

Ecole Nationale Polytechnique

*D.E.R. de Génie Electrique
Département d'électrotechnique*



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'Etudes

*pour l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'état en Electrotechnique*

THEME

*Implémentation sur un microcontrôleur d'une MLI
calculée pour un onduleur à trois niveaux*

Etudié par :

Mr. Abdelghani YOUNSI

Proposé et dirigé par :

Mr. F. M. BERKOUK

E.N.P. 10, Avenue Hassen-Badi, El Harrach, ALGER

Promotion : juin 2003.

العمل مع أنفسنا هو أول واجباتنا، فجاهدوا
أنفسكم واحملوها على تعاليم الإسلام وأحكامه، ولا
تتهاونوا معها في ذلك بأي وجه من الوجوه، وأدوا
الفرائض، وأقبلوا على الطاعة، وقرأوا من الإنتم،
وتطهروا من العصبان، وصلوا قلوبكم ومشاعركم دائماً
بالله الذي له ملك السماوات والأرض.
قاوموا الكسل والعجز، ووجهوا شبابكم
ومشاعركم وعواطفكم إلى الفضيلة الطاهرة النقية،
وخالفوا نزعات الطيش ومعضلات الهوى.
واحرصوا على الوقت فلا تصرفوه في غير
فائدة، وحاسبوا أنفسكم فيه حساباً عسيراً، واحذروا أن
تمر بكم دقيقة واحدة لا يكون لأحدكم فيها عمل طيب
وسعي مبرور.

الإمام الشهيد: حسن البنا

NOTATIONS

Liste des principaux symboles et variables :

U_c	Tension continue à l'entrée de l'onduleur.
I_k	Courant du bras k de l'onduleur.
V_k	Tension simple du bras k.
$f=50Hz$	Fréquence du réseau.
A, B, C	Indices correspondants aux trois phases.
$TDki$	Paire IGBT-DIODE i du bras k.
Th	Période de la porteuse.
$Vref$	Amplitude de la tension de référence.
Up	Amplitude de la porteuse.
Bks	Commande de base du transistor Tks.

Les autres symboles utilisés sont définis dans le texte.

Introduction générale

Le développement de l'électronique de puissance a permis une formidable amélioration des performances des systèmes électriques. Ces progrès ont permis d'augmenter simultanément les puissances et les fréquences des convertisseurs statiques. Parallèlement, les progrès de la microélectronique ont fait croître massivement l'intelligence des comportements des grands systèmes industriels en autorisant l'utilisation de toutes sortes d'algorithmes visant aussi bien à améliorer le pilotage des systèmes par l'homme, que l'obtention de meilleures performances statiques (rendement, facteur de puissance) et de meilleures performances dynamiques (rapidité, stabilité)[4].

Les systèmes à courant alternatif triphasé posent des problèmes spécifiques. Quand les applications exigent des performances dynamiques élevées, des stratégies de modulation des convertisseurs deviennent nécessaires.

L'objectif principal de ces techniques, appliquées aux onduleurs, est de permettre l'obtention d'ondes de tension alternatives, d'amplitude et de fréquence réglables, en éliminant ou en repoussant le plus loin possible les composantes harmoniques parasites résultant du découpage[2].

Des études ont été menées depuis plusieurs années afin de mettre au point des stratégies de commande performantes. Elles ont démarré sur des onduleurs monophasés et ont ensuite été appliquées à des onduleurs de tension triphasés (à deux niveaux ou multi-niveaux). Les stratégies MLI (modulation de largeurs d'impulsions) possède la double capacité de suivre des consignes possédant une grande dynamique et d'optimiser les commutations de l'onduleur en temps réel dans la plus part des cas[1].

Afin de générer une source de tension la plus sinusoïdale possible, on fait appel à des algorithmes de commande destinés à des réalisations numériques, et utilisant les modèles de commande des onduleurs. L'évolution du microcontrôleur a permis à celui-ci de s'imposer dans les fonctions de commande grâce à son faible coût, à la réduction de l'encombrement et à sa fiabilité. Son principal avantage par rapport aux techniques analogiques est que la modification des paramètres de commande se fait par logiciel.

Pour expliquer notre démarche, il convient de rappeler que ce travail consiste à présenter une synthèse d'un algorithme de commande MLI d'un onduleur à trois niveaux à structure NPC, et son implémentation sur un microcontrôleur.

Quatre chapitres font les principaux objets de ce travail.

Un premier chapitre sera consacré à la modélisation de l'onduleur à trois niveaux, et à la présentation du modèle de connaissance et de commande de celui-ci.

Dans le deuxième chapitre, nous développerons et simulerons un algorithme de commande d'un onduleur à trois niveaux destiné à une réalisation numérique, et utilisant le modèle de commande déjà établi au premier chapitre.

A travers le troisième chapitre, nous présenterons le microcontrôleur utilisé, qui est le 16F877 de MICROCHIP.

Le dernier chapitre concernera l'implémentation de l'algorithme sur le microcontrôleur et la présentation des résultats expérimentaux.

Une conclusion générale résumera les principaux résultats.

CHAPITRE I

CHAPITRE I :**MODELISATION DE L'ONDULEUR
A TROIS NIVEAUX
A STRUCTURE NPC****Introduction**

L'utilisation des convertisseurs statiques est de plus en plus répandue dans le monde de l'électronique de puissance, à des fréquences de commutation élevées avec des pertes par commutations limitées. Dans le cas de notre étude, on s'intéresse à l'onduleur à trois niveaux à structure NPC, qui est présent dans des domaines d'application les plus variés, dont le plus connu est sans doute celui de la variation de vitesse des machines à courant alternatif.

Dans le présent chapitre, nous nous proposons de rappeler la structure de ce convertisseur, ainsi que son modèle de commande.

Ce chapitre se compose de deux parties:

- Elaboration du modèle de fonctionnement de l'onduleur à trois niveaux.
- Définition du modèle de commande de ce convertisseur.

I.1. Modélisation du fonctionnement de l'onduleur à trois niveaux

Avant de concevoir le modèle moyen de notre convertisseur, il convient d'analyser le montage de manière à aboutir à un modèle d'une cellule élémentaire.

La figure (I.1) montre le convertisseur statique de cette étude. Il s'agit d'un onduleur à trois niveaux à structure NPC (neutral point clamping), qui est un convertisseur à commutation forcée. Cette structure impose l'utilisation des interrupteurs commandables à l'amorçage et au blocage. Dans notre cas, on utilise des IGBT en antiparallèle avec des diodes.

Chaque bras de l'onduleur est constitué de quatre paires (diode- transistor) représentant chacune un interrupteur bidirectionnel, et deux diodes médianes permettant d'avoir le niveau zéro de la tension de sortie de l'onduleur.

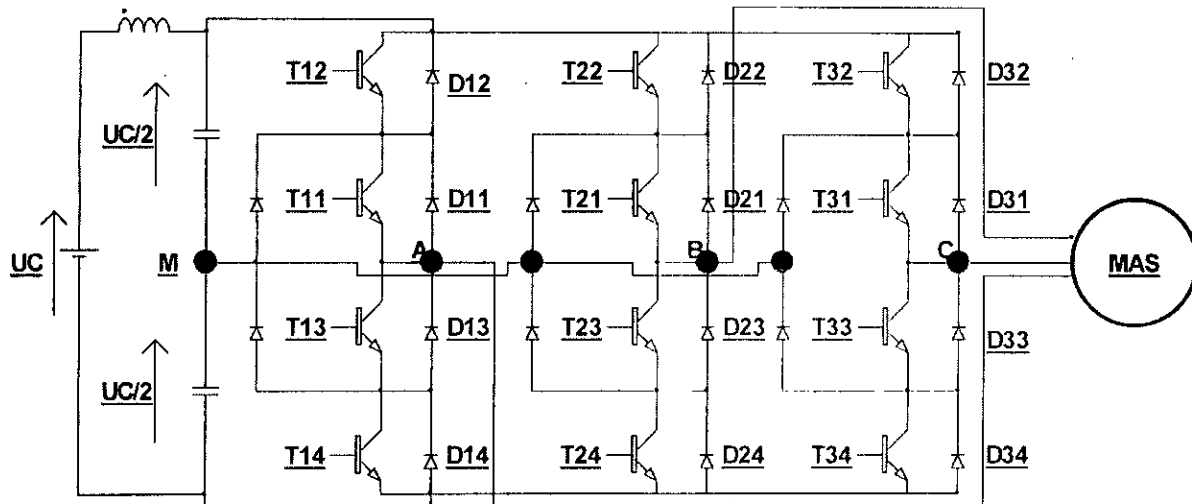


Figure I.1: Onduleur à trois niveaux à structure NPC.

La petite inductance, placée à l'entrée de l'onduleur, sert à absorber les courants harmoniques haute fréquence dus à la commande MLI.

La capacité (divisé en deux pour avoir le point milieu) avec l'inductance L , constitue un filtre passe-bas. Il permet d'obtenir à l'entrée de l'onduleur une tension sensiblement constante, malgré les variations de courant[2].

La topologie de ce convertisseur montre l'existence de trois bras de commutation[1]. Chaque bras est formé de quatre commutateurs.

Un bras présente cinq configurations possibles (Fig I.2). Chacune des configurations est caractérisée par des grandeurs électriques comme le montre le tableau (I.1).

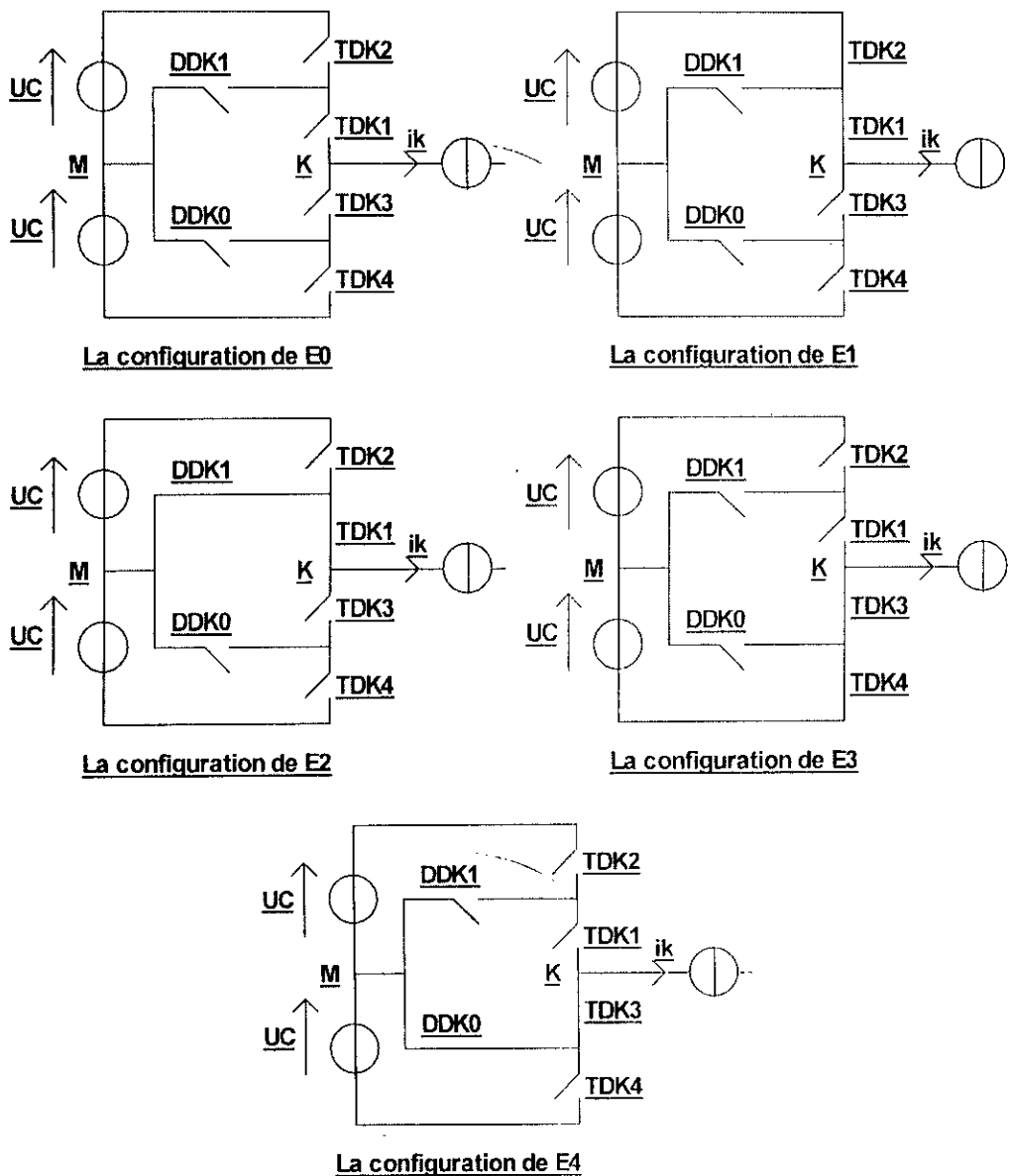


Figure I.2 : configurations d'un bras d'onduleur à trois niveaux.

La configuration	La grandeur électrique qui la caractérise
E ₀	$i_k=0$
E ₁	$V_K = U_C$
E ₂	$V_K = 0$
E ₃	$V_K = -U_C$
E ₄	$V_K = 0$

Tableau.I.1 :Grandeurs électriques caractérisant chaque configuration possible d'un bras

Chaque bras d'onduleur à trois niveaux constitue une cellule de commutation multi-tripôle. Les semi conducteurs de cette cellule multi-tripôle se combinent pour donner

trois cellules tripôles (a), (b), et (c). Ces trois cellules sont représentées par la figure (I.3). Les éléments constituant chaque cellule sont montrés par les gros traits.

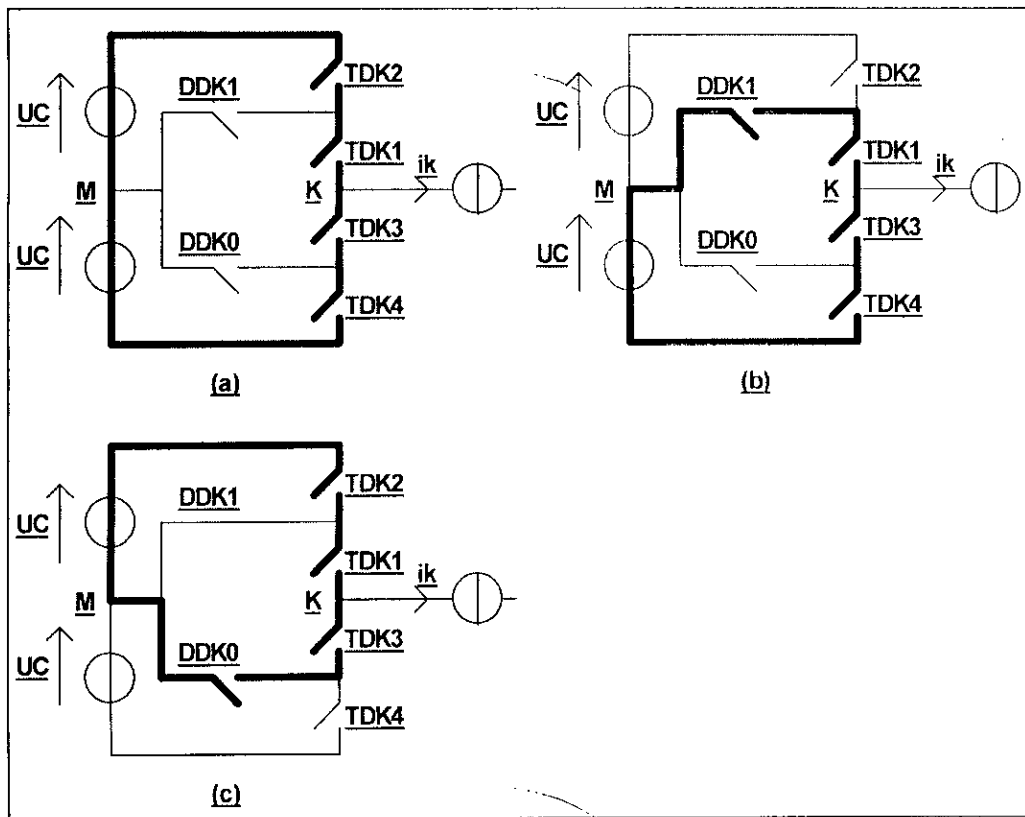


Figure (I.3): Les trois cellules tripôles contenues dans la cellule multi-tripôle

I.2. Modèle de commande des onduleurs à trois niveaux

Pour éviter le court-circuit de la source de tension par conduction de plusieurs interrupteurs (IGBT) à la fois, et afin d'avoir un fonctionnement totalement commandable, on adopte une commande complémentaire sur un bras. La commande qui assure les trois niveaux U_{c1} , 0 et U_{c2} de façon optimale est donné par [1] :

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k4}} \\ B_{k2} = \overline{B_{k3}} \end{cases}$$

Cette commande complémentaire donne les cas d'excitations suivants :

Bk1 (IGBT 1)	Bk2 (IGBT 2)	Bk3 (IGBT 3)	Bk4 (IGBT 4)	Vk
0	0	1	1	-Uc2
0	1	0	1	Inconnue
1	0	1	0	0
1	1	0	0	Uc1

Le cas inconnu est à éliminer lors de la formulation de l'algorithme de commande.

De cette commande on déduit les fonctions de connexion [1] des interrupteurs d'un bras K :

$$\begin{cases} F_{K1} = 1 - F_{K4} \\ F_{K2} = 1 - F_{K3} \end{cases}$$

Avec cette commande complémentaire, tout se passe comme si pour chaque bras de l'onduleur on a seulement deux cellules de commutation à deux interrupteurs chacune.

On définira une fonction de connexion du demi bras qu'on notera F_{km}^b avec k : numéro du bras, m=1 pour le demi bras du haut, et m=0 pour le demi-bras du bas [1].

Pour un bras K, les fonctions de connexion des demi-bras s'expriment au moyen des fonctions de connexions des interrupteurs comme suit :

$$\begin{cases} F_{k1}^b = F_{k1} \cdot F_{k2} \\ F_{k0}^b = F_{k3} \cdot F_{k4} \end{cases} \quad (1.3)$$

F_{k1}^b est associée au demi-bras du haut (la paire T_{k1}, T_{k2}) et F_{k0}^b au demi-bras du bas (la paire (T_{k3}, T_{k4})).

Le système d'équation (1.3) montre que la fonction de connexion du demi-bras F_{km}^b vaut 1 dans le cas où les deux interrupteurs du demi-bras associés à F_{km}^b sont tous fermés, et nulle dans tous les autres cas.

On définit également la fonction génératrice de connexion du demi-bras : F_{kmg}^b associée à la fonction de connexion du demi-bras F_{km}^b .

1.2. 1. Fonction de conversion

On appelle fonction de conversion, la fonction qui permet de passer de la tension d'entrée de l'onduleur à sa tension de sortie.

Les potentiels des nœuds A, B, C (voir figure 1.1) de l'onduleur triphasé à trois niveaux, par rapport au point M de la source de tension d'entrée, sont donnés par le système suivant : (on suppose $U_{c1} = U_{c2} = U_{c'}$).

$$\begin{aligned}
 V_{AM} &= F_{11}F_{12}U_{C1} - F_{13}F_{14}U_{C2} = (F_{11}F_{12} - F_{13}F_{14})U_C \\
 V_{BM} &= F_{21}F_{22}U_{C1} - F_{23}F_{24}U_{C2} = (F_{21}F_{22} - F_{23}F_{24})U_C \\
 V_{CM} &= F_{31}F_{32}U_{C1} - F_{33}F_{34}U_{C2} = (F_{31}F_{32} - F_{33}F_{34})U_C
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

On constate d'après le système (1.4), que l'onduleur de tension à trois niveaux est équivalent à deux onduleurs à deux niveaux en série [1][3].

Les fonctions de connexion de demi bras définis selon la relation (1-3) sont :

$$\begin{cases} F_{11}^b = F_{11}F_{12} \\ F_{10}^b = F_{13}F_{14} \end{cases} \quad \begin{cases} F_{21}^b = F_{21}F_{22} \\ F_{20}^b = F_{23}F_{24} \end{cases} \quad \begin{cases} F_{31}^b = F_{31}F_{32} \\ F_{30}^b = F_{33}F_{34} \end{cases}
 \tag{1.5}$$

En introduisant l'expression de ces dernières dans les tensions d'entrées on aboutit à :

$$\begin{aligned}
 V_{AM} &= F_{11}^bU_{C1} - F_{10}^bU_{C2} = (F_{11}^b - F_{10}^b)U_C \\
 V_{BM} &= F_{21}^bU_{C1} - F_{20}^bU_{C2} = (F_{21}^b - F_{20}^b)U_C \\
 V_{CM} &= F_{31}^bU_{C1} - F_{30}^bU_{C2} = (F_{31}^b - F_{30}^b)U_C
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

Les tensions composées sont données par :

$$\begin{aligned}
 U_{AB} &= V_{AM} - V_{BM} = (F_{11}F_{12} - F_{21}F_{22})U_{C1} - (F_{13}F_{14} - F_{23}F_{24})U_{C2} \\
 U_{BC} &= V_{BM} - V_{CM} = (F_{21}F_{22} - F_{31}F_{32})U_{C1} - (F_{23}F_{24} - F_{33}F_{34})U_{C2} \\
 U_{CA} &= V_{CM} - V_{AM} = (F_{31}F_{32} - F_{11}F_{12})U_{C1} - (F_{33}F_{34} - F_{13}F_{14})U_{C2}
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

On aura alors :

$$\begin{aligned}
 V_{AN} &= V_A = \frac{U_{AB} - U_{CA}}{3} \\
 V_{BN} &= V_B = \frac{U_{BC} - U_{AB}}{3} \\
 V_{CN} &= V_C = \frac{U_{CA} - U_{BC}}{3}
 \end{aligned}
 \tag{1.8}$$

En introduisant les fonctions de connexion des demi bras on obtient :

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} U_{C1} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{20}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} U_{C2} \right\}
 \tag{1.9}$$

Les tensions simples sont données comme suit (avec $U_{c1} = U_{c2} = U_c$) :

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} U_c \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11}^b - F_{10}^b \\ F_{21}^b - F_{20}^b \\ F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Pour les courants, on peut écrire la relation donnant les courants d'entrées id_1 et id_2 en fonction des courants i_1, i_2 et i_3 de la charge en utilisant les fonctions de connexion des interrupteurs :

$$\begin{cases} id_1 = F_{11} F_{12} i_1 + F_{21} F_{22} i_2 + F_{31} F_{32} i_3 \\ id_2 = F_{13} F_{14} i_1 + F_{23} F_{24} i_2 + F_{33} F_{34} i_3 \end{cases} \quad (1.11)$$

En utilisant les fonctions de connexion des demi-bras, le système (1.11) s'écrit :

$$\begin{cases} id_1 = F_{11}^b i_1 + F_{21}^b i_2 + F_{31}^b i_3 \\ id_2 = F_{10}^b i_1 + F_{20}^b i_2 + F_{30}^b i_3 \end{cases} \quad (1.12)$$

Le courant id_0 , dans le cas de la commande complémentaire proposée, est lié aux différents courants de l'onduleur triphasé à trois niveaux par la relation suivante :

$$id_0 = F_{11} F_{13} i_1 + F_{21} F_{23} i_2 + F_{31} F_{33} i_3 \quad (1.13)$$

En introduisant les équations (1.10) et (1.11), le courant id_0 peut s'écrire comme suit :

$$id_0 = i_1 + i_2 + i_3 - id_1 - id_2 \quad (1.14)$$

La relation (1.13) peut être aussi exprimée en utilisant les fonctions des demi-bras comme indiqué ci-dessous :

$$id_0 = (i_1 + i_2 + i_3) - (F_{11}^b + F_{10}^b) i_1 - (F_{21}^b + F_{20}^b) i_2 - (F_{31}^b + F_{30}^b) i_3 \quad (1.15)$$

Pour l'onduleur triphasé à trois niveaux, le vecteur des grandeurs d'état est $[U_{c1} U_{c2} i_1 i_2 i_3]$, et ses entrées internes sont $[V_A V_B V_C id_1 id_2 id_0]$ ou $[U_{AB} V_{BC} V_{CA} id_1 id_2 id_0]$. On définit les relations de conversion simples et composées comme suit [1] :

1.2. 2. Relations de conversion simple

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ id_1 \\ id_2 \\ id_0 \end{bmatrix} = [N(t)] \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \text{ avec } [N(t)] = \begin{bmatrix} \frac{2F_{11}^b - F_{21}^b - F_{31}^b}{3} & \frac{2F_{10}^b - F_{20}^b - F_{30}^b}{3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{F_{11}^b - F_{21}^b - F_{31}^b}{3} & \frac{F_{10}^b - F_{20}^b - F_{30}^b}{3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{F_{11}^b - F_{21}^b - F_{31}^b}{3} & \frac{F_{10}^b - F_{20}^b - F_{30}^b}{3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_{11}^b & F_{21}^b & F_{31}^b \\ 0 & 0 & F_{10}^b & F_{20}^b & F_{30}^b \\ 0 & 0 & (1 - F_{11}^b - F_{30}^b) & (1 - F_{21}^b - F_{30}^b) & (1 - F_{31}^b - F_{30}^b) \end{bmatrix}$$

(1. 16)

On appelle [N (t)] la matrice de conversion simple.

1. 2.3 relations de conversion composée

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \\ id_1 \\ id_2 \\ id_0 \end{bmatrix} = [M(t)] \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \text{ avec } [M(t)] = \begin{bmatrix} (F_{11}^b - F_{21}^b) & (F_{10}^b - F_{20}^b) & 0 & 0 & 0 \\ (F_{21}^b - F_{31}^b) & (F_{20}^b - F_{30}^b) & 0 & 0 & 0 \\ (F_{31}^b - F_{11}^b) & (F_{30}^b - F_{10}^b) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_{11}^b & F_{21}^b & F_{31}^b \\ 0 & 0 & F_{10}^b & F_{20}^b & F_{30}^b \\ 0 & 0 & (1 - F_{11}^b - F_{10}^b) & (1 - F_{21}^b - F_{20}^b) & (1 - F_{31}^b - F_{30}^b) \end{bmatrix}$$

(1. 17)

On appelle [M (t)] la matrice de conversion composée.

1. 2. 4. fonction génératrice et modèle de commande [1]

On approxime le bloc discontinu du modèle de connaissance de l'onduleur triphasé à trois niveaux par un bloc continu moyen grâce aux fonctions génératrices correspondantes aux différentes fonctions (connexion du bras, commutation et conversion) utilisées précédemment[1][3].

On utilise les fonctions génératrices des demi-bras au lieu des fonctions génératrices des interrupteurs à cause des produits (entre les fonction de connexion des interrupteurs) existant dans les relations telles que (1.3) et (1.5) .

En utilisant ces fonctions génératrice et les valeurs moyennes instantanées des grandeurs électriques sur un intervalle T_e (T_e infiniment petit) , les relations de conversion (1.16) et (1.17) de l'onduleur triphasé à trois niveaux deviennent respectivement (1.18) et (1.19) avec $[N_g(t)]$ et $[M_g(t)]$ respectivement la matrice génératrice de conversion simple et composée .

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ id_1 \\ id_2 \\ id_0 \end{bmatrix} = [N_g(t)] \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2F_{1lg}^b - F_{2lg}^b - F_{3lg}^b}{3} & \frac{2F_{10g}^b - F_{20g}^b - F_{30g}^b}{3} & 0 & 0 & 0 \\ -F_{1lg}^b - F_{2lg}^b - F_{3lg}^b & F_{10g}^b - 2F_{20g}^b - F_{30g}^b & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2F_{1lg}^b - F_{2lg}^b - F_{3lg}^b}{3} & \frac{2F_{10g}^b - F_{20g}^b - F_{30g}^b}{3} & 0 & 0 & 0 \\ -F_{1lg}^b - F_{2lg}^b - F_{3lg}^b & F_{10g}^b - 2F_{20g}^b - F_{30g}^b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_{1lg}^b & F_{2lg}^b & F_{3lg}^b \\ 0 & 0 & F_{10g}^b & F_{20g}^b & F_{30g}^b \\ 0 & 0 & (1-F_{1lg}^b - F_{20g}^b) & (1-F_{2lg}^b - F_{20g}^b) & (1-F_{3lg}^b - F_{30g}^b) \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \\ id_1 \\ id_2 \\ id_0 \end{bmatrix} = [M_g(t)] \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \text{avec } [M_g(t)] = \begin{bmatrix} (F_{1lg}^b - F_{2lg}^b) & (F_{10g}^b - F_{20g}^b) & 0 & 0 & 0 \\ (F_{2lg}^b - F_{3lg}^b) & (F_{20g}^b - F_{30g}^b) & 0 & 0 & 0 \\ (F_{3lg}^b - F_{1lg}^b) & (F_{30g}^b - F_{10g}^b) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_{1lg}^b & F_{2lg}^b & F_{3lg}^b \\ 0 & 0 & F_{10g}^b & F_{20g}^b & F_{30g}^b \\ 0 & 0 & (1-F_{1lg}^b - F_{10g}^b) & (1-F_{2lg}^b - F_{20g}^b) & (1-F_{3lg}^b - F_{30g}^b) \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

Comme le neutre de la charge de l'onduleur triphasé à trois niveaux est isolé on a alors :

$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ V_A + V_B + V_C = 0 \\ id_0 = -(id_1 + id_2) \end{cases} \quad (1.20)$$

Dans ce cas et avec l'hypothèse $U_{c1} = U_{c2} = U_c$, le système (1.18) peut être réduit en utilisant seulement $V_A, V_B, id_1, id_2, U_c, i_1$ et i_2

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ id_1 \\ id_2 \end{bmatrix} = [N_{rg}(t)] \begin{bmatrix} U_C \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2(F_{11g}^b - F_{10g}^b) - (F_{21g}^b - F_{30g}^b) - (F_{31g}^b - F_{30g}^b)}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{(F_{11g}^b - F_{10g}^b) + 2(F_{21g}^b - F_{20g}^b) - (F_{31g}^b - F_{30g}^b)}{3} & 0 & 0 \\ 0 & (F_{11g}^b - F_{31g}^b) & (F_{21g}^b - F_{31g}^b) \\ 0 & (F_{10g}^b - F_{30g}^b) & (F_{20g}^b - F_{30g}^b) \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

De même, la relation (1.20) peut être réduite (la somme des tensions composées est nulle)

En remplaçant dans (1.23) les tension simples V_A et V_B par les tension U_A et U_B .

On obtient ainsi la relation (1.24) ci-dessous :

$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ id_1 \\ id_2 \end{bmatrix} = [M_{rg}(t)] \begin{bmatrix} U_C \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (F_{11g}^b - F_{10g}^b) - (F_{21g}^b - F_{20g}^b) & 0 & 0 \\ (F_{21g}^b - F_{20g}^b) - (F_{31g}^b - F_{30g}^b) & 0 & 0 \\ 0 & (F_{11g}^b - F_{31g}^b) & (F_{21g}^b - F_{31g}^b) \\ 0 & (F_{10g}^b - F_{30g}^b) & (F_{20g}^b - F_{30g}^b) \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

On appelle $[N_{rg}(t)]$ et $[M_{rg}(t)]$ respectivement la matrice réduite de conversion simple et composée.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié la structure de l'onduleur à trois niveaux. Nous avons introduit la structure élémentaire d'un bras ou nous avons défini les différentes configurations possible de celui-ci.

Pour modéliser l'onduleur à trois niveaux, on a commencé par présenter, avec l'hypothèse de commandabilité, le modèle de commande de cet onduleur. C'est ainsi qu'on introduit la notion de fonction de connexion des demi-bras et son unique commande complémentaire possible afin d'avoir un fonctionnement totalement commandable.

Nous avons ensuite établi un modèle de commande de l'onduleur triphasé à trois niveaux.

Cette démarche nous a permis d'élaborer le modèle de fonctionnement de l'onduleur à trois niveaux ainsi que son modèle de commande.

CHAPITRE II

CHAPITRE II :

SIMULATION D'UN ALGORITHME DE COMMANDE MLI

Introduction

Le problème qui se pose est de trouver un bon algorithme qu'on peut implémenter sur un microcontrôleur, pour générer les instants de commutation en temps réel et avec une bonne précision.

Considérons ici le cas d'un onduleur où les instants de commande sont déterminés d'une façon qui est calculée sur MLI analogique, comme si les instants de commutation étaient déterminés par l'intersection de modulantes sinusoïdales avec la porteuse.

Dans le présent chapitre, on présente un algorithme de commande de l'onduleur à trois niveaux, destiné à une réalisation numérique, en utilisant le modèle de commande présenté dans le chapitre précédent.

II.1. la stratégie triangulo-sinusoidale pour l'onduleur à trois niveaux

Cette technique consiste à adopter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et à former chaque alternance d'une tension de sortie d'une succession de créneaux de largeurs convenables. Cette stratégie est caractérisée par deux paramètres à savoir l'indice de modulation m et le taux de modulation r .

On définit l'indice de modulation m comme le rapport de la fréquence f_p de la porteuse à la fréquence f de la tension de référence ($m = f_p/f$). Le taux de modulation r est le rapport de l'amplitude V_{ref} de la tension de référence à l'amplitude U_p de la porteuse ($r = V_{ref}/U_p$)

Pour les onduleurs à trois niveaux, la porteuse qui permet les meilleures performances de la stratégie MLI triangulo-sinusoidale est la porteuse triangulaire unipolaire [1][3].

Ce type de porteuse est déjà utilisé pour les onduleurs à deux niveaux en pont complet.

L'algorithme de la commande triangulo-sinusoidale pour le trois niveaux se résume pour un bras K comme suite :

$$\begin{cases} (|V_{ref_k}| \leq U_p) \Rightarrow B_{K1} = 1, B_{K2} = 0 \\ (|V_{ref_k}| > U_p) \& (V_{ref_k} > 0) \Rightarrow B_{K1} = B_{K2} = 1 \\ (|V_{ref_k}| > U_p) \& (V_{ref_k} < 0) \Rightarrow B_{K1} = 0, B_{K2} = 0 \end{cases}$$

Avec cet algorithme et pour des tensions de référence sinusoïdales, on a pour la phase une par exemple (pour $\varphi = 0$) :

Pour $0 < \omega t \leq \pi$, on a $B_{11} = 1$ et on module la tension de sortie en jouant sur B_{12} ,

Pour $\pi < \omega t \leq 2\pi$, on a $B_{12} = 0$, et on module la tension de sortie en jouant sur B_{11} .

La figure (II.1) montre la génération des impulsions de commande des interrupteurs du bras k en utilisant cette stratégie.

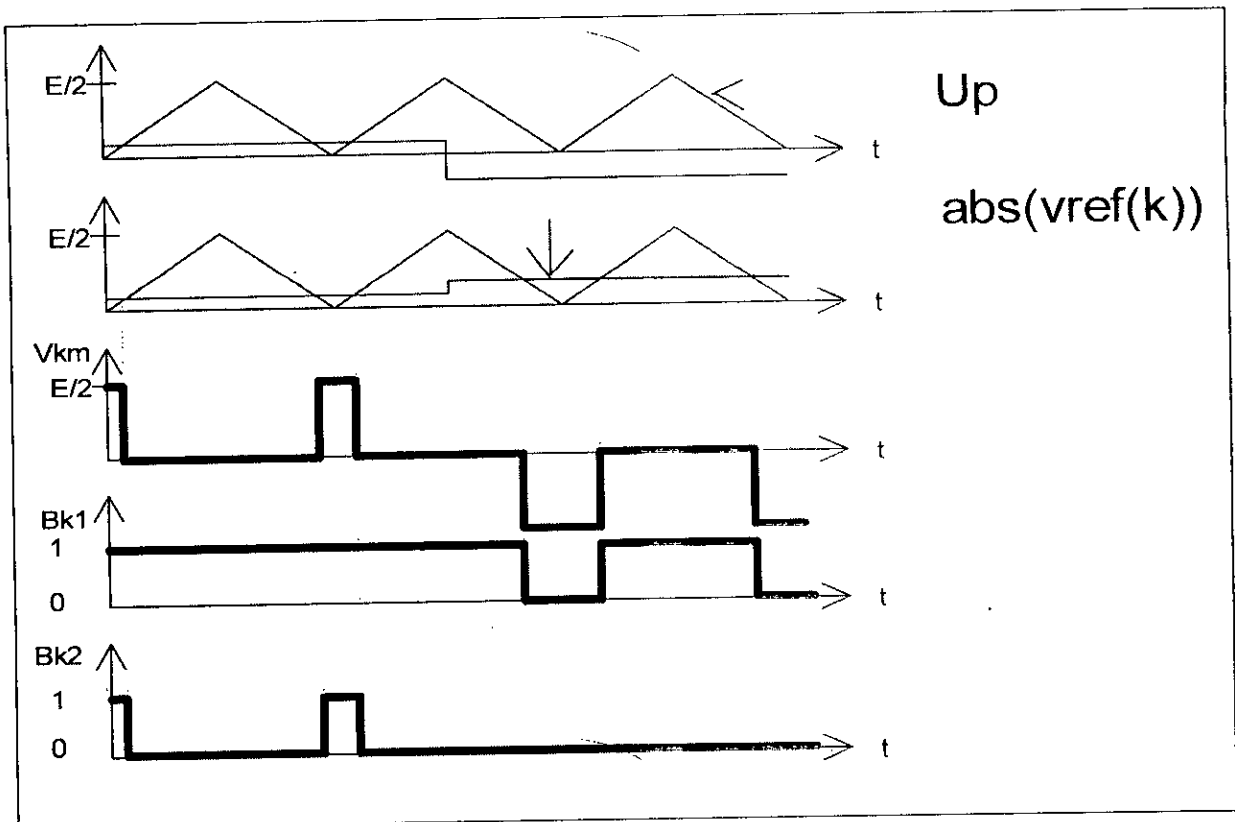


Figure (II.1) : principe de la stratégie triangulo-sinusoidale de l'onduleur à trois niveaux.

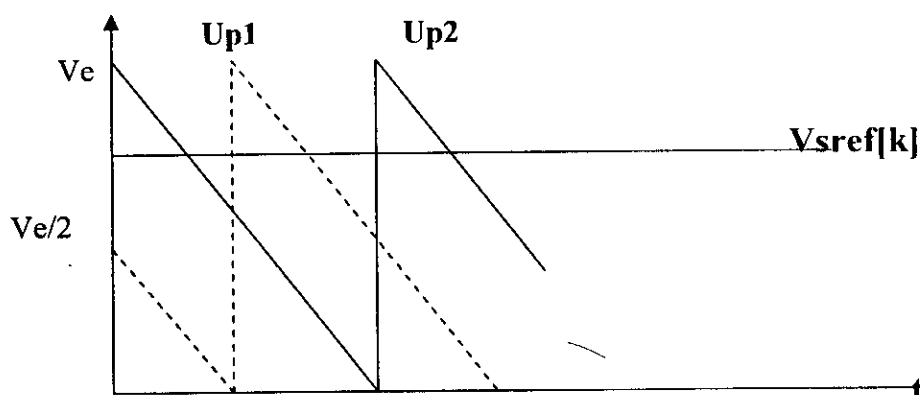
II.2. La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires

Cette stratégie exploite le fait qu'un onduleur à trois niveaux est équivalent à deux onduleurs à deux niveaux en série commandés chacun avec une porteuse déphasée de 180° (c'est-à-dire $\frac{T_h}{2}$) par rapport à l'autre porteuse[1][4]. Cette stratégie utilise les deux références intermédiaires suivantes :

$$\begin{cases} V_{ref1}[k] = \frac{Vsref[k]}{2} \\ V_{ref0}[k] = -\frac{Vsref[k]}{2} \end{cases} \quad (II.1)$$

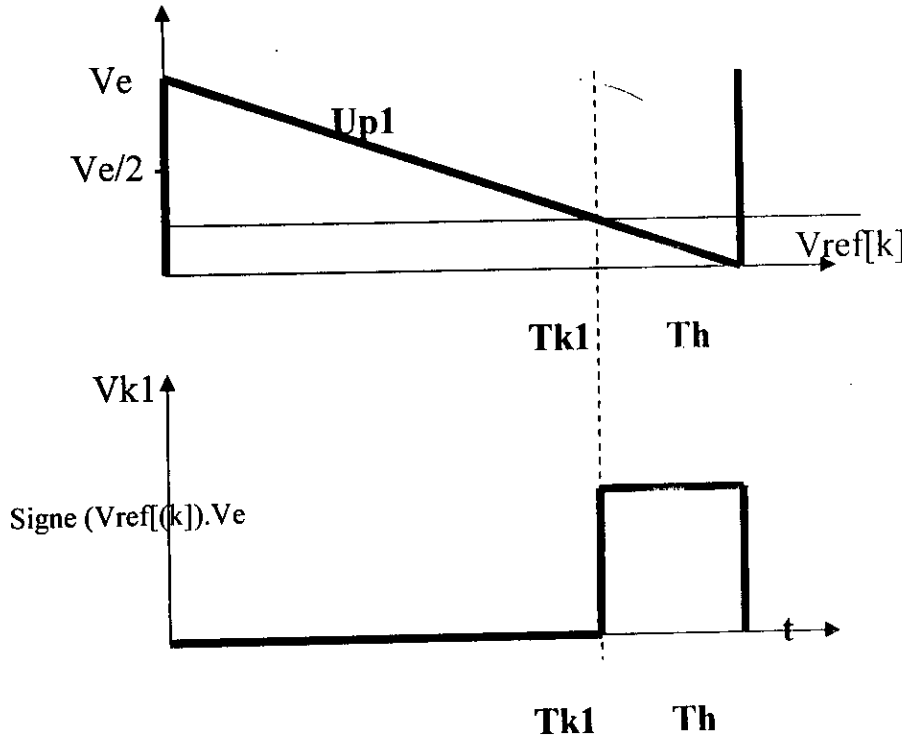
Pour les onduleur à trois niveaux, on peut utiliser deux porteuses identiques , déphasées d'une demi période de hachage $\frac{1}{2.f_p}$ l'une de l'autre , afin d'améliorer le taux d'harmoniques des tensions de sortie (f_p : fréquence des porteuses). Différentes porteuses sont possibles : porteuse triangulaire unipolaire ou bipolaire, porteuse en dents de scie unipolaire ou bipolaire. La porteuse en dents de scie bipolaire permet un taux d'harmoniques le plus faible mais avec des harmoniques pairs et impairs. Les porteuses triangulaires permettent des tensions de sortie ayant la symétrie par rapport au quart et à la demi période.

Dans cette partie, on présente le cas de deux porteuses en dents de scie unipolaires.



Figure(II.2) Les deux porteuses en dents de scie unipolaires

II.2.1. première porteuse U_{P1}



Figure(II.3) la tension simple V_k correspondent à la première porteuse.

T_{K1} est l'instante d'intersection de la porteuse U_{P1} avec la tension $|V_{ref1}[k]|$. Il est donné par la relation suivante :

$$T_{K1} = T_h \cdot \left(\frac{|V_{ref1}[k]|}{V_e} \right) \tag{II.2}$$

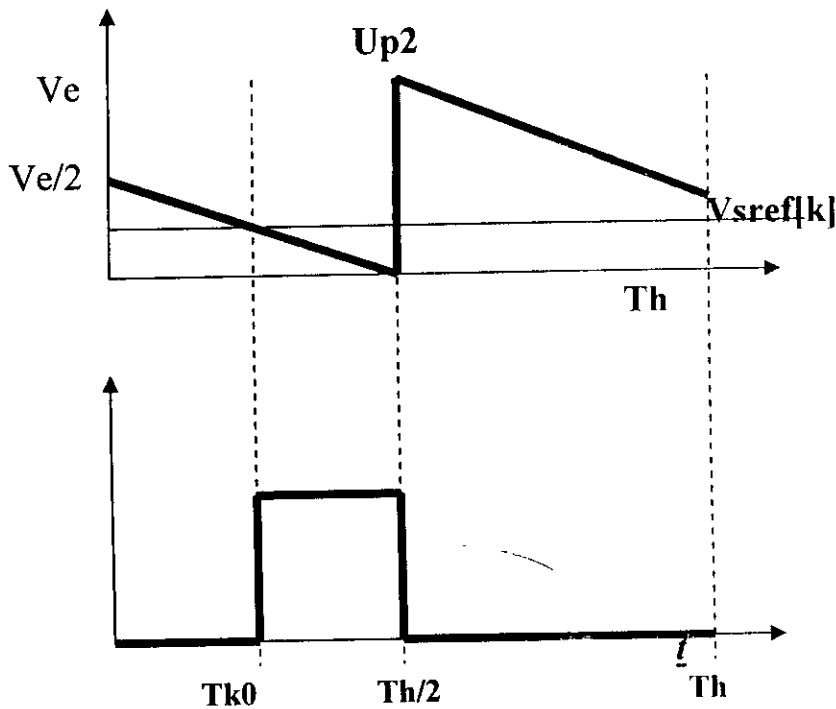
L'algorithme de cette stratégie permet d'écrire :

$$\begin{cases} t \in [T_{K1}, T_h] \Rightarrow V_{K1} = V_e \cdot \text{signe}(V_{ref1}[k]) \\ t \in [0, T_{K1}] \Rightarrow V_{K1} = 0 \end{cases} \tag{II.3}$$

La valeur moyenne instantanée de la tension V_{K1} sur une période T_h de la porteuse est

$$\langle V_{K1} \rangle = \frac{V_e \cdot \text{signe}(V_{ref1}[k])}{T_h} \left\{ T_h - \left(T_h - T_h \cdot \frac{|V_{ref1}[k]|}{V_e} \right) \right\} = V_{ref1}[k] \quad (II.4)$$

II.2.2. deuxième porteuse U_{p2}



Figure(II.4) la tension simple V_k correspondent à la deuxième porteuse.

T_{K0} est l'instant d'intersection de la porteuse U_{p2} avec la tension $|V_{ref0}[k]|$. Il est donné par la relation suivante :

$$T_{k0} = T_h \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{|V_{ref0}[k]|}{V_e} \right) \quad (II.5)$$

L'algorithme de cette stratégie permet d'écrire :

$$\begin{cases} t \in \left[T_{K0}, \frac{T_h}{2} \right] \Rightarrow V_{K0} = V_e \cdot \text{signe}(V_{ref0}[k]) \\ t \in \left[0, T_{k0} \right] \cup \left[\frac{T_h}{2}, T_h \right] \Rightarrow V_{k0} = 0 \end{cases} \quad (II.6)$$

La valeur moyenne instantanée de la tension V_{K0} sur une période T_h de la porteuse est

$$\langle V_{K0} \rangle = \frac{V_e \cdot \text{signe}(V_{ref0}[k])}{T_h} \left\{ \frac{T_h}{2} - \left(\frac{T_h}{2} - T_h \cdot \frac{|V_{ref0}[k]|}{V_e} \right) \right\} = V_{ref0}[k] \quad (\text{II.7})$$

II.2.3. La tension de sortie de l'onduleur à trois niveaux

La tension V_{K2} à avoir à la sortie de l'onduleur à trois niveaux est $V_{K2} = V_{K1} = V_{K0}$ du point de vue moyenne instantanée, et en utilisant les relations (II. 1), (II. 4) et (II. 7)

On aboutit à :

$$\langle V_{K2} \rangle = \langle V_{K1} \rangle - \langle V_{K0} \rangle \Rightarrow \langle V_{K2} \rangle = V_{ref1}[k] - V_{ref0}[k] \Rightarrow \langle V_{K2} \rangle = V_{sref}[k] \quad (\text{II.8})$$

Cette relation montre bien que cette stratégie permet à un onduleur à trois niveaux de suivre le vecteur de tension de référence V_{sref} .

II.3. Modulation calculée utilisant les modèles de commande des onduleur à trois niveaux

Les différentes stratégies utilisant une ou deux porteuses peuvent être réalisées numériquement en échantillonnant les tensions de référence (échantillonnage régulier symétrique ou asymétrique).

Dans cette partie, on présente un algorithme de commande des onduleurs à trois niveaux, destiné à une réalisation numérique, et utilisant les modèles de commande de ces convertisseurs présentés dans le chapitre précédent (chapitre I).

L'organigramme général d'une stratégie de commande est présenté à la figure II.2.

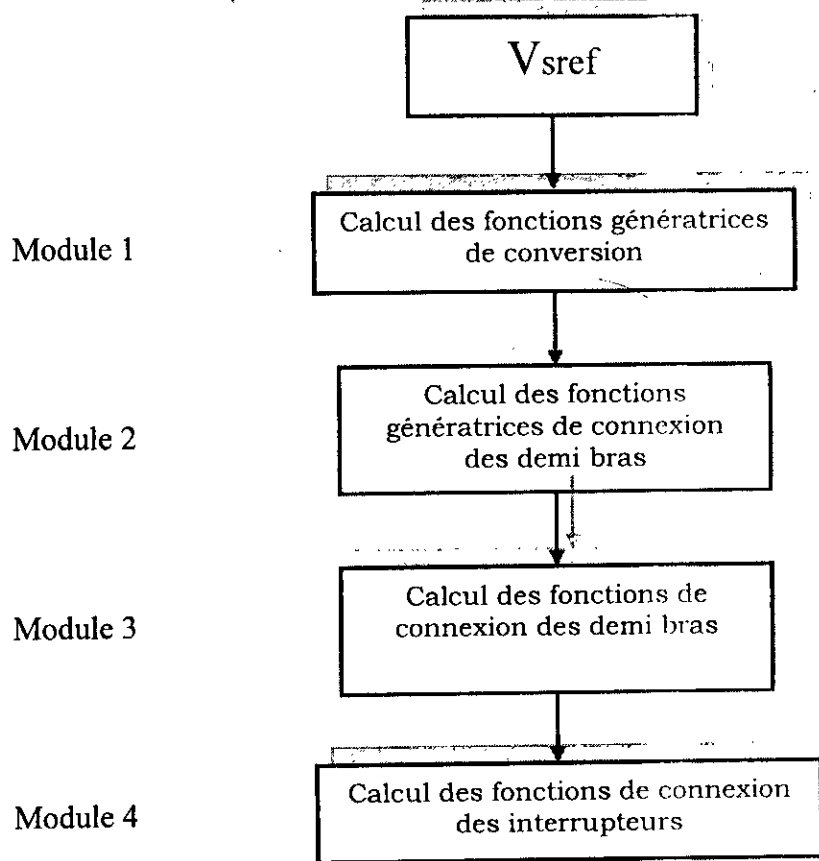


Figure II.5 Organigramme d'une modulation calculée.

Le module 4 de cet organigramme est commun à toutes les modulation de ce type . Il se résume aux deux étapes suivantes :

a -Déduire les fonctions de connexion (F_{KS}) des interrupteurs à partir de celle des demi-bras (F_{Kn}^b) :

$$\begin{cases}
 \left((F_{K1}^b = 1) \& (F_{K0}^b = 1) \right) \text{ or } \left((F_{K1}^b = 0) \& (F_{K0}^b = 0) \right) \Rightarrow F_{K1} = 1, F_{K2} = 0 \\
 \left(F_{K1}^b = 1 \right) \& \left(F_{K0}^b = 0 \right) \Rightarrow F_{K1} = 1, F_{K2} = 0 \\
 \left(F_{K1}^b = 0 \right) \& \left(F_{K0}^b = 1 \right) \Rightarrow F_{K1} = 0, F_{K2} = 0
 \end{cases} \tag{II.9}$$

b- déduire les ordres de commande des semi-conducteurs :

$$\begin{cases}
 F_{KS} = 1 \Leftrightarrow B_{KS} = 1 \\
 F_{KS} = 0 \Leftrightarrow B_{KS} = 0
 \end{cases} \tag{II.10}$$

II.3.1. principe de l'algorithme

Cet algorithme est basé sur la commande triangulo-sinusoidale à deux porteuses déjà présentée, Les différents modules de l'organigramme de la figure II.5 s'expriment pour cet algorithme comme suit :

MODULE 1: calcul des fonctions génératrices de conversion simples ngk :

$$ngk = \frac{V_{sref}[k]}{\frac{E}{2}} \quad (II.11)$$

MODULE 2: calcul des fonctions génératrices de connexion des demi-bras F_{kng}^b

$$F_{kng}^b = \frac{ngk}{2} \quad \text{et} \quad F_{k0g}^b = -\frac{ngk}{2}$$

MODULE 3: calcul des fonctions de connexion des demi-bras F_{kn}^b :

On définit dans cet algorithme, les variables temporelles suivantes:

$$\begin{cases} T_{k1} = Th \left\{ 1 - |F_{k1g}^b| \right\} \\ T_{k0} = Th \left\{ 0.5 - |F_{k0g}^b| \right\} \end{cases} \quad (II.12)$$

Le passage des fonctions génératrices de connexion des demi-bras à leurs fonctions instantanées F_{kng}^b est effectué selon l'algorithme suivant:

$$\begin{cases} \left(T_{k0} \leq t \leq \frac{Th}{2} \right) \text{or} \left(T_{k0} \leq t \leq Th \right) \Rightarrow ak = 1 \\ \left(t < T_{k0} \right) \text{or} \left(\frac{Th}{2} < t < T_{k1} \right) \Rightarrow ak = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} F_{k1g}^b > 0 \Rightarrow (F_{k1}^b = ak) \& (F_{k0}^b = 0) \\ F_{k1g}^b \leq 0 \Rightarrow (F_{k1}^b = 0) \& (F_{k0}^b = ak) \end{cases}$$

Dans cet algorithme, la variable t est réinitialisée à chaque fin de la période Th .

II.3.2. La simulation

Les figures II.7 , II.8, II.9 et II.10 montrent la tension de sortie de la phase 1 de l'onduleur respectivement pour $m=6,9,12$ et 21 .

dans toutes ces figures l'amplitude du fondamentale de la tension simple de la phase une est de $80.1V$.

Pour la figure II.11 la l'amplitude du fondamentale de cette tension est de $40.15V$.

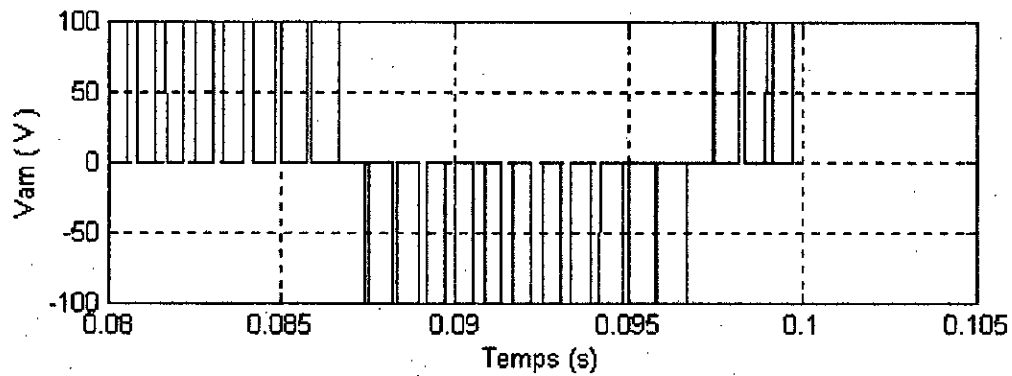


Figure II.6: La tension V_{am} pour $m=12, r=0.8$.

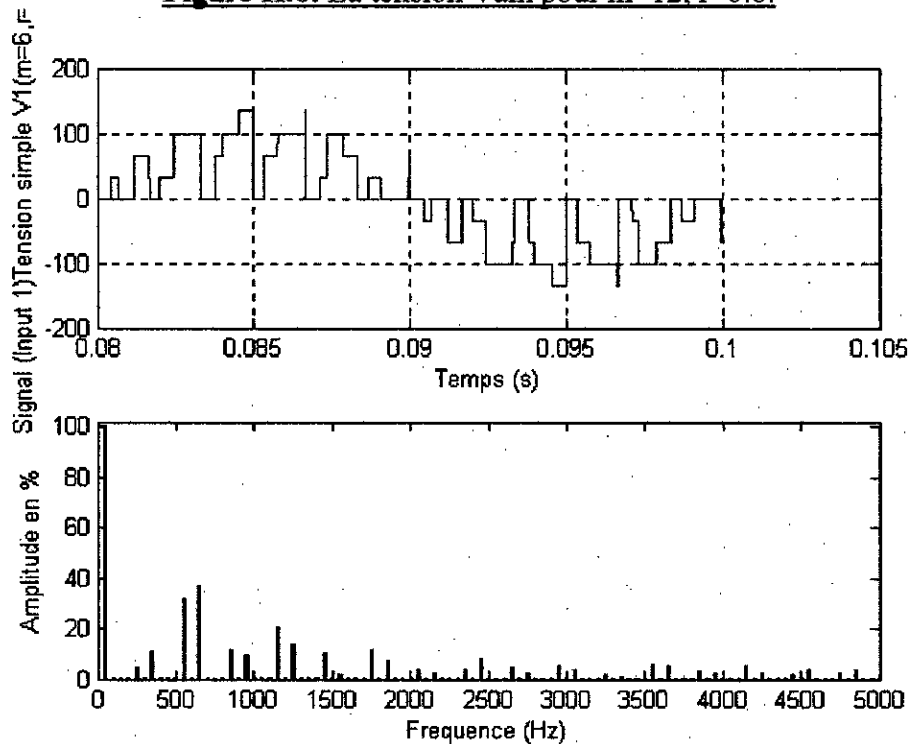


Figure II.7: Tension V_1 de sortie de l'onduleur triphasé à trois niveaux commandé par La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires ($m=6, r=0.8$).

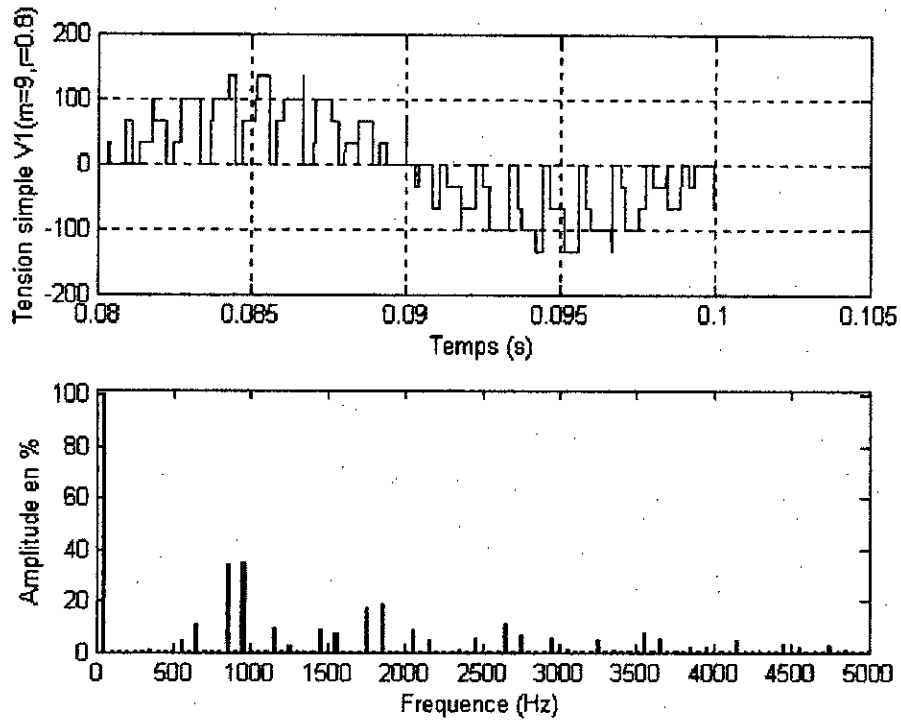


Figure II.8: Tension V_1 de sortie de l'onduleur triphasé à trois niveaux commandé par La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires ($m=9, r=0.8$).

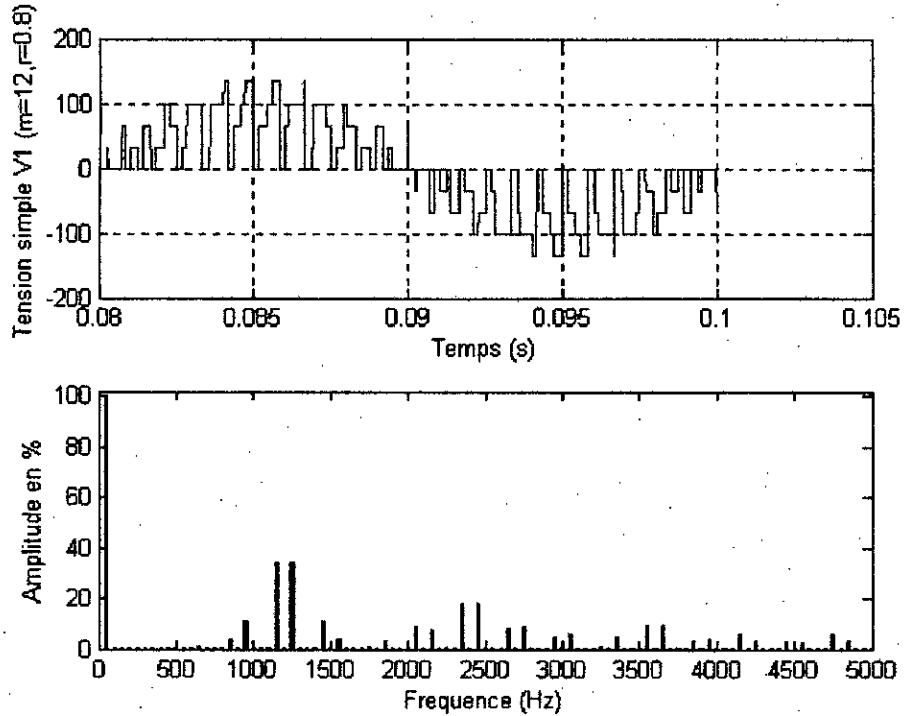


Figure II.9: Tension V_1 de sortie de l'onduleur triphasé à trois niveaux commandé par La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires ($m=12, r=0.8$).

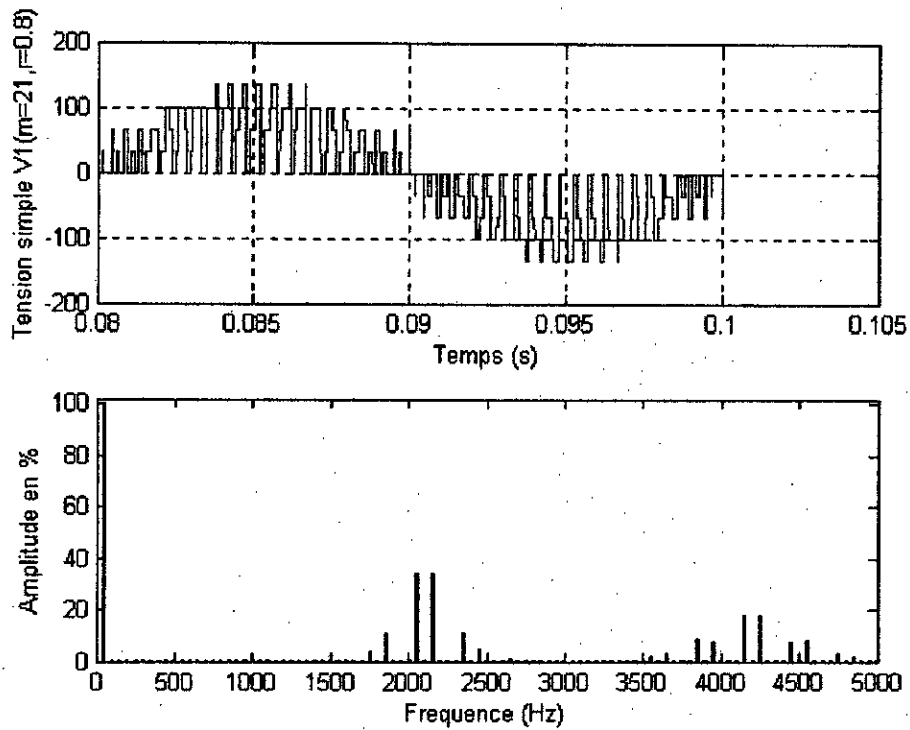


Figure II.10: Tension V_1 de sortie de l'onduleur triphasé à trois niveaux commandé par La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires ($m=21, r=0.8$).

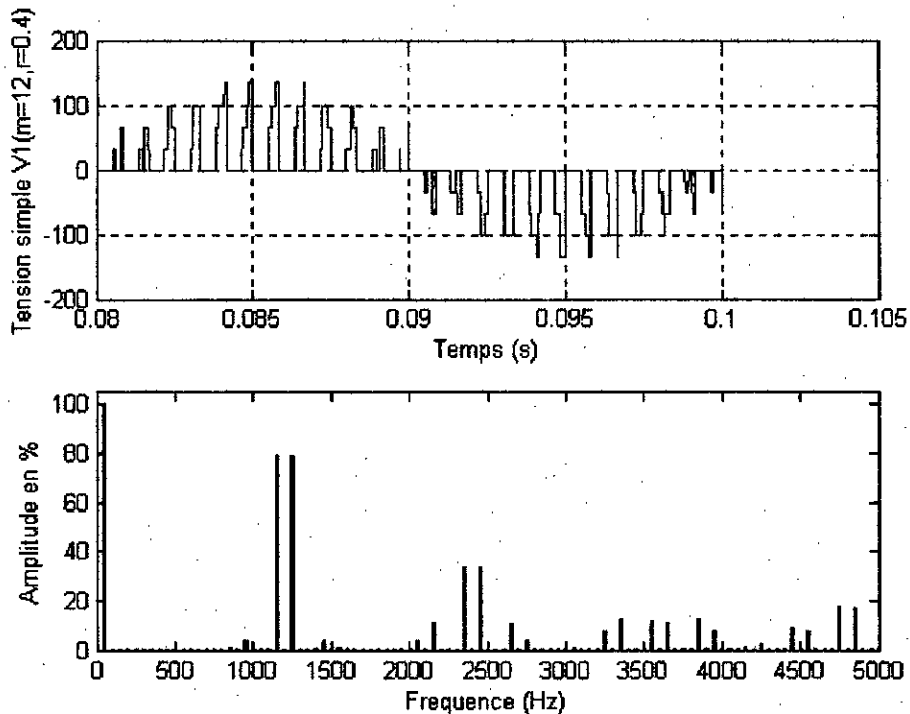


Figure II.11: Tension V_1 de sortie de l'onduleur triphasé à trois niveaux commandé par La stratégie triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires ($m=12, r=0.4$).

II.3.3. Interprétation des résultats

Quand m est égal ou supérieur à 6, le fondamental des tensions de sortie est pratiquement égal à celui des tensions de références.

Le rang des harmoniques présents dans les tensions de sortie de l'onduleur dépend de m , leurs valeurs varie avec r .

Pour m égal à 6, les tensions contiennent tous les harmoniques pairs et impairs, sauf ceux de rang 3,6,9,..Les plus importants sont ceux de rang 4 et 8 et surtout 11 et 13, pour m égal à 9, apparaît nettement le groupement en familles centrés autours des fréquences multiples de la fréquence de modulation.

A partir de m égal à 12, les groupes d'harmoniques centrés sur mf et $2mf$ sont bien distincts et les deux harmoniques situé de part et d'autre du centre d'une famille ont même amplitude.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la stratégie triangolo-sinusoïdale utilisant deux porteuses en dents de scie unipolaires, et on a présenté sur la base de cette étude un algorithme de commande destiné à une réalisation numérique, et utilisant le modèle de commande des onduleur à trois niveaux.

La modulation de largeur d'impulsion ne réduit pas le taux d'harmonique, Celui-ci est pratiquement indépendant de m et très important. Mais l'augmentation de m rejette les premiers harmoniques non nuls vers les fréquences élevées et facilite donc le filtrage.

En régime triphasé, les raies d'un rang multiple d'un rang 3 sont naturellement éliminées.

CHAPITRE III

CHAPITRE III :

PRESENTATION DU MICROCONTROLLEUR UTILISE

Introduction

Dans le présent chapitre, on donnera une brève présentation du microcontrôleur choisi pour l'implémentation de notre algorithme de commande de l'onduleur à trois niveaux. Le microcontrôleur choisi est un PIC. Ce choix est bien justifié, et c'est le but de cette présentation.

Un PIC est un microcontrôleur fabriqué par la société Microchip, c'est donc un composant qui comprend de la RAM, de la ROM ou équivalent, et une unité de calcul et des entrées/sorties.

Il existe en fait plusieurs familles de composants plus ou moins puissants, plus ou moins petits. Ils ont la particularité d'être des composants RISC (avec peu d'instructions).

III.1. Le PIC 16F877

C'est un microcontrôleur cadencé à 20Mhz, il offre 8K de mémoire programme (type FLASH), 368 octets de RAM, 256 octets d'EEPROM. La dénomination PIC est sous copyright de Microchip.

La puissance du PIC16F877 n'est pas seulement dans sa grande mémoire programme, mais aussi dans son armada de périphériques. Ce PIC, à 40 broches, renferme dans son boîtier les ressources suivantes :

- 1) 33 pins d'entrée/sortie regroupés en 5 ports.
- 2) Convertisseur analogique/digital 10 bits à 8 voies.
- 3) Un USART pour la transmission série.
- 4) Un SSP (Synchronous Serial Port) permettant la communication série synchrone à des grandes vitesses, et qui peut être configuré comme un périphérique I2C (Inter Integrated Circuits) pour le transfert des données vers une EEPROM série par exemple.
- 5) Trois Timers intégrés deux à 8 bits et un à 16 bits.
- 6) Un module PWM (Pulse Width Modulations) pour la commande numérique des moteurs à courant continu.
- 7) Plus de 14 sources d'interruption.

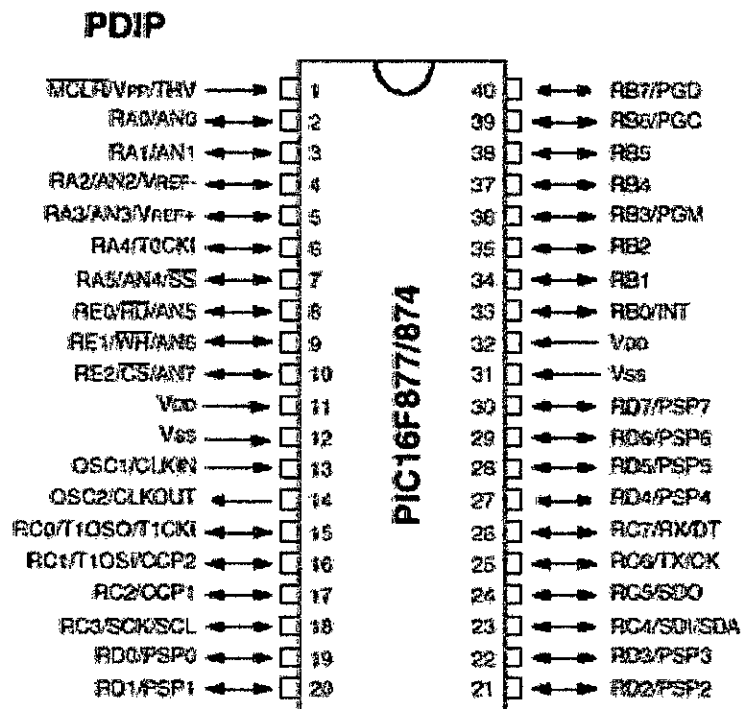


Figure III.1: le PIC 16F877

La figure ci-dessus donne le brochage de ce circuit. Comme vous pouvez le constater, la majorité des pins ont un double ou triple rôle. La fonction de chaque broche est fixée par la configuration du registre interne correspondant au cours de la programmation.

III.2 . Architecture du PIC 16F877

La figure (III.2) représente la structure matérielle du 16F877.

Le processeur a une largeur de mot transitant sur des bus de 14 bits et des registres.

III.2.a. Architecture Harvard

La majorité des structures micro programmées utilisent une architecture classique appelée Architecture Von Neumann. Les microcontrôleurs PIC ainsi que bien d'autres structures tel que les DSP sont construites autour d'un autre type d'architecture Architecture Harvard. Cette dernière permet de gagner en espace mémoire et en temps d'exécution.

Dans les architectures classiques, le processeur accède aux instructions à exécuter et aux opérandes sur lesquelles les instructions sont exécutées grâce à un système unique de bus (bus de données pour véhiculer le contenu des mémoires et bus d'adresse pour sélectionner une case mémoire).

Le bus de données véhicule successivement le code machine de l'instruction à exécuter, puis le ou les opérandes sur lesquels l'instruction est exécutée. Code et données figurent dans un espace mémoire unique. Dans une architecture Harvard au sens strict, mémoire code et mémoire données figurent dans deux espaces distincts auxquels on accède séparément par deux systèmes de bus ce qui autorise la simultanéité du décodage d'instruction et de l'exécution. Le 16F877 utilise une architecture Harvard.

L'horloge fournie au PIC16F877 est pré divisée par 4 au niveau de celui-ci. C'est cette base de temps qui donne le temps d'un cycle machine. Si on utilise par exemple un quartz de 20MHz, ce qui est notre cas, on obtient donc 5 millions de cycles/seconde, Or, comme le PIC exécute pratiquement 1 instruction par cycle, hormis les sauts, cela donne une puissance de l'ordre de 5MIPS (5 Millions d'Instructions Par Seconde).

III.2.b. Mémoire programme

La mémoire programme est constituée de 8K de mots de 14 bits, C'est dans cette zone que le programme sera inséré.

III.2.c. La mémoire EEPROM

Cette mémoire est constituée des octets, Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver les paramètres semi-permanents. Il est plus rapide de lire cette mémoire que d'y écrire.

III.2.d. Organisation de la RAM du 16F877

La RAM du 16F877 disponible est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante et donnée à la page 7 du datasheet [annexe 4]:

- 1) 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F.
- 2) 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0xEF
- 3) 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F
- 4) 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF
- 5) 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F , 0xF0 à 0xFF, 0x170 à 0x17F, 0x1F0 à 0x1ff.

III.2.e. Les registres

Chaque registre provoque un fonctionnement spéciale du PIC ou la mise en service d'une fonction particulière, certain registres sont identiques dans tout les banques cela signifie qu'y accéder depuis n'importe quel banque ne fait pas de différence.

On ne détaille pas ici tous ces registres, et on cite les plus importants:

- le registre de travail W : c'est un registre temporaire qui est utilisé avec les variables (il y a aussi "f" (pour file))
- le registre STATUS : Il contient les bits C, DZ, Z : permettent de tester le résultat d'une opération (résultat nul, carry, etc....)
- le registre OPTION_REG : pour définir le mode de timer, prescaler, etc....
- le registre INTCON pour les interruptions.
- Le registre TMR0: pour le timer
- Les registres : portA, portB, portC,..., TRISA, TRISB,..., pour la configuration des différents ports.

- Les registres EEADR, EEDATA, EECON1, EECON2 pour la mémoire

III.2.f. Les ports E/S

Ce PIC possède cinq ports : PORTA, PORTB, PORTC, PORTD et PORTE. Chaque pin de ces ports est indépendamment configurable en entrée ou en sortie, c'est-à-dire qu'on peut avoir dans le même port des pins sortantes et d'autres entrantes. Le courant max que peut fournir chaque pin est 15mA. On associe à chaque port un registre interne TRIS permettant la programmation de sa direction, 0 pour sortie et 1 pour entrée. Par exemple, le registre TRISB est associé au PORTB, la commande suivante : TRISB='11110000'b met la moitié haute du PORTB (RB4 à RB7) en entrée et la moitié basse (RB0 à RB3) en sortie; et ainsi de suite pour les autres registres de contrôle de direction.

III.2.g. Organisation des Instructions

Selon le type de la donnée à manipuler et la fonction de l'instruction, on distingue 3 types d'instructions. Chaque type est différemment codé des autres.

- 1) Les instructions orientées octets exemple : MOVLW 0x0F qui signifie mettre la valeur 15 dans le registre de travail W.
- 2) Les instructions orientées bits exemple :
BSF PORTC, 3 : mettre à '1' le bit '3' du PORTC.
- 3) Et en dernier on trouve les sauts et les branchements tel que GOTO et CALL.

NB. voir annexe III pour la table des instructions complete.

III.3. Les outils de développement

Le développement de toute application à base de microcontrôleur nécessite de faire appel à ce que l'on appelle des outils de développement. Ces outils se répartissent entre logiciel et matériel, et leurs possibilités varient assez notablement en fonction du confort dont on souhaite disposer, ainsi qu'en fonction du langage de programmation utilisé.

MICROCHIP propose un certain nombre d'outils de développement pour toutes ses familles de microcontrôleurs. Ces outils de développement peuvent être classés en trois catégories principales :

- les outils de génération de code incluant évidemment l'assembleur.

- Les programmeurs, permettant de programmer la ou les mémoires des différents microcontrôleurs.
- Les émulateurs qui représentent l'offre « haut de gamme » en matière d'outils de développement.

III.3.a. L'environnement de développement MPLAB

Cet environnement fait partie des outils de génération de code, cet environnement MPLAB est destiné à toutes les versions actuelles de microcontrôleurs PIC, et il comporte :

- un éditeur de programmes.
- Le macro-assembleur MPASM supportant l'assemblage conditionnel.
- Un éditeur de lien.
- Un simulateur.
- Un logiciel de commande du programmeur PICstart plus de MICROCHIP ou de ses versions compatibles.
- Un logiciel de dialogue et de gestion des différents émulateurs.

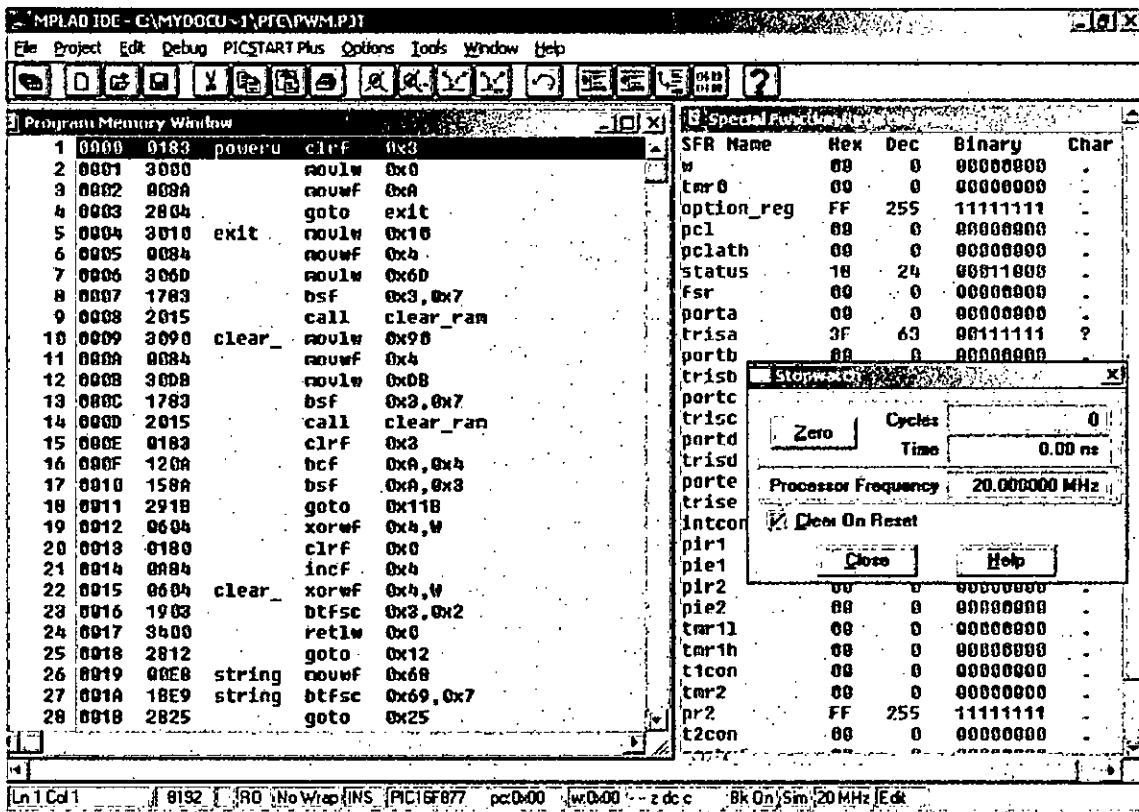


Figure III.3: Aperçue de MPLAB

III.4. La programmation des microcontrôleurs PIC

III.4.a. Le programmeur

C'est l'élément qui permet de charger le programme dans la mémoire FLASH du PIC. Il est relié à l'ordinateur par une liaison série ou parallèle.

Le programmeur qu'on a utilisé dans le cadre de notre travail peut programmer tous les circuits PIC acceptant la programmation série en circuit ou ICSP c'est à dire tous les PIC 12Cxxx, 16Cxxx et 16Fxxx existants et à venir. Les seuls circuits qu'il ne puisse pas programmer sont les vieux 16C54, 16C56 et 16C57 à programmation parallèle, qui sont en voie de disparition. Il se connecte sur le port parallèle de tout compatible PC. Il nécessite une alimentation, qui peut être continue ou alternative, comprise entre 12 et 30 volts, et qui n'a pas besoin d'être stabilisée. Un bloc secteur "prise de courant " ou n'importe quelle alimentation de laboratoire peut donc convenir d'autant que le débit nécessaire est inférieur ... 100 mA. Compte tenu des performances de son logiciel de commande, il peut lire, vérifier, programmer et comparer les PIC sans aucune restriction, de même qu'il sait lire et programmer leurs " fusibles " de configuration. Il sait aussi effacer les circuits munis de mémoire de type EEPROM et permet l'accès à la mémoire de données des circuits dotés d'une telle mémoire lorsqu'elle est en technologie EEPROM également.

Le programmeur PROPIC2 (hardware) se connecte au port parallèle des compatibles IBM PC malgré que le transfert des données soit série.

La programmation du PIC16F877 nécessite une tension de programmation $V_{pp}=13V$ et une tension d'alimentation $V_{cc}=5V$. Les données sont transmises par deux pins seulement (Clock et Data selon Protocole I2C) grâce à un module ICSP (In-Circuit Serial Programming) intégré dans le PIC permettant le transfert sériel vers la mémoire Flash du PIC.

Les signaux d'un port parallèle étant aux normes TTL et étant " maltraités " par leur voyage sur des câbles de liaison, ils sont remis en forme par les inverseurs contenus dans le programmeur. Ce dernier permet l'application de la haute tension de programmation VPP aux pattes adéquates du support universel du programmeur. Ainsi que la tension d'alimentation normale VDD, appliquée également au support universel[5].

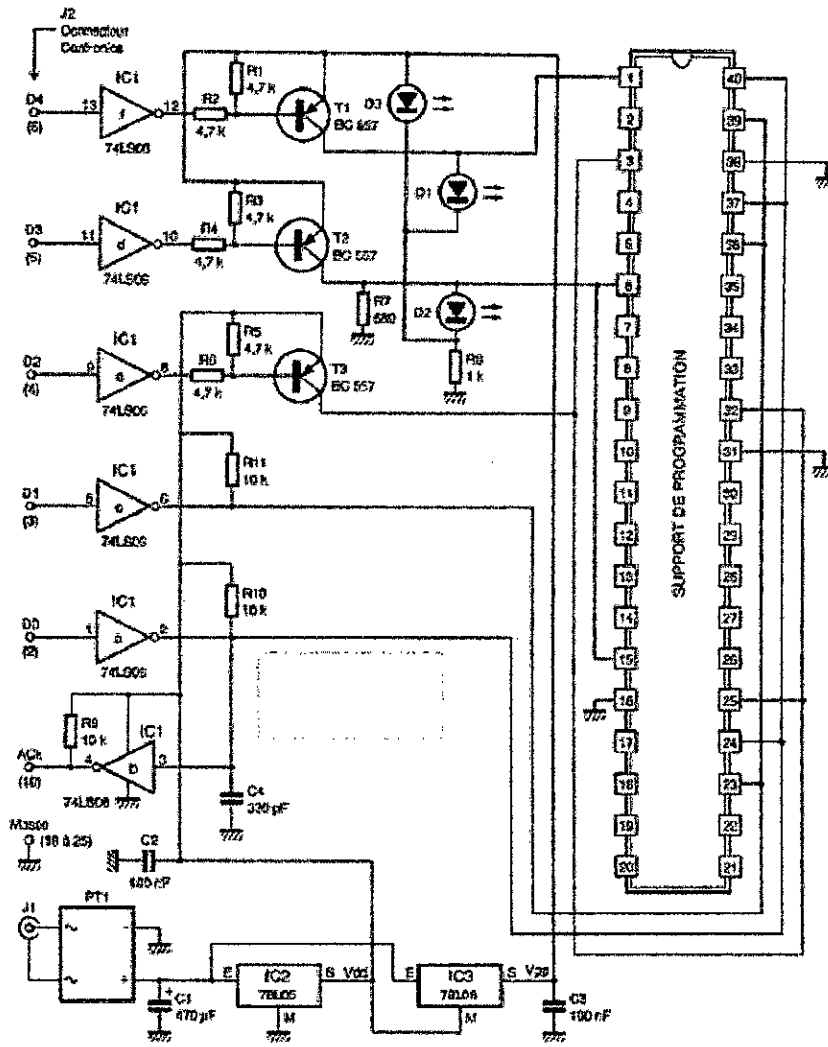


Figure III.4: Schéma du programmeur[6]

NB. voir annexe II pour les détails de la réalisation.

III.4.b. Logiciel du programmeur

Une fois le fichier .Hex est crée sous l'environnement MPLAB, on fait appel au logiciel ICPROG[7] pour qu'il fasse le chargement de ce fichier vers la mémoire programme du PIC. ICPROG est parmi les logiciels de chargement des PICs les plus célèbres, Il reconnaît plusieurs types de programmeurs, série (DB9) tel que le JDM Programmer et parallèle (DB25) tel que le PROPIC2 qu'on a utilisé.

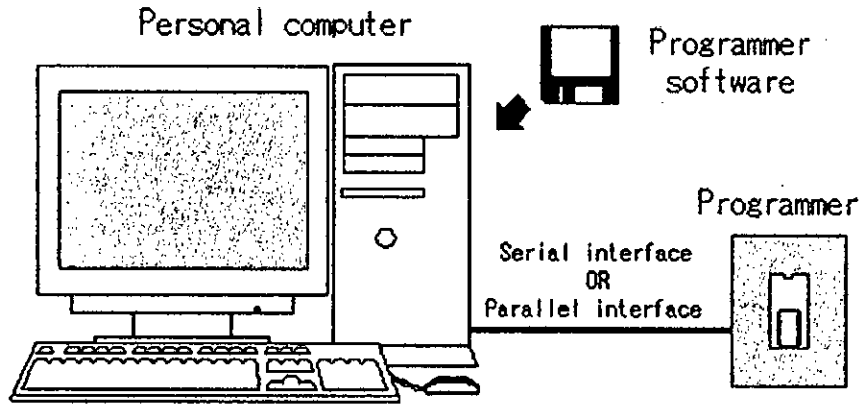


Figure III.5: Les outils de développement

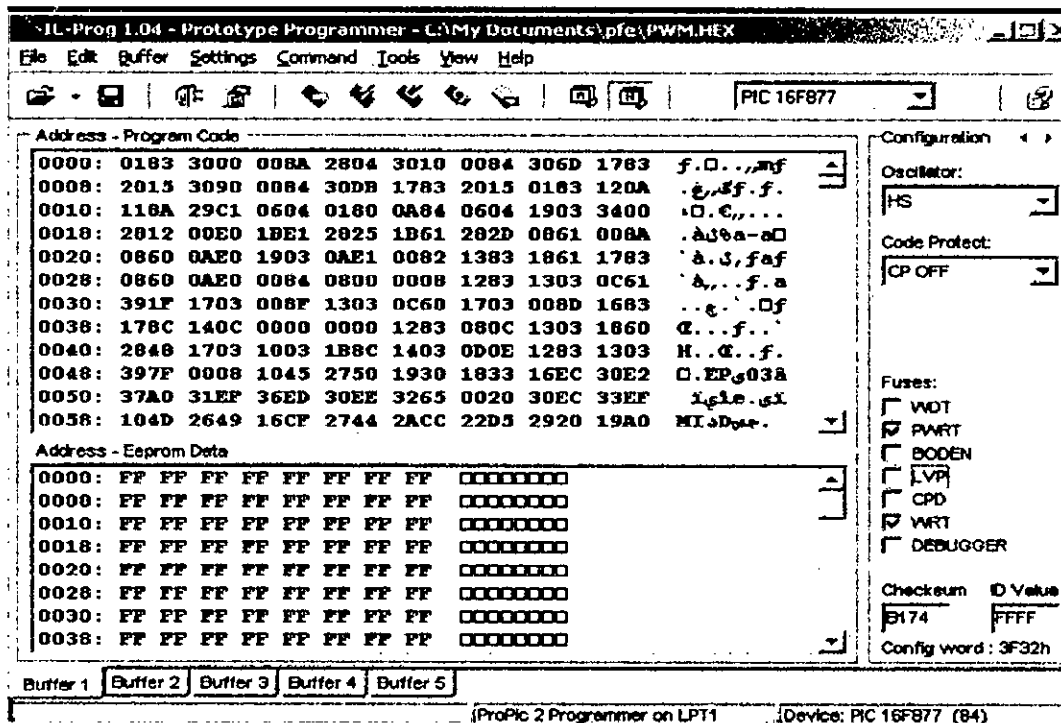


Figure III.6: Aperçue de ICI-PROG

III.5. Conclusion

En effet, les algorithmes de commande des onduleurs sont généralement traités par des unités numériques. Les microcontrôleurs utilisés doivent disposer de plusieurs compteurs programmables. Si leur nombre n'est pas suffisant, ou si l'unité de calcul ne dispose pas de tels éléments (certains DSP ou plus simplement un PC) la génération de ces impulsions devient très difficile à implémenter. D'autre part, les algorithmes de commande ont généralement des fréquences de récurrence très supérieures à la fréquence de commutation. La génération des impulsions oblige donc de prévoir une tâche à la fréquence de commutation de l'onduleur dans le programme. Enfin, un arrêt intempestif du microcontrôleur pourrait conduire à la mise en conduction des deux transistors du même bras. On élimine généralement ce risque par de la logique extérieure, réalisant en même temps les temps morts de la commande, dont nous parlerons dans les chapitres suivants.

Pour palier ces problèmes, Le circuit que nous avons choisi répond à des critères très suffisants pour notre application.

Dans ce chapitre on a donné une représentation générale de ce microcontrôleur qui sera le coeur de notre réalisation, le 16F877 est entièrement numérique est suffisamment puissant.

CHAPITRE IV

CHAPITRE IV :**IMPLEMENTATION DE L'ALGORITHME
SUR LE MICROCONTROLEUR ET
RESULTATS EXPERIMENTAUX****Introduction**

Afin de bien comprendre le système électronique que nous allons décrire dans ce chapitre, on doit tout d'abord présenter la carte réalisée. Cette carte doit contenir l'électronique qui permet de faire piloter les trois bras de l'onduleur. La déduction des instants de commutation se fait par calcul numérique utilisant le microcontrôleur présenté dans le chapitre précédent. La figure ci-dessous représente le schéma synoptique de cette carte électronique.

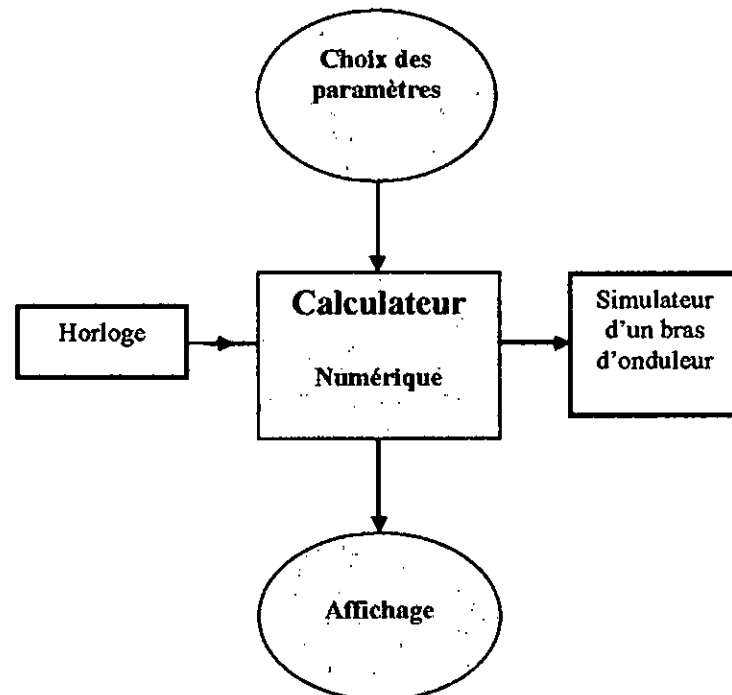


Fig.IV.1. Schéma Synoptique de la carte électronique.

IV.1 Présentation des circuits auxiliaires

Maintenant qu'on a vu le composant principal qui est le μ contrôleur (chapitre 3), nous allons voir dans ce qui suit les autres circuits utilisés dans la réalisation de ce système. Nous avons préféré présenter en premier, chacun des composants seuls, le schéma global est donné juste après.

La table IV.1 montre le nombre de pins, les registres internes correspondants à chaque port du microcontrôleur, ainsi que sa fonction dans la carte.

PORT	Fonction	Nombre de Pin	Registre de Direction	E/S
PORTA	Non utilisé	6	TRISA	/
PORTB	Gestion d'un afficheur LCD 2x24 Caractères (HD44780 Hitachi).	8	TRISB	E
PORTC	Communication avec le PC (2 pins de programmation)	8	TRISC	S
PORTD	Sortie vers les bras de l'onduleur (ou simulateur du bras)	8	TRISD	S
PORTE	Réception des ordres des trois boutons poussoirs	3	TRISE	E

Tab.IV.1. Utilisation des ports du PIC 16F877.

IV.2. Fonctionnement du montage

La détermination des instants de fermeture et d'ouverture des interrupteurs est programmée et récupérée sur le PORTD qui sera relié à des optocoupleurs.

Le port E est mis au niveau 1 par le biais des résistances pull-up. Un appui sur l'un des boutons poussoirs met le bit correspondant à 0.

Pour dialoguer avec l'opérateur, le système dispose de trois boutons poussoir, BP1, BP2 et BP3 (figure IV.2).



Figure IV.2. Les boutons d'interface

La visualisation se fait sur un afficheur LCD (Liquid Crystal Display) deux lignes, 24 caractères. Ces types d'afficheur sont dotés d'une certaine intelligence; grâce au μ Contrôleur HD44780 (HITACHI) placé sur l'afficheur on assure la réception des données, leurs décodages et le pilotage des matrices de cristaux liquides. Ce dernier a 14 broches, 2 pour l'alimentation, 4 pour le contrôle et 8 constituent le bus de données [8].

La donnée peut être envoyée de deux manières : soit 8 bits à la fois ce qui nécessite le câblage de tout un bus de 8 lignes ou bien par paquet de 4 bits en utilisant les bits b4 à b7, et c'est ce qu'on a choisi. La sélection du mode se fait en envoyant le mot de commande approprié lors de l'initialisation [9].

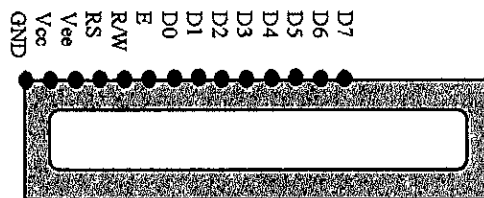


Fig.IV.3. Brochage de l'afficheur LCD.

VI.3.Réalisation de la carte

La Figure IV.4 montre le schéma de câblage du système réalisé à partir du PIC16F877. Les quatre signaux de commande d'un bras de l'onduleur sont récupérés sur le PORTD.

Le matériel minimum pour réaliser la carte de base est donc :

- 1 PIC 16F877 –20 en boîtier DIP
- 1 alimentation de 5V continu. Une simple pile plate de 4.5V peut faire l'affaire.
- 2 supports 20 broches, largeur 0.3'' « tulipe ».
- 1 Quartz 20 MHz

- 3 condensateurs non polarisés 15 pF.

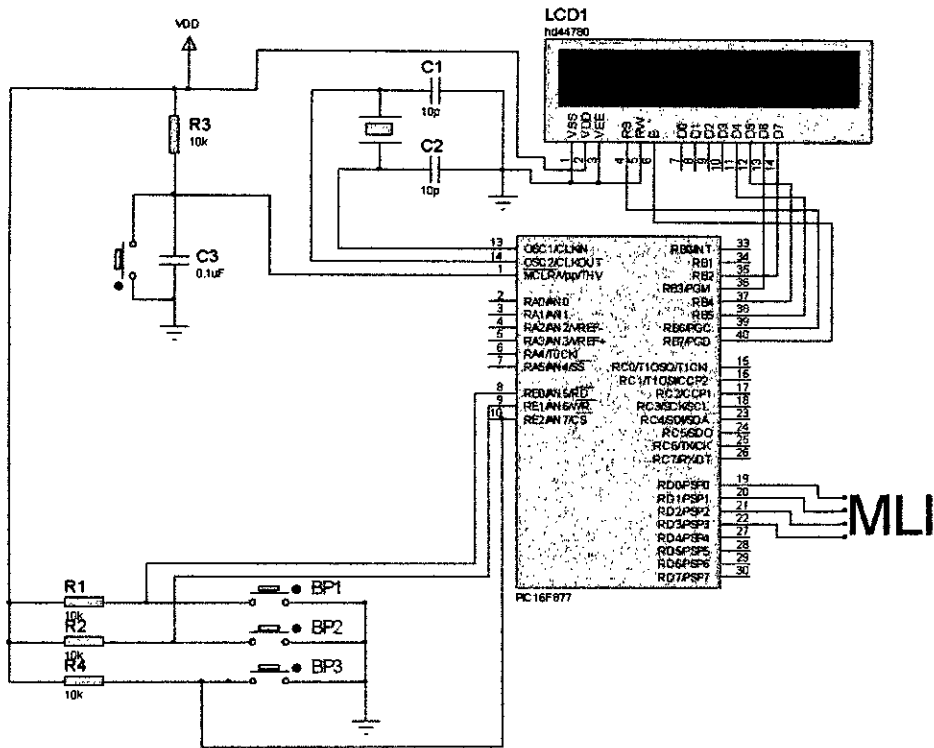


Fig.IV.4 Schéma du montage électronique.

On relie MCLR au +5V, cette pin étant utilisée pour effectuer un reset du composant en cas de connexion à la masse. La partie de la carte permettant d'effectuer ce reset est représenté dans la figure IV.5.

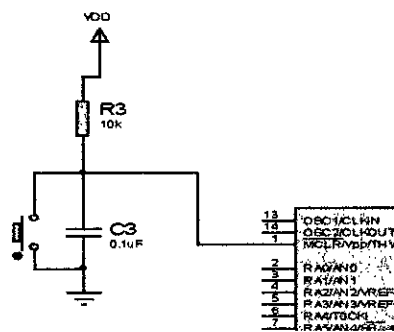


Fig.IV.5 circuit du reset.

Nous trouvons également le quartz, qui pourra être remplacé par un résonateur ou par un simple réseau RC.

Les condensateurs de découplage C1 et C2, sont de valeur de 15pF[10][11].

IV.4. LE PROGRAMME EMBARQUE

Si la carte électronique paraît ne comporter que très peu de composants, c'est que tout est basé sur le μ contrôleur. La puissance des systèmes à μ contrôleur ne réside pas seulement dans les composants, mais surtout dans le soft embarqué dans la mémoire programme. Le programme donc doit réaliser les fonctions électroniques d'acquisition, de calcul, et d'interfaçage. En conséquence, on a un système autonome ouvert sur l'environnement extérieur.

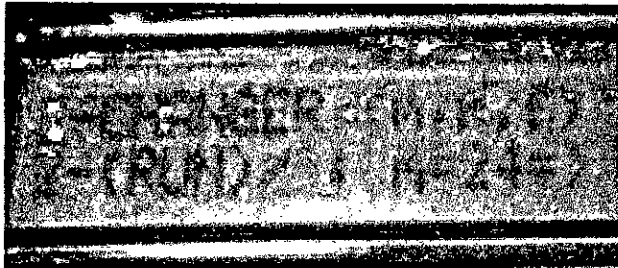
Nous allons parcourir ses fonctions dans l'ordre d'apparition dans le programme principal à travers des organigrammes illustratifs.

En plus, de la réception des ordres venant des boutons poussoirs, le programme principal "Main" contient les fonctions d'affichage qui sont : Initialisation LCD, Envoi des caractères et des commandes, Positionnement du curseur et effacement de l'écran.

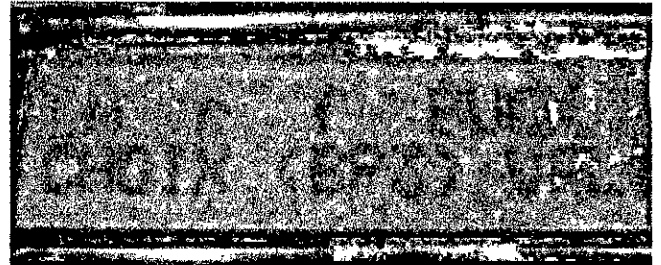
IV.4.1. Réception des Ordres et Gestion de l'Affichage

Au début du programme et après déclaration des variables, le PIC initialise les ports. Ensuite, il initialise l'afficheur LCD, et affiche le menu principal :(changement des paramètres m , r , f ; exécution), positionne le curseur sur le deuxième élément « exécution » et met une variable V à 2 ($V=2$) ce qui correspond à la position du curseur. Après cela, le programme entre dans une boucle de suite de test sur le port E où sont connectés les boutons poussoirs. Si $RE2 = 0$ (le bouton BP2 enfoncé), on a incrémentation de la variable V ($V=V+1$), déplacement du curseur vers l'élément suivant (changement des paramètres m , r , f) et test le pin $RE1$ (bouton BP1). Dans le cas contraire, $RE1=1$ c'est-à-dire il n'y a pas d'appui sur BP1 le programme test aussi $RE0$ et il refait ces deux tests tant que $RE1=1$. Quand un appui sur BP1 (pin $RE1$) est survenu ce qui met $RE1$ à zéro, le programme appelle la fonction qui correspond à la valeur de V et initialise une nouvelle variable h qui jouera le même rôle que V dans cette boucle. Cette fonction est soit l'exécution du programme de génération des signaux MLI, soit donner la main à l'opérateur pour effectuer un changement dans les valeurs de m ou de r , cette opération est faite de la même manière que la première. Le retour vers le menu principal est toujours possible il ramène le programme au point de départ c'est-à-dire :

Affichage du menu principal, positionnement du curseur sur « exécution » et de nouveau V=2 (respectivement h) et ainsi de suite.



a) le menu principal



b) menu de modification des paramètres.



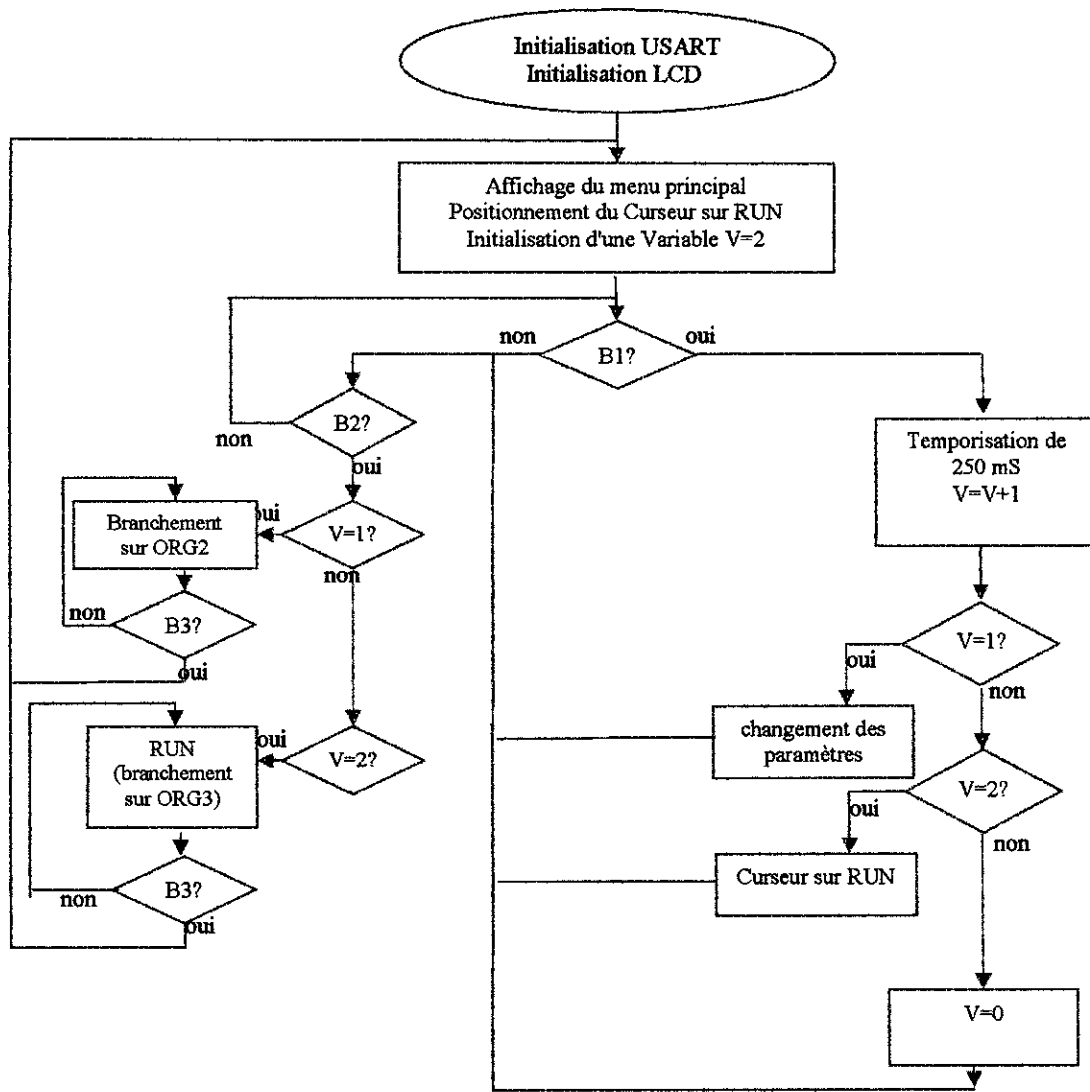
b) menu de changement de m



d) carte de simulateur d'un bras de l'onduleur

Fig.IV.6. les différents menus et la carte du simulateur d'un bras de l'onduleur.

N.B : Plus de détails concernant la réalisation de la carte du simulateur d'un bras de l'onduleur sont dans l'annexe 4.



ORG2 : Organigramme de changement des paramètres (voir page suivante).
 ORG3 : Organigramme du programme principal de génération des signaux MLI.

B1 : Le bouton RE0 Appuyé.
 B2 : Le bouton RE1 Appuyé.
 B3 : Le bouton RE2 Appuyé.

Fig.IV.7. Organigramme de réception des ordres et gestion de l'affichage (ORG 1).

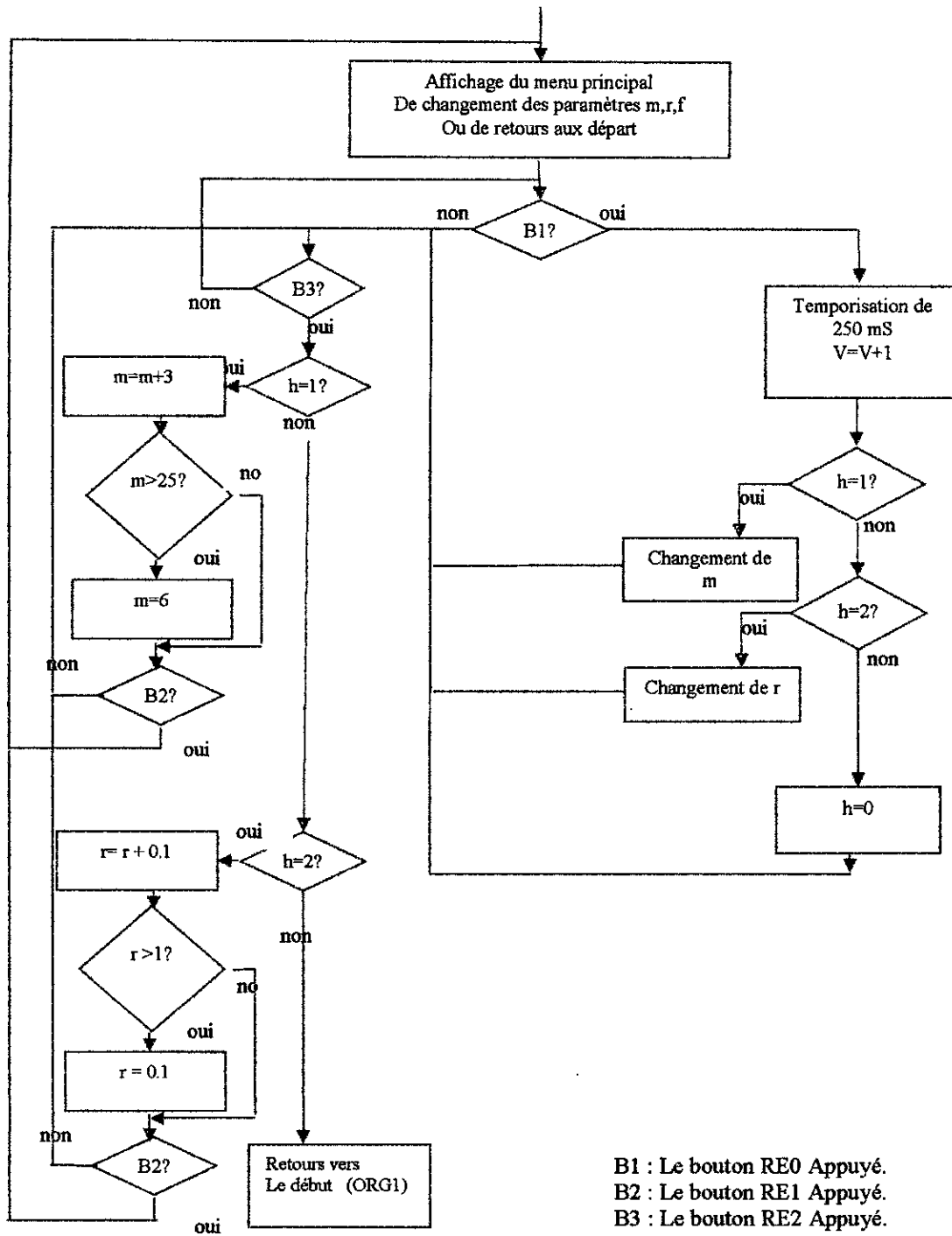


Fig.IV.8. Organigramme de sélection des valeurs de m et de r (ORG 2).

IV.4.2. Programme principal de génération des signaux

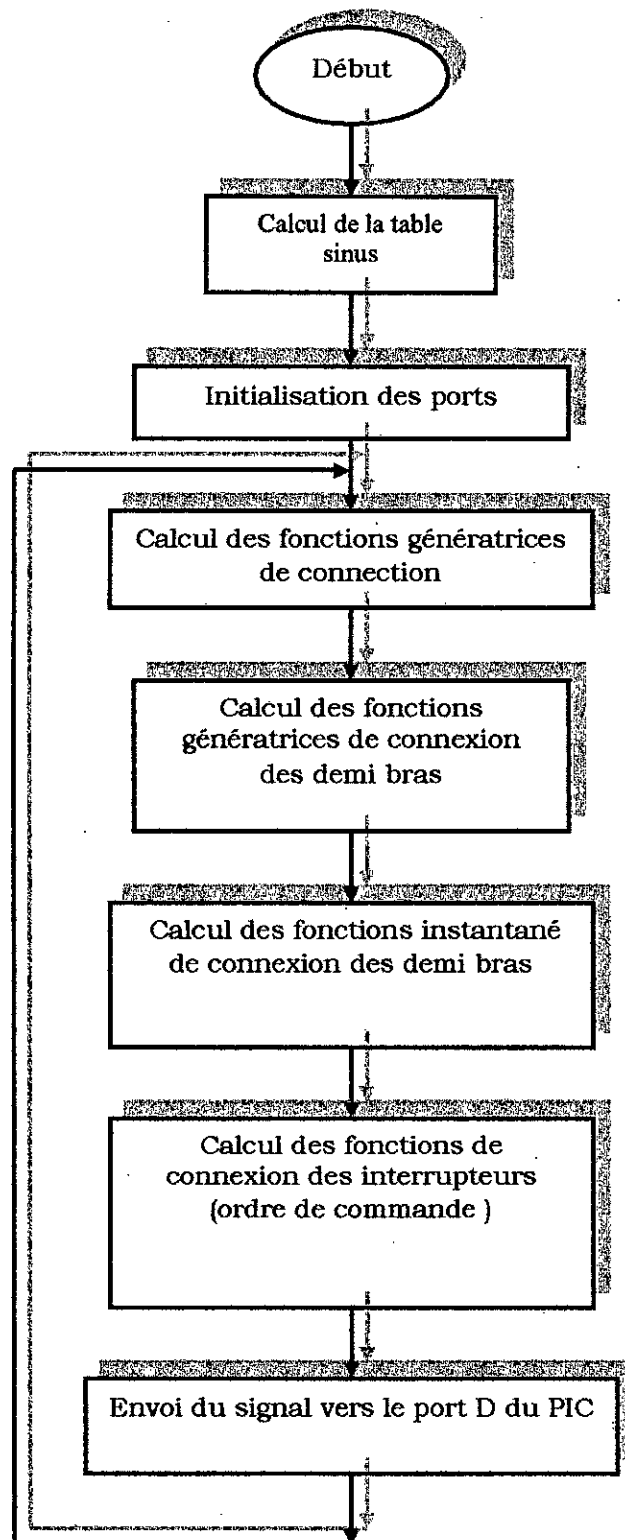


Fig.IV.9. Organigramme du programme principal (ORG 3).

IV.5. Essai de la carte électronique

La figure IV.10 représente les signaux de commande de base des IGBT de l'onduleur à trois niveaux respectivement B11 et B12, respectivement pour $m=6,9$, et 21

Durant la première demi période $B11=1$ et on module B12 et contrairement pour le reste de la période.

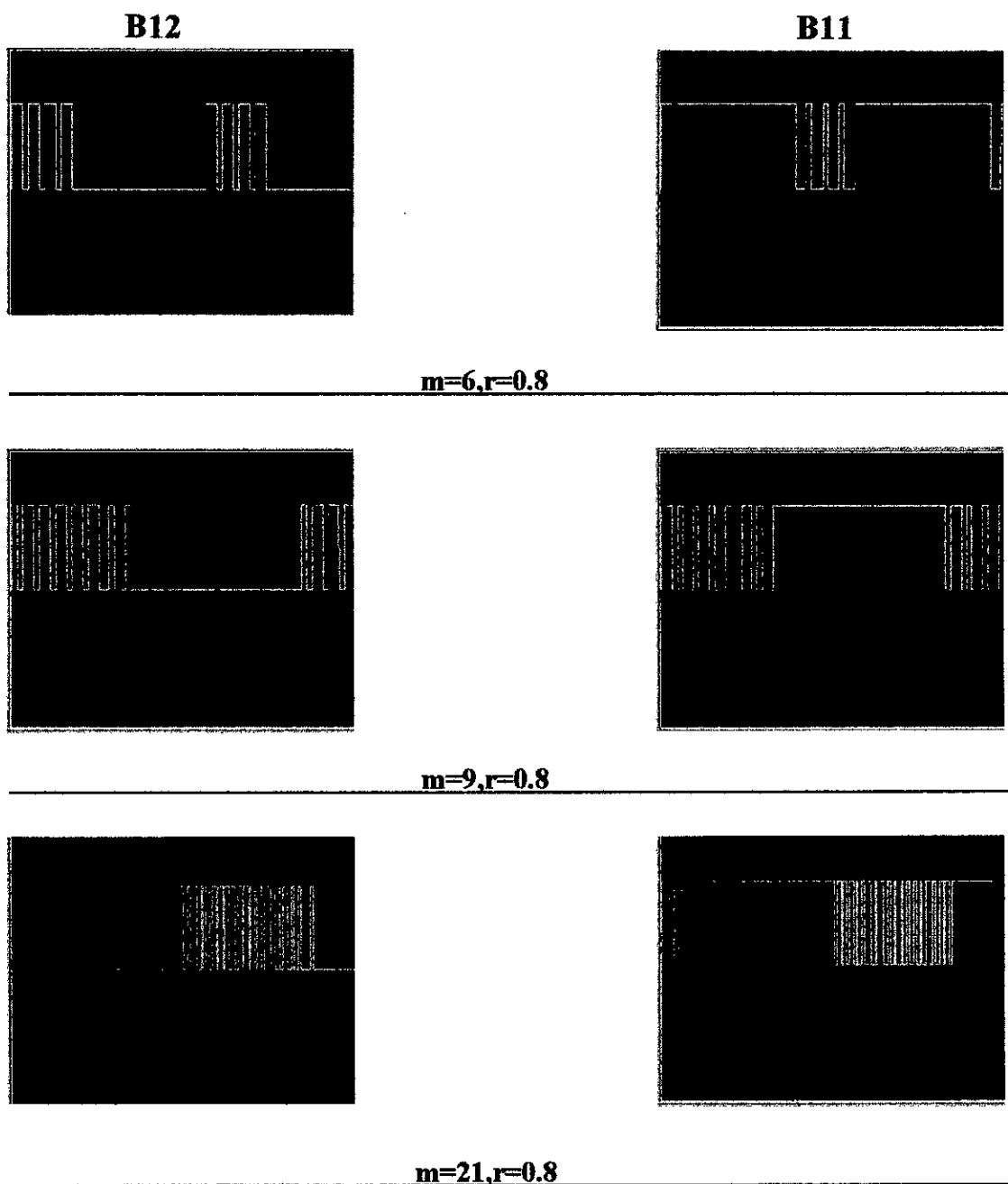
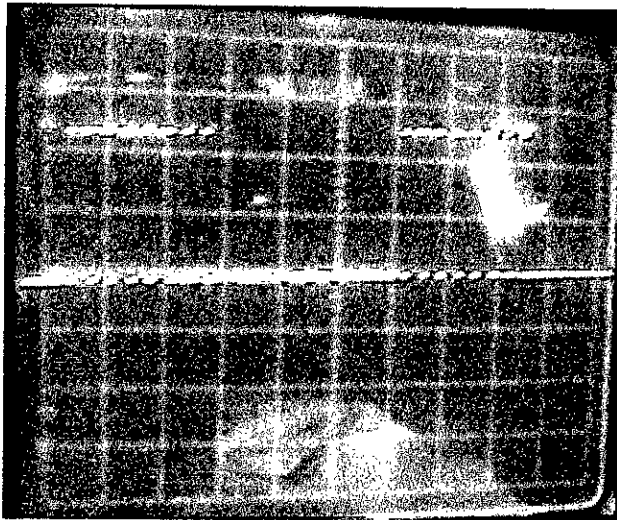
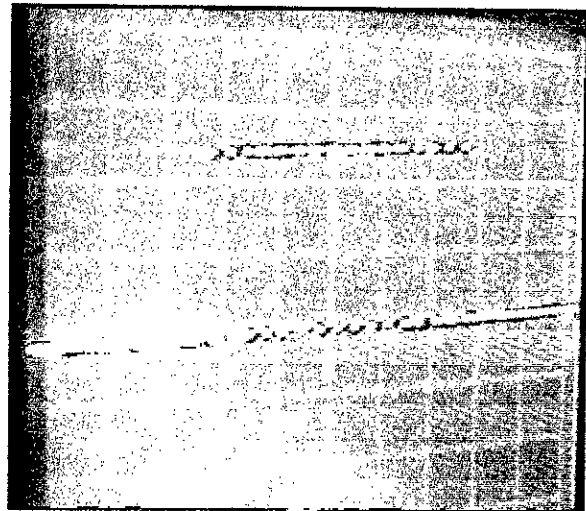


Figure IV.10. Formes d'ondes obtenues de la carte réalisée.

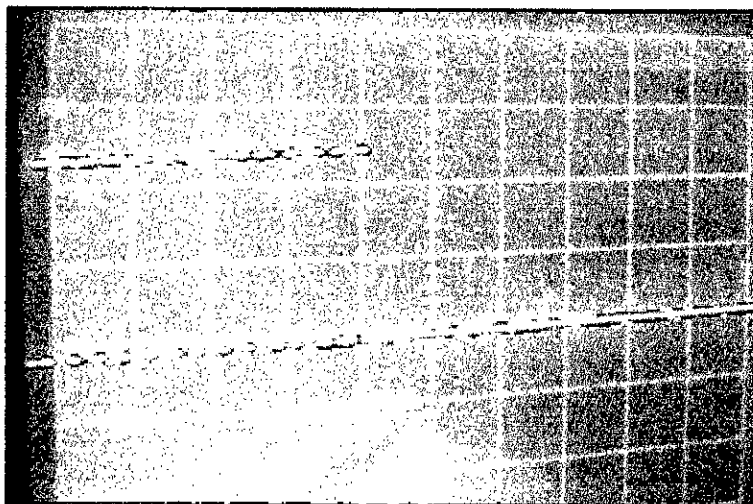
Les figures IV.11, IV.12 représente les signaux de commande de base des IGBT de l'onduleur à trois niveaux , ainsi que la tension du sortie de simulateur d'un bras de l'onduleur à trois niveau.



a) Forme de B12 pour : $m=9$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 59 Hz)

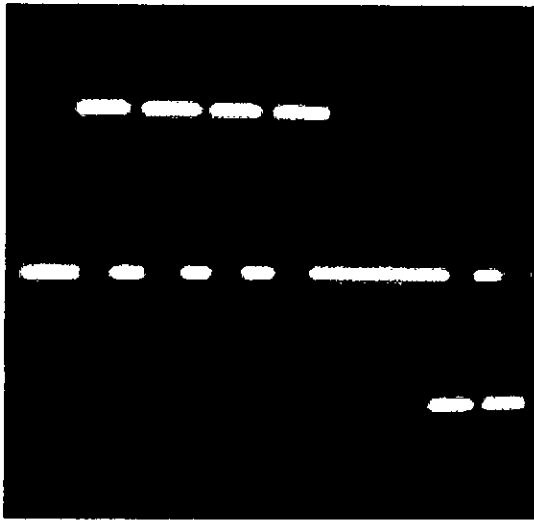


b) Forme de B12 pour : $m=18$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 29 Hz)

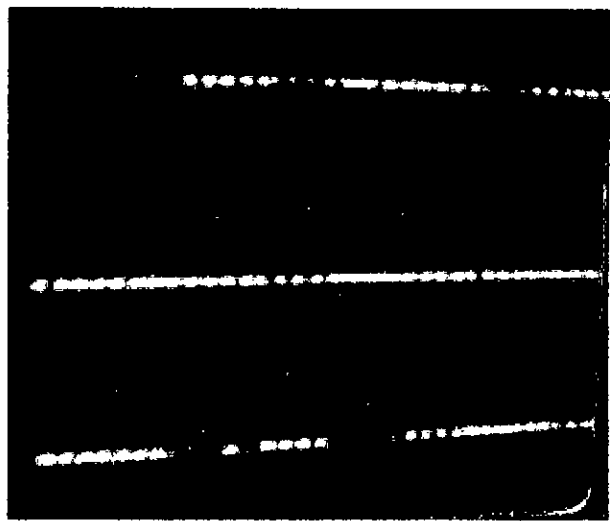


b) Forme de B12 pour : $m=21$, $r=0.9$.
(Tension 5V, fréquence du signal 25 Hz)

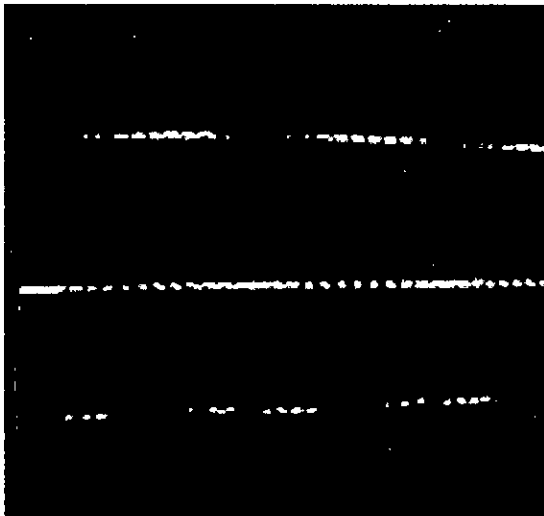
Figure IV.11 : Séquence de commande des transistors du demi bras du haut.



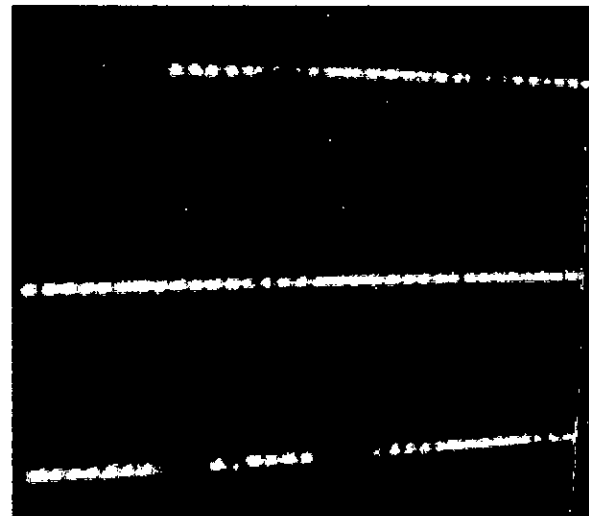
a) Tension du bras pour $m=6$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 91 Hz)



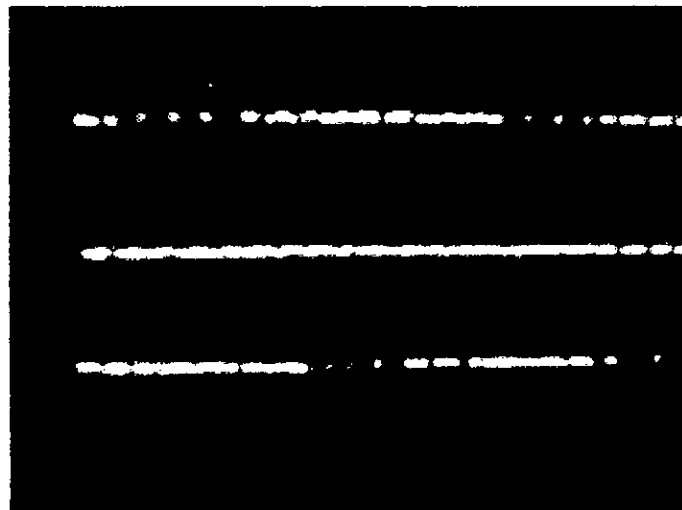
b) Tension du bras pour $m=12$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 43 Hz)



c) Tension du bras pour $m=9$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 59 Hz)



d) Tension du bras pour $m=18$, $r=0.8$.
(Tension 5V, fréquence du signal 29 Hz)



e) Tension du bras pour $m=24$, $r=0.9$.
(Tension 5V, fréquence du signal 22 Hz)

Figure IV.12 : Forme des tensions du bras.

A valeurs données de m (multiple de 3) et de r , les formes d'ondes des tensions ne diffèrent pas de celles trouvées avec la simulation, seul diffère légèrement la largeur de certains créneaux. Pour la tension du bras, on voit qu'effectivement la tension relevée contient trois niveaux.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié et détaillé l'implantation de l'algorithme de commande ainsi que la réalisation de la carte électronique pour la génération des signaux de commande MLI des IGBT de l'onduleur à trois niveaux à structure NPC.

Les résultats obtenus des essais pratiques montre que les stratégies triangulo-sinusoidale utilisant deux porteuses, peuvent être réalisé en numérique (avec échantillonnage régulier des tensions de références) et donnent de bons résultats.

L'utilisation du microcontrôleur 16F877 est justifiée par les résultats obtenus.

Conclusion générale

L'objectif principal du travail présenté dans ce mémoire est la génération d'un signal MLI en temps réel pour la commande d'un onduleur à trois niveaux, en utilisant un microcontrôleur, ainsi que la réalisation de la carte électronique de commande.

Afin d'aborder ce travail, nous avons commencé par présenter le modèle de fonctionnement de l'onduleur à trois niveaux ainsi que son modèle de commande.

Pour modéliser l'onduleur à trois niveaux, on a commencé par présenter, avec l'hypothèse de commandabilité, le modèle de commande de cet onduleur. C'est ainsi qu'on introduit la notion de fonction de connexion des demi-bras et son unique commande complémentaire possible afin d'avoir un fonctionnement totalement commandable.

Le problème qui est posé par la suite est de trouver un bon algorithme de commande qu'on peut implémenter sur un microcontrôleur. Un algorithme de commande numérique a été développé dans le deuxième chapitre. Il s'agit de la stratégie triangulo-sinusoïdale utilisant deux porteuses. Cet algorithme peut être réalisé en numérique avec un échantillonnage régulier des tensions de référence. Nous avons montré dans ce chapitre avec l'analyse spectrale de la tension simple d'un bras de l'onduleur à trois niveaux que cette stratégie permet de pousser les premières harmoniques non nulles vers les hautes fréquences et facilite aussi le filtrage.

Après les étapes de modélisation et de simulation nous sommes passé à la réalisation. Notre application a été développée en utilisant le microcontrôleur 16F877 de MICROCHIP.

Dans le quatrième chapitre, les détails de la réalisation pratique ainsi que la programmation du microcontrôleur ont été abordés et l'étude expérimentale a permis de vérifier que les formes d'ondes des signaux obtenus sont bien celles prévues à partir de la simulation.

En perspective de ce travail, nous proposons les idées suivantes :

- Implémentation d'autres algorithmes calculées.
- Optimisation des programmes.
- Réalisation de la carte de puissance de l'onduleur.

-Bibliographie-

[1].**E.M Berkouk.**

« Contribution à la conduite des machines asynchrones monophasées et triphasées alimentées par des convertisseurs directs et indirects. Application aux gradateurs et onduleurs multiniveaux. », Thèse de doctorat, C.N.A.M. Paris 1995.

[2].**GUY Segulier. JEAN Bonal**

« Entraînement électrique à vitesse variable. Interaction convertisseur-reseau et convertisseur-moteur-charge », Edition TEC & DOC, Paris, Cedex 2000.

[3], **GAAD Mohammed**

« Modélisation et réalisation d'un onduleur triphasé à trois niveaux à structure NPC. Application à la conduite de la machine asynchrone », Thèse de magistère, EMP, 2000.

[4], **Henri FOCH, François FOREST ,Thierry MEYNARD**

« Onduleur de tension, Mise en œuvre », Technique de l'ingénieur, Volume D 3 177, Traité Génie Electrique , Paris 2000.

[5], **C. Tavernier,**

« programmeur de PIC », Page Web Electronique - Christian Tavernier.2003.

[6], **C. Tavernier,**

« Applications Industrielles des PIC », Edition DUNOD, Juin 2001.

[7], [http:// www.icprog.com](http://www.icprog.com)

[8], Data-Sheet HD44780 LCD, Hitachi, Japan.

[9], [http:// www.hi-tech.com](http://www.hi-tech.com).

[10], Data-Sheet PIC16F877, Micro-Chip, USA.

[11], **Jean-Paul LOUIS,**

« commande numérique, régimes intermédiaires et transitoires », Technique de l'ingénieur, Volume D 3 643, Traité Génie Electrique , Paris 2000.

[12], **J.C. Cluley,**

« Transducers for microprocessor systems », Macmillan, Hampshire, UK, 1985.

[13],**U. Tietze et Ch. Schenk,**

« Electronic circuits: Design and Applications », Springer-Verlag, Berlin, 1991.

WEBLIOGRAPHIE

- [1] : [http:// www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [2] : [http:// www.hi-tech.com](http://www.hi-tech.com)
- [3] : [http:// www.icprog.com](http://www.icprog.com)
- [4] : [http:// www.propic2.com](http://www.propic2.com)
- [5] : [http:// www.workingtex.com](http://www.workingtex.com)
- [6] : [http:// www.eprat.com](http://www.eprat.com)
- [7] : [http:// www.developpez.com](http://www.developpez.com)
- [8] : [http:// www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [9] : [http:// www.abcelectronique.com](http://www.abcelectronique.com)
- [10]: [http:// www.efrance.fr/labibledupic16f84](http://www.efrance.fr/labibledupic16f84).
- [11]: [http:// digit8.free.fr](http://digit8.free.fr)

ANNEXE 1

Contenue du CD ROM

Logiciels :

Il contient les différents logiciels utilisés pour la réalisation de ce travail.

-Eagle 3.55 : pour la réalisation des circuits imprimés.

-ICI-PROG : présenté dans le chapitre II de ce mémoire.

-MPLAB 5.3 : présenté dans le chapitre II de ce rapport.

-WORKBENCHE 5.12 : pour la simulation des circuits électroniques.

Compilateurs :

Il contient le compilateur C et ses fichiers d'aide.

Datasheet :

Il contient les DATASHEET du 16F877 et de l'afficheur LCD.

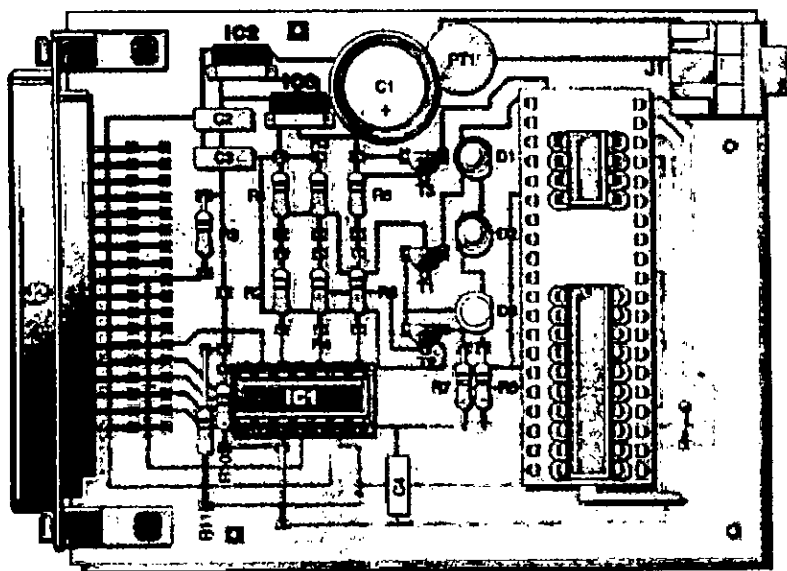
Doc-PIC :

Il contient des documentations sur les PIC et des applications.

LCD :

Il contiens des documentations sur les afficheurs LCD.

ANNEXE 2



A2.2. Implantation des composants pour la réalisation

Liste des composants :

Semi-conducteurs

IC1 : 7406 ou 74LS06

IC2 : 78L05

IC3 : 78L08

PT1 : pont moulé 100 volts 1 ampère

D1, D2 : LED rouge de 5 mm

D3 : LED verte de 5 mm

T1, T2, T3 : BC 557, 558, 559

Résistances 1/2 ou 1/4 de watt 5 %

R1, R2, R3, R4, R5, R6 : 4,7 kohms (jaune, violet, rouge)

R7 : 680 ohms (bleu, gris, marron)

R8 : 1 kohm (marron, noir, rouge)

R9, R10, R11 : 10 kohms (marron, noir, orange)

Divers

J1 : jack mâle 2,1 mm pour circuit imprimé

J2 : connecteur Centronics femelle coudé à 90° pour circuit imprimé

Support de CI : 1 x 14 pattes

Support de programmation, option économique : 1 x 8 pattes, 1 x 20 pattes, 2 x bandes à souder 40 pattes, tout en contacts tulipes.

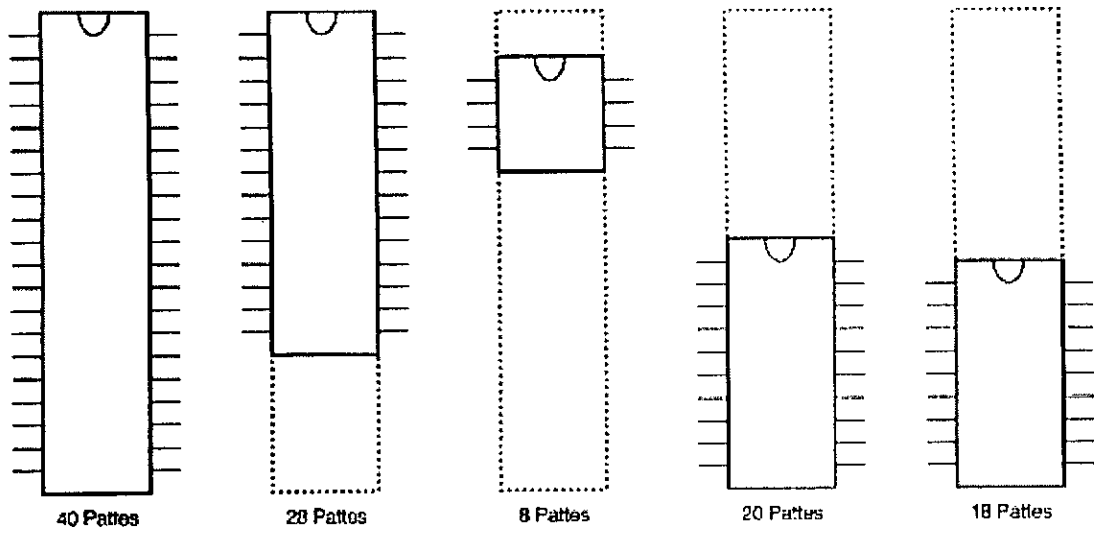
Support de programmation, option " pro " : 1 support 3M (Textool) référence 240-6182-00-0605

Condensateurs

C1 : 470 μ F 35 volts chimique radial

C2, C3 : 100 nF mylar

C4 : 330 pF céramique



A2.3. Indication de position pour les différents types de circuit

ANNEXE 3

Le jeu d'instructions

Cette fiche sur la programmation des PIC devrait vous permettre de mieux le programmer, sans trop vous fatiguer. Elle reprend les combinaisons les plus courantes pour les traduire en une ou plusieurs instructions du PIC.

Pour cela j'use d'annotations inspirées de langages plus évolués :

- **W** : l'accumulateur du PIC.
- **a** : une constante.
- **M,M1,M2** : des adresses en RAM

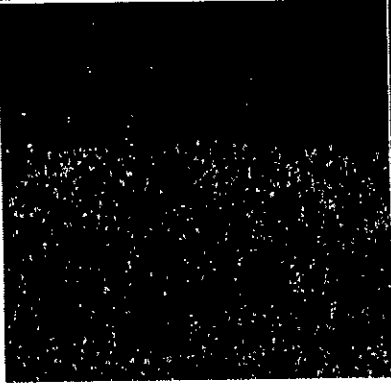
W=0		CLRW
M=0		CLRF M
W=a		MOVLW a
M=a	W=a M=W	MOVLW a MOVWF M
M=W		MOVWF M
W=M		MOVF M,W
M1=M2	W=M2 M1=W	MOVF M2,W MOVWF M1
Addition		
W=W+1		ADDLW 1
M=W+1	W=W+1 M=W	ADDLW 1 MOVWF M
W=M+1		INCF M,W
M=M+1		INCF M,F
W=W+a		ADDLW a
M=W+a	W=W+a M=W	ADDLW a MOVWF M
W=M+a	W=a W=W+M	MOVLW a ADDWF M,W
M=M+a	W=a M=W+M	MOVLW a ADDWF M,F
W=W+M		ADDWF M,W
M=W+M		ADDWF M,F
W=M1+M2	W=M2 W=W+M1	MOVF M2,W ADDWF M1,W
M1=M1+M2	W=M2 M1=W+M1	MOVF M2,W ADDWF M1,F

W=W		SUBLW 0
M=W	W=W M=W	SUBLW 0 MOVWF M
W=M	W=M W=W	MOVF M,W SUBLW 0
M1=M2	W=M2 W=W M1=W	MOVF M2,W SUBLW 0 MOVWF M1
W=W-1	W=W+ (-1)	ADDLW 0xFF
M=W-1	W=W+ (-1) M=W	ADDLW 0xFF MOVWF M
W=M-1		DECF M,W
M=M-1		DECF M,F
W=W-a	W=W+ (-a)	ADDLW -a
M=W-a	W=W+ (-a) M=W	ADDLW -a MOVWF M
W=a-W		SUBLW a
M=a-W	W=a-W M=W	SUBLW a MOVWF M
W=M-a	W=a W=M-W	MOVLW a SUBWF M,W
M=M-a	W=a M=M-W	MOVLW a SUBWF M,F
W=a-M	W=M W=a-W	MOVF M,W SUBLW a
M=a-M	W=M W=a-W M=W	MOVF M,W SUBLW a MOVWF M
W=W-M	W=M-W W=W	SUBWF M,W SUBLW 0
M=W-M	W=M-W W=W M=W	SUBWF M,W SUBLW 0 MOVWF M
W=M-W		SUBWF M,W
M=M-W		SUBWF M,F
W=M1-M2	W=M2 W=M1-W	MOVF M2,W SUBWF M1,W
M1=M1-M2	W=M2 M1=M1-W	MOVF M2,W SUBWF M1,F
M2=M1-M2	W=M2 W=M1-W M2=W	MOVF M2,W SUBWF M1,W MOVWF M2
W=W OU a		IORLW a

M=W OU a	W=W OU a M=W	IORLW a MOVWF M
W=M OU a	W=M W=W OU a	MOVF M,W IORLW a
M=M OU a	W=a M=M OU W	MOVLW a IORWF M,F
W=W OU M		IORWF M,W
M=W OU M		IORWF M,F
W=M1 OU M2	W=M2 W=W OU M1	MOVF M2,W IORWF M1,W
M1=M1 OU M2	W=M2 M1=W OU M1	MOVF M2,W IORWF M1,F
Opération Logique ET (AND)		
W=W ET a		ANDLW a
M=W ET a	W=W ET a M=W	ANDLW a MOVWF M
W=M ET a	W=M W=W ET a	MOVF M,W ANDLW a
M=M ET a	W=a M=M ET W	MOVLW a ANDWF M,F
W=W ET M		ANDWF M,W
M=W ET M		ANDWF M,F
W=M1 ET M2	W=M2 W=W ET M1	MOVF M2,W ANDWF M1,W
M1=M1 ET M2	W=M2 M1=W ET M1	MOVF M2,W ANDWF M1,F
Opération Logique OU-Exclusif (XOR)		
W=W XOR a		XORLW a
M=W XOR a	W=W XOR a M=W	XORLW a MOVWF M
W=M XOR a	W=M W=W XOR a	MOVF M,W XORLW a
M=M XOR a	W=a M=M XOR W	MOVLW a XORWF M,F
W=W XOR M		XORWF M,W
M=W XOR M		XORWF M,F
W=M1 XOR M2	W=M2 W=W XOR M1	MOVF M2,W XORWF M1,W
M1=M1 XOR M2	W=M2 M1=W XOR M1	MOVF M2,W XORWF M1,F
Opération Logique NON (NOT)		

W=NOT W		XORLW 0xFF	
M=NOT W	W=NOT W M=W	XORLW 0xFF MOVWF M	
W=NOT M		COMF M,W	
M=NOT M		COMF M,F	
M1=NOT M2	W=NOT M2 M1=W	COMF M,W MOVWF M1	
W(b)=0		ANDLW B'11111111' avec le bit b à 0	Si vous avez plusieurs bits à modifier, il est préférable d'utiliser la fonction OU ou ET.
M(b)=0		BCF M,b	
W(b)=1		IORLW B'00000000' avec le bit b à 1	
M(b)=1		BSF M,b	
Saut vers Label		GOTO Label	
Appel de la fonction Label		CALL Label	
Retour d'une fonction		RETURN	
Retour d'une fonction avec résultat	W=a RETURN	RETLW a	
<p>Remarque : Pour simplifier le tableau, lorsque la condition est vraie, on exécute un saut (GOTO) mais vous pouvez le remplacer par un appel à une fonction (CALL) ou par une ligne de code et une seule.</p>			
si M(b) = 1 goto Label		BTFSC M,b GOTO Label	
si M(b) = 0 goto Label		BTFSS M,b GOTO Label	
M=M-1 si M > 0 goto Label		DECFSZ M,F GOTO Label	
W=M-1 si W > 0 goto Label		DECFSZ M,W GOTO Label	
M=M+1 si M < 256 goto Label		INCFSZ M,F GOTO Label	
W=M+1 si M < 256 goto Label		INCFSZ M,W GOTO Label	

Res représente le résultat de la dernière instruction.		
si Res = 0 goto Label		BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si Res < 0 goto Label		BTFS S STATUS,Z GOTO Label
Après les instructions SUBWF ou SUBLW , vous pouvez tester :		
si Res < 0 goto Label		BTFS S STATUS,C GOTO Label
si Res >= 0 goto Label		BTFS C STATUS,C GOTO Label
Après les instructions ADDWF ou ADDLW , vous pouvez tester :		
si Res > 255 goto Label		BTFS C STATUS,C GOTO Label
si Res <= 255 goto Label		BTFS S STATUS,C GOTO Label
Autres cas courants (Pour faire le saut lorsque la condition est fausse : remplacer BTFS C par BTFS S)		
si W = 0 goto Label	W = W + 0 si Res = 0 goto Label	ADDLW 0 BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si M = 0 goto Label	W=M si Res = 0 goto Label	MOVF M,W BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si W = a goto Label	W = a - W si Res = 0 goto Label	SUBLW a BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si M = a goto Label	W = a W = M - W si Res = 0 goto Label	MOVLW a SUBWF M,W BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si W = M goto Label	W = M - W si Res = 0 goto Label	SUBWF M,W BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si M1 = M2 goto Label	W = M2 W = M1 - W si Res = 0 goto Label	MOVF M2,W SUBWF M1,W BTFS C STATUS,Z GOTO Label
si M < 0 goto Label		BTFS C M,7 GOTO Label
si M >= 128 goto Label		BTFS C M,7 GOTO Label
si W <= a goto Label	W = a - W si Res >= 0 goto Label	SUBLW a BTFS C STATUS,C GOTO Label

si M >= a goto Label	W = a W = M - W si Res >= 0 goto Label	MOVLW a SUBWF M,W BTFS STATUS,C GOTO Label	
si W <= M goto Label	W = M - W si Res >= 0 goto Label	SUBWF M,W BTFS STATUS,C GOTO Label	
si M1 >= M2 goto Label	W = M2 W = M1 - W si Res >= 0 goto Label	MOVF M2,W SUBWF M1,W BTFS STATUS,C GOTO Label	
Rotation droite avec retenue		RLF M,W ou RLF M,F	
Rotation gauche avec retenue		RRF M,W ou RRF M,F	
Pas d'action		NOP	
Permutation		SWAPF M,W ou SWAPF M,F	
Clear Watchdog		CLRWDT	
Mode sleep		SLEEP	

Page <http://fribotte.free.fr/bdtech/picnu/PicFicheAide.html> modifiée le 22/12/2000.
 Copyright fribotte@free.fr, libre de droit pour toute utilisation non commerciale.
 Reproduction autorisée par simple mail

ANNEXE 4

Réalisation d'un simulateur analogique d'un bras d'onduleur à trois niveaux.

Le simulateur analogique d'un bras d'onduleur à trois niveaux est un circuit équivalent à un bras d'onduleur réel. Son rôle est de tester le circuit de commande MLI réalisé. Donc il suffit d'injecter les impulsions des interrupteurs B11, B12 d'un bras d'onduleur pour visualiser l'image de la tension de sortie V_a ,

$$V_a = B11 \cdot B12 (Uc1) - B13 \cdot B14 (Uc2).$$

Nous supposons que $Uc1 = Uc2$.

$$\text{Donc } V_a = (B11 \cdot B12 - B13 \cdot B14) Uc1.$$

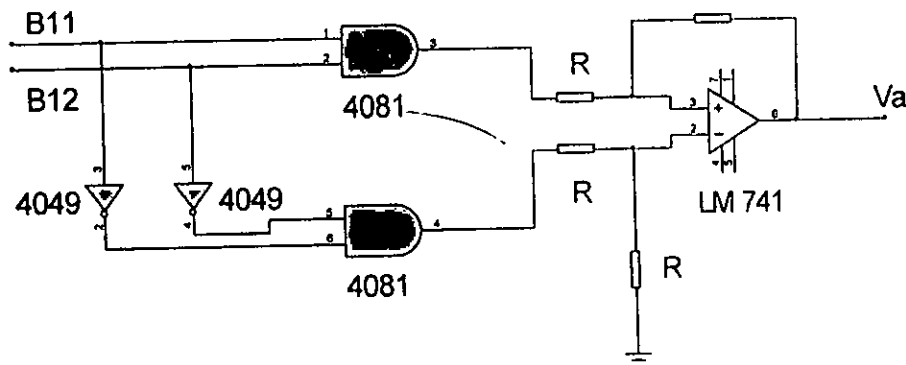


Figure A4.1 : Simulateur analogique d'un bras d'onduleur à trois niveaux.

المفاتيح:

موجة ذو ثلاث أطوار، pwm، ناظم تحكيمي مصغر.

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى برمجة ناظم تحكيمي مصغر من نوع 16F877 بخوارزمية PWM لتسير عمل موجة ذو ثلاثة أطوار، لهذا الغرض، قمنا بتعريف نموذج التحكم الخاص بالموجة ذو الثلاثة أطوار ثم قمنا بالتجريب التظاهري للخوارزمية، لنختم هذا العمل بعملية البرمجة وعرض النتائج التطبيقية المحصل عليها.

Mots Clés:

onduleur à trois niveaux , stratégie de modulation de largeur d'impulsion, microcontrôleur.

Résumé:

Ce travail a pour but l'implémentation sur un microcontrôleur d'une MLI calculé pour un onduleur à trois niveaux à structure NPC. Pour cela, nous avons commencé par l'étape de modélisation, puis nous sommes passés à la simulation d'un algorithme de commande développé. Et finalement l'implémentation de l'algorithme et la présentation des résultats expérimentaux obtenus.

Key Words:

Three-level voltage inverter, PWM strategies; microcontroller.

Abstract:

This work has for goal the implementation on a microcontroller of a calculated PWM for a three levels inverter. That's why we started with the stage of modeling the inverter, and then we passed to the simulation of the order algorithm developed. And finally the implementation of the algorithm and the experimental result presentation.