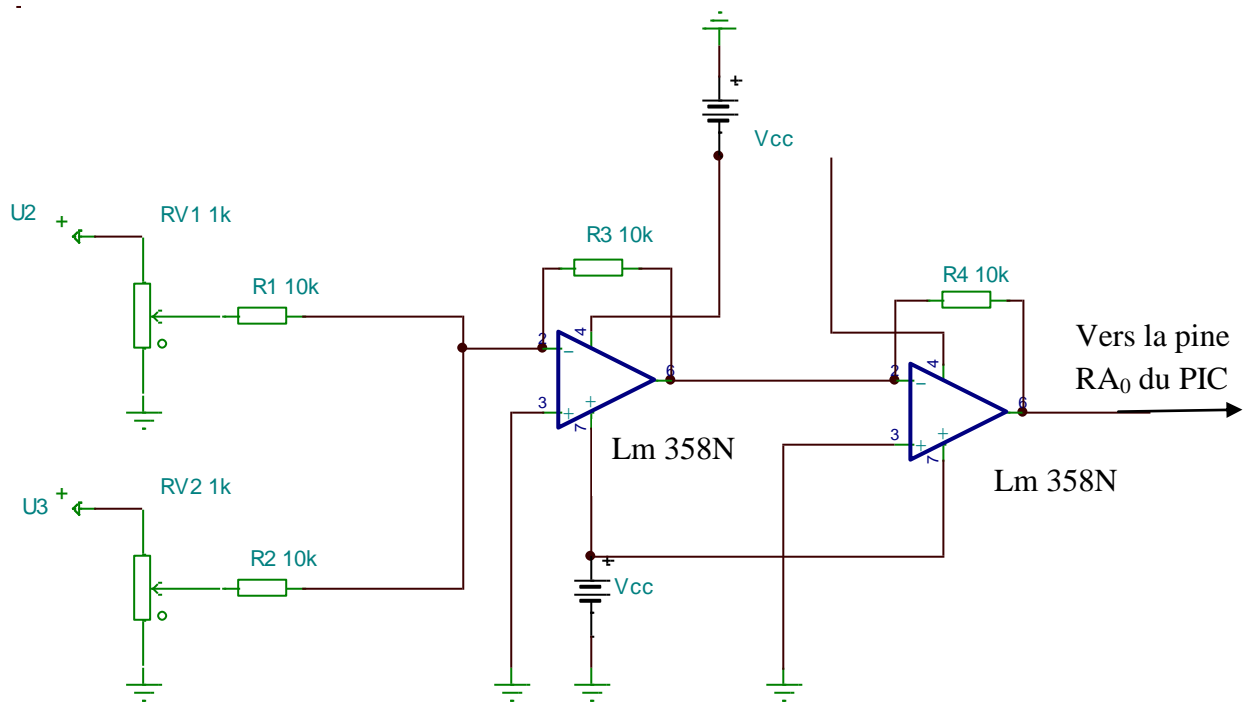


Figure Ch.4-5 : Montage donnant le signal de synchronisation du PIC

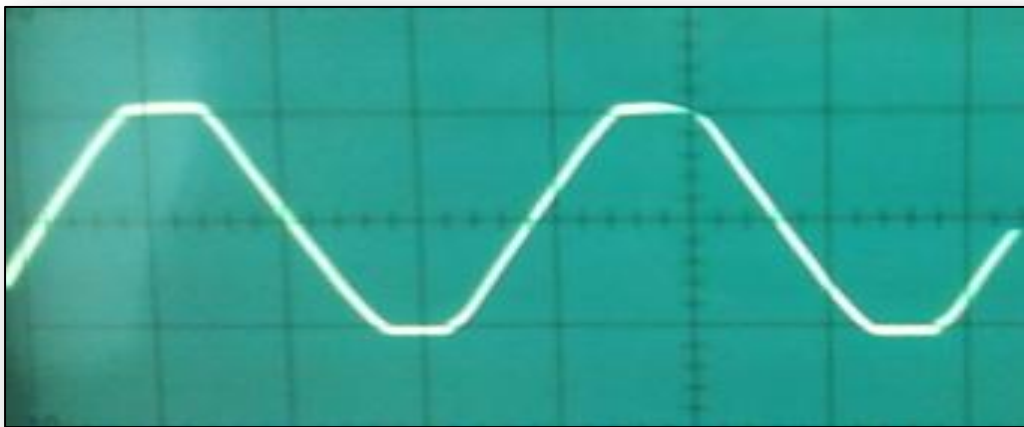


Figure Ch.4-6 : Signal de synchronisation réelle

Remarque :

Le signal représenté en figure Ch.4.6 est une représentation AC (bouton AC de l'oscilloscope) seulement car le vrai signal possède une composante DC (continue) de 2.5V qui fait que ce dernier se propage entre 0V et 5V.

III-3- Circuit de commande :

Le circuit de commande ne fait pas partie du circuit de puissance du variateur de vitesse. Ce circuit doit garantir quatre fonctions essentielles :

1. La commande des semi-conducteurs du variateur de vitesse.
2. L'échange d'informations de commande, de régulation et d'analyse avec les périphériques.
3. Le contrôle des défauts (interprétation et affichage).
4. La protection du variateur de vitesse et du moteur.

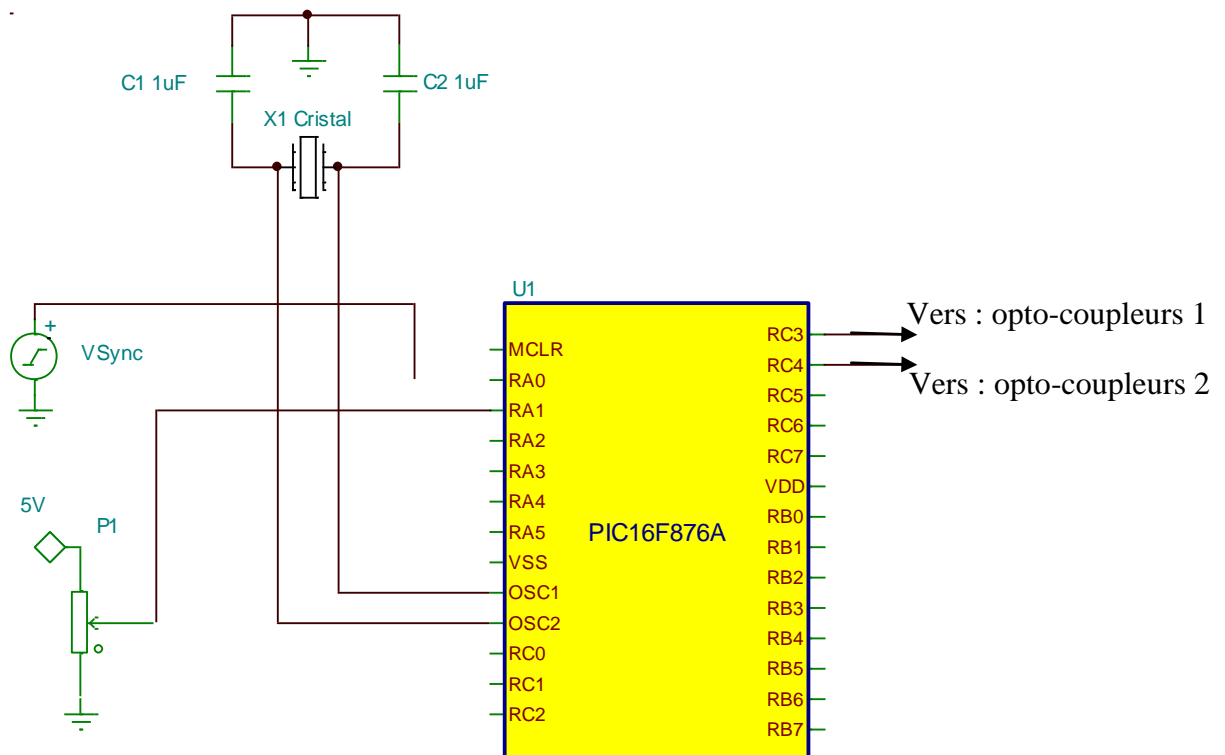


Figure Ch.4-7: Montage du PIC sur la carte.

Le microcontrôleur PIC 16F876 est très utilisé pour ce but, il comporte essentiellement deux modules PWM, un convertisseur analogique / numérique et 3 timers il est simple à programmer (35 instructions). La programmation s'effectue en C par le logiciel HT-PIC et avec le programmeur IC-PROG.

III-3-1- Modulation de largeur d'impulsion (PWM)

La valeur de la consigne (vitesse) est fixée par un potentiomètre relié à la tension 5V. Donc la tension délivrée par ce potentiomètre (E_v) est comprise entre 0 et 5V. Le microcontrôleur lit cette valeur (analogique), effectue une conversion Analogique/Numérique et délivre le signal PWM équivalent à cette valeur analogique.

Valeurs particulières du rapport cyclique α :

- $\alpha = 0$ pour $E_v = 0$
- $\alpha = 1$ pour $E_v = 5V$
- $\alpha = 0.5$ pour $E_v = 2.5V$

III-3-2- Configuration des registres PWM

Deux sorties sont disponibles sur le port C, R_{C1} nommé CCP2, et R_{C2} nommé CCP1.

Les bits CCP1M2 CCP1M3 à 1 configurent les sorties CCP1 et CCP2 en mode PWM.

Les bits T2CKPS0 T2CKPS1 configure le prédiviseur du timer TMR2.

T2CKPS1 0 T2CKPS0 0 : prédiviseur = 1

T2CKPS1 1 T2CKPS0 0 : prédiviseur = 2

T2CKPS1 0 T2CKPS0 1 : prédiviseur = 4

T2CKPS1 1 T2CKPS0 1 : prédiviseur = 16

Le registre PR2 doit contenir la valeur prévue pour la période. Le mot de dix bits pour configurer le rapport cyclique est formé des huit bits contenus dans CCP1L et des bits quatre et cinq de CCP1CON utilisés comme bits de poids faible.

III-3-3- Mesure PWM

La période est égale à : $(PR2+1) * T * \text{Prédiviseur de TMR2}$.

Exemple avec : $PR2 = 5$, $T = 1\mu s$, Prédiviseur TMR2 = 4

$(5+1) * 1\mu s * 4 = 24\mu s$ soit 41,7 kHz

Le rapport cyclique est égal à : mot de dix bits * (Prédiviseur de TMR2/4).

Exemple avec : mot de dix bits = 100, Prédiviseur TMR2 = 1.

$100 * (1/4) = 25 \mu s$ 40 kHz



Figure Ch.4-8: Signal PWM appliqué à l'entrée du premier opto-coupleur.

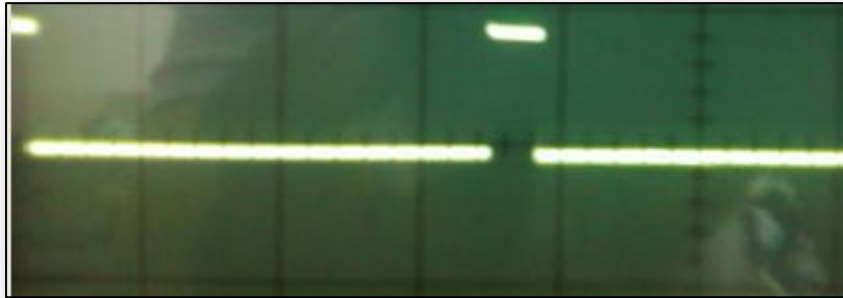


Figure Ch.4-9: Signal PWM appliqué à l'entrée du deuxième opto-coupleur.

III-4- Circuit d'isolement :

De nombreux problèmes sont rencontrés lors du fonctionnement en liaison direct entre le circuit de commande et le circuit de puissance tels que le retour de masse de et les bruits électrique. Afin d'éviter tout problème de ce genre, le circuit de commande doit être électriquement isolé du circuit de puissance (voire figure Ch.4-10). Cette isolation peut être réalisée à l'aide d'un opto-coupleur.

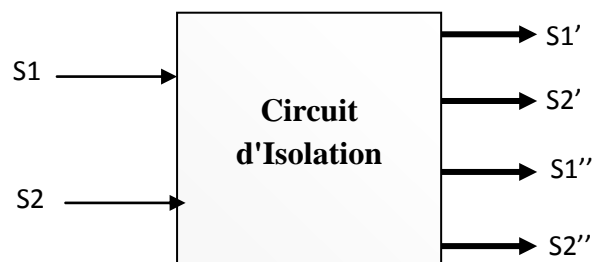


Figure Ch.4-10 : Schéma synoptique du circuit d'isolation

Un opto-coupleur est constitué par la réunion dans un même boîtier d'un photoémetteur et (généralement une LED infrarouge) et d'un photorécepteur (généralement un photo transistor), L'opto-coupleur peut être considéré comme un quadripôle dont la principale caractéristique et

d'avoir un isolement entre le circuit d'entrée et le circuit de sortie et dans notre cas de montage l'opto-coupleur que nous allons utilisés est le 4N32.

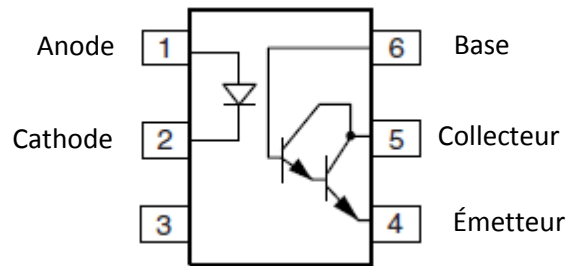


Figure Ch.4-11 : Schéma de l'opto-coupleur 4N32

* Les caractéristiques techniques de l'opto-coupleur 4N32 sont les suivantes :

- ✓ V_f max : 1,5V-5 mA
- ✓ V_{CE0} min (base ouverte) : 30 V.
- ✓ V_{CE} (sat) max : 0.5V- mA.
- ✓ Taux de transfert : 2500 V.
- ✓ Commutation t_{on} ou fréquence : 300KHz

En observant le circuit de la figure Ch.3-2, on constate que les deux opto-coupleurs ont le rôle principal de transmettre les signaux PWM issues des ports RC₃ RC₄ du circuit de commande qui est le 16F876A dans notre cas vers les gâchettes des thyristors du circuit de puissance. Les signaux obtenus à la sortie de chaque opto-coupleur sont donnés dans la figure suivante.

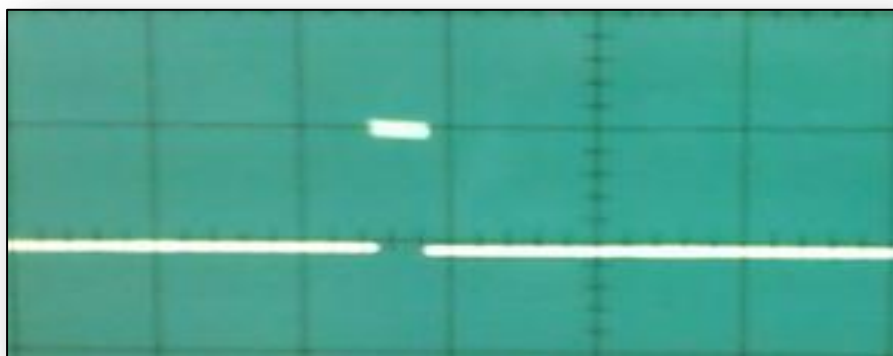


Figure Ch.4-12: Le signal obtenu au niveau de l'émetteur du premier opto-coupleur.



Figure Ch.4-13: Le signal obtenu au niveau de l'émetteur
du deuxième opto-coupleur.

III-5- Circuit de puissance

Dans la pratique toutes les applications industrielles, la source d'énergie électrique utilisée est le réseau alternatif de distribution. Pour obtenir la tension continue variable appliquée à l'induit du moteur à courant continu, le plus simple est d'utiliser un redresseur à diode banal, mais pour les applications de précisions on utilise toujours les redresseurs totalement commandés. La figure Ch.4-14 donne la forme d'un circuit de redressement de précision à base de thyristors. Ce dernier étant utilisé comme interrupteur commandé pour les très fortes puissances.

Le pont redresseur commandé est constitué de diodes et de thyristors. Ces interrupteurs permettent de redresser la tension réseau : en sortie on récupère une portion de la tension réseau. En commandant les thyristors, on décale la portion de la tension réseau redressée, ce qui modifie la valeur moyenne de la tension de sortie. Le fonctionnement de ce circuit a été traité en détail dans le chapitre 1.

Le signal PWM issu du microcontrôleur est appliqué directement à l'entrée de l'opto-coupleur. En suite les signaux de sorties relèves de l'émetteur et du collecteur de chaque opto-coupleur sont appliqué à la gâchette et à la cathode de chaque thyristors respectivement. et en fin les signaux relevés en sorties des deux opto-coupleurs sont appliqués aux deux thyristors suivant

la logique décrite plus haut ; cela est nécessaire pour le fonctionnement complémentaire des thyristors.

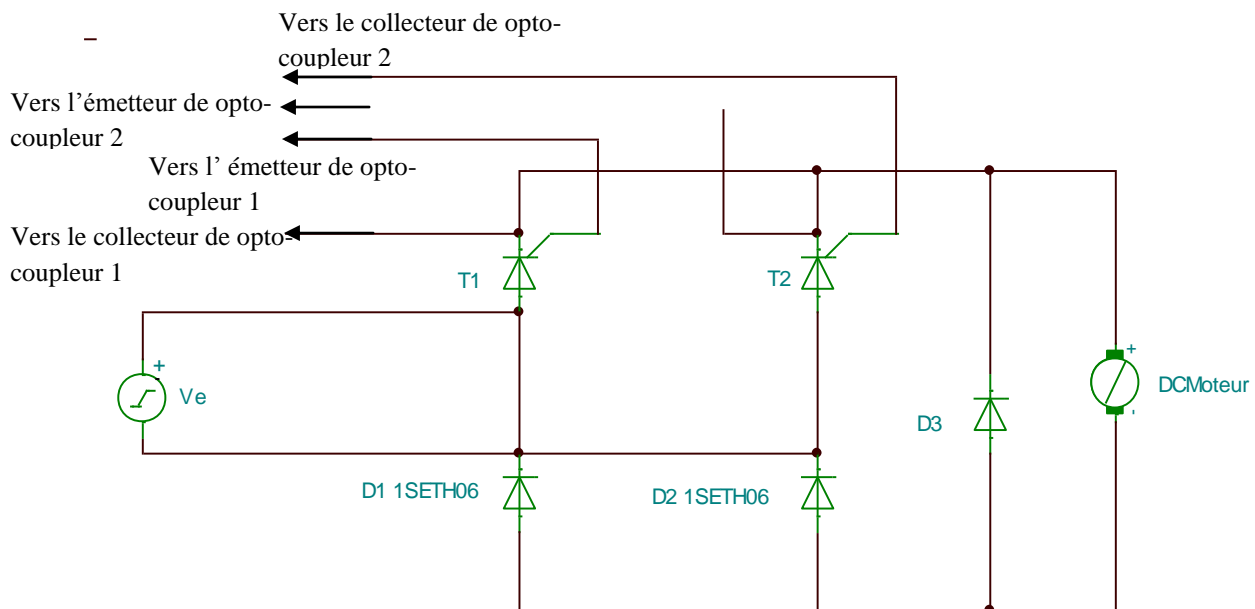


Figure Ch.4-14: Circuit de redressement permettant d'obtenir la puissance d'alimentation du moteur DC.

IV- Réalisation :

La carte que nous avons réalisée est montée sur la figure suivante (figure Ch.4-15). La réalisation sur carte imprimée n'est présentée ici mais elle sera donnée dans l'annexe.

V- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné la réalisation complète de la carte de commande du moteur DC conformément au schéma bloc de la figure Ch.4-1. Le test de cette carte a donné les résultats voulus et la commande du moteur s'effectue d'une manière très précise. On a un arrêt

total du moteur pour la tension continue au niveau du potentiomètre de consigne nulle, et la vitesse de rotation est maximal quand cette tension est de +5V.

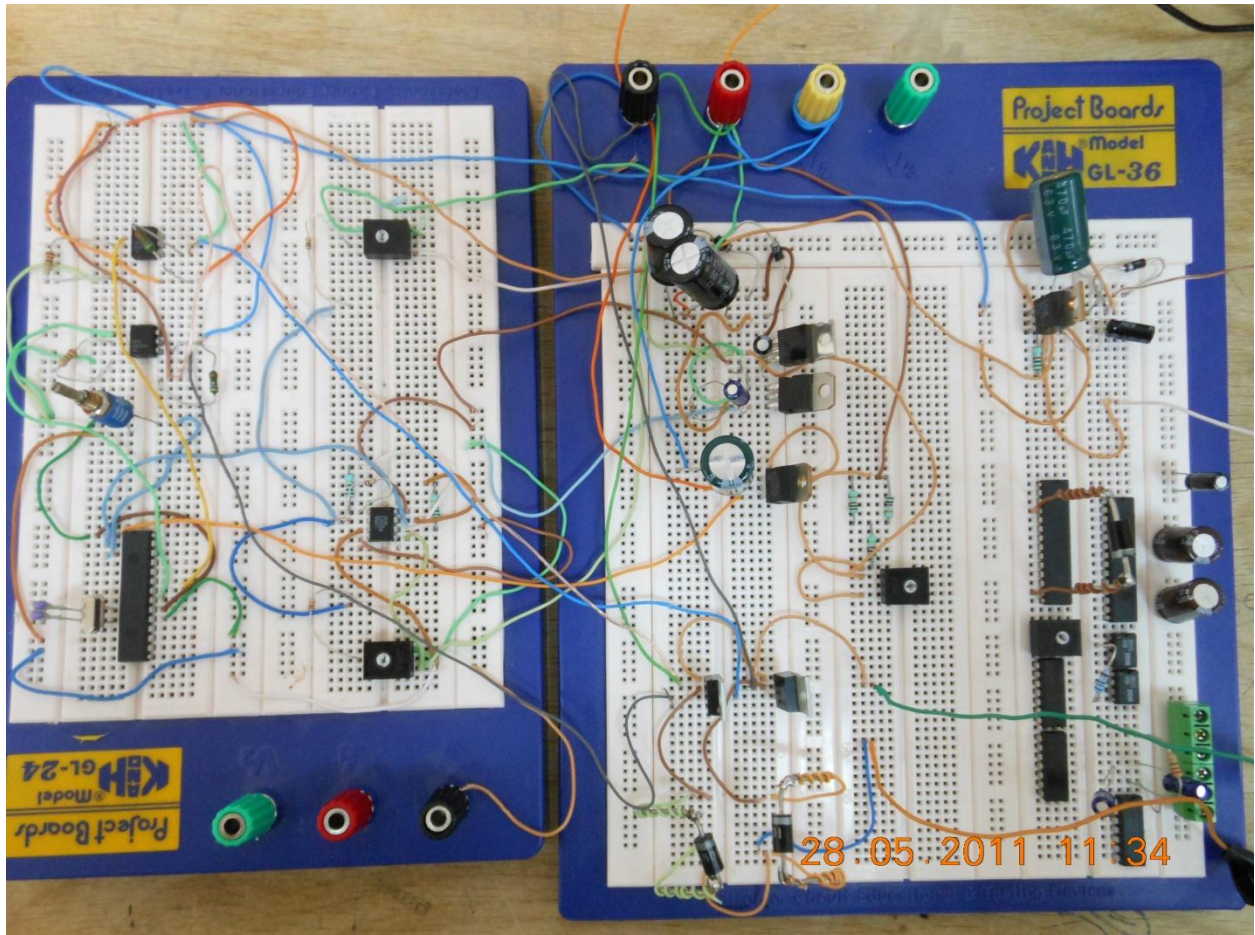


Figure Ch.4-15: La carte de commande du moteur DC globale implantée sur plaquette d'essaye.