

IV.1 Introduction

Tout système de conversion par interrupteurs de puissance, doit être commandé par des signaux d'impulsion. Cependant, ces derniers doivent être conditionnés et adaptés en assurant le niveau de tension, de courant nécessaires et les temps morts adéquats pour éviter tout défaut à différents régimes de fonctionnement. C'est pour cet objectif que cette deuxième partie du travail a été consacrée. Dans tout ce qui suit, nous proposons une architecture de la carte de commande rapprochée de l'onduleur ainsi que sa réalisation.

IV.2. Carte de la commande

La carte qu'on devrait concevoir a pour but de commander un onduleur triphasé; elle fait donc commuter deux **IGBT** du même bras, de manière complémentaire. Elle permet de ramener les signaux issus d'un microcontrôleur (ou d'une commande éloignée) vers des éléments de puissance, en assurant une bonne compatibilité et isolation galvanique entre les deux niveaux de tensions.

IV.2.1 Les microcontrôleurs de la société micro chip

Les **microcontrôleurs PIC** forment une famille de microcontrôleurs de la société **Micro chip**. Il s'agit d'un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur: Processeurs, mémoire, unité périphériques et interfaces d'entrée-sortie.

Les microcontrôleurs se caractérisent par :

- un plus haut degré d'intégration.
- une plus faible consommation électrique.
- une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques Mhz jusqu'à plus d'un Ghz).
- un coût réduit par rapport aux microprocesseurs utilisés dans les ordinateurs personnels.

Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des produits.

IV.2.1.1 Qu'est-ce qu'un PIC

Un PIC n'est rien d'autre qu'un microcontrôleur, c'est à dire une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes.

La dénomination **PIC** est sous copyright de Micro chip, donc les autres fabricants ont été dans l'impossibilité d'utiliser ce terme pour leurs propres microcontrôleurs. Les Pics sont des composants dits RISC (Reduce Instructions Construction Set), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. Donc plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide est le décodage, et plus vite le composant fonctionne. On trouve sur le marché 2 familles opposées :

- RISC (Reduce Instructions Construction Set).
- CISC (Complex Instructions Construction Set).

Chez les CISC, on diminue la vitesse de traitement, mais les instructions sont plus complexes, plus puissantes, et donc plus nombreuses. Il s'agit donc d'un choix de stratégie.

La famille des Pics RISC est subdivisée à l'heure actuelle en 3 grandes familles:

- La famille Base-Line : qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits .
- La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits.

Tous les Pics Mid-Range ont un jeu de 35 instructions, stockent chaque instruction dans un seul mot de programme, et exécutent chaque instruction (sauf les sauts) en 1 cycle.

On atteint donc des très grandes vitesses, et les instructions sont de plus très rapidement assimilées. L'exécution en un seul cycle est typique des composants **RISC**. L'horloge fournie au **PIC** est pré-divisée par 4 au niveau de celle-ci. C'est cette base de temps qui

donne le temps d'un cycle.

Si on utilise par exemple un quartz de **4MHz**, on obtient donc **100000** de cycles/seconde, or, comme le **PIC** exécute pratiquement 1 instruction par cycle, hormis les sauts, cela nous donne une puissance de l'ordre de **1MIPS** (1 Million d'Instructions Par Seconde). Désormais les pics peuvent monter à **20MHz**, c'est donc une vitesse de traitement de **5000000** instructions par seconde.

IV.2.1.2 Utilisation du **PIC18F4431** pour la commande du moteur

On va décrire comment le **PIC18F4431** peut être utilisé pour contrôler un moteur triphasé utilisant la commande à boucle ouverte. Le code de l'application est construit progressivement. Le **PIC18F4431** intègre un ensemble de périphériques spécialement conçus pour le contrôle des moteurs. Avant d'entrer dans les applications de contrôle réel, on devrait comprendre ce qui distingue le **PIC18F4431** d'autres dispositifs de Micro chip utilisés pour le contrôle de moteur.

Le noyau est un ensemble de périphériques uniques qui simplifient les exigences matérielles externes et aussi permettre des niveaux plus élevés de capacité de commande de moteur que les PIC18F452 ou PIC16F7X7 [1,2]

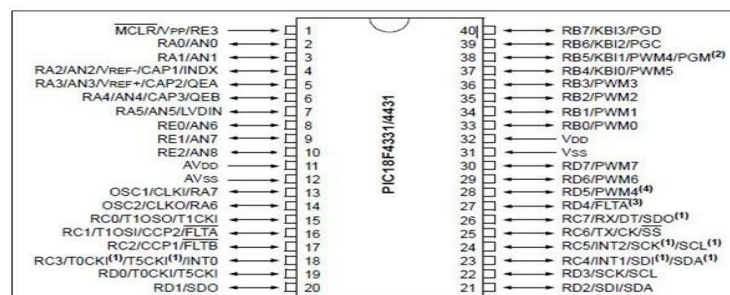


Figure IV.1: Les bronches E/S du microcontrôleur 18F4431.

Les trois périphériques et leurs caractéristiques sont les suivantes:

a) Module de contrôle de puissance PWM (PCPWM) :

- Jusqu'à 8 canaux de sortie
- Entrées de protection de défaut de matériel
- PWM résolution jusqu'à 14 bits
- Bord - alignés ou opération de centre – alignés
- temps mort flexible
- Mise à jour simultanée de rapport cyclique et de la période

b) Module du retour mouvement (MFM), composé d'une interface codeur en quadrature (QEI) et une Entrée de capture (IC).

c) Convertisseur analogique- numérique haute vitesse(HSADC) :

- deux circuits échantillonneurs -bloqueurs indépendants
- Simple ou la sélection multi-canal
- Conversion en modes séquentielle ou simultanée
- Quatre - mot résultat **FIFO** tampon

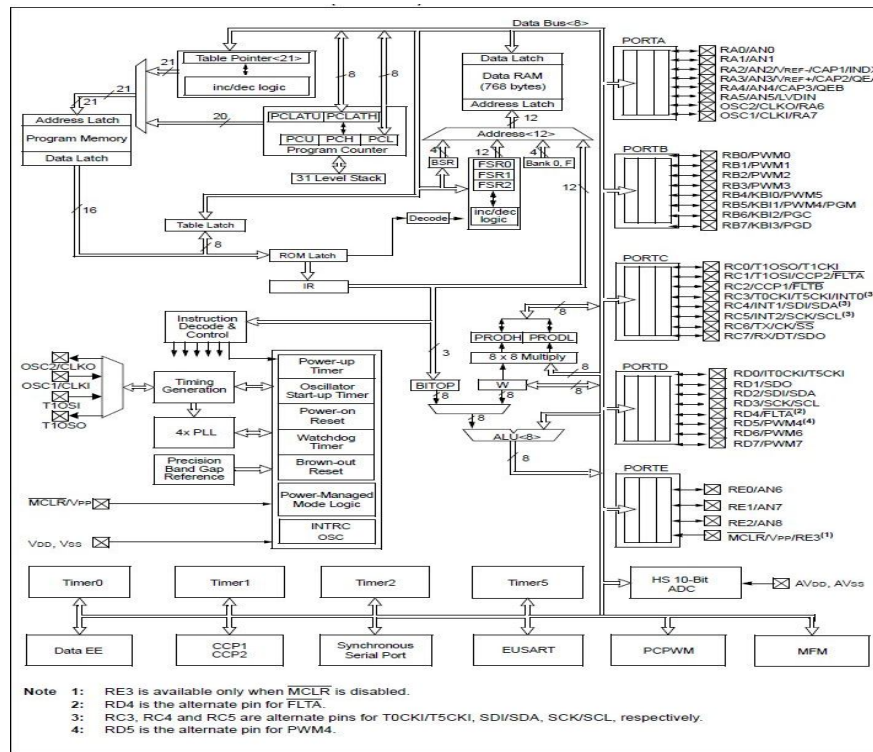


Figure IV.2: Architecture interne du pic 18F4431.

Comme nous allons voir, chacune de ces caractéristiques fournit un net avantage dans la commande du moteur.

En pratique, le contrôle d'un moteur nécessite de *PWM* pour le contrôle des six interrupteurs d'un onduleur triphasé reliés aux enroulements du stator du moteur Figure (IV.3). Les six interrupteurs forment trois "demi- pont", qui peuvent être utilisés pour alimenter une charge.

Comme indiqué sur la figure, deux commutateurs sur le même "Demi- pont" ne doit jamais être simultanément amorcé, sinon les bornes positive et négative seront court-circuités.

Si un commutateur est activé, alors l'autre doit être éteint, ainsi, ils sont entraînés en tant que des paires complémentaires. Il convient également de noter qu'un des dispositifs utilisés dans le demi-pont de commutation (dans ce cas, MOSFET) ont souvent besoin de plus de temps pour éteindre. Pour cette raison, un temps mort minimum doit être inséré entre le off et temps on de deux canaux complémentaires

[3, 4,5].

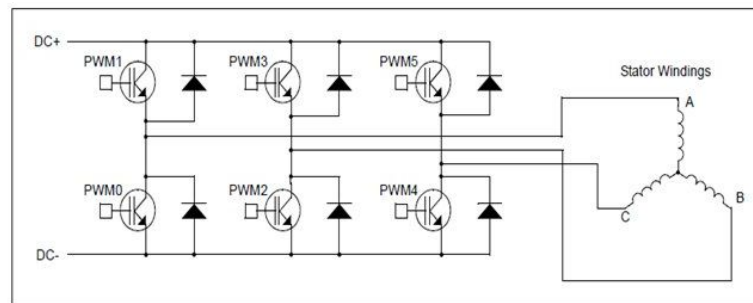


Figure IV.3: Schéma d'un onduleur triphasé.

Les moteurs à courant alternatif sont souvent exploités en boucle ouverte sans retour de la vitesse ou de la position. Le rapport V/f est maintenu constant pour fournir un couple max sur la

plage de fonctionnement. Cette forme de contrôle est relativement peu coûteuse et facile à mettre en œuvre [4,6]. Pour conduire un moteur triphasé, l'onduleur est entraîné par les sorties *PWM* d'un microcontrôleur. En changeant le rapport cyclique d'une manière régulière, les sorties *MLI* sont modulées pour synthétiser des signaux sinusoïdaux dans les trois enroulements du moteur.

La tension appliquée aux trois enroulements du stator comme trois courants sinusoïdaux égaux en amplitude et en fréquence, mais décalées l'une de l'autre de 120 degrés. Le fonctionnement de la commande en boucle ouverte est régi par deux principes:

- La vitesse à vide est directement proportionnelle à la fréquence du courant alternatif appliqué au stator et le nombre de pôles du moteur.

- Le couple est directement proportionnel au rapport de la tension appliquée et la fréquence du courant alternatif.

Par conséquent, la vitesse peut être contrôlée en faisant varier l'entrée fréquence du courant alternatif appliqué et le couple peut être maintenu constant en faisant varier l'amplitude de la tension linéairement à la fréquence [1,6]. Ce sont les deux objectifs fondamentaux du contrôle en boucle ouverte V/f constant.

IV.2.1.3 Programmation de la commande power contrôle *PWM*

La routine développée en langage *C* est implantée sur un *PIC18F4431* en utilisant le logiciel *PIC C*.

IV.2.1.3.1 Configuration du module *PWM*

Le module Power Control *PWM* simplifie la tâche de la commande de deux ponts onduleurs et fournissant 4 paires des sorties *PWM* complémentaires, avec temps mort insérées entre les canaux.

Pour initialiser le module de *PC PWM*:

- La valeur de post cale de la base de temps de *PWM* est 1:1.
- La valeur de pré-échelonnage de la base de temps *PWM* et de 1:1 ($FOSC/4$).
- La base de temps *PWM* et en mode course libre.
- On charge le paire de registre *PTPERH: PTPERL* à obtenir une fréquence de découpage de **10 kHz**.

- les canaux *PWM* (*PWM0**PWM5*) en sortie.

- Chaque paire de canaux (*PWM* 0/1, 2/3 et 4/5) est complémentaire.

- Les mises à jour des registres du rapport cyclique et de la période sont activées.

Configurez le temps mort *PCPWM*:

- Le diviseur du temps mort et en $FOSC/2$.

- On charge le registre *DTCON* pour atteindre une valeur de temps morts de **2 μ sec** temps mort.

- On efface tout les registre paires du rapport cyclique (*PDCxH: PDCxL*) pour régler les rapports cyclique à 0.

- La base de temps de *PWM* est activée.

IV.2.2 Architectures des cartes

Pour développer notre application, nous avons réalisé trois cartes électroniques. Ces cartes se sont des supports avec lesquels on peut expérimenter et utiliser le microcontrôleur *PIC18F4431*, pour générer des signaux *MLI*.

La première carte comporte: cette carte comporte:

- Un microcontrôleur *PIC18F4431*
- Driver *IXDP630*
- Optocoupleur de type *HCPL2211*
- Afficheur *LCD 2*16*

- Entrées de mesure et des sorties *PWM*
- Les amplificateurs inverseurs de la famille *CMOS*

La deuxième carte comporte: quant à cette carte, elle comporte:

- des optocoupleur de type *NPN*
- Driver *IR2110*
- Des entrées *PWM*
- des sorties *PWM* vers la carte de puissance

La carte de puissance

- Des transistor *MOSFET* de type *IRF740*
- Des entrées *PWM*
- Des sorties de tensions triphasées alternatives

IV.2.3 Descriptions des composants de la première carte

IV.2.3.1 Système de génération des compléments et des temps morts de la commande

Cette commande est décrite par la figure IV.4, l'entrée reçoit les trois impulsions de commande correspondant au pilotage des trois bras de l'onduleur de tension triphasé. Dans un souci de génération et d'homogénéisation des interfaces au niveau des onduleurs de tension des bancs tests du laboratoire, une adaptation en tension est mis en oeuvre.

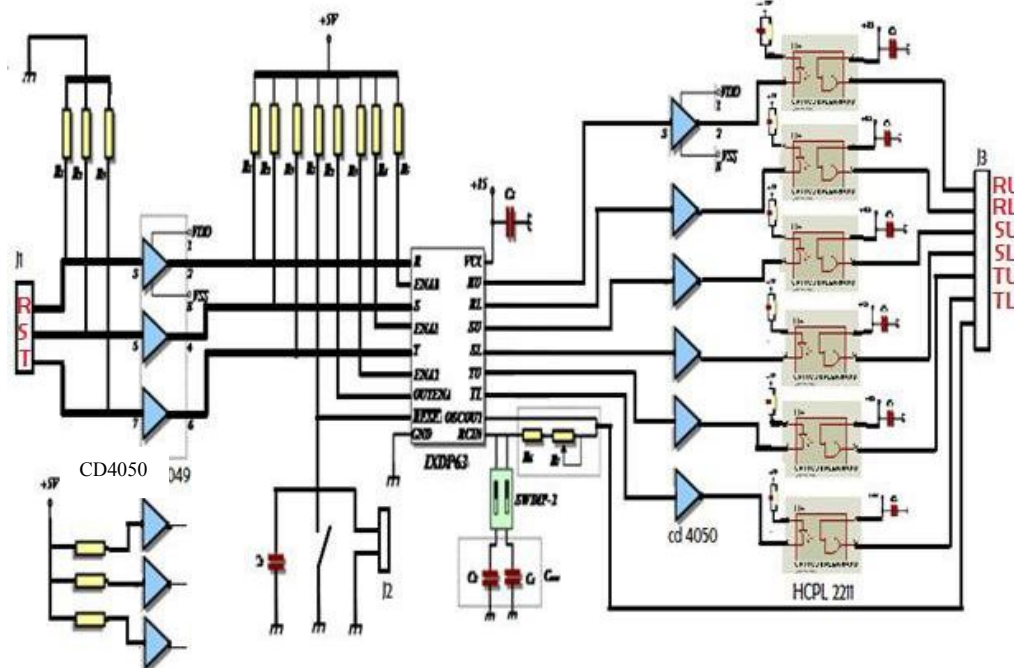


Figure IV.4: Schéma de génération des compléments et des temps morts de la commande.

Comme le montre la figure précédente, elle est constituée par des amplificateurs inverseurs de la famille *CMOS* (*4050*) qui ont la particularité d'admettre des tensions sur les bornes d'entrées supérieures au niveau d'alimentation du circuit. Ainsi, les niveaux de tension pour le circuit générant les temps morts sont de 0V-5V. Les amplificateurs sont donc alimentés entre 0-5v, par contre les seuils d'entrées peuvent être compris entre 3v et 15v pour le niveau haut ou logique «1» et «0v» pour le niveau bas ou logique «0». Cette solution a l'avantage d'accepter une très large gamme de niveaux pour les outils temps réels de la commande. En effet, il est ainsi possible d'utiliser aussi bien des sorties numériques (ou logique) en 0-5v que des d'interface pour le contrôle d'onduleurs triphasés *IXDP630* de la société *IXYS* semi-conducteurs GmbH est

exploité. Celui-ci réalise la complémentarité des commandes pour chaque bras de l'onduleur avec une génération de temps morts (t_{mort}) numériques strictement identiques sur les trois bras selon l'équation suivante:

$$t_{mort} = \frac{8}{f_{osc}}$$

Où " f_{osc} " représente la fréquence d'oscillation de l'horloge du circuit. Cette solution garantit des temps morts rigoureuses identiques et évite des disparités sur les trois phases contrairement aux solutions analogiques qui créent ces temps morts de façon indépendantes sur les trois bras. L'oscillateur est composé d'un réseau RC (ou un quartz pour le circuit **IXDP630**) qui permet la programmation de la valeur des temps morts. Elle est fixée par la circuiterie interne à exactement huit périodes d'horloge, ainsi, le réglage de la valeur du temps mort s'effectue par l'ajustement des valeurs de R_{osc} et de C_{osc} qui se traduit par une modification de la fréquence de cet oscillateur donnée par:

$$f_{osc} = \frac{0.95}{R_{osc} * C_{osc}}$$

IV.2.3.2 Driver **IXDP630** (Inverter Interface and Digital Dead time Generator)

Le composant principal utilisé dans la carte est le **IXDP630**. Il est destiné principalement à l'application en triphasé, en assurant le temps nécessaire (temps mort) pour séparer les deux signaux logiques requis pour les deux **IGBT** de même bras, le **IXDP630** a été spécialement conçu pour piloter directement un optocoupleur à grande vitesse comme le Hewlett Packard **HCPL2211** famille ou le **740L60XX** Instrument général **OPTOLOGIC** famille.

IV.2.3.2.1 Caractéristiques de l'**IXDP630**

- Alimenté en 5V, technologies logique mise en oeuvre **HCMOS** et permet le maintien de faible puissance à grande vitesse.
- Les entrées passent à travers des triggers de schmitt, ce qui permet d'améliorer l'immunité au bruit.
- Permet d'obtenir simultanément des temps morts égaux pour les trois phases de sortie.
- Remplace 10-12 standard SSI/MSI dispositif logiques.
- Permet l'utilisation d'un large éventail de stratégies de modulation PWM.
- Peut être connecté directement à des optocoupleur de grandes vitesses.

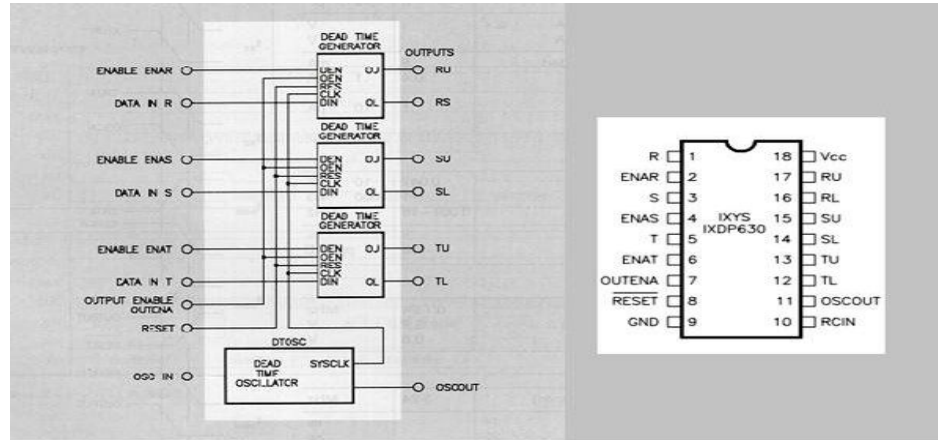
Tableaux. IV.1: Caractéristique de l'**IXDP630**.

symbole	définition	Intervalle de fonctionnement	
		Min	Max
V_{cc}	Tension d'alimentation	-0.5	7
V_{in}	DC Tension d'entrée	-0.5	$V_{cc}+0.5$
I_{in}	DC courant d'entrée	-1	1
V_0	DC tension de sortie	0.5	$V_{cc}+0.5$
I_0	DC courant de sortie	-25	25
T_{stg}	Stockage température	-55	150
T_L	Température soudure max (10s)	300	°C

IV.2.3.2.2 Application

- Commande mono ou triphasé des machines électriques.
- Les systèmes **USP** mono ou triphasé.
- Circuit général de conversion de puissance.
- La répartition des impulsions et génération du retard des signaux.

- Usage général et filtres.



La Figure IV.5: Architecture interne de l'IXDP630.

L'IXDP630 utilise un oscillateur à base d'un trigger de schmitt (figure IV.6), par l'association de deux composants externes, R_{osc} et C_{osc} . On peut déterminer la fréquence d'horloge à partir duquel on calcule le temps mort. Cette conception permet une réduction significative des coûts sur un oscillateur à quartz standard, mais présente un compromis dans la précision de fréquence. La précision initiale et la dérivée sont une fonction de la composant externe et les coefficients de température, approvisionnement tension, et par IXDP630. A des fréquences de moins de 1MHZ

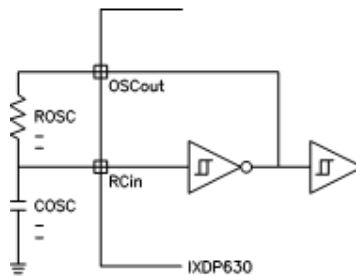


Figure IV.6: Circuit de l'oscillateur à base d'un trigger de schmitt de l'IXDP630 (R_{osc} , C_{osc} permettent le réglage).

La figure IV.7 présente les chronogrammes du fonctionnement normal de l'IXDP630. On remarque qu'une fois le RESET est libéré, un temps morts de 8 périodes d'horloge est réalisé entre XU et XL (avec X: R, S ou T et U: UP, L LOW).

Lorsque XU et XL sont à "0", la longueur de temps morts est fixée à 8 fois la période de l'horloge.

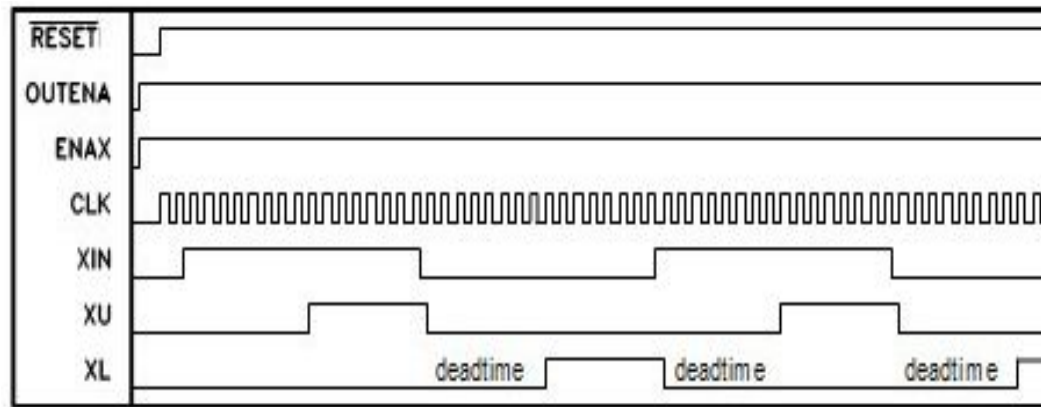


Figure. IV.7: Chronogramme de fonctionnement de l'*IXDP630*.

IV.2.3.3 CD 4050B inverseur

Le *CD 4050B* est un circuit intégré monolithique fabriqué dans Metal Oxide Semi conductor la technologie disponible en boîtiers *DIP* et *SOP*. Il est un non inversant Buffer Hex/Converter et conversions au niveau de la logique de fonction en utilisant une seule tension d'alimentation (V_{DD}). Le signal d'entrée de haut niveau (V_{IH}) peut dépasser la tension d'alimentation V_{DD} lorsque ces appareils sont utilisés pour les conversions de niveau logique. Ce dispositif est destiné pour une utilisation comme CMOS convertisseurs DTL/TTL et peut conduire directement deux charges DTL/TTL ($V_{DD}=5V$, $VOL \leq 0.4V$ et $IOL \leq 3,2mA$).

La figure IV.8 présente de brochage de *CD4050*.

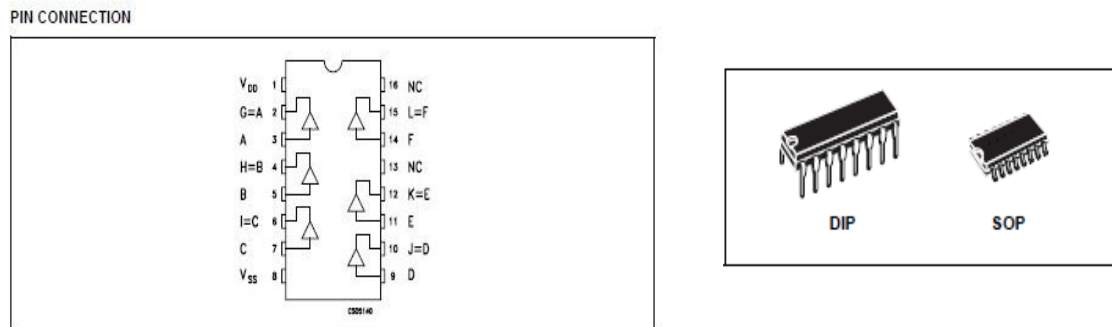


Figure IV.8: Circuit intégrés 4050.

IV.2.3.4 L'optocoupleur HCPL2211

Un optocoupleur ou photo coupleur, est un dispositif optoélectronique qui transmet des informations logiques ou analogiques sous forme de signal électrique, via une voie optique qui isole électriquement l'entrée de la sortie. Ainsi, le coupleur optique *HCPL 2211* est une porte logique optiquement couplé. Il contient une *LED GaAsP*. Les détecteurs ont des étages de sortie de pôles totémiques et des étages d'entrée du récepteur optique avec haut-Schmitt pour fournir des formes d'onde logiques compatibles, illuminant la nécessité de wave shaping supplémentaire. Les signaux de commande ne font intervenir que très peu d'énergie: ils envoient un ordre d'ouverture ou de fermeture; pour notre application il est nous avons choisis l'optocoupleur *HCPL2211* parce qu'il supporte un dv/dt de $5000V/\mu s$ ce qui le met à l'abri des perturbations parasites pouvant créer des commutations aléatoires; et que sa tension d'isolement est de $2500V$.

▪ Caractéristiques

- Compatible avec *LSTTL*, *TTL* et *CMOS* Logic,
- Large gamme de tension d'alimentation VCC (4,5 à 20 V),
- Courant d'entrée faible (1,6 mA),
- Performance garantie de 0°C à 85°C.

▪ Applications

- Isolation des systèmes logiques haut débit,
- Interfaces informatiques-périphériques,
- Interfaces système microprocesseur,
- Récepteur de ligne à grande vitesse,
- Power Control Systems.



Figure IV.9: circuit HCPL2211.

Les figures suivantes représentent la carte de commande réalisée avec *ISIS_ARESS*. Ceci nous permet l'imprimer dans le but de développer la carte électronique.

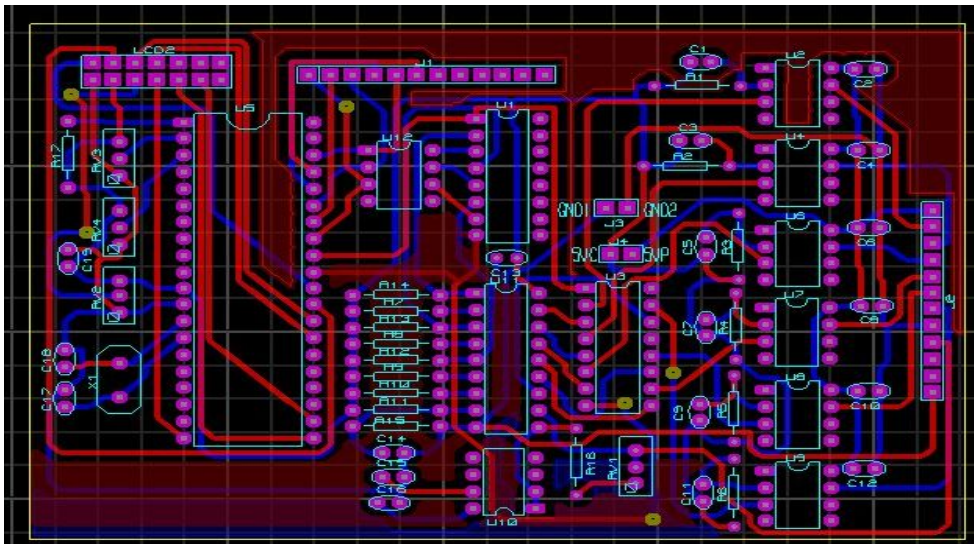


Figure IV.9: Carte commande par logiciel ARESS.

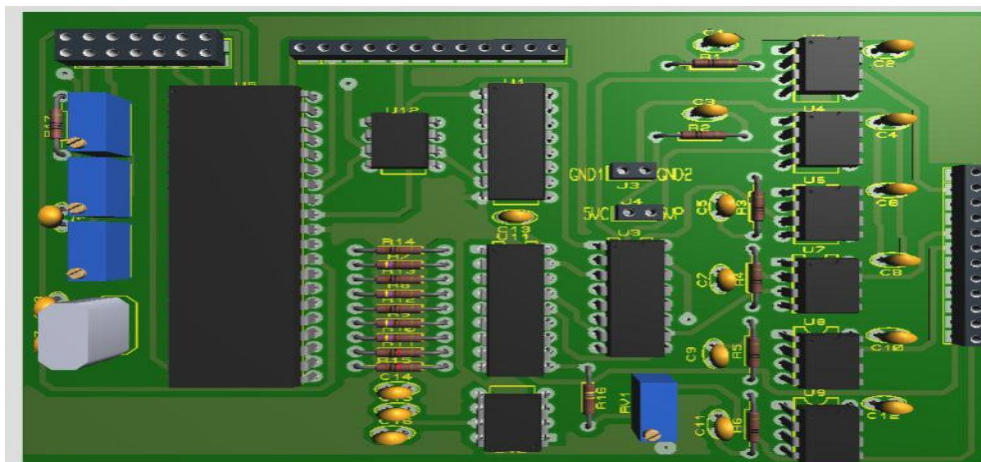


Figure IV.11: Animation de la carte de commande en 3D

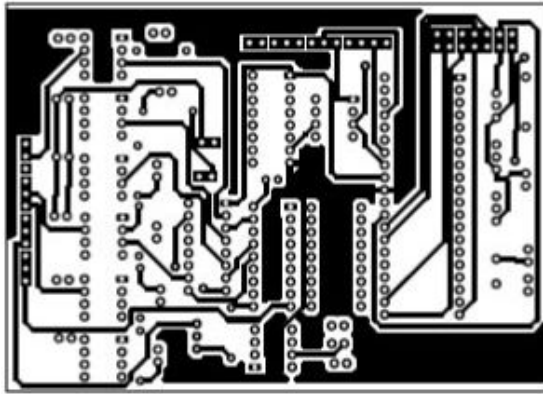


Figure IV.12: Face cuivre.

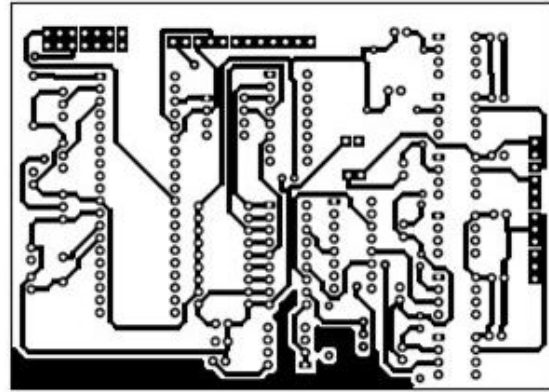


Figure IV.13: Face composant.

Puis on va voir la photo réelle de La première carte de commande réalisé

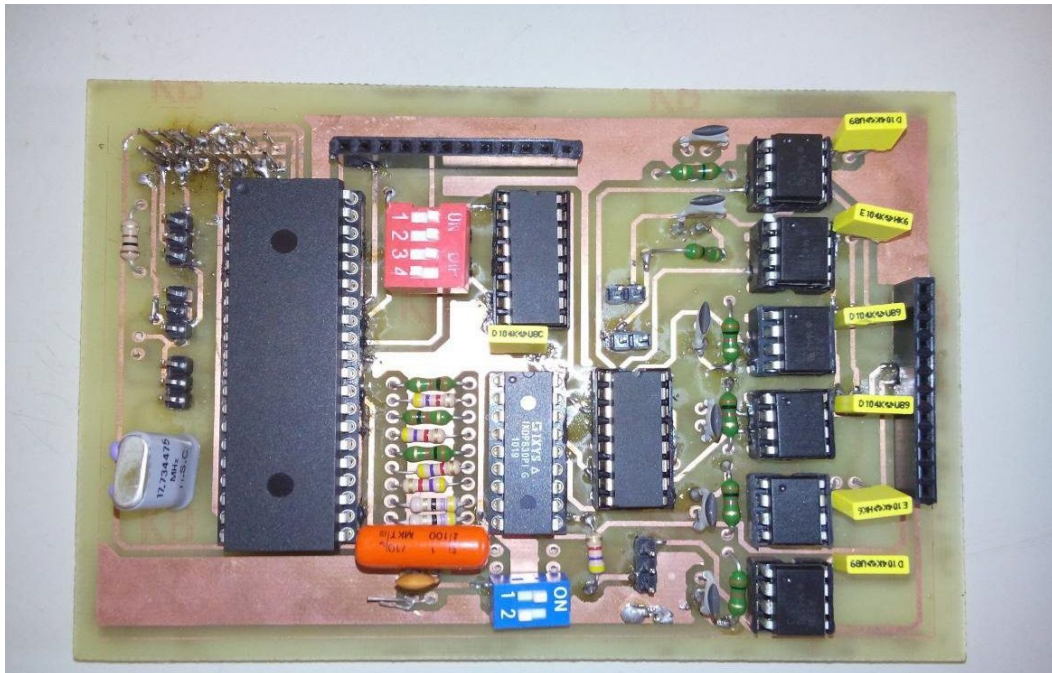


Figure IV.14: carte de commande d'un onduleur triphasé

IV.3.1 Descriptions des composants de la deuxième carte

IV.3.1.1 Le circuit driver IR2110

Description

La tension d'alimentation du **IR2110** est dissymétrique et vaut **+15V** (bornes V_{DD} et V_{SS}). Les entrées de commande sont compatibles avec les standards du type **TTL** ou **CMOS** (Bornes H_{in} et L_{in}). Cela implique donc de ne conserver que la partie positive des créneaux délivrée par la commande éloignée, ce qui se réalise aisément avec une diode de signal et une résistance. Ces entrées sont munies de portes trigger de Schmitt de technologie **CMOS** afin d'éliminer les perturbations. Elles sont suivies par des bascules **RS** et des portes logiques.

Ensuite, le circuit est scindé en deux parties afin d'assurer un transfert de potentiel pour la commande de l'interrupteur haut d'un bras **IGBT**. Pour l'interrupteur du bas sa tension de grille

est référencée par rapport à la masse du convertisseur de puissance qui est commune avec les commandes, il n'y a donc pas de véritable isolation galvanique avec cette solution.

Pour assurer la fermeture de l'interrupteur du haut, il faut amener la tension de grille à un potentiel supérieur (environ 15V) à celui du point milieu du bras du pont. Ce potentiel peut prendre des valeurs distinctes: 0V lorsque T_1 est passant ou +E lorsque T_1 est conducteur.

▪ Caractéristiques

- Flottantes pour canaux conçu pour un fonctionnement bootstrap pleinement opérationnelle à +500v dv/dt immunitaire,
- Porte plage d'alimentation d'entraînement de 10 à 20V,
- Verrouillage de sous-tension pour les deux canaux,
- Logique de 3,3 V compatible Gamme d'alimentation logique séparée de 3,3V à 20V Logic et le pouvoir sol $\pm 5V$ compensée.
- Entrées avec déroulant CMOS Schmitt déclenché.
- Cycle par la logique de l'arrêt de bord déclenché le cycle.
- Assorti retard de propagation pour les deux canaux.

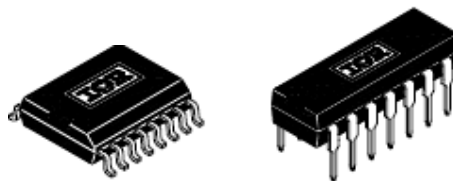


Figure IV.15: Le circuit IR2110.

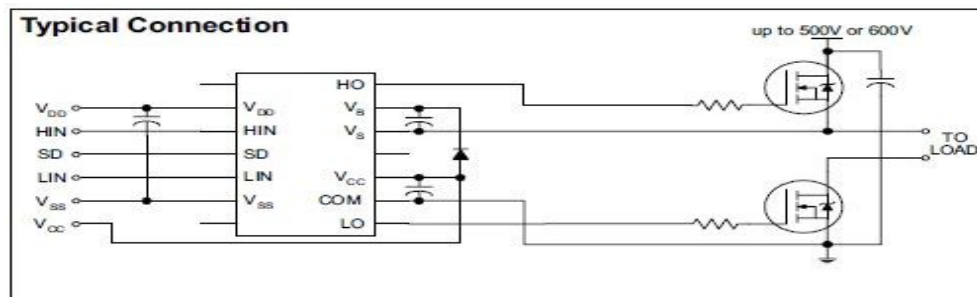


Figure II .16: Brochage externe de l'IR2110.

IV.3.1.2. l'Optocoupleur de type 4N40

▪ Description

Le 4N40 ont un infrarouge d'arséniure de gallium diode électroluminescente couplée optiquement avec un silicium activé par la lumière redresseur commandé dans un boîtier à double rangée.

▪ Applications

- Circuits logiques de puissance faible,
- Matériel de télécommunications,
- Electroniques portatifs,
- Relais statiques.
- Les systèmes de couplage interfaçage des différents potentiels et impédances.

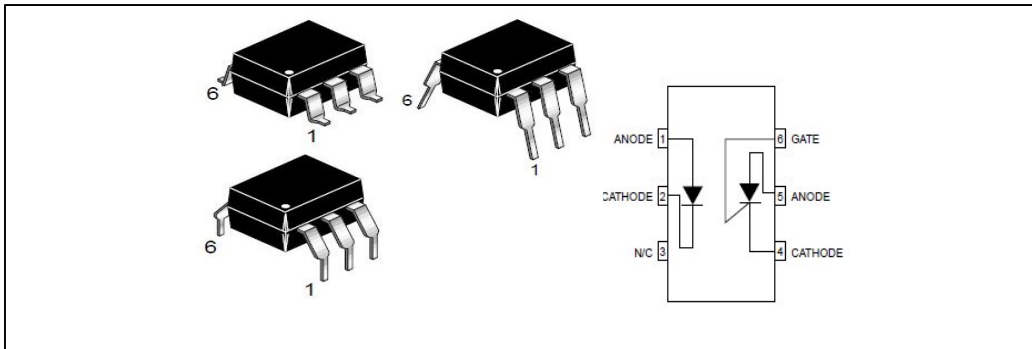


Figure IV.17: Circuit intégrés 4N40.

Les figures suivantes représentent la deuxième carte de commande qui nous avons réussi à mettre en œuvre. La réalisation est effectuée sous ISIS_ARESS.

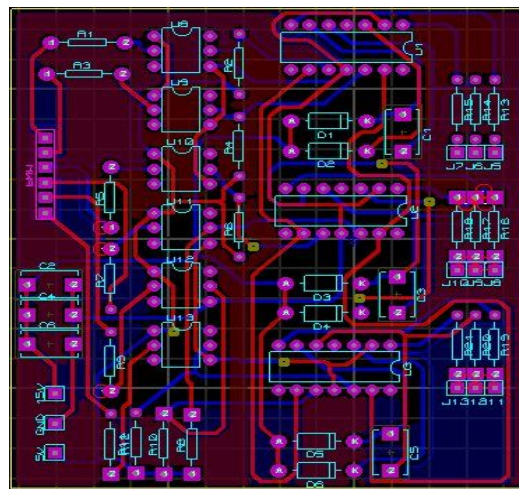


Figure IV.18: La deuxième carte de commande illustrée par logiciel ARESS.

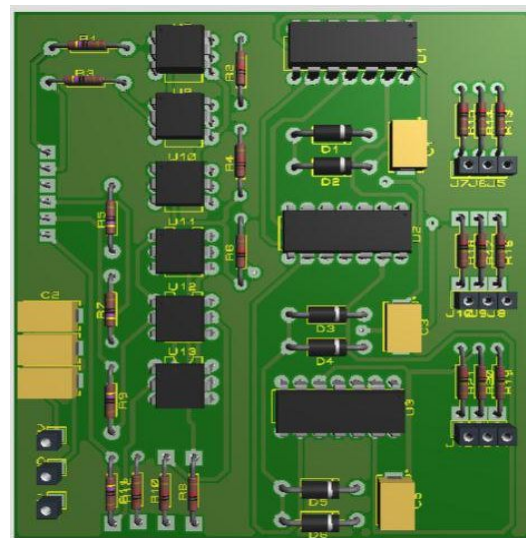


Figure IV.19: Animation de la carte de commande en 3D.

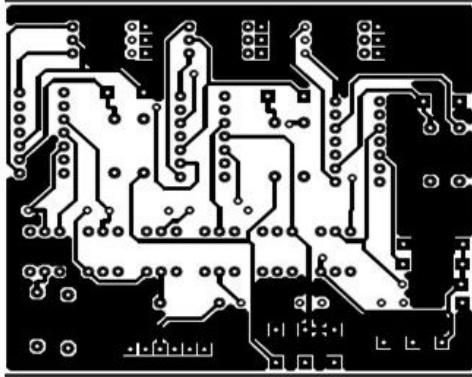


Figure IV.20: Face cuivre.

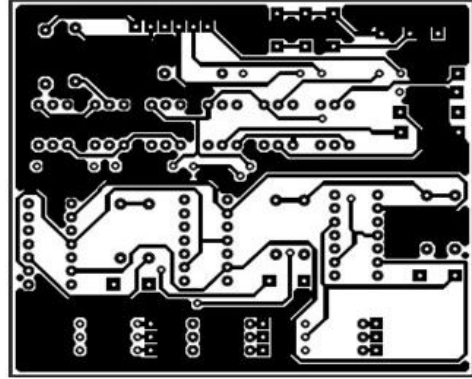


Figure IV.21: Face composant.

IV.3.1.2 IRF740

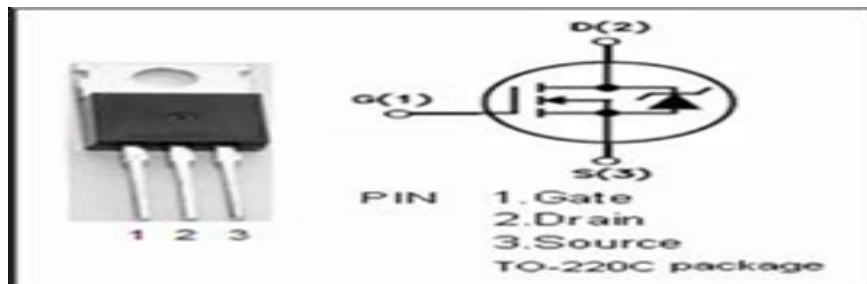
▪ Description

Le circuit *IRF740* est MOSFET de puissance à effet de champ de pointe conçu, testé et garanti pour résister à un niveau spécifié de l'énergie dans le mode de fonctionnement claquage par avalanche. Tous ces MOSFET de puissance sont conçus pour des applications telles que régulateurs de commutation, Convertisseurs, pilotes automobiles, conducteurs de relais, et les pilotes pour la commutation bipolaire à haute puissance.

Ces types transistors nécessitant une haute vitesse et faible puissance de commande de grille peuvent être utilisés directement à partir de circuits intégrés.

▪ Applications

- Courant de commutation haut
- Onduleurs (UPS)
- DC / DC converters pour telecom ; industrielle et éclairage équipement.

Figure IV.22: Le circuit *IRF740*.

Les figures suivantes représentent la carte de puissance qui nous sommes réalisés.

Avec *ISIS_ARESS*, la carte peut être aisément imprimée et on obtient les figures suivantes.

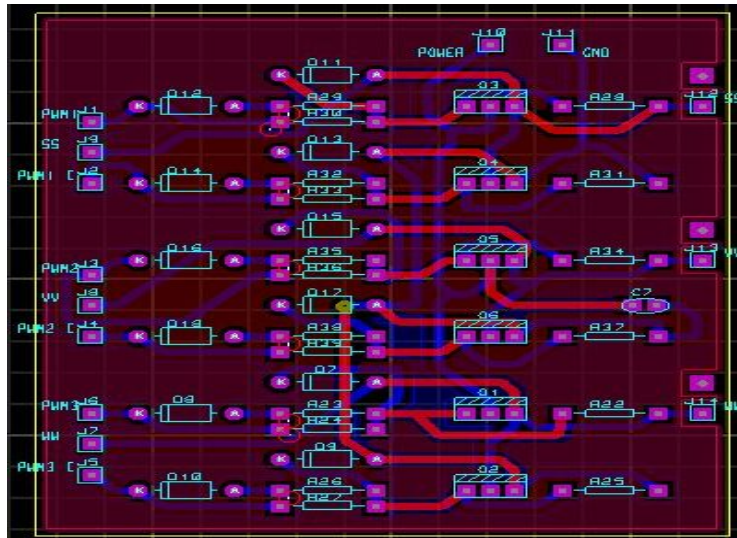


Figure IV.23: La carte de puissance par logiciel ARESS.

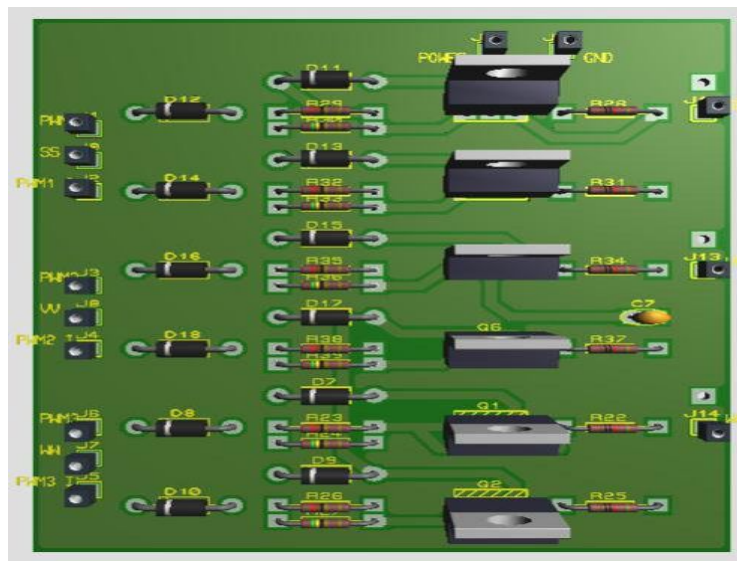


Figure IV.23: Animation de la carte de commande en 3D.

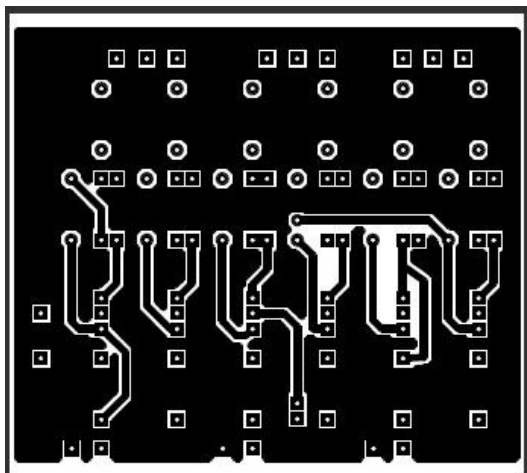


Figure IV.24: Face cuivre.

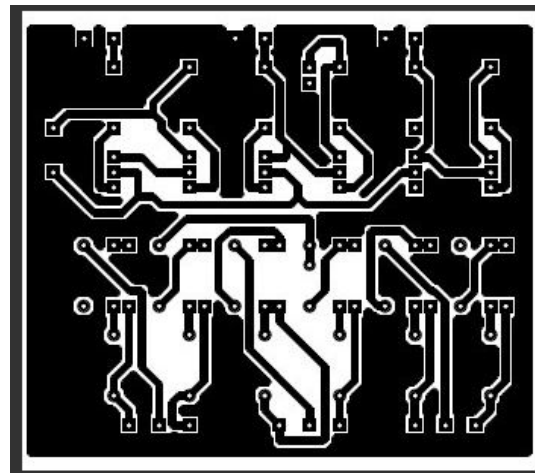


Figure IV.25: Face composant.

Puis on va voir la photo réelle de la deuxième carte



Figure IV.26: la photo réelle de la partie isolation et driver IR2110



Figure IV.27: la photo réelle de la partie puissance

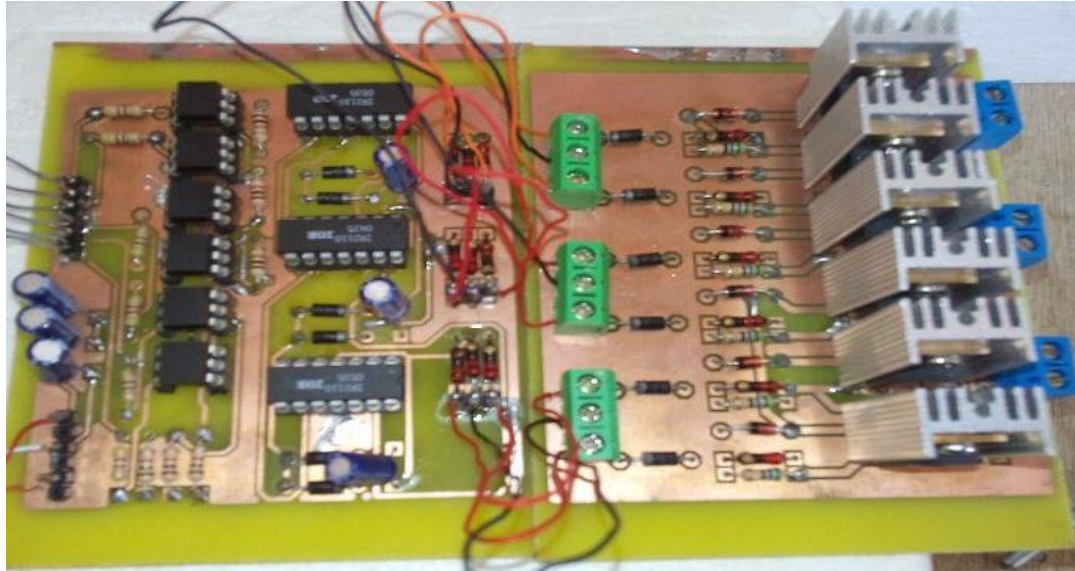
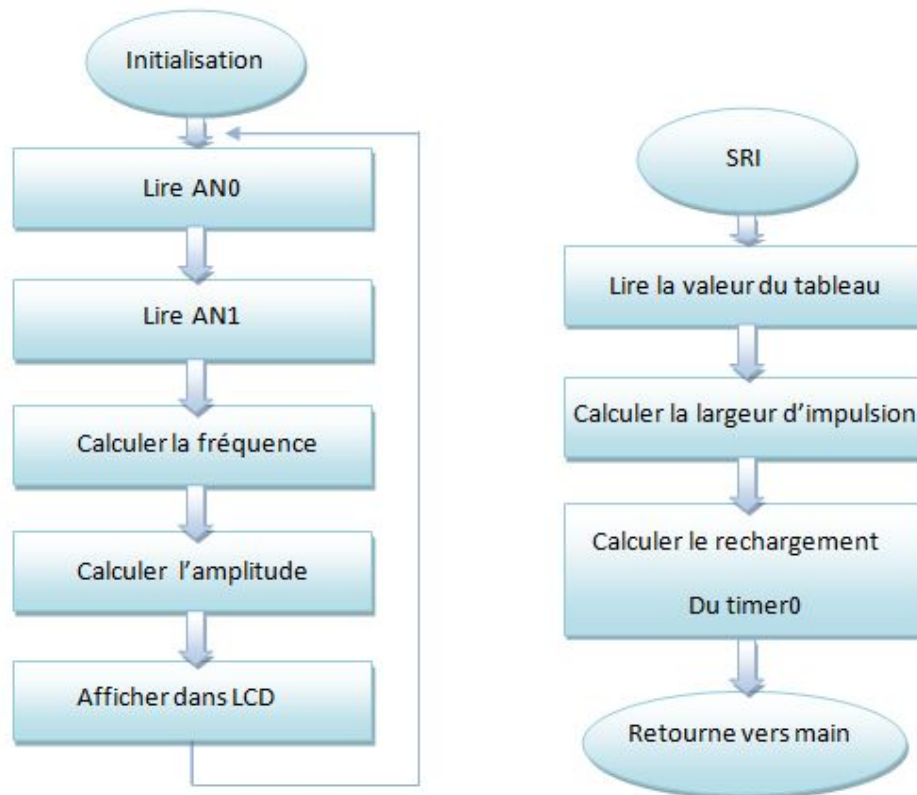


Figure IV.28: la photo réelle de l'onduleur triphasé

IV.4.4 l'organigramme :



Org1 :L'organigramme de programme principal

org.2 :l'organigramme de l'interruption

IV. 4.4.1 Résultat et discussions

La Figure IV.29: représente les signaux de sortie de notre carte de commande. On remarque que les signaux sont de forme MLI sinus-triangulaire sont déphasé par 120° , chaque signale pour un bras de l'onduleur se sont bien adapter pour le contrôle de vitesse d'un moteur asynchrone.

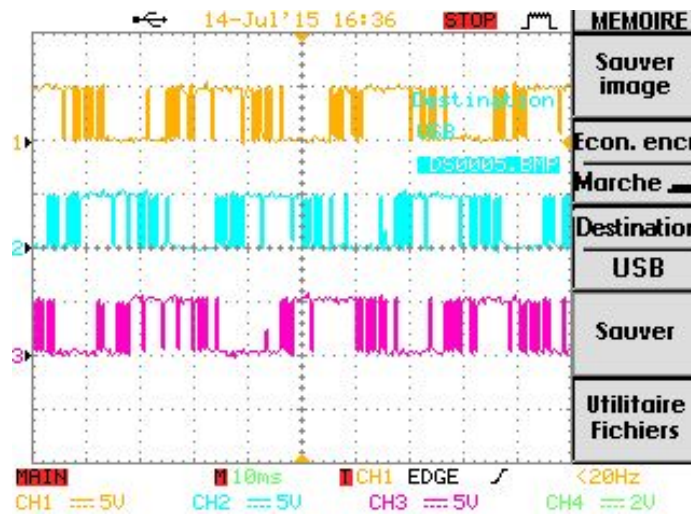


Figure IV.29: signaux de commande

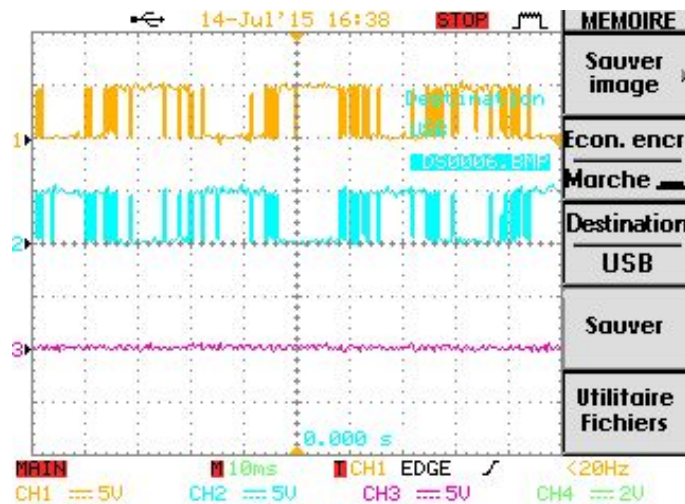


Figure IV. 30: signaux on mode complémentaire

Conclusion :

La réalisation pratique des montages était pour nous une expérience très enrichissante du fait que nous avons vécu un cas réel de conception et fabrication. Les expériences que nous avons menées durant ce chapitre nous ont montré que les résultats obtenus montrent une similitude entre les résultats pratiques et les résultats de la simulation.