

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
MEMOIRE DE MASTER
Réalisé par :
OKBAOUI Sidiali & CHAIN Moncef
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Electronique
Option : Instrumentation

Réalisation et commande d'un onduleur triphasé à deux niveaux

Soutenu devant le jury composé de :

Mme. CHOUIREB Fatima	Professeur	U. Laghouat	Président
Mr. AMEUR Aissa	Professeur	U. Laghouat	Examineur
Mr. AMEUR Khaled	MCB	U. Laghouat	Encadreur
Mr. BALKHEIRI Ahmed	MCB	U. Laghouat	Co-Encadreur

Année Universitaire 2018/2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents :

Ma mère, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

OKBAOUI Sidiiali

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents :

Ma mère, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

CHAIN Moncef

Remerciement

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce mémoire par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de la préparation de ce mémoire, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce mémoire un moment très profitable.

Nous remercions notre encadreur Dr. Khaled AMEUR et Dr. BELKHEIRI Ahmed qu'ils nous ont dirigé pour réaliser ce mémoire. Nous remercions, aussi, l'ensemble des enseignants du department d'électronique.

ملخص

ان اكبر ضرر يصيب المموجات هو الحصول على جهد او تيار غير الجيبي عند المخرج (غني بالتشوهات). هذا الاخير يؤثر سلبا في بعض انواع الحمولات التي تحتاج الي جهد وتيار ذوي تموج جيبي حتى تشتغل بصورة جيدة ،وهذا ما يسبب ضياع كبير في الطاقة والتي تتحول الى طاقة حرارية .

لحل هذا الاشكال عدة أبحاث أجريت من بينها استخدام تقنية تعديل عرض النبضة (PWM)، التي تعتبر من احدث التقنيات المستعملة للتحكم في المموج ثلاثي الطور.

العمل الذي قمنا به هو انشاء مموج ثلاثي الطور والتحكم فيه باستعمال تقنيتين مختلفتين : تعديل عرض النبضة الجيبي (PWMS)، وتعديل عرض النبضة الشعاعي (SVM).

الكلمة المفتاحية :

الالكترونيك الاستطاعة - المموج - التشوهات - تعديل عرض النبضة الجيبي (PWMS)، - تعديل عرض النبضة الشعاعي (SVM).

Résumé :

L'inconvénient principal des les onduleur est l'obtention d'une tension non sinusoïdale à la sortie (Riche en distorsions Harmonique). Ce problème influe négativement sur toutes les charges branchées à sa sortie et principalement les moteurs qui sont conçus pour fonctionner avec une tension alternative sinusoïdale, cela engendre des pertes additionnelles (aux niveaux des bobinages pour les moteurs), en plus du rendement qui diminue sensiblement et l'échauffement souvent important et nuisible pour l'isolation.

Pour résoudre ce problème, plusieurs travaux ont été réalisés. Parmi ces travaux, on distingue l'utilisation des onduleurs commandés par la technique de Modulation de la largeur d'Impulsion (PWM) qui devient l'une des méthodes les plus utilisées pour obtenir une tension sinusoïdale.

Dans ce travail on a réalise et commandé un onduleur triphasé à 2 niveaux avec deux technique différentes : PWMS et SVM . Les essais de simulation sont réalisés sous MATLAB Simulink. Les résultats obtenus ont montré une nette réduction de la Distorsion Harmonique Totale (THD).

Mots clés :

Electronique de puissance - Onduleur - THD - PWMS - SVM .

Table des matières

Introduction générale	1
1 les onduleur à deux niveaux	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition des onduleurs :	4
1.3 Les différents types d'onduleur	4
1.3.1 Onduleur autonome :	4
1.3.1.1 Onduleur de courant :	5
1.3.1.2 Onduleur de tension :	5
1.3.2 Onduleur non autonome :	5
1.4 Les applications des onduleurs :	5
1.4.1 Applications :	6
1.4.1.1 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone :	6
1.4.1.2 Alimentation de secours :	6
1.4.1.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes :	7
1.5 Analyse harmonique de la tension de sortie de l'onduleur :	7
1.5.1 Origine des harmoniques :	7
1.5.2 Mode de représentation ; le spectre en fréquence :	7
1.5.3 Les harmoniques mesurés en pratique :	8
1.5.4 Caractérisation des perturbations harmoniques :	8
1.6 Principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé :	9
1.6.1 Onduleur en demi-pont :	9
1.6.1.1 Commande pleine onde d'onduleur en demi-pont :	10
1.6.2 Onduleur monophasé en pont :	11

1.6.2.1	commande pleine onde d'onduleur monophasé en pont : . . .	11
1.6.2.2	Commande décalée d'onduleur monophasé en pont : . . .	13
1.7	Structure de l'onduleur triphasé :	15
1.7.1	La Commande en pleine onde (180°) :	16
1.8	Conclusion	19
2	Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)	20
2.1	Commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI) :	20
2.2	Principe de base de MLI :	21
2.2.1	Caractéristiques de la modulation :	21
2.2.2	Différentes techniques de modulation de longueur d'impulsions : . . .	23
2.3	Simulation de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur monophasé en pont :	25
2.4	Simulation de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur triphasé : . .	26
2.5	La modulation vectorielle(SVPWM) :	28
2.5.1	Le principe de la modulation vectorielle(SVPWM) :	30
2.5.1.1	La transformation de clarcke :	31
2.5.1.2	Les configurations possibles :	33
2.5.1.3	Le vecteur de tension désirée :	34
2.6	Simulation de la commande SVPWM d'onduleur triphasé :	37
2.7	Conclusion	39
3	La realisation pratique de l'onduleur	40
3.1	Introduction :	40
3.2	Présentation de la plate-forme :	40
3.3	Schéma synoptique de l'onduleur :	41
3.4	Présentation de la carte DSPACE 1103 :	41
3.4.1	Composition de la carte DS 1103 :	43
3.4.2	Domaine d'application de la carte DS1103 :	44
3.5	Carte d'isolation :	44
3.6	Carte de commande SEMIKRON SKHI 23/12 :	45
3.7	Application des techniques de commande :	48
3.7.1	Commande 180° (pleine onde) :	48

3.7.2	Commande SPWM :	49
3.7.3	Commande SVPWM :	53
3.7.4	Conclusion :	56
	Conclusion générale	57
	Bibliographie	59
	Annexes	61

Table des figures

1.1	Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC) . . .	4
1.2	Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone	6
1.3	Alimentation de secours	6
1.4	Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes	7
1.5	Spectre d'harmonique d'un signal électrique donné.	8
1.6	Onduleur en demi-pont	10
1.7	tension de sorte et les Spectre d'onduleur en demi-pont	11
1.8	Commande d'onduleur monophasé en pont de tension, et la forme de tension V_{a0}	12
1.9	tension de sorte et les Spectre de commande pleine onde d'onduleur monophasé en pont	13
1.10	commande décalée d'onduleur monophasé en pont	13
1.11	tension de sorte et les Spectre de commande décalée d'onduleur monophasé en pont	14
1.12	Structure d'un onduleur triphasé	15
1.13	les tensions simples à la sortie de l'onduleur	16
1.14	les signaux des interrupteurs	17
1.15	les tensions composées à la sortie de l'onduleur	17
1.16	tension de sorte et les Spectre de la Commande en pleine onde (180°) . . .	18
2.1	Schéma synoptique de la M.L.I	21
2.2	Schéma synoptique de la commande en MLI (triphase)	23
2.3	MLI sinusoidal triangulaire unipolaire	24
2.4	La modulation sinusoidale modifie	24
2.5	La modulation sinusoidale avec porteuse bidirectionnelle	24

2.6	onduleur monophasé en pont	25
2.7	Résultats de Simulation de la commande (SPWM) d'onduleur monophasé en pont	26
2.8	onduleur triphasé avec commande (SPWM)	27
2.9	Résultats de Simulation de la commande (SPWM) d'onduleur triphasé . .	28
2.10	Schéma simplifié de l'onduleur triphasé à deux niveaux	29
2.11	Emplacement des huit vecteurs stationnaires pour un onduleur de tension à deux-niveaux	30
2.12	transformation de clarcke	31
2.13	Les vecteurs de tension de sortie dans le plan ($\alpha;\beta$)	33
2.14	Tensions simples de référence	34
2.15	Tensions V_α et V_β	34
2.16	Schéma de principe de la SVPWM.	35
2.17	Représentation du vecteur de référence et calcul des temps de commutation	36
2.18	Les temps de commutation pour chaque semi-conducteur dans chaque secteur	37
2.19	onduleur triphasé avec commande (SVPWM)	38
2.20	Résultats de Simulation de la commande SVPWM d'onduleur triphasé . .	39
3.1	Présentation de la plate forme	40
3.2	schéma synoptique de l'onduleur	41
3.3	Constitution de l'interface série de la dsPACE 1103	42
3.4	Les différentes entrées/sorties de la dsPACE 1104	43
3.5	Image de la carte d'isolation réalisée	44
3.6	La plate forme du Onduleur triphasé réalisé	45
3.7	Carte de commande SEMIKRON SKHI 23/12	45
3.8	connexions de la SKHI 23	47
3.9	Commande pleine onde	48
3.10	Tensions simples V_a à la sortie de l'onduleur (commande pleine onde). . . .	48
3.11	Tension composée U_{ab} à la sortie de l'onduleur (commande pleine onde) . .	49
3.12	Schéma bloc de commande SPWM	49
3.13	Signaux de commande S_a et S_a' de l'onduleur (commande SPWM)	50
3.14	Tensions simples V_a à la sortie de l'onduleur (commande SPWM)	50

3.15 SPWM : Résultats expérimentaux de la tension simples V_a de charge filtrée numériquement	51
3.16 Tension composée U_{ab} à la sortie de l'onduleur (commande SPWM)	51
3.17 SPWM : Résultats expérimentaux de la tension composée U_{ab} de charge filtrée numériquement	52
3.18 Schéma bloc de commande SVPWM	53
3.19 Signaux de commande S_a et S_a' de l'onduleur (commande SVPWM)	53
3.20 Tensions simples V_a à la sortie de l'onduleur (commande SVPWM).	54
3.21 SVPWM : Résultats expérimentaux de la tension simples V_a de charge fil- trée numériquement	54
3.22 Tension composée U_{ab} à la sortie de l'onduleur (commande SVPWM) . . .	55
3.23 SVPWM : Résultats expérimentaux de la tension composée U_{ab} de charge filtrée numériquement	55
3.24 Le premier onduleur a été créé	68
3.25 Catre d'isolation	68
3.26 Optocoupleur (HCPL-2200)	69
3.27 DRIVER IR2111	69
3.28 Schéma de Catre d'isolation avec composant	70
3.29 Schéma de Catre d'isolation	70
3.30 Capacité (système de filtrage)	71
3.31 onduleur triphasé	71
3.32 chima complet d premier onduleur triphasé réalise	72
3.33 chima complet d deuxième onduleur triphasé réalise	72

Liste des tableaux

1.1	Commande en plaine onde (180^0)	16
2.1	Calcul des vecteurs de tensions	33
3.1	Caractéristique de la carte SEMIKRON SKHI 23/12	47
3.2	Réglage du temps de verrouillage	47

Introduction générale

Ces dernières années, les convertisseurs statiques sont de plus en plus exploités dans des applications diverses. On les retrouve dans des applications domestiques, le transport ferroviaire, urbain ou maritime, et même dans plusieurs industries.

Les dernières décennies ont été marquées par des avancées technologiques dans le domaine de l'électronique de puissance. L'apparition de nouveaux composants d'électronique de puissance, qui fonctionnent à des fréquences très élevés, a permis d'améliorer la qualité de signaux générés par les convertisseurs conçus de ces composants.

Dans le domaine des machines électriques monophasées ou triphasées, l'alimentation par une source de tension sinusoïdale joue un rôle prépondérant. L'obtention d'une tension sinusoïdale dépend de la structure d'onduleur utilisé et la stratégie de commande adoptée. La méthode la plus classique et simple pour générer une tension alternative est basé sur l'utilisation de la structure d'onduleur à deux niveaux (monophasé ou triphasé) commandé par la technique Pleine-Onde. Le signal de sortie a une forme carré riche en harmoniques et surtout celles de rangs faibles avec amplitudes importantes qui ont un effet indésirable sur les appareils et charges électriques. Le filtrage de ces harmoniques est difficile avec un filtre LC de premier ordre. L'utilisation d'un filtre d'ordre supérieur augmente les dimensions de l'onduleur et rendre la structure un peu complexe, et mêmes les performances de ce type de filtre restent insuffisantes.

Afin de générer une tension d'alimentation la plus sinusoïdale que possible (avec des bonnes performances spectrales) sans l'utilisation d'un filtre d'ordre supérieur à 1, différentes stratégies de modulation de largeur d'impulsions (MLI ou PWM en Anglo-Saxon) ont été proposées à savoir : la modulation Sinus-Triangle SPWM, et la modulation vectorielle SVPWM. Elles consistent à adopter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et à former chaque alternance de la tension de sortie d'une succession de créneaux de largeur convenable. La modulation vectorielle est

reconnue comme étant la plus performante et la plus utilisée dans l'industrie.

Ces stratégies ont pour objectif d'éliminer certains rangs d'harmoniques, ainsi la réduction des perturbations conduites par les convertisseurs statiques, pour assurer un bon contrôle et une réponse dynamique élevée de récepteur.

Dans ce travail on va réaliser et commander un onduleur triphasé à deux niveaux par les stratégies mentionnées ci-dessus.

Le premier chapitre sera consacré à la description des onduleurs à deux niveaux, leurs structures et fonctionnement, et les harmoniques engendrés par ces onduleurs quand ils sont commandés par la stratégie Plein-Onde. Dans le deuxième chapitre, on va présenter et appliquer les deux stratégies de commandes MLI (SPWM et SVPWM) sur les structures d'onduleurs cités dans le premier chapitre. Après une description générale de ces techniques de commande pour les différentes structures étudiées, des simulations seront faites ainsi le calcul de taux de distorsion harmonique pour chaque technique sous logiciel MATLAB/SIMULINK. Dans Le troisième chapitre, on va entamer la partie pratique, et présenter les étapes ainsi que les parties constituant l'onduleur de tension triphasé à deux niveaux. Les résultats pratiques obtenus de l'application des deux techniques SPWM et SVPWM seront comparés avec ceux obtenus par simulation. On clôturant ce travail avec des perspectives et une conclusion générale.

Chapitre 1

les onduleur à deux niveaux

1.1 Introduction

Grâce aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques voient progressivement leur champ d'applications s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications, telles que le filtrage actif et la dépollution de réseaux électriques, ou l'alimentation de machines à courant alternatif pour des applications particulières, sont très exigeantes en termes de performances dynamiques. Les applications de l'électronique furent pendant longtemps limité à la technique des hautes fréquences. Les possibilités d'application étaient limitées par le manque de fiabilité des éléments électroniques alors disponibles. Cette fiabilité était insuffisante pour répondre aux hautes exigences requises par les nouvelles applications dans le domaine industriel. Ce ne fut qu'à la suite du développement des composants électroniques spéciaux de fiabilité plus élevée et de tolérance plus restreintes, que les nouvelles techniques peuvent être envisagées, ainsi naissse une nouvelle branche de l'électronique appelée l'électronique de puissance. A la base de l'électronique de puissance se trouvent les éléments de puissances, qui peuvent être subdivisés en éléments redresseurs non contrôlables (diodes) et éléments redresseurs contrôlables (thyristors, triacs, transistors ...). Les éléments de puissance, associés à des dispositifs auxiliaires appropriés (commande de gâchettes, radiateurs de dissipation, circuit RC de protection), composent des modules standard permettant la conversion de puissance, tel que les redresseurs, les onduleurs, les cycloconvertisseur ... etc[1].

1.2 Définition des onduleurs :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande. Figure 1.1 représente schéma de principe de l'onduleur.

Cette tension peut comporter un ou plusieurs créneaux par alternance suivant qu'il s'agit d'une commande à un créneau par alternance ou d'une commande par Modulation de Largeur d'Impulsions (Pulse Width Modulation) [1].

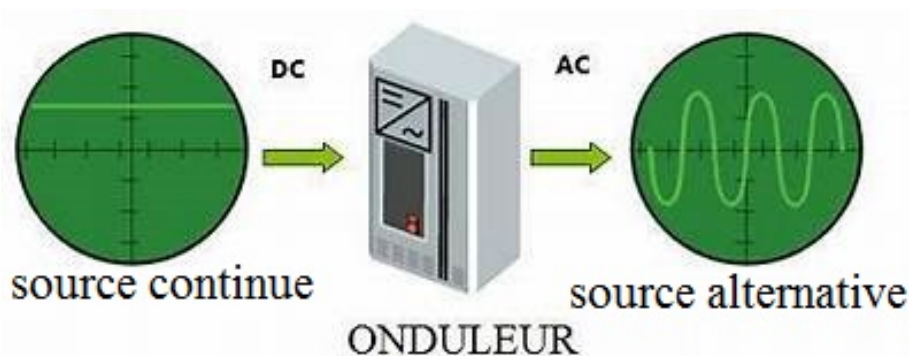


FIGURE 1.1 – Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)

1.3 Les différents types d'onduleur

Les onduleurs sont classés en deux grandes catégories :

1.3.1 Onduleur autonome :

Un onduleur est dit autonome s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre à lui pour la commutation des thyristors ou l'autre semi conducteurs dans ce cas nous commandons la fréquence la forme d'onde de la tension de sortie. On distingue deux types d'onduleurs autonomes : [1][2].

- Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue.

1.3.1.1 Onduleur de courant :

L'onduleur de courant transforme un courant continu en courants triphasés dans les enroulements de la machine. Il peut fonctionner en commutation naturelle, c'est le cas des machines synchrones. La commutation forcée est réalisée pour toutes les autres machines. Ce type d'onduleur ne permet que le réglage de la fréquence des grandeurs de sortie, l'amplitude de celle-ci doit être réalisée par ajustement de la grandeur d'entrée[1].

1.3.1.2 Onduleur de tension :

Les onduleurs de tension constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Les deux grands domaines d'application classiques des onduleurs de tension sont les alimentations de secours et les entraînements à vitesse variable, la forte évolution des onduleurs de tension s'est appuyée, d'une part, sur le développement des composants semi-conducteurs contrôlables, puissants, robustes, et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi généralisée des techniques dites de modulation de largeur d'impulsion[1].

1.3.2 Onduleur non autonome :

C'est le nom donné au montage redresseur tous les thyristors (pont de Graëtz) qui, en commutation naturelle assistée par le réseau auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur (par exemple par récupération de l'énergie lors des périodes de freinage dans les entraînements à moteurs électriques). À la base du développement des entraînements statiques à vitesse variable pour moteurs à courant continu et alternatif, cyclo convertisseurs, onduleurs de courant pour machines synchrones et asynchrones, jusqu'à des puissances de plusieurs MW, ce type de montage est progressivement supplanté, au profit de convertisseurs à IGBT ou GTO [1][2].

1.4 Les applications des onduleurs :

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs autonomes, on trouve principalement Les onduleurs à fréquence fixe a commutation forcée : Alimentés le plus souvent par une batterie d'accumulateur, ils jouent d'ordinaire le rôle d'alimentation de sécurité, Les onduleurs à fréquence variable à commutation forcées : Alimentés à partir du réseau indus-

triel par l'intermédiaire d'un montage redresseur, ils délivrent une tension de fréquence et de valeur efficace nécessaires pour faire tourner à vitesse variable un moteur à courant alternatif[4].

1.4.1 Applications :

1.4.1.1 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone :

La vitesse d'un moteur synchrone est fixée par la pulsation des courants statiques. Pour changer de vitesse il faut donc changer la fréquence des tensions d'alimentation. Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée[4].

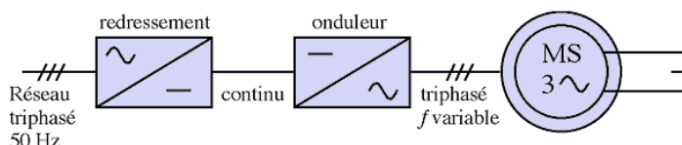


FIGURE 1.2 – Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

Remarque : Pour que la puissance du moteur reste nominale lorsque la fréquence varie, il faut en fait conserver le rapport (f / V) constant. (Si la fréquence augmente, il faut augmenter la tension d'alimentation proportionnellement).

1.4.1.2 Alimentation de secours :

Lors d'une panne d'électricité, un onduleur assure la continuité de l'alimentation des machines à partir de batteries. En informatique professionnelle, un onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur[4].

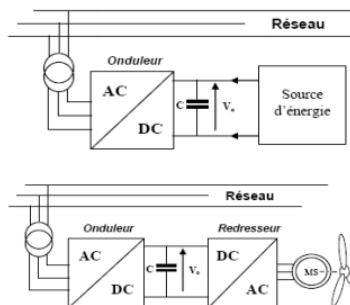


FIGURE 1.3 – Alimentation de secours

1.4.1.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes :

La France fournit de l'énergie électrique à la Grande-Bretagne, mais la fréquence du réseau anglais est 60 Hz. Il faut donc adapter la fréquence[4].

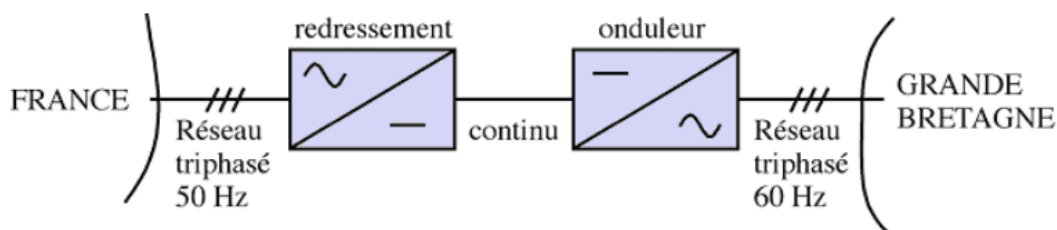


FIGURE 1.4 – Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

1.5 Analyse harmonique de la tension de sortie de l'onduleur :

1.5.1 Origine des harmoniques :

Les harmoniques sont générées par des charges non linéaires absorbant un courant non sinusoïdal. Actuellement, les équipements à base de thyristors constituent la principale source de ces harmoniques. Ces appareils, dont les caractéristiques électriques varient avec la valeur de la tension, sont assimilables à des générateurs de courants harmoniques : appareils d'éclairage fluorescent, variateurs de vitesse, redresseurs, téléviseurs, ordinateurs, etc.[8]

1.5.2 Mode de représentation ; le spectre en fréquence :

Le spectre est un histogramme fournissant l'amplitude de chaque harmonique en fonction de son rang et son importance.

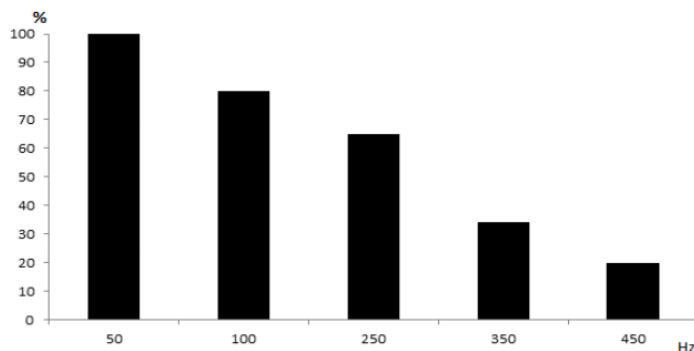


FIGURE 1.5 – Spectre d’harmonique d’un signal électrique donné.

1.5.3 Les harmoniques mesurés en pratique :

Les harmoniques les plus fréquemment rencontrés dans le cas des réseaux triphasés, sont les harmoniques de rangs impairs. Au-delà du rang 50, les courants harmoniques sont négligeables et leur mesure n’est plus significative.

Une bonne précision de mesure est obtenue en considérant les harmoniques jusqu’au rang 50. Et les harmoniques de rang 3, 5, 7, 9, 11 et 13 sont les plus surveillés.

La compensation des harmoniques jusqu’au rang 13 est impérative, une bonne compensation prendra également en compte les harmoniques jusqu’au rang 25.

1.5.4 Caractérisation des perturbations harmoniques :

Différentes grandeurs sont définies pour caractériser la distortion en régime déformé. Le taux global de distortion harmonique (THD) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.[8]

- Le taux de distortion harmoniques.

Notre étude se limite au cas où la source de courant est sinusoïdale et où la tension absorbée par la charge est entachée de composantes harmoniques. Dans ces conditions, le taux global de distortion harmonique est bien adapté pour quantifier le degré de pollution harmonique sur les réseaux électriques. Le THD s’exprime par rapport à la fréquence fondamentale et caractérise l’influence des harmoniques sur l’onde de tension déformée. Il est donné par

l'expression suivante :

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1} \quad (1.1)$$

avec V_1 la valeur efficace du tension fondamental et V_i les valeurs efficaces des différentes harmoniques du tension Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 et 2000 Hz. Soit de l'harmonique de rang 2 jusqu'à l'harmonique de rang 40. Il est à signaler aussi que l'amplitude des harmoniques décroît généralement avec la fréquence[8].

— la serie de fourier est donc par :

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (1.2)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) dt \quad (1.3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} s(\theta) \cos(n\theta) d\theta \quad (1.4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} s(\theta) \sin(n\theta) d\theta \quad (1.5)$$

1.6 Principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé :

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

1.6.1 Onduleur en demi-pont :

Le principe de l'onduleur monophasé en demi-pont peut être expliqué à partir de la Figure 1.6 on dispose d'une source de tension continue à point milieu et de 2 interrupteurs et une charge[3].

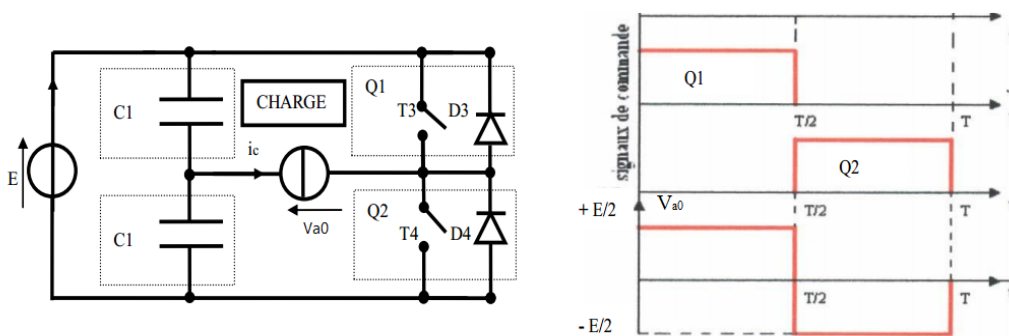


FIGURE 1.6 – Onduleur en demi-pont

1.6.1.1 Commande pleine onde d’onduleur en demi-pont :

Il est constitué principalement d’un seul bras qui se compose de deux interrupteurs de puissance notés Q1 et Q2 à commande complémentaire. La commande (180°) défini la durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d’un demi cycle correspondant à la fréquence du signal de sortie requis lors de la fermeture de l’interrupteur Q1, la tension aux bornes de la charge serait donc de $+E/2$, et prend la valeur $-E/2$ quand le second interrupteur, Q2 est fermé.

— La commande pleine onde a la même fréquence que le signale de la sortie :

$$V_{a0} = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\theta) + b_n \sin(n\theta) \tag{1.6}$$

V_{a0} est un signal symetrique impaire à valeur moyenne nulle :

$a_0 = a_n = 0$ alors

$$V_{a0} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\theta) \tag{1.7}$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} * \frac{E}{2} \int_0^{\pi} \sin(n\theta) d\theta = \frac{2}{\pi} * \frac{E}{2} [1 - \frac{1}{n} \cos(n\theta)] \\ &= \frac{2}{n\pi} * \frac{E}{2} [1 - \cos(n\pi)] \end{aligned} \tag{1.8}$$

Pour $n = 2, 4, 6, 8, \dots$ ("n"nombre pair) $b_n = 0$

Pour $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ("n"nombre impair) $b_n = \frac{4}{n\pi} * \frac{E}{2}$

La valeur de crête de la composante de fréquence fondamentale dans la forme d’onde de

sortie de l'onduleur peut être obtenue comme suit :

$$V_{a0} = \frac{4}{n\pi} * \frac{E}{2} = 1.273 * \frac{E}{2} \tag{1.9}$$

Pour les autres harmonique ($n \geq 2$)

$n = 3 \dots \dots \dots b3 = 0.42 * \frac{E}{2}$	$n = 9 \dots \dots \dots b9 = 0.14 * \frac{E}{2}$
$n = 5 \dots \dots \dots b5 = 0.25 * \frac{E}{2}$	$n = 11 \dots \dots \dots b11 = 0.115 * \frac{E}{2}$
$n = 7 \dots \dots \dots b7 = 0.18 * \frac{E}{2}$	$n = 13 \dots \dots \dots b13 = 0.097 * \frac{E}{2}$

on pose que $E = 100V$

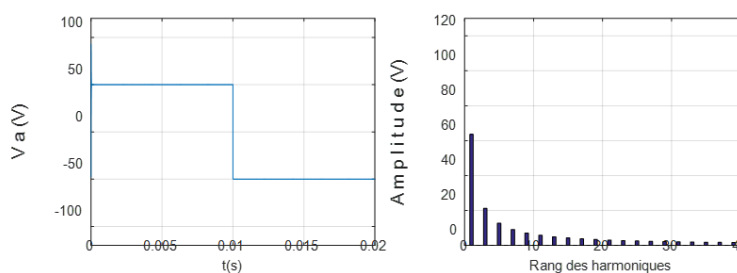


FIGURE 1.7 – tension de sortie et les Spectre d'onduleur en demi-pont

Remarque : Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 et 200 Hz, soit de l'harmonique de rang 2 jusqu'à l'harmonique de rang 40 il est à signaler aussi que l'amplitude des harmoniques décroît généralement avec la fréquence .

1.6.2 Onduleur monophasé en pont :

1.6.2.1 commande pleine onde d'onduleur monophasé en pont :

Pour éviter la nécessité d'une source à point milieu et doubler la tension de sortie, on utilise un onduleur en pont figure 1.8 dans ce cas. On commande sur une demi-période les transistors Q1, Q2 et les transistors Q3, Q4 sur le reste de la période[3].

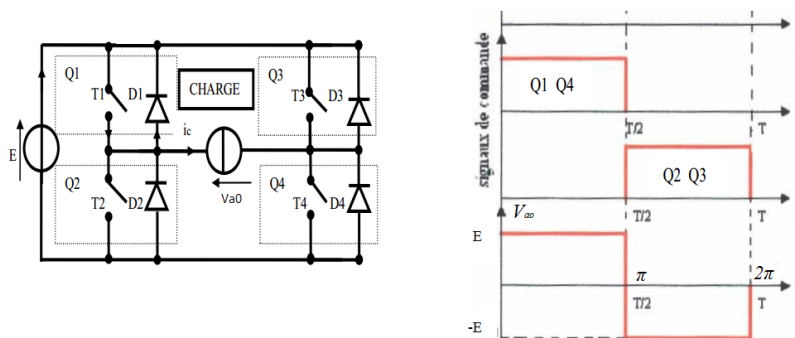


FIGURE 1.8 – Commande d’onduleur monophasé en pont de tension, et la forme de tension V_{a0}

$$V_{a0} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\theta) \tag{1.10}$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} * E \int_0^{\pi} \sin(n\theta) d\theta = \frac{2}{\pi} * E \left[1 - \frac{1}{n} \cos(n\theta) \right] \\ &= \frac{2}{n\pi} * E [1 - \cos(n\pi)] \end{aligned} \tag{1.11}$$

Pour $n = 2, 4, 6, 8, \dots$ ("n" nombre pair) $b_n = 0$

Pour $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ("n" nombre impair) $b_n = \frac{4}{n\pi} * E$

La valeur de crête de la composante de fréquence fondamentale dans la forme d’onde de sortie de l’onduleur peut être obtenue comme suit :

$$V_{a0} = \frac{4}{n\pi} * \frac{E}{2} = 1.273 * E \tag{1.12}$$

Pour les autres harmonique ($n \geq 2$)

- | | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| $n = 3 \dots \dots \dots b3 = 0.42 * E$ | $n = 9 \dots \dots \dots b9 = 0.14 * E$ |
| $n = 5 \dots \dots \dots b5 = 0.25 * E$ | $n = 11 \dots \dots \dots b11 = 0.115 * E$ |
| $n = 7 \dots \dots \dots b7 = 0.18 * E$ | $n = 13 \dots \dots \dots b13 = 0.097 * E$ |

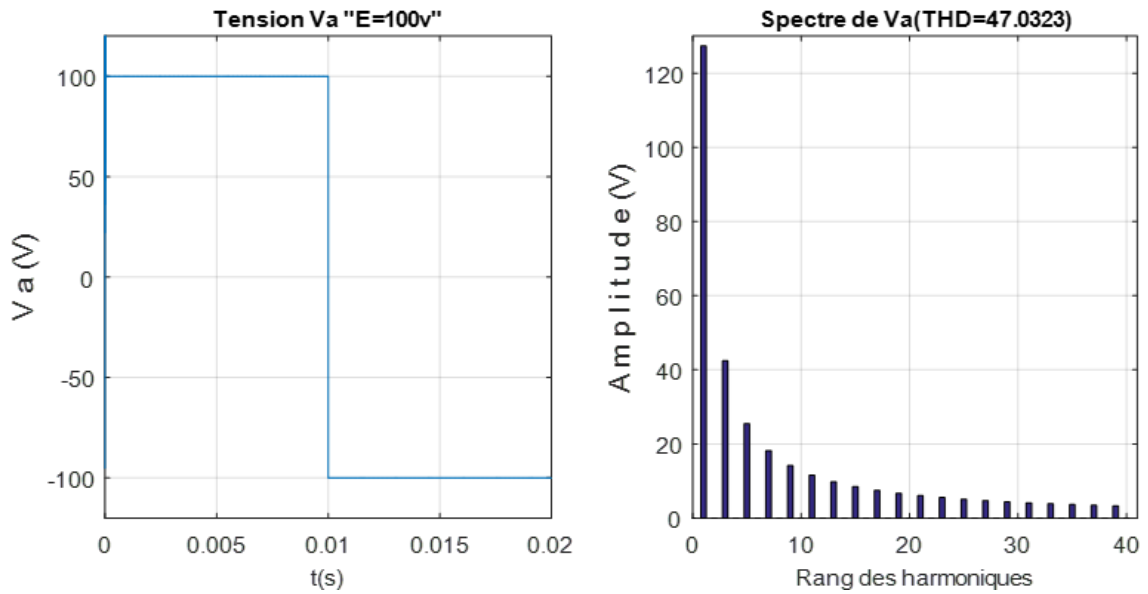


FIGURE 1.9 – tension de sortie et les Spectre de commande pleine onde d'onduleur monophasé en pont

1.6.2.2 Commande décalée d'onduleur monophasé en pont :

Cn peut appliquer cette commande seulement dans les onduleur monophasés en pont complet figure 1.10.

Le but de cette commande est de fermer ou d'ouvrir les interrupteurs (Q1, Q4) et (Q2, Q3), simultanément mais avec un certain temps de décalage T_d . Donc elle permet d'agir sur la valeur efficace et sur l'amplitude fondamentale de la tension de sortie. Cette technique présente des pertes importantes à cause de l'existence de circuit de filtrage.

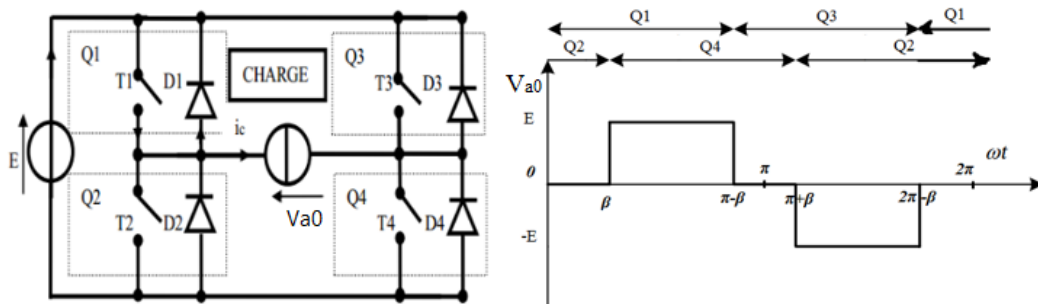


FIGURE 1.10 – commande décalée d'onduleur monophasé en pont

Le signal de sortie est un signal impair (ou fait une translation de l'axe des abscisses β)
 V_{a0} est un signal symétrique impair à valeur moyenne nulle :

$a_0 = a_n = 0$ alors

$$V_{a0} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\theta) \tag{1.13}$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta \\ &= \frac{4}{2\pi} \int_{\beta}^{\pi-\beta} E \sin(n\theta) d\theta = \frac{2}{n\pi} E [\cos(n\beta) - \cos(n\pi - n\beta)] \\ &= \frac{2}{n\pi} E \cos(n\beta) [1 - \cos(n\pi)] \end{aligned} \tag{1.14}$$

Pour $n = 2, 4, 6, 8, \dots$ ("n" nombre pair) $b_n = 0$

Pour $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ("n" nombre impair) $b_n = \frac{4}{n\pi} \cos(n\beta)$

pour $n = 1$ la fondamentale a une amplitude de :

on pose $\beta = \frac{\pi}{6}$ (β :est le decalage)

$$b_1 = V_{a0} = \frac{4}{\pi} E \cos(\beta) = 1.1E \tag{1.15}$$

Pour les autres harmonique ($n \geq 2$)

- | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $n = 3 \dots \dots \dots b_3 = 0$ | $n = 9 \dots \dots \dots b_9 = 0$ |
| $n = 5 \dots \dots \dots b_5 = -0.22 * E$ | $n = 11 \dots \dots \dots b_{11} = 0.1 * E$ |
| $n = 7 \dots \dots \dots b_7 = -0.1575 * E$ | $n = 13 \dots \dots \dots b_{13} = 0.08 * E$ |

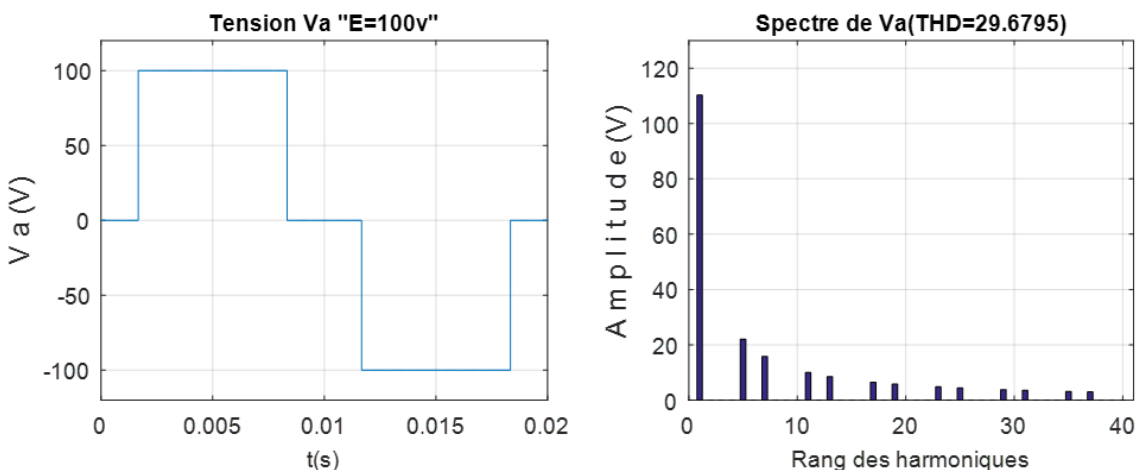


FIGURE 1.11 – tension de sortie et les Spectre de commande décalée d’ondeur monophasé en pont

1.7 Structure de l'onduleur triphasé :

L'onduleur est composé de six transistors avec une diode antiparallèle pour chacun. Les transistors Q_1 et Q_1' comme Q_2 et Q_2' et Q_3 et Q_3' sont complémentaires en théorie c'est-à-dire que lorsque l'un des deux est ouvert l'autre est fermé et inversement. Dans la théorie seulement car les commutations réelles des interrupteurs de puissance ne sont pas instantanées. La configuration la plus dangereuse est celle où les deux transistors sont fermés, car la tension de bus (de l'ordre de plusieurs centaines de volts) est mise en court circuit. Un courant très important se déverse alors dans les transistors entraînant leur destruction. C'est donc cette configuration que l'on va éviter. On ouvrira donc l'un des transistors avant de fermer l'autre. Le temps de sécurité entre l'ouverture de l'un et la fermeture de l'autre est appelé « temps mort ». Il doit être parfaitement calibré pour un fonctionnement optimal de l'onduleur. Le moteur étant un circuit inductif qui n'apprécie pas les discontinuités de courants, c'est pour cela que chaque transistor possède une diode en antiparallèle. Pour laisser passer le courant pendant les phases où les deux transistors sont ouverts [3].

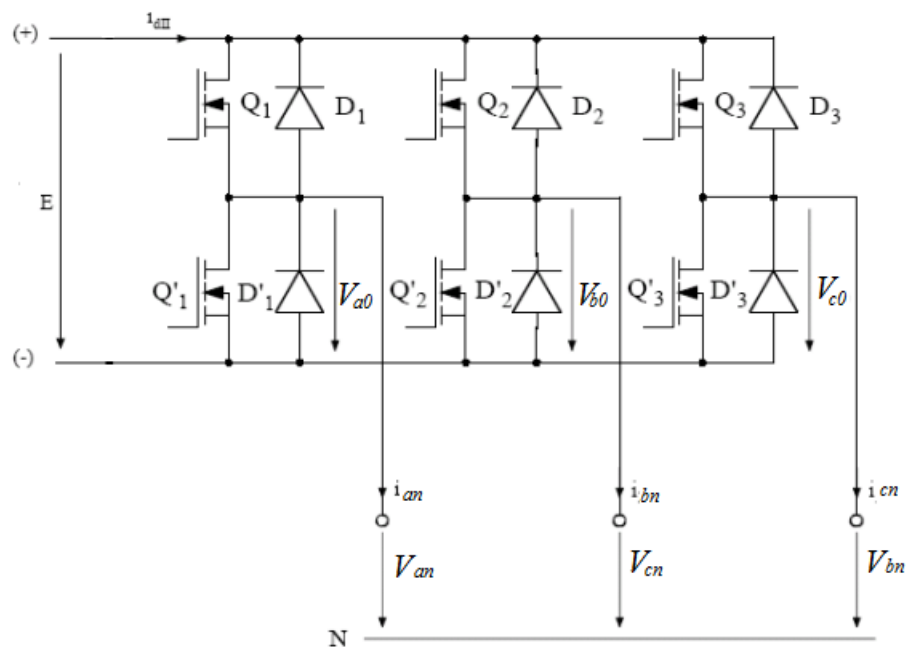


FIGURE 1.12 – Structure d'un onduleur triphasé

1.7.1 La Commande en plaine onde (180°) :

Ln résume le fonctionnement de l'onduleur dans le tableau suivant :

ωt	$[0, \frac{\pi}{3}]$	$[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}]$	$[\frac{2\pi}{3}, \pi]$	$[\pi, \frac{4\pi}{3}]$	$[\frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}]$	$[\frac{5\pi}{3}, 2\pi]$
Elements	1-5-6	1-2-6	2-3-4	1-2-3	3-4-5	4-5-6
Conduits						
V_{an}	$E/3$	$2E/3$	$E/3$	$-E/3$	$-2E/3$	$-E/3$
V_{bn}	$-2E/3$	$-E/3$	$E/3$	$2E/3$	$E/3$	$-E/3$
V_{cn}	$E/3$	$-E/3$	$-2E/3$	$-E/3$	$E/3$	$2E/3$
V_{ab}	E	E	0	$-E$	$-E$	0
V_{bc}	E	0	E	E	0	$-E$
V_{ca}	0	E	$-E$	0	E	E

TABLE 1.1 – Commande en plaine onde (180°)

On peut présenter les valeurs du tableau 1.1 sur le graphe suivant :

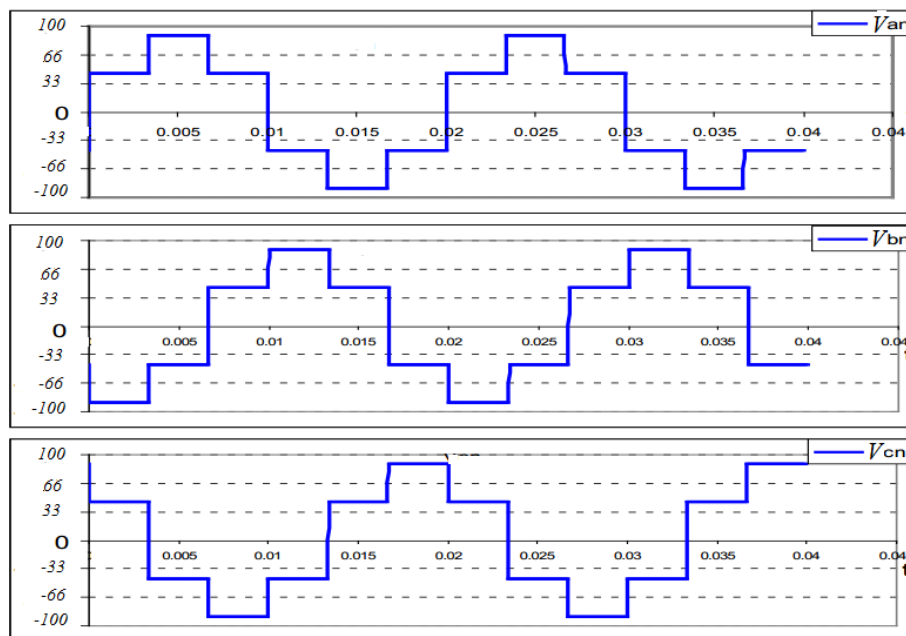


FIGURE 1.13 – les tensions simples à la sortie de l'onduleur

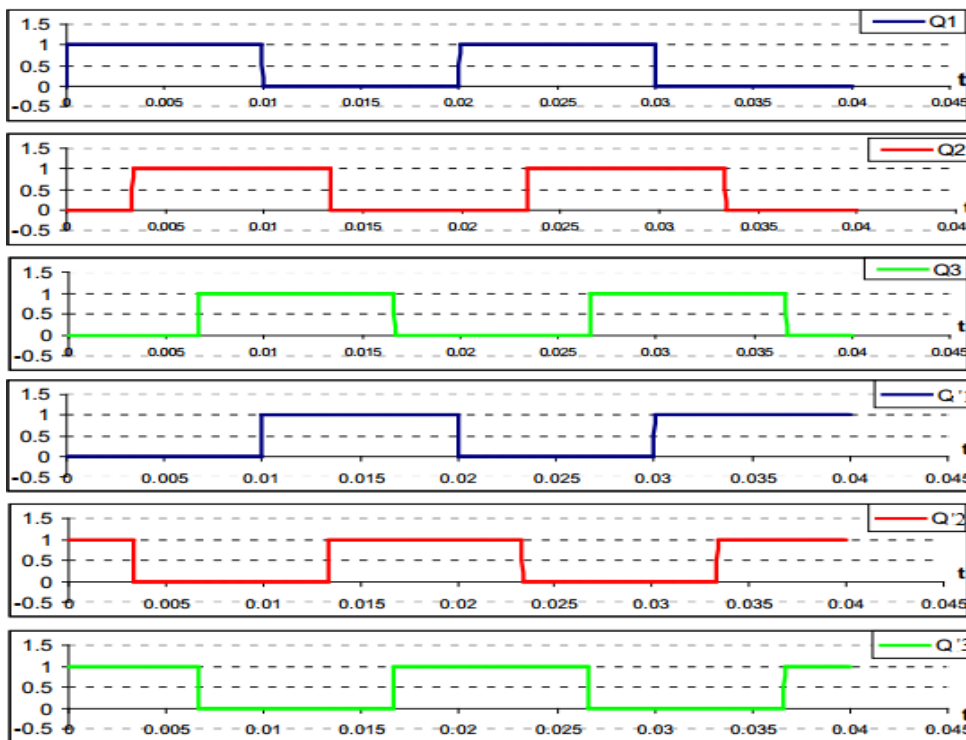


FIGURE 1.14 – les signaux des interrupteurs

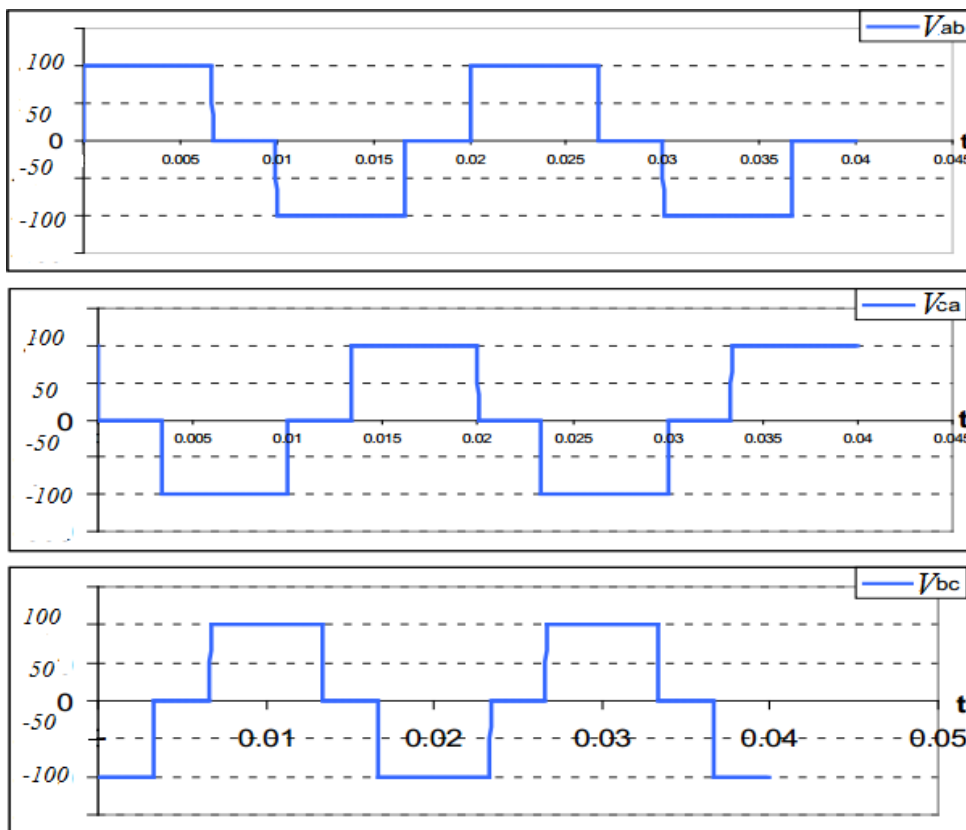


FIGURE 1.15 – les tensions composées à la sortie de l'onduleur

Remarque : pour les tension composé le signal de commande est la meme avec le signal de sortie de l'onduleur monophasé en pont complet (la commande décalée). le signal de sortie est un signal impair

V_{a0} est un signal symétrique impaire à valeur moyenne nulle :

$$a_0 = a_n = 0 \quad \text{alors}$$

$$\begin{aligned}
 b_n &= \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{a0} \sin(n\theta) d\theta \\
 &= \frac{2}{\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{E}{3} \sin(n\theta) d\theta + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{2E}{3} \sin(n\theta) d\theta + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\pi} \frac{2E}{3} \sin(n\theta) d\theta \right] \\
 &= \frac{-2}{\pi} * \frac{E}{3n} \left[\cos\left(n\frac{\pi}{3}\right) - \cos(0) + 2 \cos\left(n\frac{2\pi}{3}\right) - \cos\left(n\frac{\pi}{3}\right) + \cos(n\pi) - \cos\left(n\frac{2\pi}{3}\right) \right] \\
 &= \frac{2}{\pi} * \frac{E}{3n} \left[1 - \cos(n\pi) - \cos\left(n\frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(n\frac{\pi}{3}\right) \right]
 \end{aligned} \tag{1.16}$$

Pour $n = 2, 4, 6, 8, \dots$ ("n" nombre pair) $b_n = 0$

Pour $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ("n" nombre impair) $b_n = \frac{2}{\pi} * \frac{E}{3n} [1 - \cos(n\pi) - \cos(n\frac{2\pi}{3}) + \cos(n\frac{\pi}{3})]$

pour $n = 1$ la fondamentale a une amplitude de :

$$b_1 = V_{a0} = \frac{2}{\pi} E = 0.63E$$

Pour les autres harmonique ($n \geq 2$)

$$n = 3 \dots \dots \dots b_3 = 0$$

$$n = 9 \dots \dots \dots b_9 = 0$$

$$n = 5 \dots \dots \dots b_5 = -0.127 * E$$

$$n = 11 \dots \dots \dots b_{11} = 0.0045 * E$$

$$n = 7 \dots \dots \dots b_7 = -0.091 * E$$

$$n = 13 \dots \dots \dots b_{13} = 0.0053 * E$$

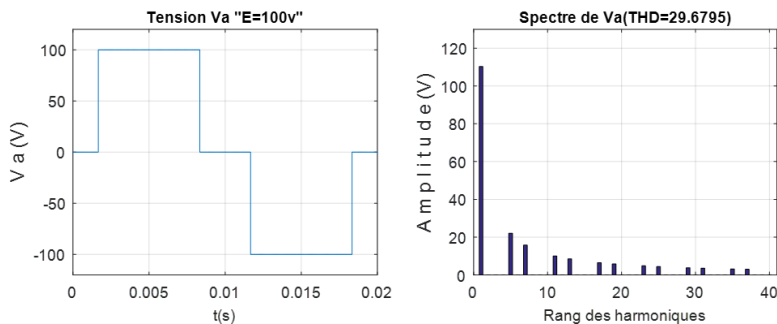


FIGURE 1.16 – tension de sorte et les Spectre de la Commande en pleine onde (180°)

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la théorie sur les onduleurs, sa constitution physique élémentaire, son fonctionnement, leurs principales applications et nous avons présenté les différentes structures des onduleurs.

Nous avons consacré notre étude aux onduleurs de tension et principalement ceux en pont triphasé et les différentes stratégies de commande d'un onduleur (commande pleine onde et commande décalée).

les signaux issue de ses onduleurs sont riches en harmoniques de rang faible, leur filtrage est difficile. l'avantage majeur de la technique pleine onde réside dans son utilisation maximale du bus DC.(127% pour mono-phase et 63% pour triphasé)

Chapitre 2

Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)

2.1 Commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

Les tensions obtenues aux bornes du récepteur (la charge) pour les onduleurs triphasés conventionnels présentent plusieurs harmoniques, il est donc nécessaire de chercher à se rapprocher d'une forme d'onde sinusoïdale. Pour ce la on fait appel à la technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI). Dans ce contexte, nous savons bien qu'avec la possibilité d'avoir des transistors de puissance à un coût moindre il est devenu possible d'utiliser la technique MLI pour améliorer la forme d'onde du courant du moteur, et par la conséquence, la minimisation des harmoniques provoquant l'échauffement de la machine et les ondulations du couple En fait l'onduleur de tension à MLI est toujours choisi pour avoir une réponse rapide et des performances élevées. Dans ce type d'onduleur, la tension redressée alimentant l'onduleur peut être fixée par l'utilisation d'un redresseur à diodes. Dans ce cas, la tension et la fréquence de sortie sont contrôlées par l'onduleur en utilisant la technique MLI. Elle consiste à adopter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie, et à former chaque alternance de la tension de sortie d'une succession de créneaux de largeurs convenables.[4] La manipulation de nombre des impulsions formant chacune des alternances d'une tension de sortie d'un onduleur à MLI présente deux avantages importantes à s'avoir :

- Repousser vers des fréquences élevées les harmoniques d'ordres inférieurs de la tension de sortie, ce que facilite le filtrage au niveau de la charge.
- Elle permet de faire varier la valeur fondamentale de la tension désirée.

En effet, les deux stratégies de modulation les plus utilisées en boucle ouverte pour un onduleur de tension triphasé sont la modulation sinusoïdale et la modulation vectorielle :

2.2 Principe de base de MLI :

Le principe de base de la modulation de largeur d'impulsion est basé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi la tension de sortie de l'onduleur est formée par une succession de créneaux d'amplitude égale à la tension d'alimentation (continue) et de largeur variable. La technique la plus répandue pour la reproduction d'un signal MLI est de comparer un signal triangulaire appelé porteuse de haute fréquence à un signal de référence appelé modulatrice et qui constitue l'image du signal de sortie de l'onduleur, figure 2.1.[9]

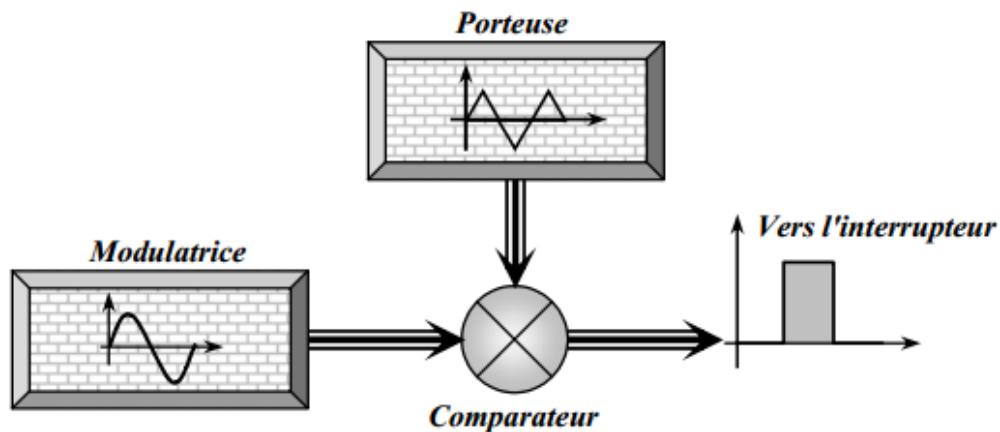


FIGURE 2.1 – Schéma synoptique de la M.L.I

2.2.1 Caractéristiques de la modulation :

La technique de la MLI se caractérise par deux grandeurs :

- ▷ Le coefficient de réglage :

qui est défini comme étant le rapport de l'amplitude de l'onde modulante à celle de l'onde porteuse. Il permet de déterminer l'amplitude du fondamental de l'onde de modulation de largeur d'impulsion :

$$r = \frac{A_r}{A_p} \quad (2.1)$$

A_r : Amplitude de la référence A_p : Amplitude de la porteuse

▷ **L'indice de modulation :**

Il est défini comme étant le rapport de la fréquence de l'onde porteuse à celle de l'onde modulante[9] :

$$m = \frac{f_p}{f_r} \quad (2.2)$$

f_p : La fréquence de la modulation f_r : La fréquence de la référence

La modulation montre que plus (\mathbf{m}) est grand et plus la neutralisation des harmoniques est efficace, d'autre part on cherche à obtenir une valeur de (\mathbf{r}) la plus élevée possible.[10]

-La modulation est dite synchrone si (\mathbf{m}) est un nombre entier cela conduit à une tension de sortie (\mathbf{U}) qui se reproduit identiquement à elle-même tout les $T = \frac{1}{f}$

- Dans certains cas la modulation est asynchrone, notamment quand à fréquence de modulation f_p , donnée, on fait varier de façon continue la fréquence de la référence.

- Pour le choix de \mathbf{m} , on doit tenir compte des pertes supplémentaires pendant les commutations d'un état à l'autre Ces pertes croissent lorsque la fréquence de modulation augmente[10].

- On ne pourra jamais fonctionner avec un rapport de réglage égal à "1", car il faut toujours laisser une durée suffisante aux intervalles de conduction et de blocage des interrupteurs d'un même bras[10].

-Le schéma synoptique de la commande par modulation triangulaire- sinusoïdale triphasé est donnée par la Figure 2.2.

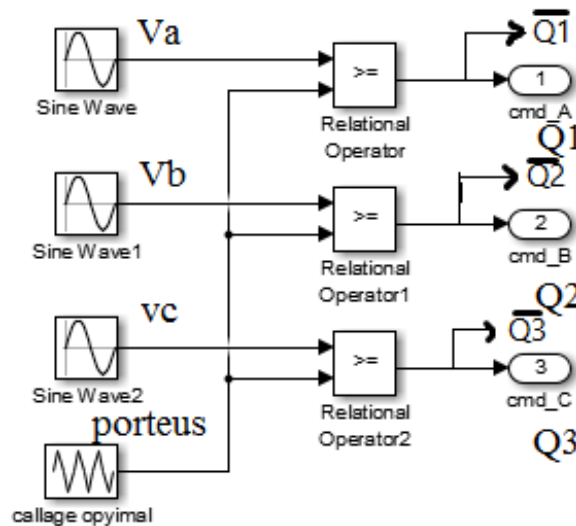


FIGURE 2.2 – Schéma synoptique de la commande en MLI (triphase)

Un générateur d'onde délivre l'onde triangulaire aux trois phases (porteuse commune), par contre la référence est propre à chaque phase, les trois références étant déphasées de (120°).

2.2.2 Différentes techniques de modulation de longueur d'impulsions :

Plusieurs techniques de modulations ont été adoptées afin d'améliorer la qualité de la tension la sortie de l'onduleur, parmi les quelles on peut cités :

▷ La modulation sinusoidale triangulaire unipolaire (SPWM) :

Dans ce cas, le signal de référence est sinusoidal, on obtient à la sortie de l'onduleur une onde formée d'un train d'impulsion de largeur variable (figur 2.3).

Les instants de commutations sont déterminés par des points d'intersection entre la porteuse et la modulante.

La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse. Ce type de MLI est la plus utilisée dans les applications industrielles, car elle s'est avérée la plus efficace.

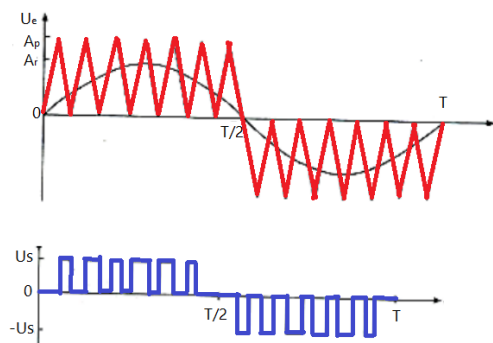


FIGURE 2.3 – MLI sinusoidal triangulaire unipolaire

▷ **La modulation sinusoidale partielle (ou modifie) (MSPWM) :**

Le signale référence est toujours sinusoidal, sauf que dans cette technique la porteuse n'est pas appliquée au milieu des alternances de la sinusoide (figure 2.4)

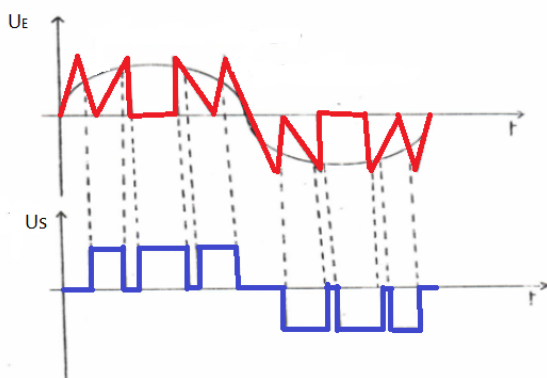


FIGURE 2.4 – La modulation sinusoidale modifie

▷ **La modulation sinusoidale avec porteuse bidirectionnelle :**

Le principe de cette technique est le même que celui de la modulation sinusoidale , sauf que la porteuse triangulaire est bidirectionnelle (bipolaire) (figure 2.5)

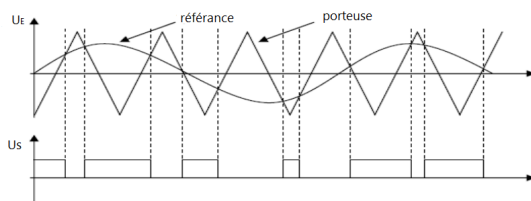


FIGURE 2.5 – La modulation sinusoidale avec porteuse bidirectionnelle

Il existe plusieurs techniques PWM. Dans ce travail la technique sinus-triangle (SPWM) est utilisée. Cette technique MLI permet la neutralisation des harmoniques de rang bien spécifique[11].

2.3 Simulation de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur monophasé en pont :

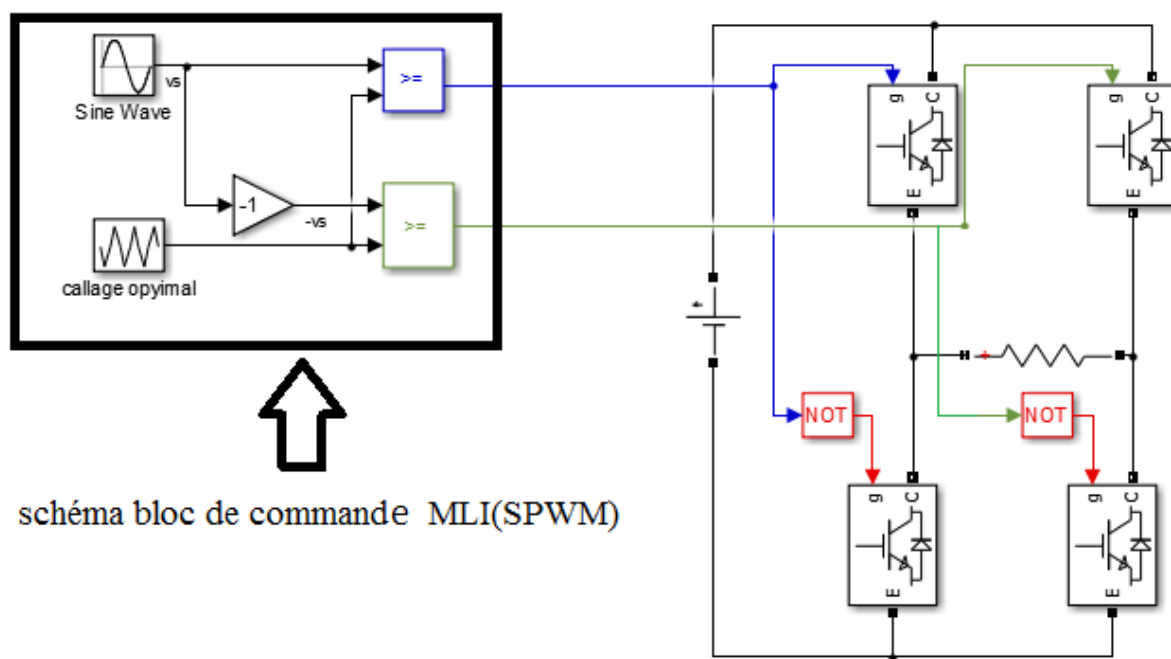
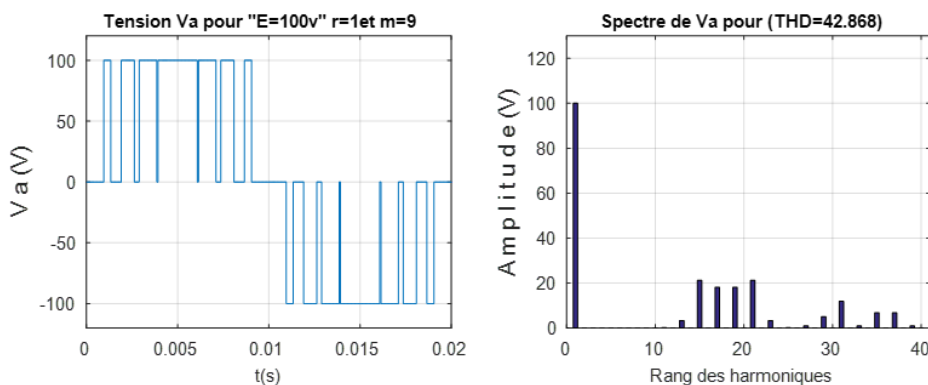


FIGURE 2.6 – onduleur monophasé en pont avec commande (SPWM)



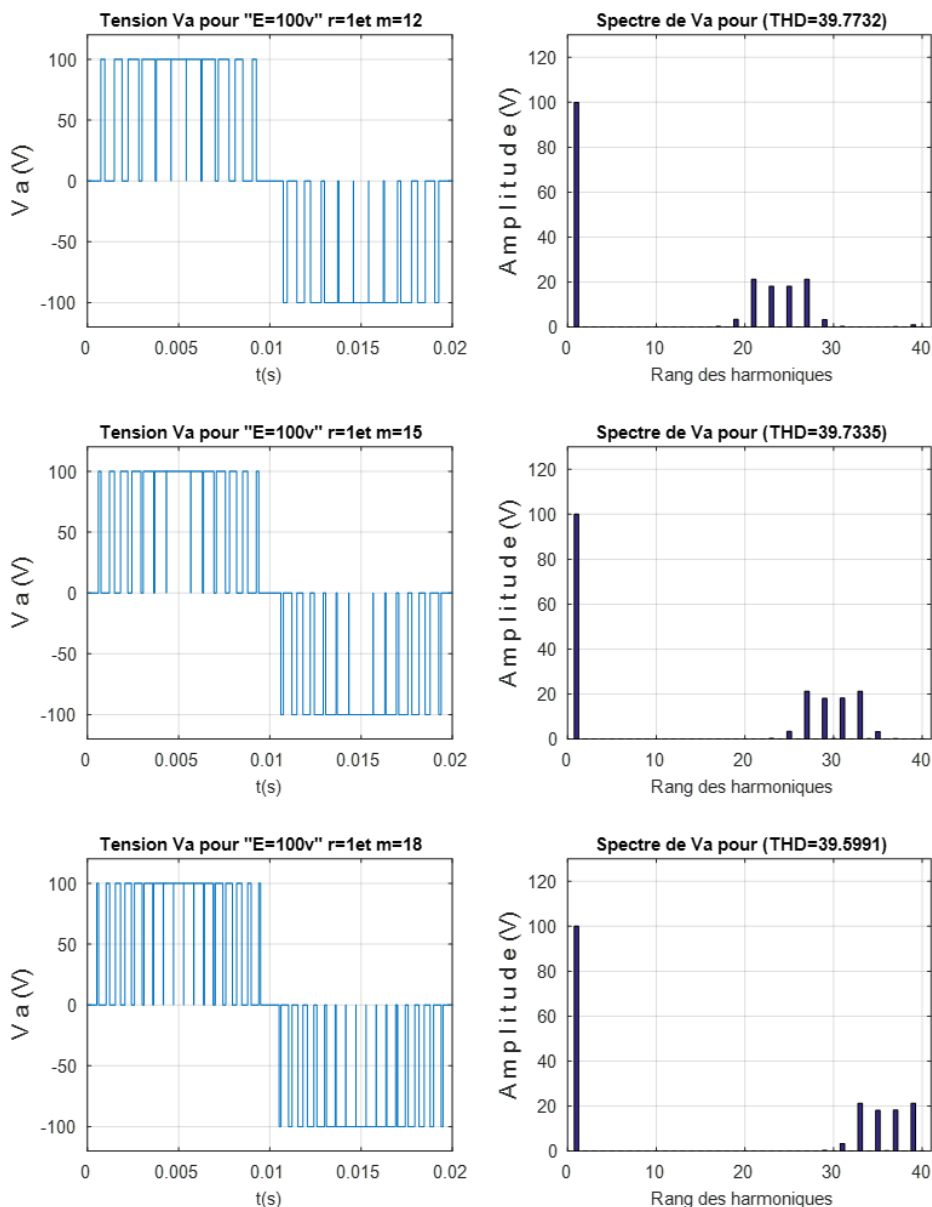


FIGURE 2.7 – Résultats de Simulation de la commande (SPWM) d'onduleur monophasé en pont

2.4 Simulation de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur triphasé :

Concernant les allures des tensions V_b et V_c , elles sont décalé de 120° et 240° respectivement par rapport à la tension V_a .

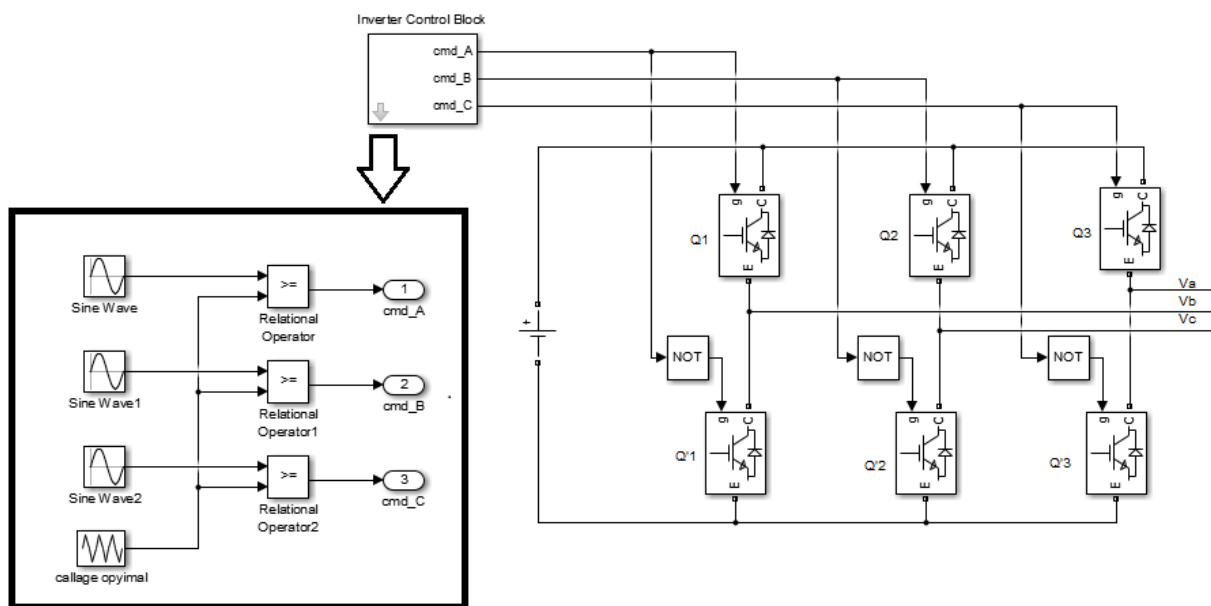
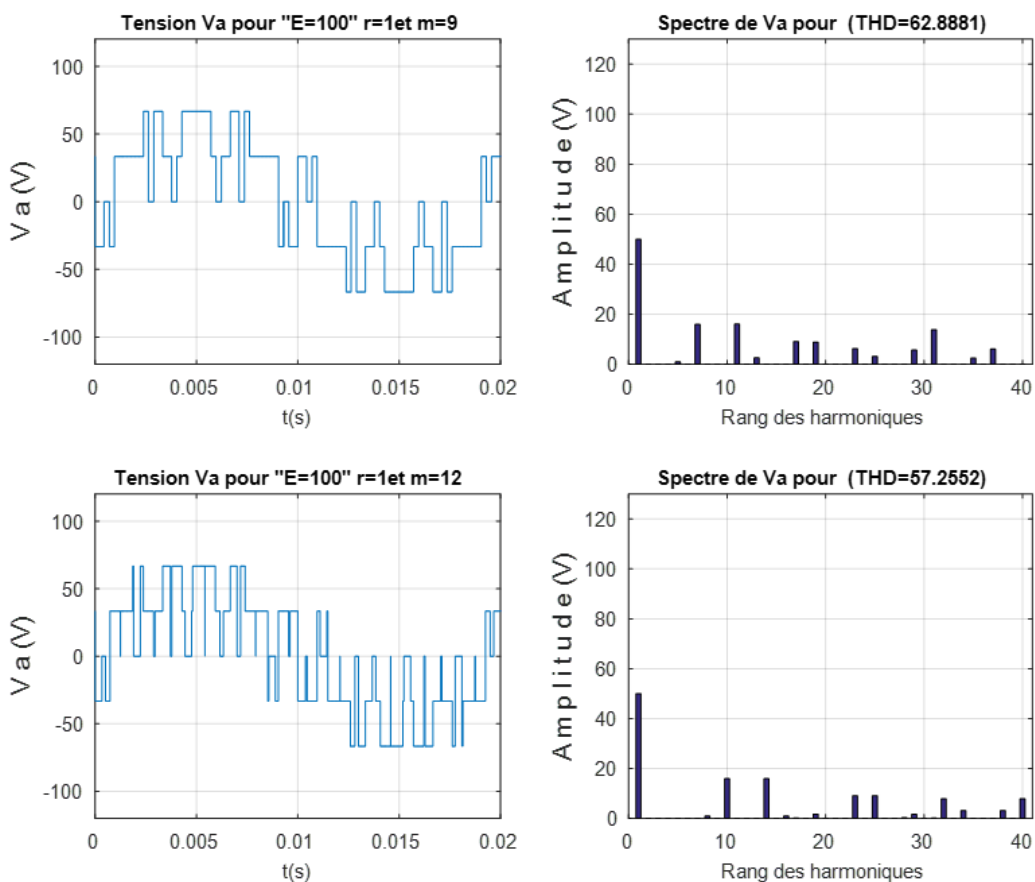


schéma bloc de commande MLI(SPWM)

FIGURE 2.8 – onduleur triphasé avec commande (SPWM)



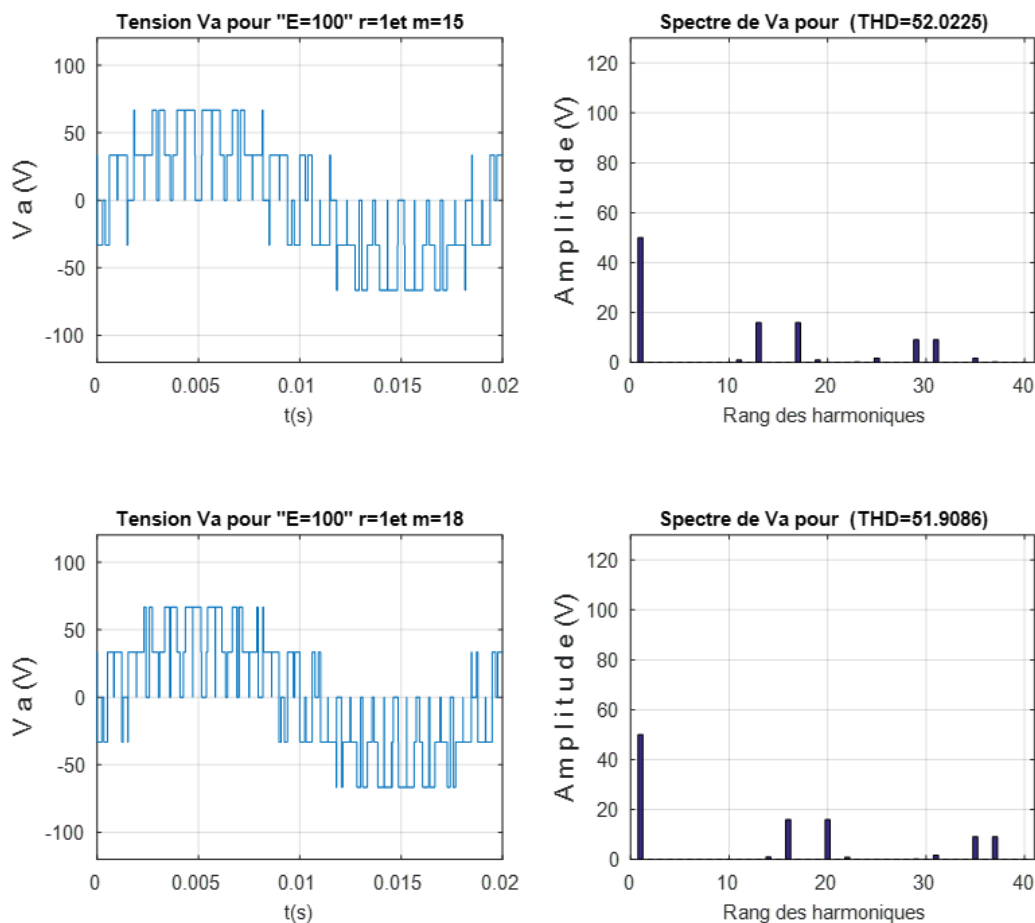


FIGURE 2.9 – Résultats de Simulation de la commande (SPWM) d'onduleur triphasé

Remarque : On remarque que la SPWM a permis d'obtenir un fondamental d'amplitude de 78% par rapport à celui obtenu avec la technique Pleine Onde. et les harmoniques de la tension de sortie sont repoussés vers les fréquences plus élevées regroupées autour de la fréquence de commutation, ce qui facilite leur filtrage.

2.5 La modulation vectorielle (SVPWM) :

La stratégie de la modulation vectorielle est proposée par « Der Broek in 1988 ». Elle consiste à générer une séquence spécifiée des états de l'onduleur. La modulation vectorielle est une modulation en temps réel. Elle utilise le fait qu'un vecteur peut représenter les trois tensions d'un système triphasé de somme nulle.

Cette modulation est utilisée par les commandes modernes des machines à courant alternatif, les tensions de référence sont les tensions désirées à la sortie de l'onduleur. Cette technique à SVPWM est basée sur les principes suivants : [3][6]

- Le signal de référence est échantillonné sur des intervalles T (SVPWM régulière).
- Pour chaque phase, on envoie une impulsion de largeur centrée sur la période (SVPWM symétrique) dont la valeur moyenne est égale à la valeur de la tension de référence à l'instant d'échantillonnage.
- Tous les interrupteurs d'un même demi-pont ont un état identique au centre et aux deux extrémités de la période.

Cette modulation est conduite en synchronisme sur les trois phases. Les trois tensions sinusoïdales désirées à la sortie sont représentées par un seul vecteur appelé vecteur tension de référence.

On approxime au mieux ce vecteur pendant chaque intervalle de modulation en agissant sur la commande des trois jeux d'interrupteurs complémentaires $Q1$ et $Q1'$, $Q2$ et $Q2'$, $Q3$ et $Q3'$ représentés par la Figure 2.10

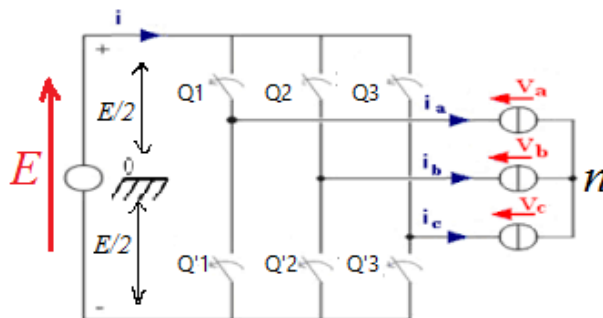


FIGURE 2.10 – Schéma simplifié de l'onduleur triphasé à deux niveaux

Une analyse combinatoire de tous les états possibles des interrupteurs constituant le convertisseur donne huit (2^3) combinaisons possibles dont six états actifs non nuls et deux restants des états de commutation nuls.

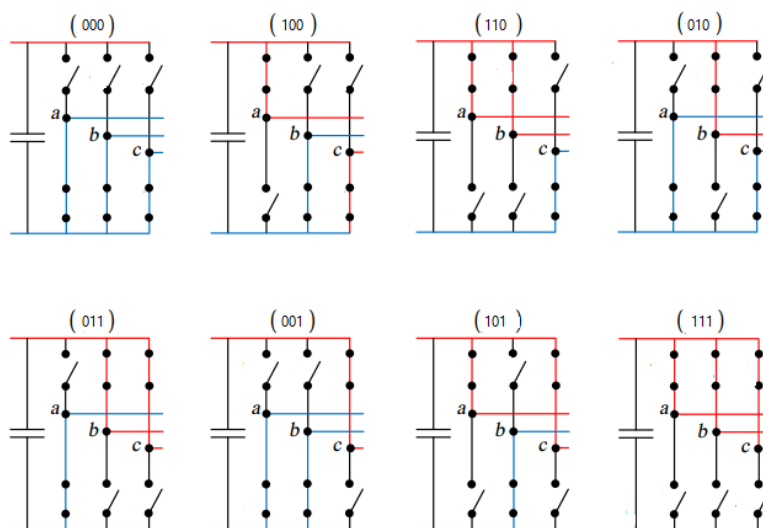


FIGURE 2.11 – Emplacement des huit vecteurs stationnaires pour un onduleur de tension à deux-niveaux

2.5.1 Le principe de la modulation vectorielle (SVPWM) :

Le principe de la modélisation vectorielle (SVPWM) consiste à reconstruire le vecteur tension \mathbf{V}_{ref} à partir de huit vecteurs tensions. Chacun de ces vecteurs correspond à une combinaison de l'état des interrupteurs d'un onduleur de tension triphasé. La SVPWM est la méthode récemment la mieux adaptée au contrôle des moteurs alternative alimentés par des onduleurs contrairement à d'autres méthodes. Elle consiste à considérer globalement le système triphasé, et à lui appliquer une transformée de Concordia pour se ramener dans le plan $(V_{\alpha}; V_{\beta})$. Le système triphasé des tensions à générer pour la durée d'échantillonnage en cours peut alors être représenté comme un unique vecteur dans ce plan. Ce vecteur n'est pas directement réalisable par les interrupteurs du variateur, mais on peut chercher les trois configurations les plus proches (situées sur les sommets et au centre de l'hexagone), et les appliquer successivement pendant une fraction adéquate de la période d'échantillonnage, de façon à obtenir en valeur moyenne le vecteur recherché[3][4][6].

Si la charge est équilibrée :

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \quad (2.3)$$

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{a0} - V_{b0} \\ V_{bc} = V_{b0} - V_{c0} \\ V_{ca} = V_{c0} - V_{a0} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$d'ou : \begin{cases} V_{an} = \frac{1}{3} [V_{ab} - V_{ca}] \\ V_{bn} = \frac{1}{3} [V_{bc} - V_{ab}] \\ V_{cn} = \frac{1}{3} [V_{ca} - V_{bc}] \end{cases} \quad (2.5)$$

$$etdonc : \begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3}V_{a0} - \frac{1}{3}V_{b0} - \frac{1}{3}V_{c0} \\ V_{bn} = -\frac{1}{3}V_{a0} + \frac{2}{3}V_{b0} - \frac{1}{3}V_{c0} \\ V_{cn} = -\frac{1}{3}V_{a0} - \frac{1}{3}V_{b0} + \frac{2}{3}V_{c0} \end{cases} \quad (2.6)$$

2.5.1.1 La transformation de clarcke :

Pour simplifier les calculs dans la modulation vectorielle on utilisé la transformation de clarcke,cette dernière nous permet de remplacer le système triphasé de trois tensions U_a, U_b, U_c de somme nulle par un système diphasé respectant le transfert de puissance.

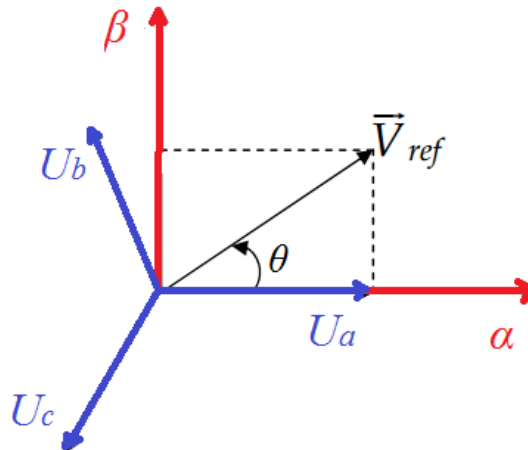


FIGURE 2.12 – transformation de clarcke

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Une analyse combinatoire de tous les états possibles des interrupteurs permet de calculer les vecteurs de tensions V_α, V_β correspondantes

Le tableau 1.1 indique pour chacun de ses états les valeurs des tension V_{an}, V_{bn}, V_{cn} de leur composantes de Clark V_α, V_β et indice des vecteurs V représentatif de cet état.[6][7]

Vecteur	Q_1	Q_2	Q_3	V_{a0}	V_{b0}	V_{c0}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_α	V_β
V0	0	0	0	$\frac{E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{E}{2}$	0	0	0	0	0
V1	1	0	0	$\frac{E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{2E}{3}$	$\frac{-E}{3}$	$\frac{-E}{3}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E$	0
V2	1	1	0	$\frac{E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{2E}{3}$	$\sqrt{\frac{1}{6}}E$	$\sqrt{\frac{1}{2}}E$
V3	0	1	0	$\frac{-E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{-E}{3}$	$\frac{2E}{3}$	$\frac{-E}{3}$	$-\sqrt{\frac{1}{6}}E$	$\sqrt{\frac{1}{2}}E$
V4	0	1	1	$\frac{-E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{-2E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$-\sqrt{\frac{1}{6}}E$	0
V5	0	0	1	$\frac{-E}{2}$	$\frac{-E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{-E}{3}$	$\frac{-E}{3}$	$\frac{2E}{3}$	$-\sqrt{\frac{1}{6}}E$	$-\sqrt{\frac{1}{2}}E$

V6	1	0	1	$\frac{E}{2}$	$-\frac{E}{2}$	$\frac{E}{2}$	$\frac{E}{3}$	$-\frac{2E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$\sqrt{\frac{1}{6}}E$	$-\sqrt{\frac{1}{2}}E$
V7	1	1	1	$-\frac{E}{2}$	$-\frac{E}{2}$	$-\frac{E}{2}$	0	0	0	0	0

TABLE 2.1 – Calcul des vecteurs de tensions

2.5.1.2 Les configurations possibles :

Deux de ses huit vecteurs sont identiquement nuls, les six autres ont le même module, égale à $\sqrt{\frac{2}{3}}E$. Les extrémités de ces six vecteurs définissent les sommets d'un hexagone régulier, puisque deux vecteurs successifs font entre eux un angle de $\frac{\pi}{3}$ [7]

Si on considère les composantes V_α et V_β comme les projection sur deux axes perpendiculairement d'un vecteur \vec{V}_{ref} , ce vecteur à lui tout seul suffit à caractériser le système triphasé (Figure 2.13)

Les vecteurs de tensions sont représentés par la relation suivante :

$$V_{i=} \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{3}}E \cdot e^{j(i-1)\frac{\pi}{3}} & \dots\dots\dots i = 1, \dots, 6 \\ 0 & \dots\dots\dots i = 0, 7 \end{cases} \tag{2.8}$$

Chacun des couples de vecteurs V_i et V_{i+1} ($i=1..6$) définissent les limites d'un des six secteurs de l'hexagone (à noter que dans le secteur 6 la notation V_{i+1} correspond au vecteur V_1).

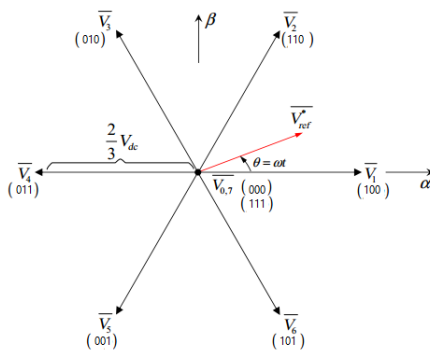


FIGURE 2.13 – Les vecteurs de tension de sortie dans le plan ($\alpha; \beta$)

2.5.1.3 Le vecteur de tension désirée :

On peut également définir un vecteur V dont les coordonnées sont les composants de Clark V_α, V_β du système triphasé de tension V_{an}, V_{bn}, V_{cn} que l'on veut obtenir en sortie[7].

Si :

$$\begin{cases} V_{an} = r \frac{E}{2} \sin(\omega t) \\ V_{bn} = r \frac{E}{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{cn} = r \frac{E}{2} \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (2.9)$$

Avec r : taux de modulation ou coefficient de réglage.

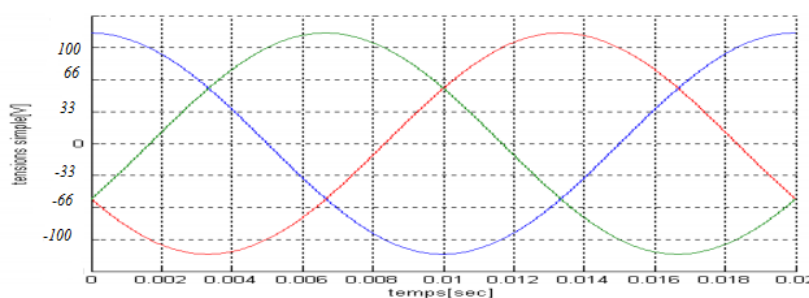


FIGURE 2.14 – Tensions simples de référence

La transformation donne :

$$\begin{aligned} V_\alpha &= \sqrt{\frac{2}{3}}(V_{an} - \frac{1}{2}V_{bn} - \frac{1}{2}V_{cn}) \\ V_\beta &= \sqrt{\frac{2}{3}}(\frac{\sqrt{3}}{2}V_{bn} - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{cn}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

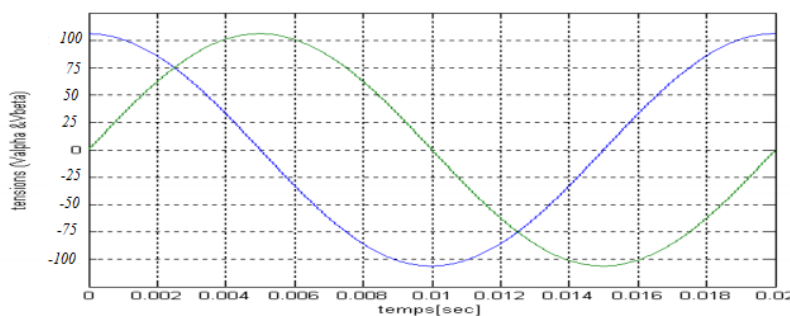


FIGURE 2.15 – Tensions V_α et V_β

Le schéma suivant résume la méthode de calcul de la SVPWM :

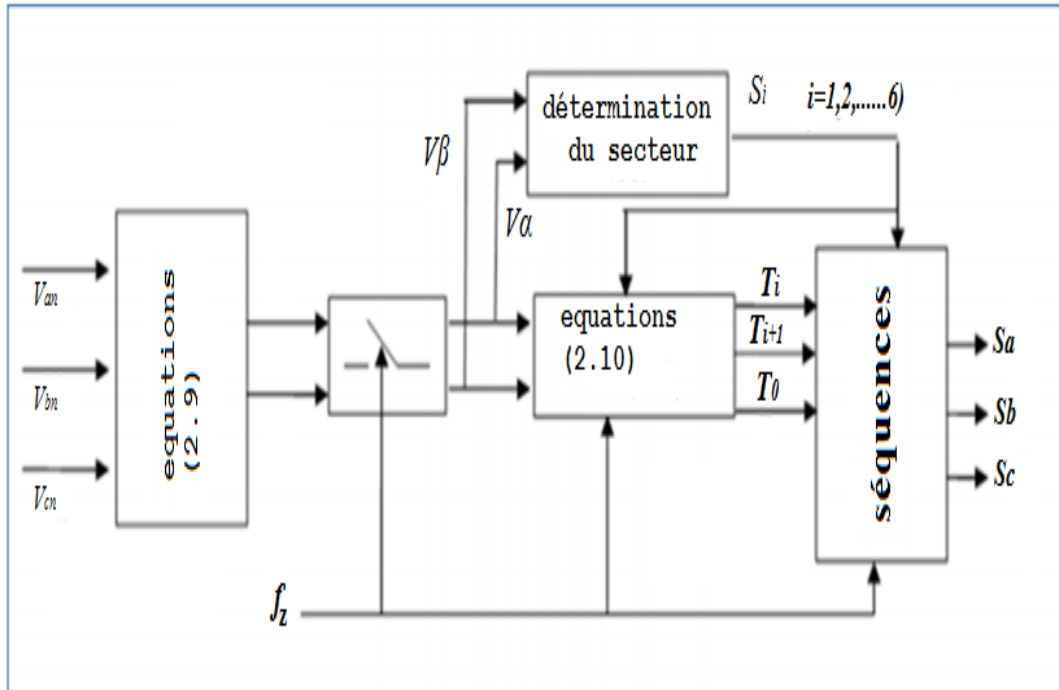
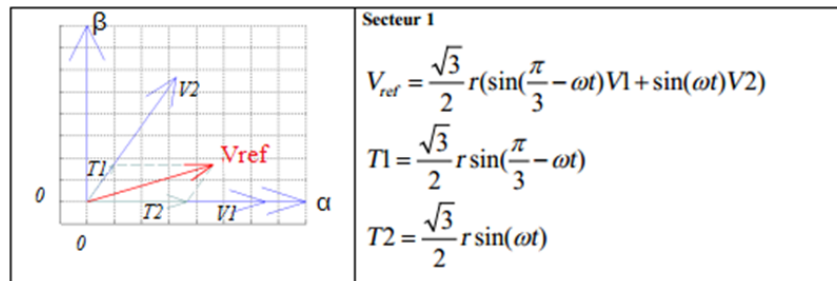


FIGURE 2.16 – Schéma de principe de la SVPWM.

Le vecteur est d'amplitude constante $r \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E}{2}$; tournant dans le sens antihoraire avec une vitesse angulaire égale a la pulsation ω des tensions désirées, à l'instant $t = 0$, il est dirigé suivant l'axe α .a chaque instant, le vecteur V_{ref} peut être exprimé comme une combinaison linéaire des deux vecteurs de sortie qui lui sont adjacents. On résumé les six secteur dans ce figure :



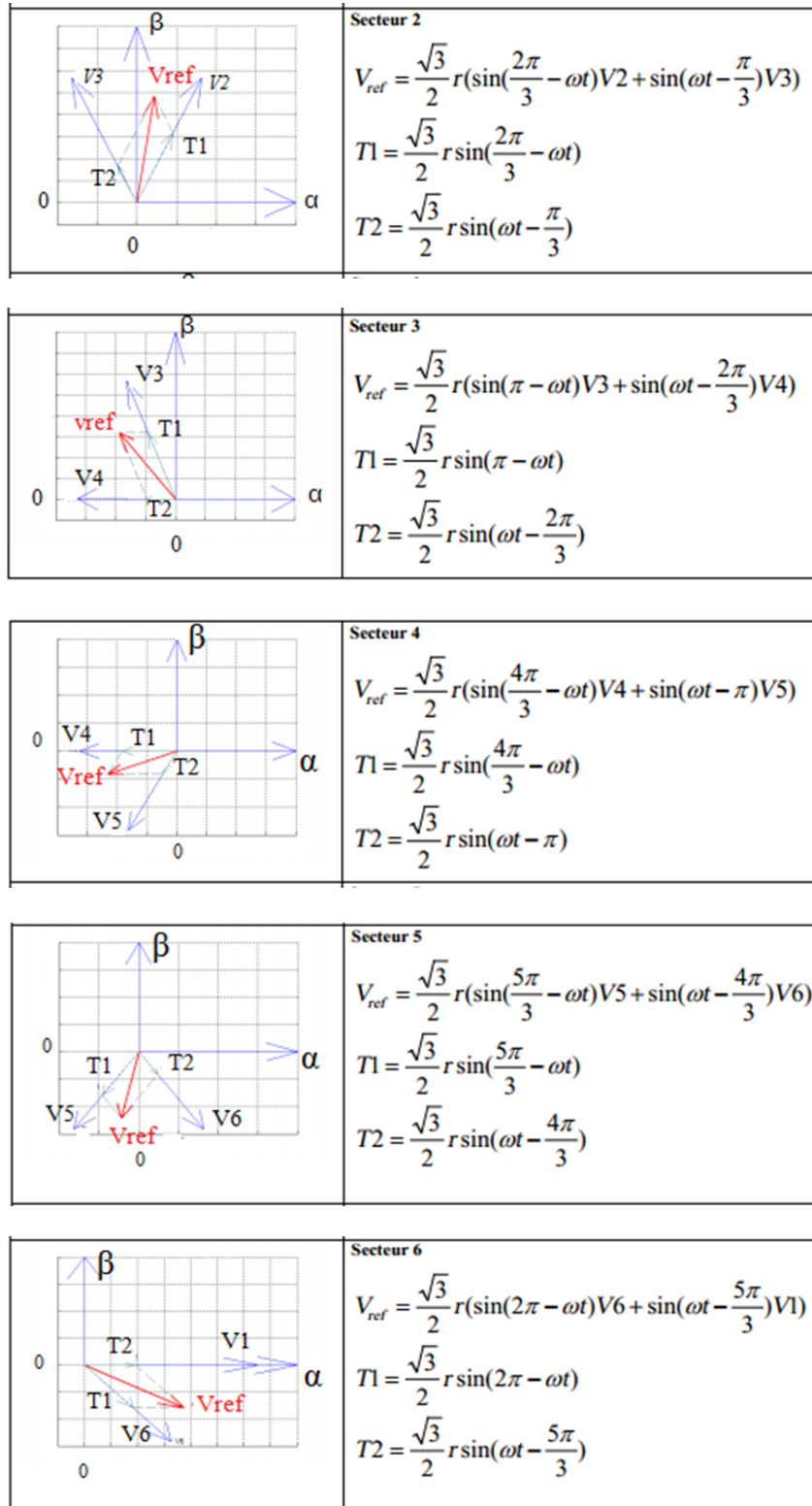


FIGURE 2.17 – Représentation du vecteur de référence et calcul des temps de commutation

calcul des temps de commutation dans ce figure :

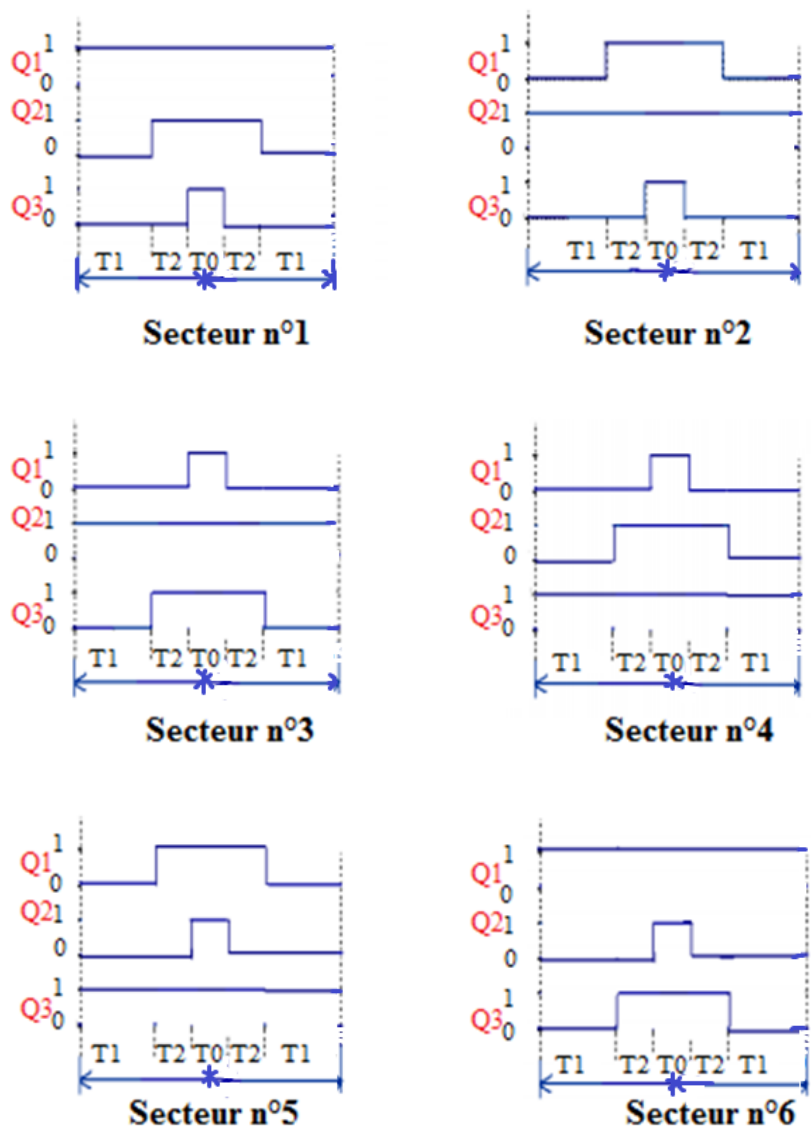


FIGURE 2.18 – Les temps de commutation pour chaque semi-conducteur dans chaque secteur

2.6 Simulation de la commande SVPWM d'onduleur triphasé :

Le schéma suivant 2.19 presenti un onduleur triphasé commande par SVPWM est réalésé par logiciel MATLAB/SIMULINK

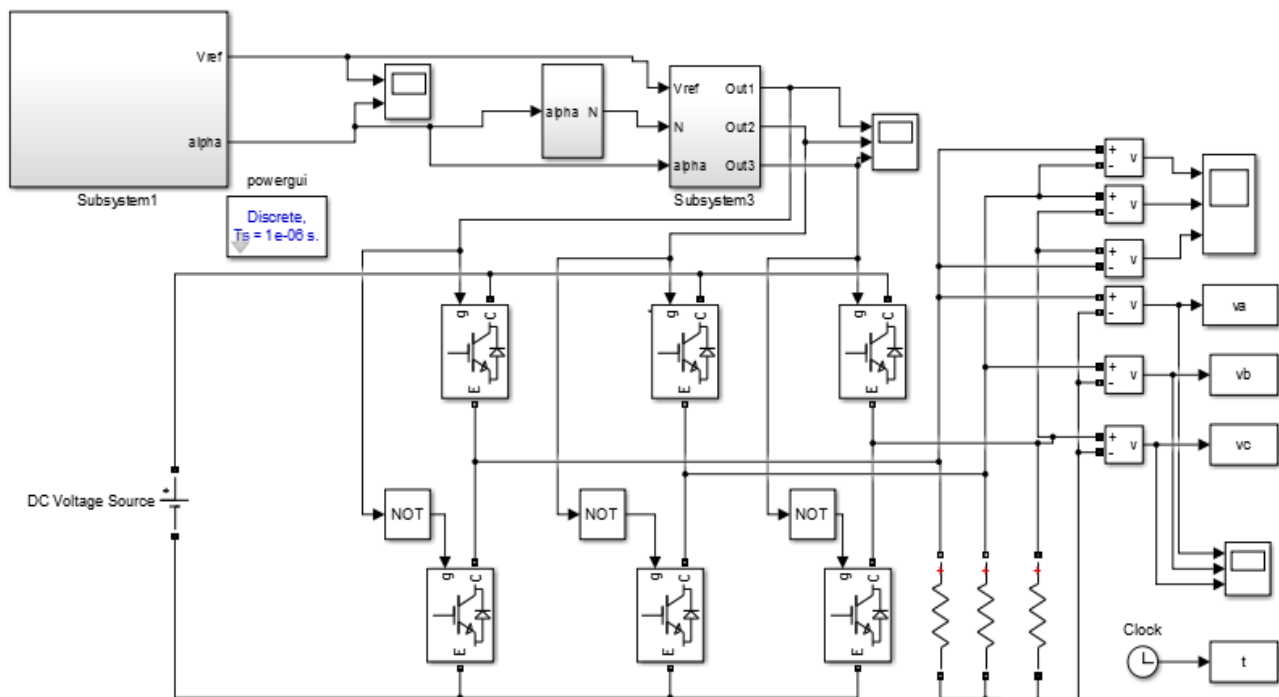
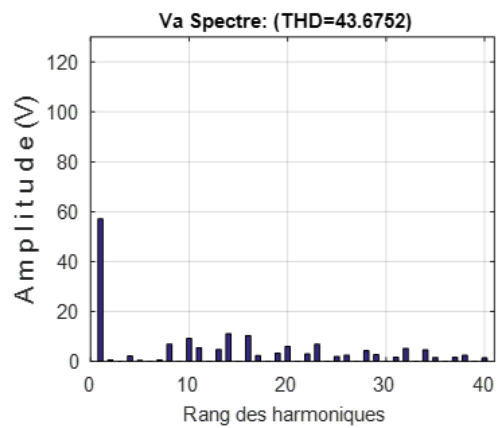
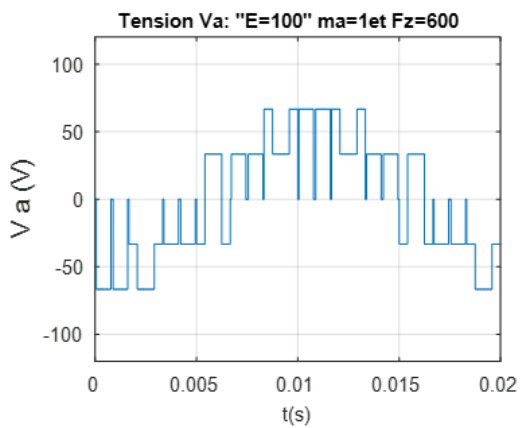
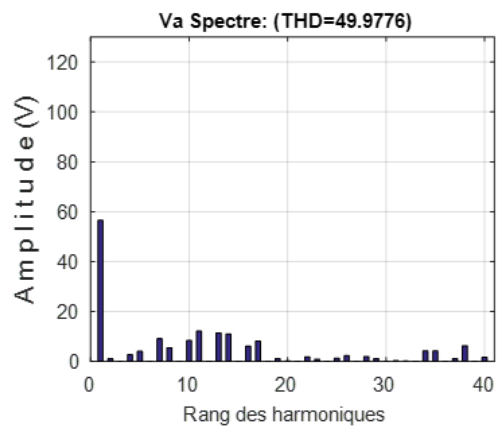
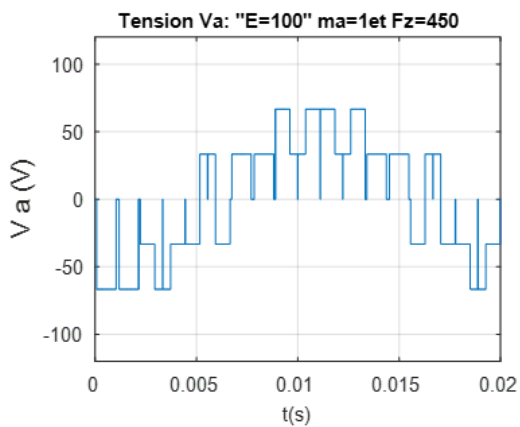


FIGURE 2.19 – onduleur triphasé avec commande (SVPWM)



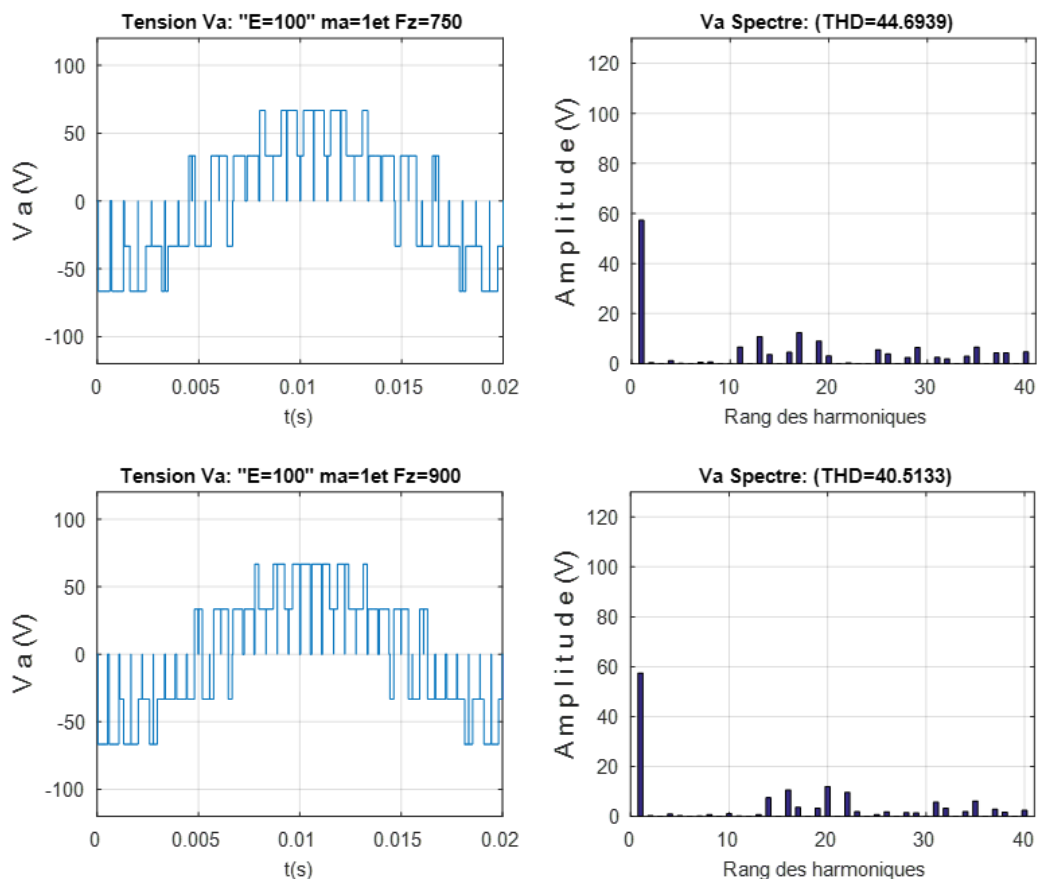


FIGURE 2.20 – Résultats de Simulation de la commande SVPWM d'onduleur triphasé

On remarque que la SVPWM a permis d'obtenir un fondamental d'amplitude de 90% par rapport à celui obtenu avec la technique Pleine Onde.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a appliqué une méthode simplifiée de la modulation SPWM et SVPWM de l'onduleur triphasé à deux niveaux de tension.

la SPWM car elle permet de repousser les harmoniques vers des fréquences élevées.[2]

et La SVPWM a l'avantage de produire des tensions avec un taux d'harmoniques plus faibles.[6]

et on présentera la simulation et l'interprétation du résultat des différentes commandes telles que la commande sinusoïdale et la commande vectorielle.

Chapitre 3

La réalisation pratique de l'onduleur

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous entamerons la partie pratique de l'étude, consistant à réaliser un onduleur de tension triphasé à base d'IGBT commandé par la carte dspace 1103 et appliquer des techniques de commande à s'avoir la commande SPWM et SVPWM.[2]

3.2 Présentation de la plate-forme :

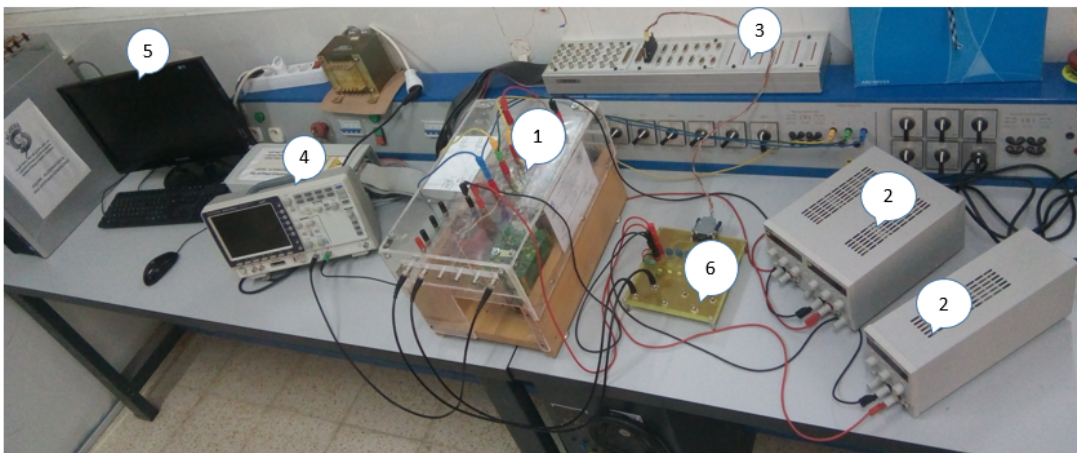


FIGURE 3.1 – Présentation de la plate forme

1. Description Onduleur de tension : comme il nous permet de moduler la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence variable, il est utilisé comme variateur de vitesse.
2. Source de tension : génère une tension variable à l'aide d'un potentiomètre.
3. La carte dSPACE 1103 : le contrôleur qui représente une interface entre l'ordinateur hôte, le circuit d'attaque et les systèmes de convertisseur, comprenant des convertisseurs, des interfaces série,... etc.
4. L'oscilloscope : utilisé pour l'affichage des différents signaux désirés et les enregistrer sur un support externe (disquette, disk flash) en utilisant un lecteur disquette ou un port USB.
5. Micro-ordinateur : permet de contrôler les autres parties de la maquette, en introduisant des données et ce, en utilisant des logiciels spécifiques.
6. Carte d'isolation

3.3 Schéma synoptique de l'onduleur :

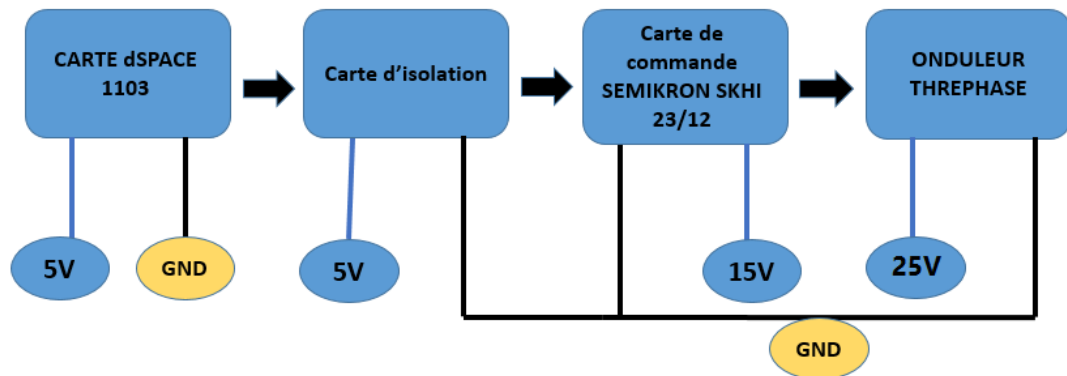


FIGURE 3.2 – schéma synoptique de l'onduleur

3.4 Présentation de la carte DsPACE 1103 :

Développée par la société allemande dSPACE, c'est une carte de prototypage rapide de loi de commande, sa puissance de calcul et ses E/S sont primordiales pour les applications. Utilisée avec le Real-Time Interface (RTI), cette carte est entièrement programmable à

partir de l'environnement de Matlab Simulink. On peut configurer toutes les E/S graphiquement en utilisant la RTI. C'est une façon simple et rapide d'implémenter les fonctions de commande.[2]

La carte est dotée d'un panneau de connexion qui comporte les périphériques des E/S qui permettent la communication avec le système physique « figure 3.3 ».

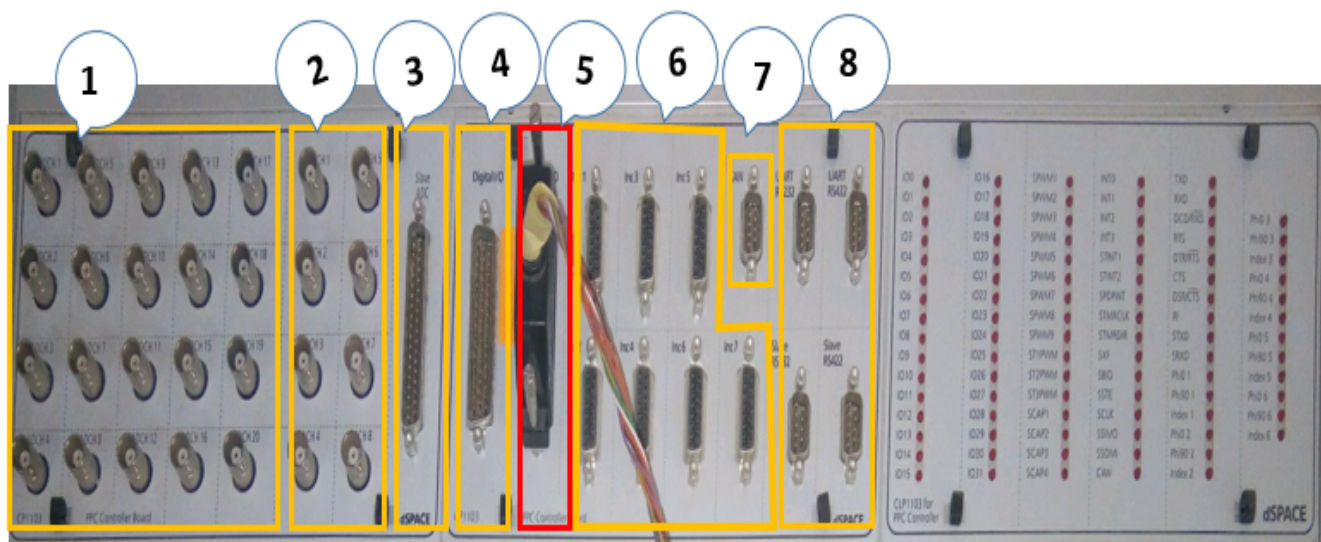


FIGURE 3.3 – Constitution de l'interface série de la dsSPACE 1103

1. 20 convertisseurs analogiques numériques (CAN) : utilisés pour la récupération de données analogiques à partir d'un système puis leur conversion au numérique et leur affichage sur PC.
2. 8 convertisseurs numériques-analogiques (CNA) de 16 bits pouvant délivrer une tension (+10V, -10V), utilisés pour la conversion de données numérique introduites à partir du PC en données analogiques, puis leur injection à un système externe.
3. Le connecteur ADC esclave (CP29) est un connecteur Sub-D mâle à 37 broches , situé à l'avant du panneau de connexion.
4. Entré/sortie numérique utilisée lorsque nous avons affaire à un langage de programmation.
5. Entré/sortie du DSP esclave chargé de générer les signaux MLI pour la commande de l'onduleur.
6. 7 codeurs incrémentaux pour la récupération de données à partir de capteurs (capteurs de position).

7. Le connecteur CAN (CP38) est un connecteur Sub-D mâle à 9 broches situé sur le devant du panneau de connexion. Le brochage a été adopté du connecteur CAN standard à 9 broches.
8. Les ports séries (RS 232, RS 422) : utilisés pour avoir une communication série entre la dsPACE 1104 et les différents appareils électroniques (automate, appareil de mesure, etc.). Ils assurent également la communication entre deux cartes dsPACE.
- Elle se compose également de 32 entrées/sorties numériques (de 3 trimes (32 bits)) pouvant fonctionner de manière indépendante comme la montre la figures ci-après :

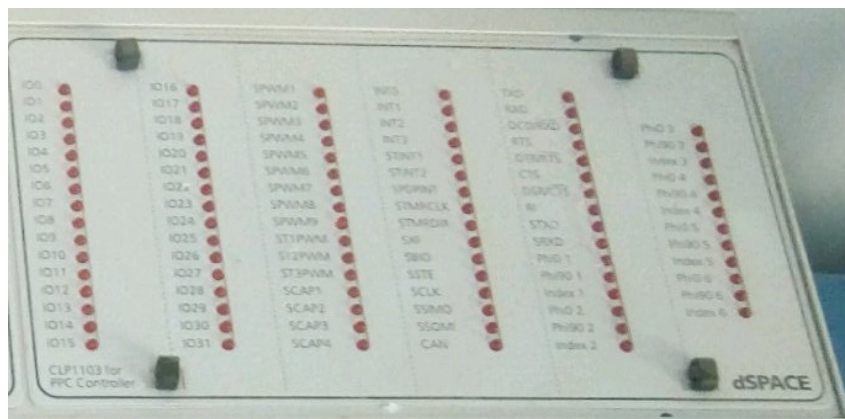


FIGURE 3.4 – Les différentes entrées/sorties de la dsPACE 1104

3.4.1 Composition de la carte DS 1103 :

La carte DS 1103 est composée :

- Un processeur maître Motorola MPC8240.
- Un sous ensemble du processeur DSP esclave TMS320F240 de Texas Instruments.
- Une mémoire SDRAM de 32 Mo, une mémoire Flash de 8Mo et un port-dual RAM.
- Une interface série.
- Un bus PCI, qui permet la connexion entre la carte et le connecteur d E/S.
- Un générateur MLI fonctionnant en monophasé et en triphasé.
- 20 E/S numérique.
- Interface d'encodeurs incrément aux.
- Huit ADC et huit DAC.

3.4.2 Domaine d'application de la carte DS1103 :

Cette carte contrôleur est conçue pour répondre aux exigences du prototypage rapide et moderne de lois de commande et elle est particulièrement appropriée pour les applications telles, que :

- Contrôle des moteurs électriques.
- Robotique.
- Contrôleurs automobiles.

3.5 Carte d'isolation :

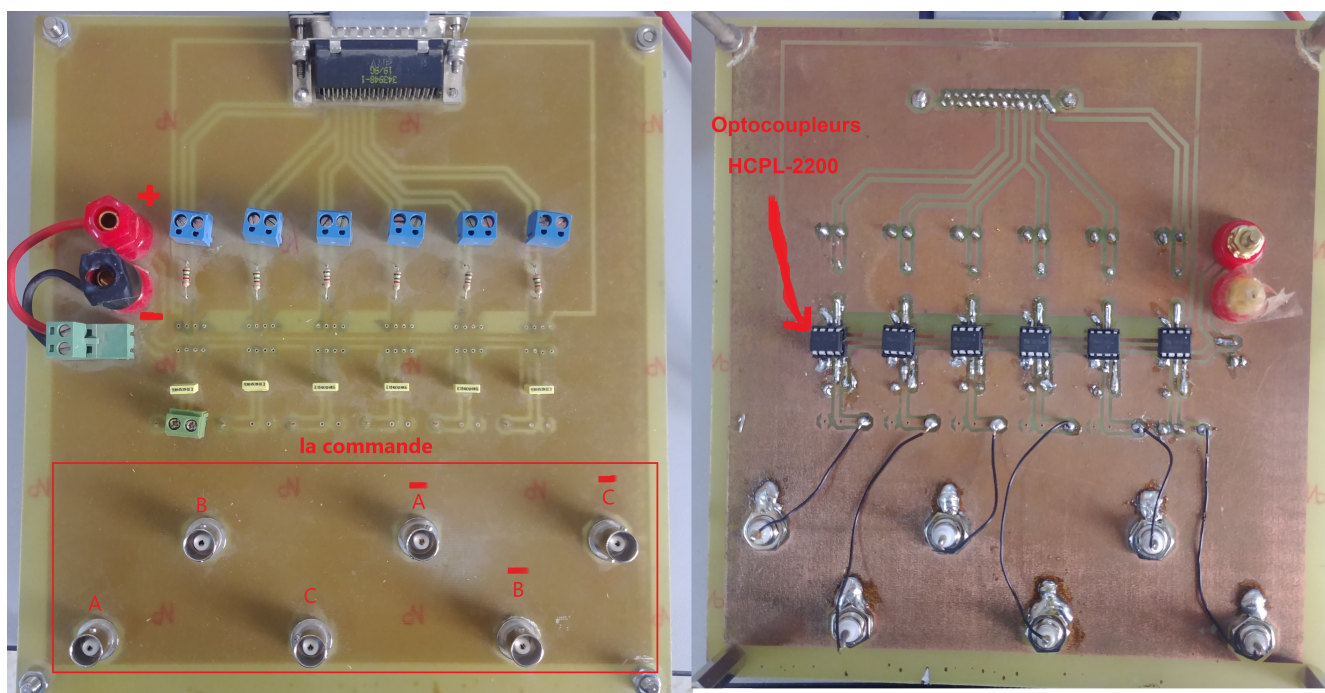


FIGURE 3.5 – Image de la carte d'isolation réalisée

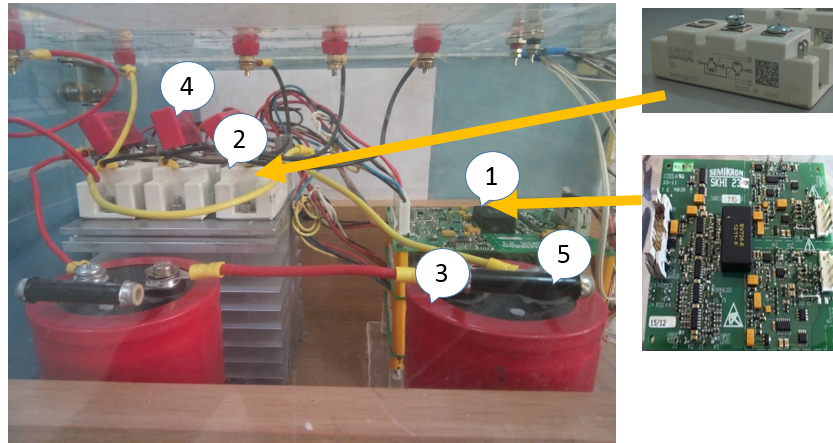


FIGURE 3.6 – La plate forme du Onduleur triphasé réalisé

1. Carte de commande SEMIKRON SKHI 23/12.
2. Onduleur triphasé à base d'IGBT (SKM50GB12V).
3. Capacité (système de filtrage tension d'entre"tension continue").
4. Capacité"smnupers" (Minimise les distorsions de la tension alternative).
5. résistanse 20k Ω poure décharge la Capacité (système de filtrage) .

3.6 Carte de commande SEMIKRON SKHI 23/12 :



FIGURE 3.7 – Carte de commande SEMIKRON SKHI 23/12

La carte SEMIKRON a plusieurs fonctions, l'une de ces fonction et de commandé les bras de l'onduleur de tension elle assure le pilotage des gâchettes de l'IGBT (éviter les courts circuits des deux transistors du même bras de l'onduleur) Cette carte a des avantages, on cite quelques un,

- Besoin que d'une alimentation +15 non isolé (même en utilisant 3 pilotes dans les systèmes à 3 phases).
- En utilisant des transformateurs magnétiques de très haute capacité dV/dT jusqu'à $75kV/\mu s$.
- Isolement entre le contrôle / l'IGBT jusqu'à 4kv.
- La capacité de courant de crête de sortie jusqu'à 30 A.
- Verrouillage haut/bas évite deux IGBT de même jambe étant commuté en même temps.
- Temps mort, VCE , $RGON/OFF$ séparément réglable à optimiser pour des applications spécifiques de l'utilisateur.
- Mémoire de défauts informe le système de contrôle via un signal d'erreur.
- Fournir une protection sous-tension.

Comme tous les composants électroniques, la carte SEMIKRON a des caractéristiques qui sont bien détailler sur le tableau suivant avec $Ta = 25^\circ$: Afin de régler le temps mort,

Symbole	Conditions	Min	Type	Max	Unité
V_s	Tension d'alimentation de primaire	14.4	15.0	15.6	V
I_s	Courant d'alimentation (max)	//	0.32	//	A
$V_{G(on)}$	Tension de gâchette de sortie à l'ouverture	//	+15	//	V
$V_{G(off)}$	Temps mort	//	-8	//	V
$t_{(TD)}$	Tension de gâchette de sortie à la fermeture	//	10	//	μs
Symbole	Conditions	Min	Type	Max	Unité
$VCE_{(stat)}$	Tension de référence pour Vcede surveillance	//	5.2	//	V
$RG_{(on)}$	Résistance de gâchette pour un signal ouvert	//	22	//	Ω

$RG_{(off)}$	Résistance de gâchette pour un signal fermé	//	22	//	Ω
$C_{(ps)}$	Capacité de primaire au secondaire	//	12	//	PF

TABLE 3.1 – Caractéristique de la carte SEMIKRON SKHI 23/12

on installe des résistances entre les branches J3,K3 (RTD1) et J4,K4 (RTD2). Les valeurs de ces résistances sont indiquées sur le tableau suivant :

$R_{TD1} = R_{TD2}$	temps verrouillage t_{TD}
10 kW	0,9 ms
22 kW	1,8 ms
33 kW	2,5 ms
47 kW	3,2 ms
68 kW	4,0 ms
100 kW	5,0 ms
330 kW	7,7 ms
pas équipée (réglage par défaut)	10

TABLE 3.2 – Réglage du temps de verrouillage

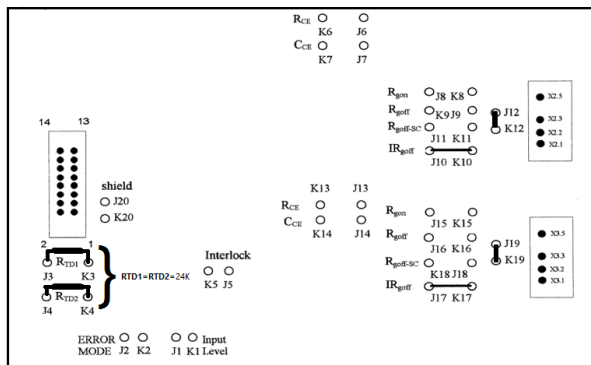


FIGURE 3.8 – connexions de la SKHI 23

3.7 Application des techniques de commande :

3.7.1 Commande 180° (pleine onde) :

La figure 3.9 presenti la ploc de commande plan onde :

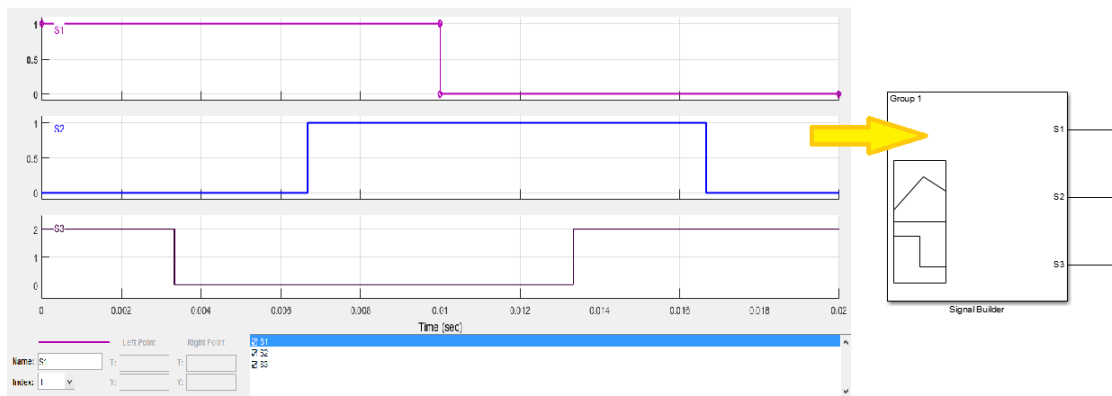


FIGURE 3.9 – Commande pleine onde

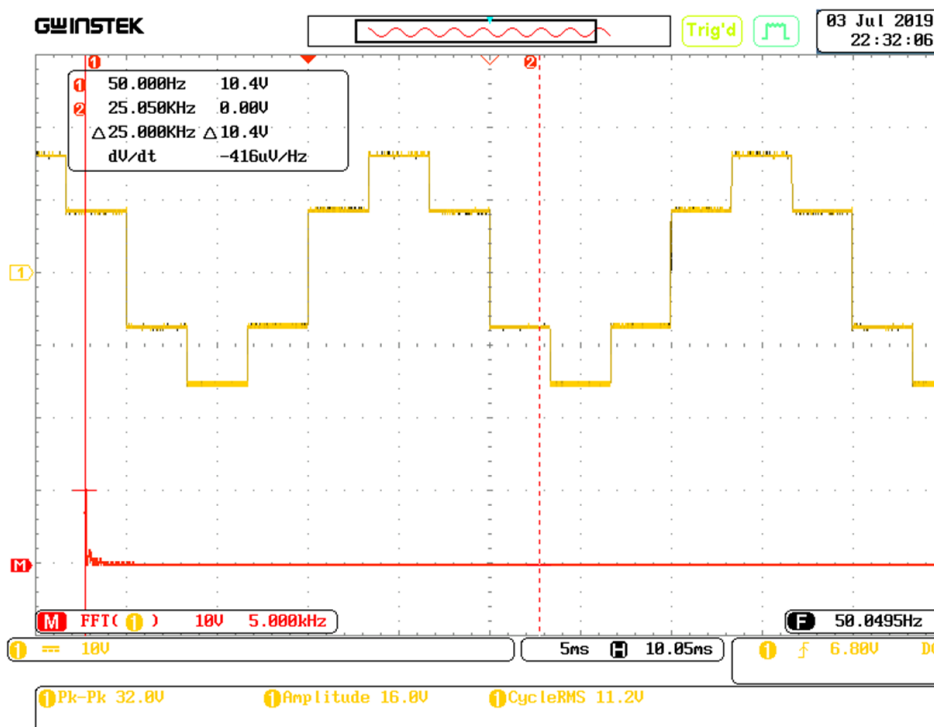


FIGURE 3.10 – Tensions simples Va à la sortie de l'onduleur (commande pleine onde).

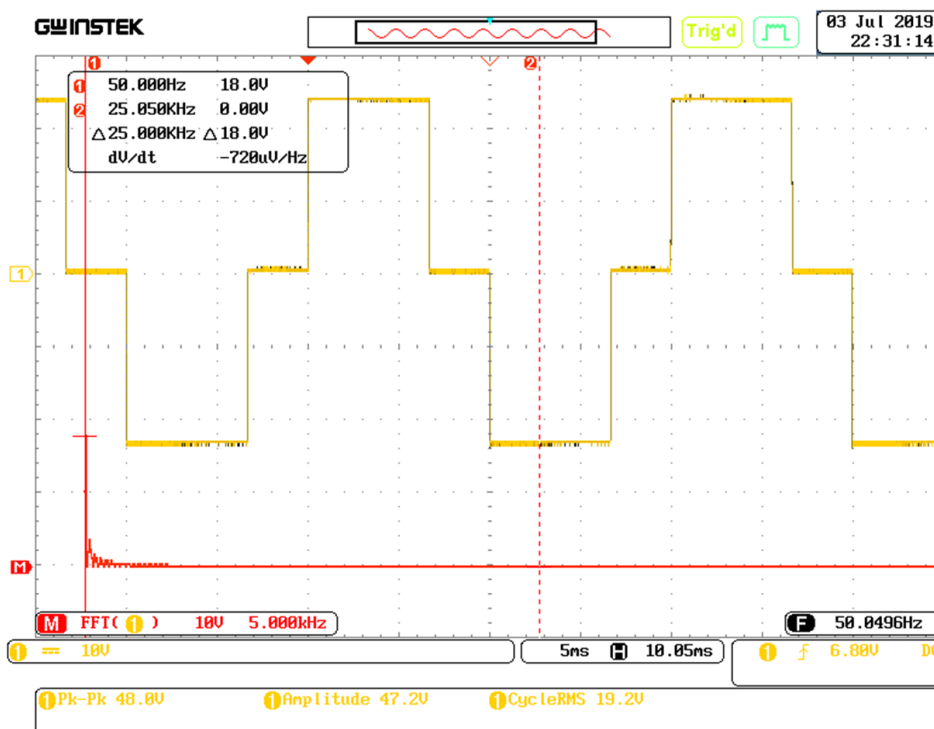


FIGURE 3.11 – Tension composée U_{ab} à la sortie de l'onduleur (commande pleine onde) .

3.7.2 Commande SPWM :

Selon la figure :3.12 nous avons réalisé un schéma bloc de la commande SPWM

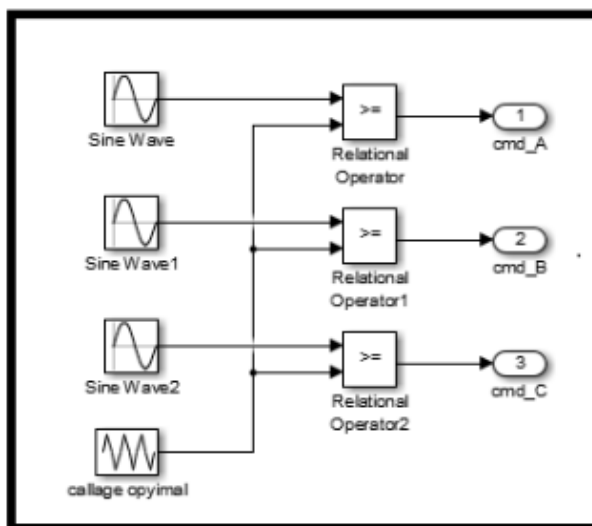


FIGURE 3.12 – Schéma bloc de commande SPWM

— Résultats pratiques de l'implémentation de la commande SPWM Nous avons $m=160$ et $r=1$; $E=25.15V$

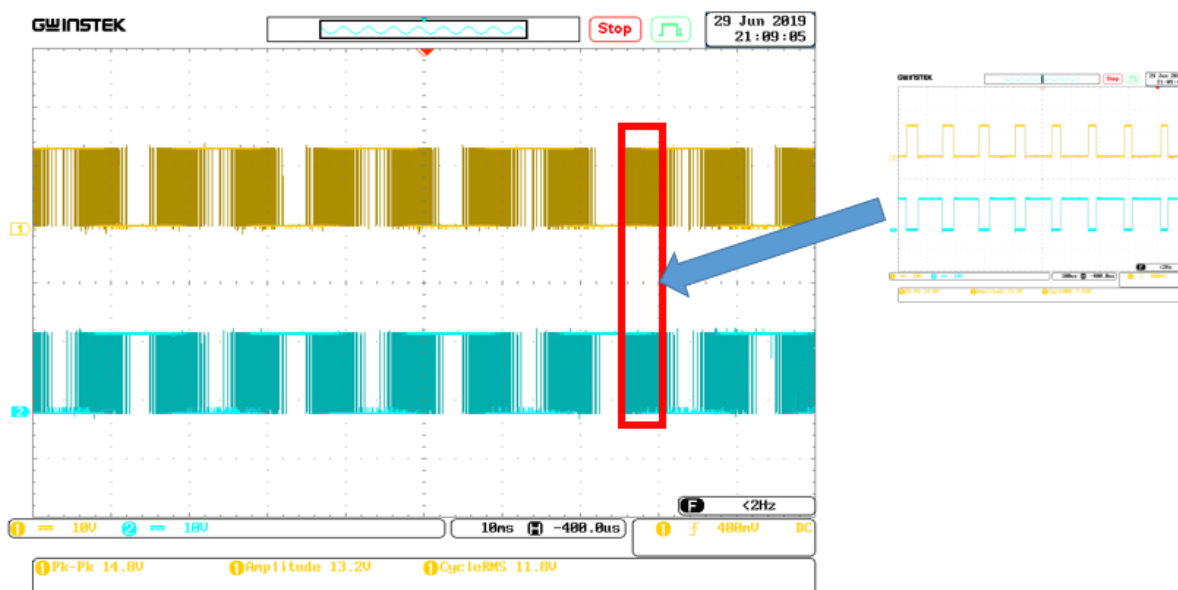


FIGURE 3.13 – Signaux de commande Sa et Sa' de l'onduleur (commande SPWM) .

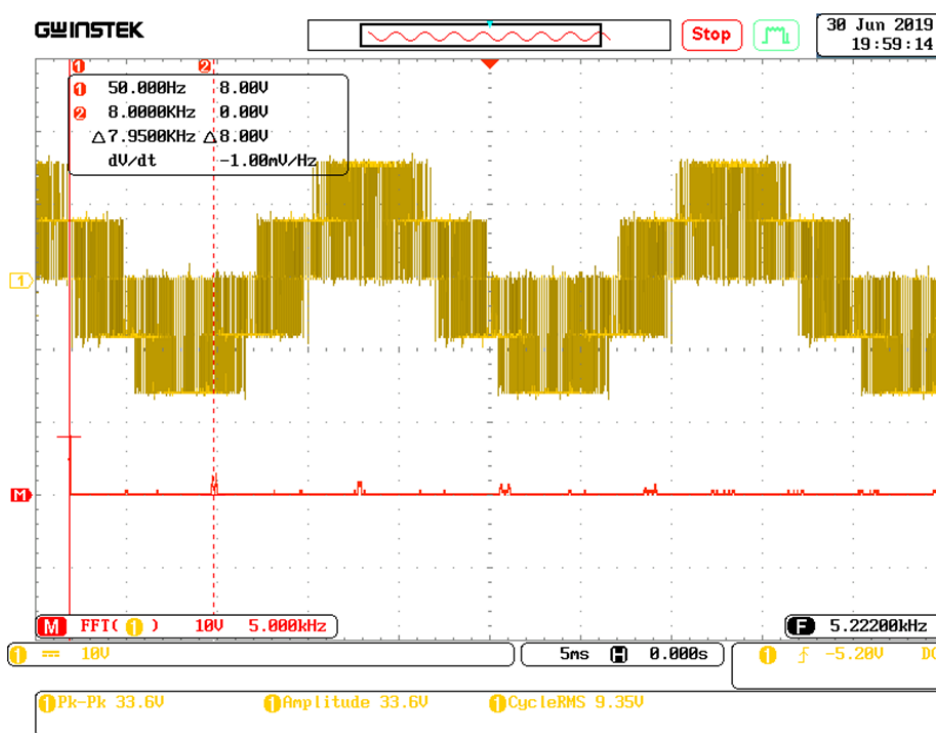


FIGURE 3.14 – Tensions simples Va à la sortie de l'onduleur (commande SPWM) .

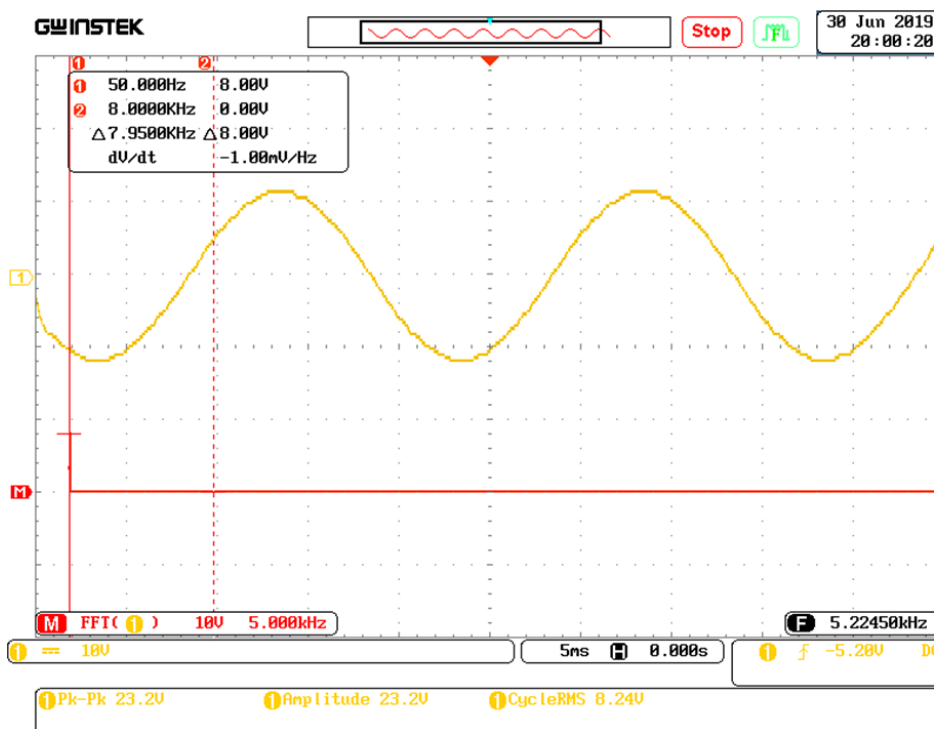


FIGURE 3.15 – SPWM : Résultats expérimentaux de la tension simple Va de charge filtrée numériquement

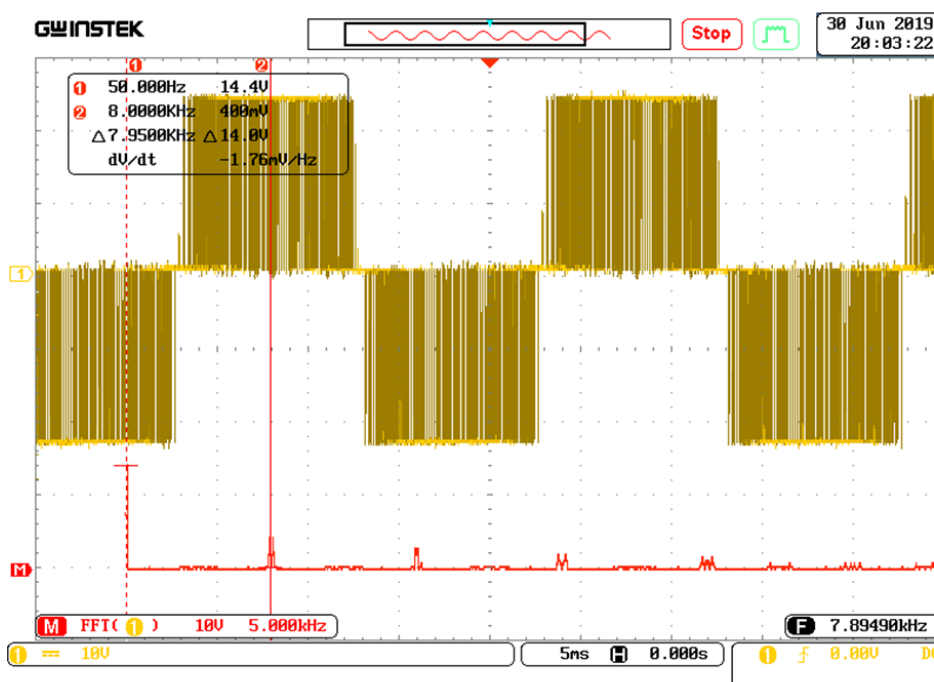


FIGURE 3.16 – Tension composée Uab à la sortie de l'onduleur (commande SPWM) .

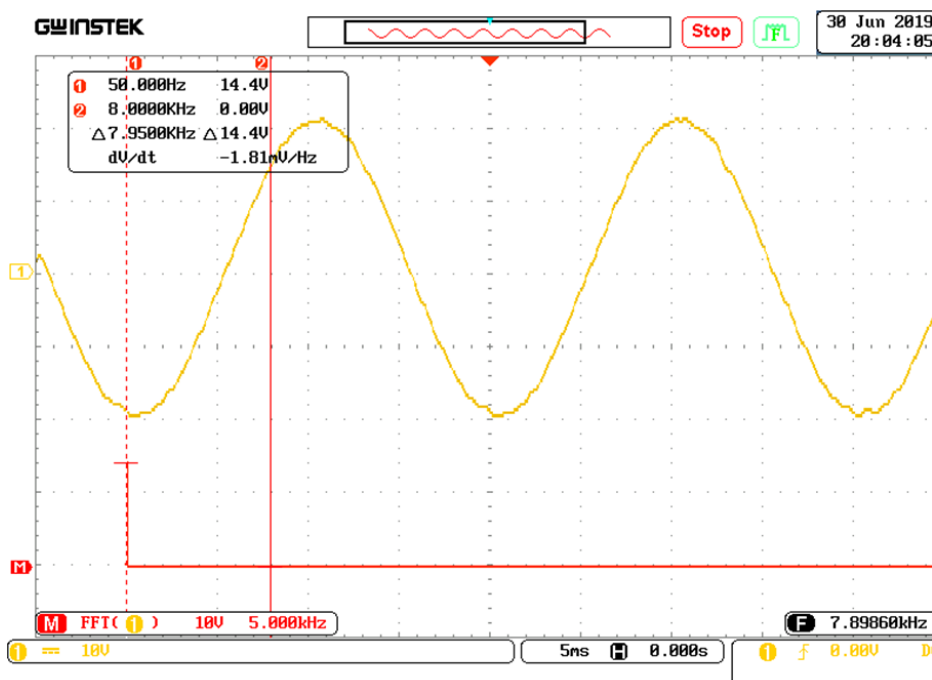


FIGURE 3.17 – SPWM : Résultats expérimentaux de la tension composée U_{ab} de charge filtrée numériquement

— Discussion des résultats de l'implémentation de la commande SPWM

On remarque que la SPWM a permis d'obtenir un fondamental d'amplitude de 78% par rapport à celui obtenu avec la technique Pleine Onde.

et La similitude des résultats de l'implémentation et de la simulation de la commande SPWM nous a permis de valider le modèle de notre commande qui pourra être utilisé ultérieurement pour diverses applications. En plus nous avons remarqué que la commande MLI nous permet d'avoir une allure de tension beaucoup plus proche de la sinusoïde.[2]

3.7.3 Commande SVPWM :

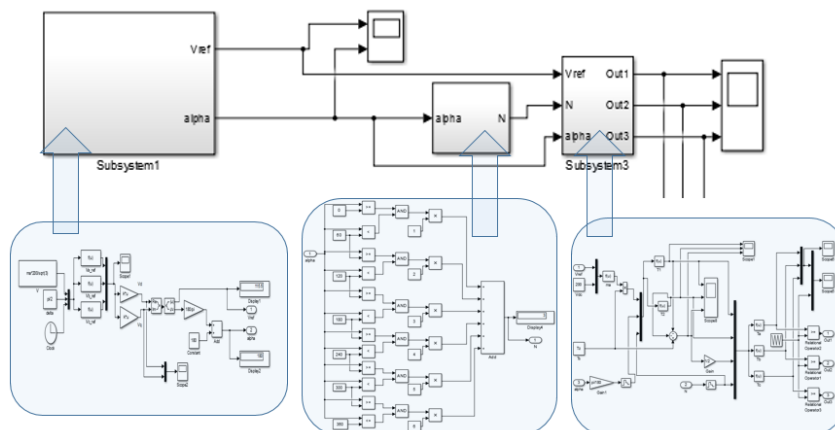


FIGURE 3.18 – Schéma bloc de commande SVPWM

— Résultats pratiques de l'implémentation de la commande SVPWM Nous avons $F_z=160$ et $ma=1$; $E=25.15V$

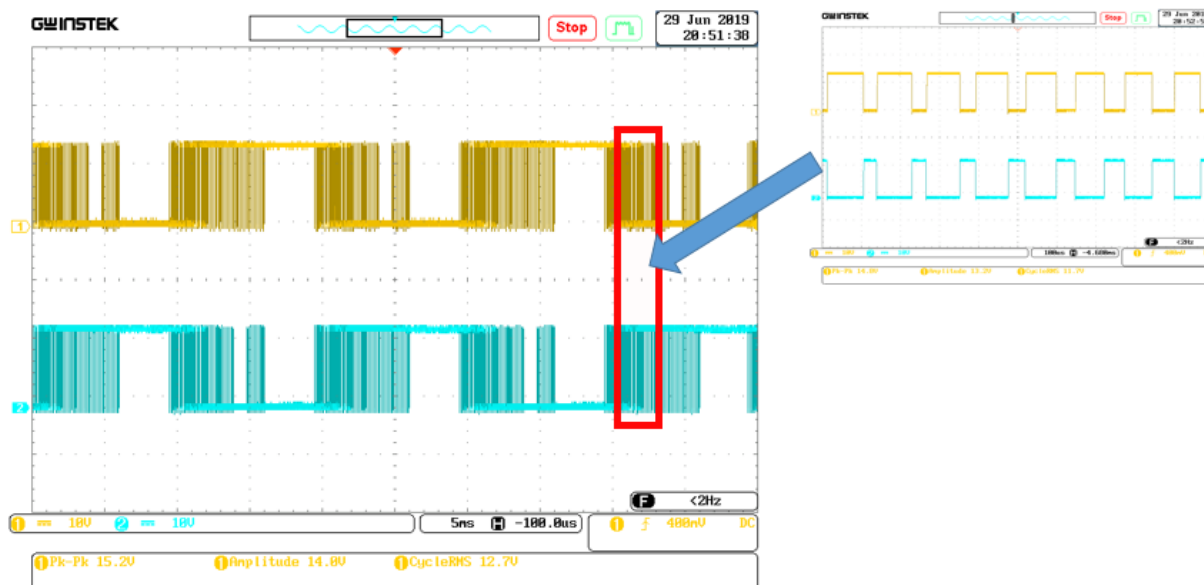


FIGURE 3.19 – Signaux de commande S_a et S_a' de l'onduleur (commande SVPWM) .

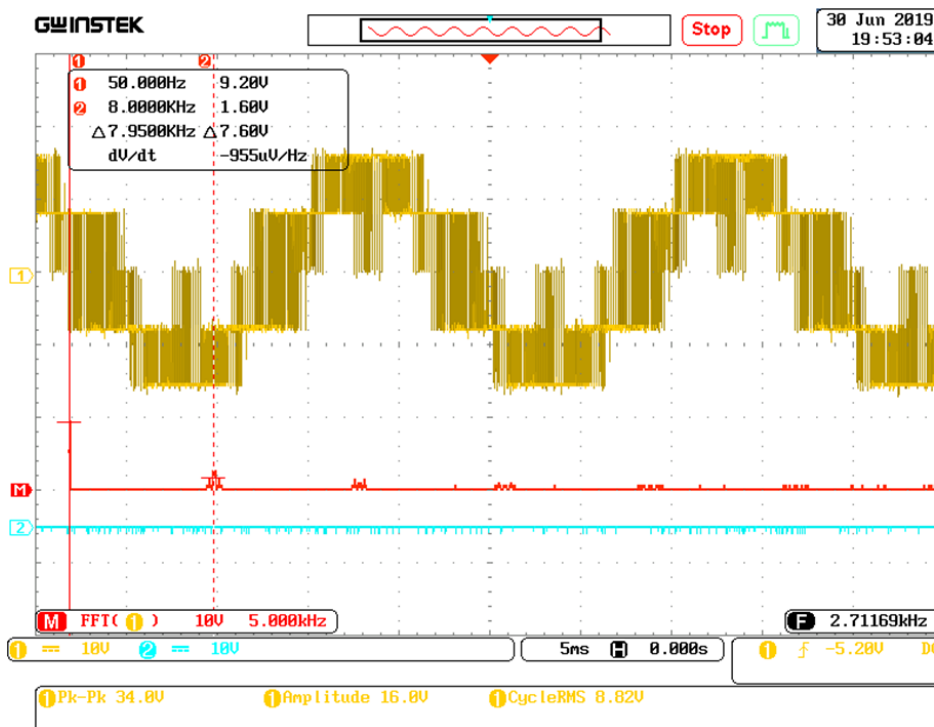


FIGURE 3.20 – Tensions simples V_a à la sortie de l'onduleur (commande SVPWM).

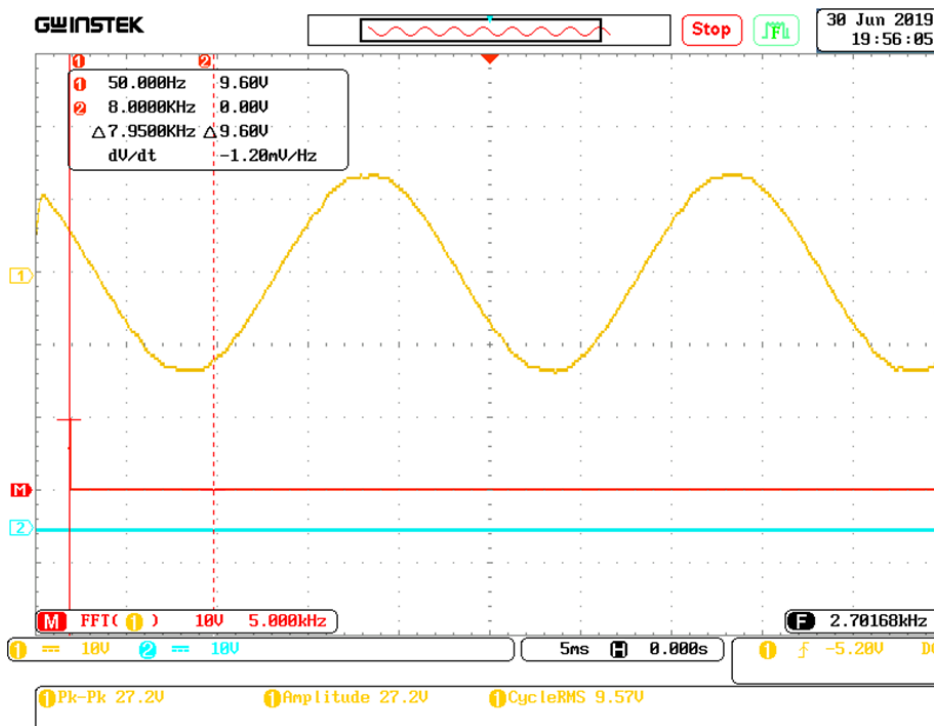


FIGURE 3.21 – SVPWM :Résultats expérimentaux de la tension simples V_a de charge filtrée numériquement

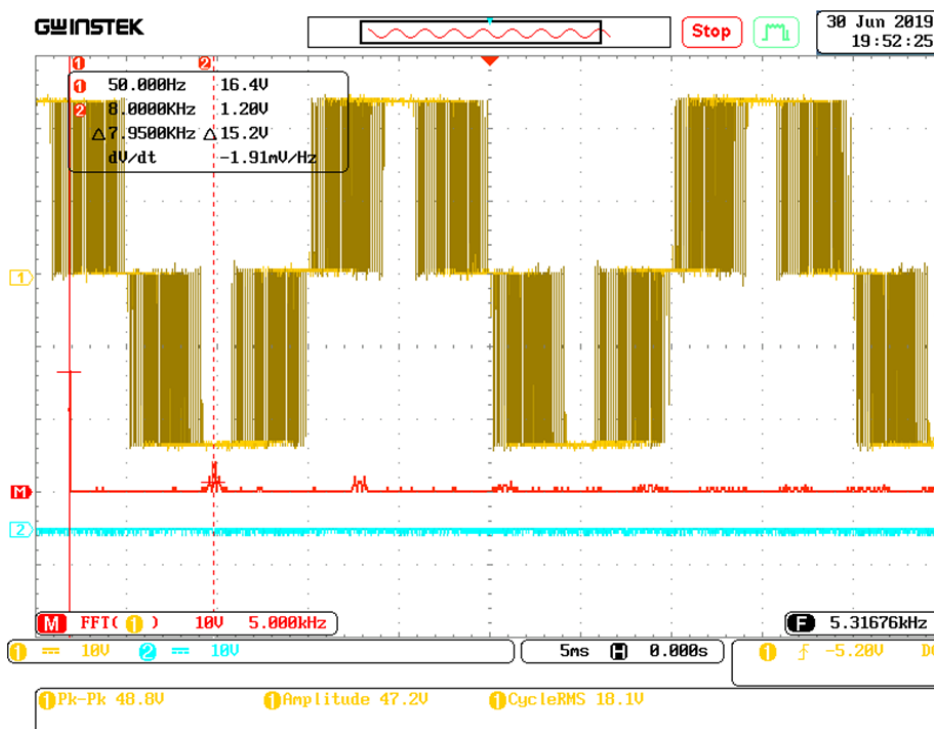


FIGURE 3.22 – Tension composée U_{ab} à la sortie de l'onduleur (commande SVPWM) .

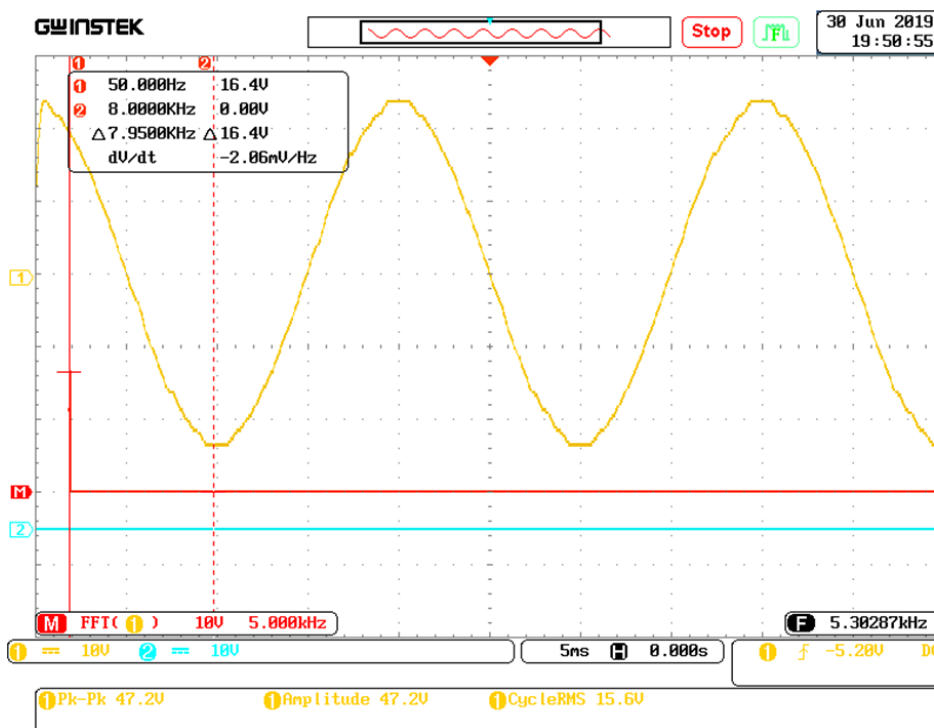


FIGURE 3.23 – SVPWM :Résultats expérimentaux de la tension composée U_{ab} de charge filtrée numériquement

On remarque que La SVPWM a permet d'obtenir un fondamental d'amplitude de 90 % par rapport à celui obtenu avec la commande Peine Onde.

et en raison des performances élevées de la technique SVPWM par rapport à la technologie SPWM, elle est largement utilisée dans la commande numérique des onduleur triphasé à deux niveaux.[12]

3.7.4 Conclusion :

Dans cette partie nous avons présenté les différents organes qui constituent notre banc d'essai réalisé. Nous avons essayé d'expliquer au mieux les étapes suivis pour la réalisation de l'onduleur, à chaque passage, nous avons utilisé nos connaissances théoriques afin de surmonter les obstacles au quels la réalisation pratique nous faisait face. Grace à cette réalisation, nous avons amélioré et renforcé nos connaissances théoriques.

Une fois le banc d'essai été réalisé, nous l'avons mis à commandé par deux techniques distingues, à savoir : la commande SPWM et la commande SVPWM. Identiquement à la partie simulation (chapitre 2), nous avons visualisé les diverses allures de la commande SPWM et SVPWM. Ces dernières, si nous les comparons à celles obtenues dans ce troisième chapitre, nous constaterons alors, que les résultats sont similaires, plus spécialement, la forme des tensions à la sortie de l'onduleur.

Cependant ce dernier chapitre, nous a permet aussi de mettre en évidence l'importance et la performance de commande SPWM et SVPWM (technique la plus utilisée pour les onduleur triphasé à deux niveaux) par rapport au d'autre commande, Ceci dit, les modèles réalisés ont été validés.

Conclusion générale

Objectif essentiel de ce travail est de faire une comparaison théorique et pratique entre trois techniques de commande : Pleine Onde, SPWM et SVPWM. Afin de faire apparaître les avantages d'une stratégie à une autre, deux paramètres de comparaison sont adoptés : le contenu harmonique de grandeurs de sortie quantifié par le THD, et l'utilisation du bus continu représenté par l'amplitude maximale que peut atteindre le fondamental.

L'objectif secondaire est de réaliser pour le laboratoire LACoSERE un onduleur de tension triphasé à deux niveaux afin de l'exploiter pour d'autres travaux de recherche.

Les résultats obtenus au premier chapitre ont montré qu'avec la commande Pleine Onde le fondamental de la tension de sortie de l'onduleur peut atteindre une amplitude maximale de 127% (par rapport à la tension du bus DC) pour l'onduleur monophasé et 63% pour l'onduleur triphasé, mais son spectre est riches en harmoniques d'ordre faible et d'amplitudes importantes.

Pour améliorer le contenu spectral, deux stratégies de commande sont testés dans le deuxième chapitre. Les deux techniques ont présenté des bons résultats en termes de THD. Grace à l'utilisation des porteuses de fréquences élevées, les harmoniques de rang faible sont repoussées est regroupées autour des fréquences des porteuses ce qui permet à un filtre simple de premier ordre de les filtrer facilement. En ce qui concerne l'utilisation du bus DC, la SPWM a permet d'obtenir un fondamental d'amplitude de 78% par rapport à celui obtenu avec la technique Pleine Onde. La SVPWM, par contre, a permet d'atteindre une amplitude du fondamental de 90 % par rapport à celui obtenu avec la commande Peine Onde.

Tout les résultats obtenus au deuxième chapitre sont vérifiés pratiquement et présentés au troisième chapitre.

Les résultats obtenus nous conduire aussi à conclure que les stratégies basées sur l'MLI

(PWM) possèdent plusieurs avantages du point de vue réduction des harmoniques. Elles permettent aussi de faire varier la valeur du fondamentale de la tension de sortie en jouant sur la valeur du coefficient de réglage « r ».

L'augmentation de l'indice de modulation «m» rejette les premiers harmoniques non nuls vers des fréquences élevées, et facilite donc le filtrage.

Il apparaît, d'après cette étude, que la technique SVPWM représente un compromis optimal entre la qualité du contenu harmonique et l'utilisation du bus DC.

Pour les futurs travaux, cette étude sera étendue pour étudier d'autres structures d'onduleurs multiniveaux.

Bibliographie

- [1] ELFERD Hamza et ZEGAAR Mourada, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique,option : ingénierie des système électromécaniques, Thème :Fonctionnement en mode dégrade d'un onduleur multi niveaux application au filtre actif parallèle, universite mohamed boudiaf - M'sila,2016 /2017.
- [2] Mr BENAOUICHA Mounir et Mr GUERROUT Youcef Mémoire de master II,Option : Commande des Systèmes Electriques, Thème :Réalisation d'un onduleur de tension commandé par la carte Dspace 1104, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014/2015.
- [3] Mr :LAKEHAL Bilel, Mémoire De Fin D'étude,Option : Commande des systèmes électriques Thème : Modélisation et commande d'un onduleur triphasé à structure multi-niveaux, Université A/Mira - Bejaia, 2014/2015.
- [4] BOUKAROURA Abdelkader, Mémoire Présenté pour l'obtention du Diplôme de Magister en electrotechniques, Option : Réseaux Electriques, Thème : Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche BondGraph, universite ferhat abbas de setif , "le 02/ 12 / 2009".
- [5] "Mr. MEFLAH Aissa", "Mémoire de Magister Sur le Thème : Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque", "universite abou bekr belkaid - tilmcen", "14 / 11/ 2011",
- [6] Melle. BEN ZEMAMOUCHE Houria, "Mémoire de Magister Sur le Thème : Application de la MLI Vectorielle aux Onduleurs Multiniveaux à base de GTO et d'IGBT", "université Badji Mokhtar - Annaba", Année : "2010".
- [7] ZOUGGAR Elwalid, "Mémoire de Magister Sur le Thème : developpement de l'algorithme de command de l'onduleur basé sur la sequence alternante de vecteur

-
- nul (alternating zero vector sequence)”, ”université badji mokhtar - annaba”, Année :”2007/2008”.
- [8] OULD ABDESLAM Djaffar , ”Thèse Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l’université de Haute-Alsace : Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension”, ”Université de Haute-Alsace”, Année :”2005”.
- [9] Mr : A. Haddoun, ”Mémoire de fin d’études En vue de l’obtention du Diplôme de Master en Systèmes Electriques et Automatique (SEA) : Modélisation et commande d’un onduleur MLI”, ”Universitaire Larbi Ben M’hidi Oum El-Bouaghi”, Année :”2008/2009”.
- [10] BERREZZEK Farid. Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone. Université de Annaba-Badji Mokhtar, 2006.
- [11] le Jury, Devant. Modélisation non linéaire des machines électriques pour la commande et le diagnostic. Université Badji Mokhtar Annaba, ”1945”.
- [12] AMEUR Khaled. Contribution to the Study of a Standalone Photovoltaic System with a New Tracking Control of the Global MPP. University Amar Telidji of Laghouat, ”April 2018”.

Annexes

annexe1 :Algorithme de commande pleine onde d'onduleur monophasé en demi-pont la Figure 1.6

```
clc; clear; closeall;
simHalfBridgeond2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
THDD = sqrt(sum(aa(3 : end).^2))/aa(2) * 100;
g = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)'); ylabel('Va(V)'); grid;
title('TensionVa" E = 100v"');
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangdesharmoniques');
ylabel('Amplitude(V)'); grid;
title(['SpectredeVa' (THD =', num2str(THDD), ')']);
display(THDD)
```

annexe2 :Algorithme de commande pleine onde d'onduleur monophasé en pont la figure 1.8

```

clc; clear; closeall;
simFullBridge_ond2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
THDD = sqrt(sum(aa(3 : end).^2))/aa(2) * 100;
g = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)',' fontsize', 10); ylabel('Va(V)',' fontsize', 12); grid;
title('TensionVa" E = 100v"', ' fontsize', 10); axis([00.02 - 120120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangesharmoniques',' fontsize', 10);
ylabel(' Amplitude(V)',' fontsize', 12); grid;
title(['SpectredeVa',' (THD =', num2str(THDD), ')'],' fontsize', 10); axis([0f0130]);
display(THDD)

```

annexe3 :Algorithme de commande décalée d'onduleur monophasé en pont

la figure 1.10

```

clc; clear; closeall;
decalage = 2; %decalage = 1 ==> alpha = 0
%decalage = 2 ==> alpha = pi/3
simFullBridge_2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
THDD = sqrt(sum(aa(3 : end).^2))/aa(2) * 100;
g = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)','fontsize',10); ylabel('Va(V)','fontsize',12); grid;
title('TensionVa" E = 100v"', 'fontsize', 10); axis([00.02 - 120120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangdesharmoniques','fontsize',10);
ylabel('Amplitude(V)','fontsize',12); grid;
title(['SpectredeVa','(THD =', num2str(THDD),')'], 'fontsize', 10); axis([0f0130]);
display(THDD)

```

annexe4 :Algorithme de la Commande en pleine onde (180°) d'onduleur triphasé la figure 1.12

```

clc; clear; closeall;
simstx_step180_nd2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
THDD = sqrt(sum(aa(3 : 40).^2))/aa(2) * 100;
g = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)','fontsize',10); ylabel('Va(V)','fontsize',12); grid;
title('TensionVa" E = 100v"', 'fontsize', 10); axis([00.02 - 120120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangdesharmoniques','fontsize',10);
ylabel('Amplitude(V)','fontsize',12); grid;
title(['SpectredeVa','(THD =', num2str(THDD),')'],'fontsize',10); axis([0f0130]);
display(THDD)

```

annexe5 :Algorithme de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur monphasé en pont la figure 2.6

```

clc; clear; closeall;

r = 1;
l = 0;
form = 9 : 3 : 18;
simHalfBridgeondSPWM;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
l = l + 1;
THDD(l) = sqrt(sum(aa(3 : 40).^2))/aa(2) * 100;
g(l) = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)','fontsize',10); ylabel('Va(V)','fontsize',12); grid;
title(['TensionVa'' E = 100v'' r =', num2str(r), ' etm =', num2str(m)], 'fontsize', 10);
axis([00.02 - 120120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangdesharmoniques','fontsize',10);
ylabel('Amplitude(V)','fontsize',12); grid;
title(['SpectredeVapour (THD =', num2str(THDD(l)), ')'], 'fontsize', 10); axis([0f0130]);
end
display(THDD)

```

annexe6 :Algorithme de la commande sinus-triangle (SPWM) d'onduleur d'onduleur triphasé la figure 2.8

```

clc; clear; closeall;

r = 1;
l = 0;
form = 9 : 3 : 18;
sims pwm_ond2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
l = l + 1;
THDD(l) = sqrt(sum(aa(3 : end).^2))/aa(2) * 100;
g(l) = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)','fontsize',10); ylabel('Va(V)','fontsize',12); grid;
title(['Tension Vapour E = 100 r =', num2str(r), ' et m =', num2str(m)], 'fontsize', 10);
axis([0 0.02 - 120 120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rang des harmoniques','fontsize',10);
ylabel('Amplitude(V)','fontsize',12); grid;
title(['Spectre de Vapour (THD =', num2str(THDD(l)), '%)'], 'fontsize', 10);
axis([0 f 0 130]);
end
display(THDD)

```

annexe7 :Algorithme de la commande SVPWM d'onduleur triphasé la figure 2.19

```

clc; clear; closeall;
ma = 1; %mustbelessthansqrt(3)/3
l = 0;
form = 9 : 3 : 18;
Fz = m * 50;
Tz = 1/Fz;
simsvpwm_ond2n;
f = 41;
N = length(va);
X = va;
s = fft(X);
w = 0 : (N - 1)/N * f;
a = abs(s(1 : f));
%aa = a/max(a);
aa = a/(N/2);
l = l + 1;
THDD(l) = sqrt(sum(aa(3 : end).^2))/aa(2) * 100;
g(l) = figure('Units','centimeters','Position',[77207]);
subplot(121); plot(t, X);
xlabel('t(s)','fontsize',10); ylabel('Va(V)','fontsize',12); grid;
title(['TensionVa" E = 100" ma =, num2str(ma),
'etFz =', num2str(Fz)], 'fontsize', 10);
axis([00.02 - 120120]);
subplot(122); bar(w, aa, 0.5); xlabel('Rangdesharmoniques','fontsize',10);
ylabel('Amplitude(V)','fontsize',12); grid;
title(['VaSpectre : (THD =', num2str(THDD(l)),')'], 'fontsize', 10); axis([0f0130]);
end
display(THDD)

```

annexe8 : Le premier onduleur a été créé

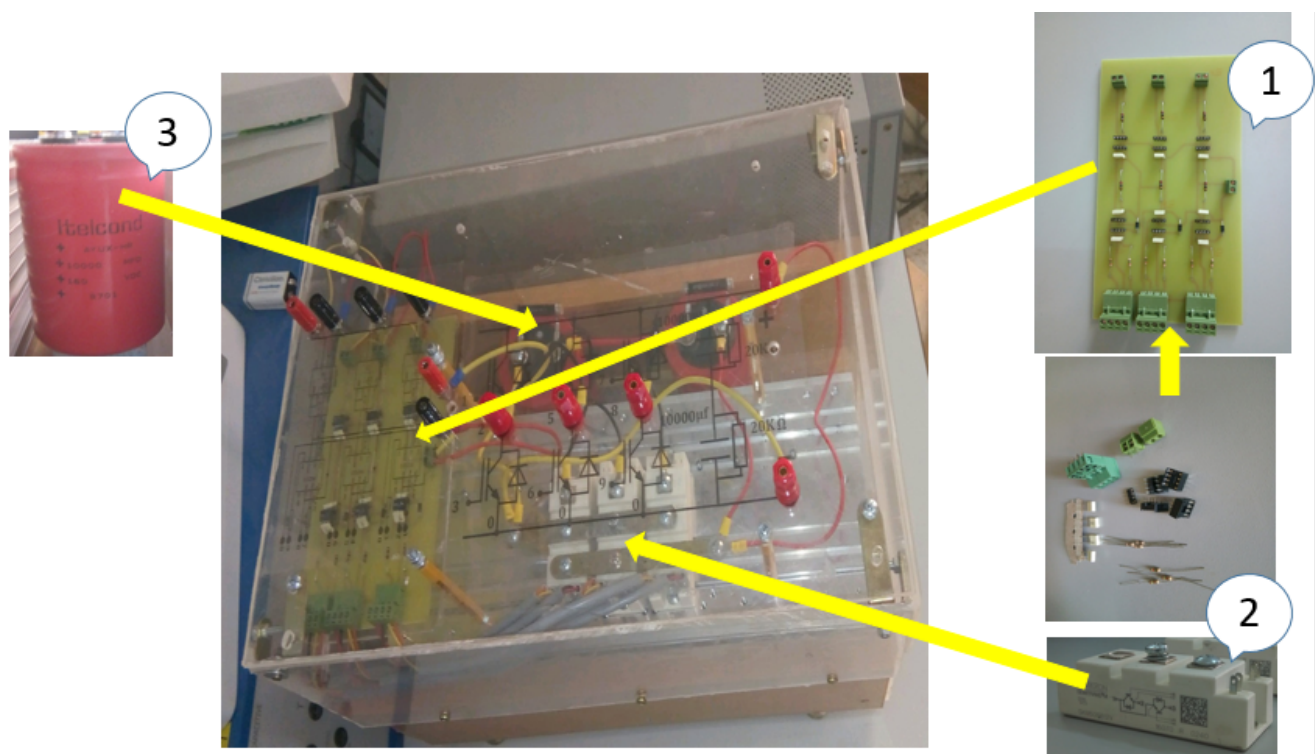


FIGURE 3.24 – Le premier onduleur a été créé

1. Catre d'isolation.
2. Onduleur triphasé à base d'IGBT (SKM50GB12V).
3. Capacité (système de filtrage).

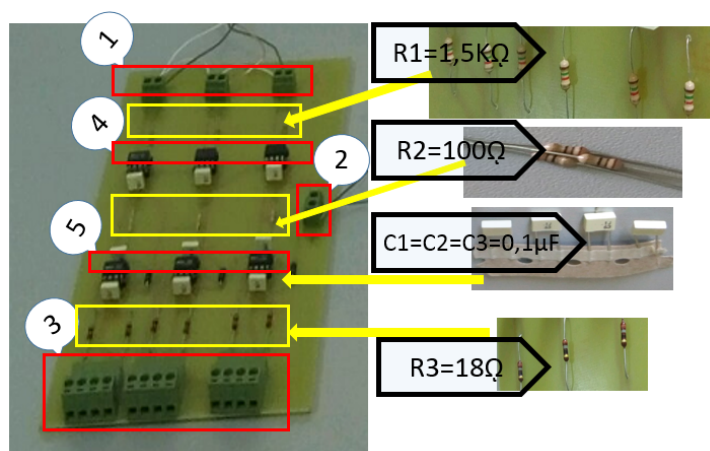


FIGURE 3.25 – Catre d'isolation

1. Alimentation 5v.
2. Alimentation 15v.
3. Borne de connexion des signaux de commande.
4. Optocoupleur (HCPL-2200).
5. DRIVER IR2111.

Optocoupleur (HCPL-2200) :

Un optocoupleur est un composant ou un ensemble de composants qui permet le transfert d'informations entre deux parties électroniques isolées l'une de l'autre d'un point de vue électrique. La première partie est un émetteur, et la seconde partie est un récepteur. On peut l'assimiler à un composant qui a une entrée (émetteur) et une sortie (récepteur).

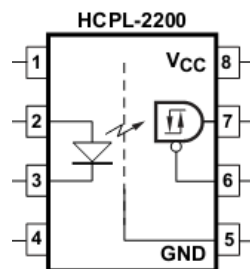


FIGURE 3.26 – Optocoupleur (HCPL-2200)

DRIVER IR2111 :

L'IR2111 (IRF2111 de International Rectifier) c'est un circuit intégré voir la Figure 3.27 à grande vitesse, constitué 8 pins, il ya de pin utilisé pour garantir une impulsion suffisante pour commander un transistor MOSFET ou un IGBT de la partie puissance, la Figure 3.27 présente un synoptique simplifié de fonctionnement du circuit IR2111 dans sa mise en œuvre.

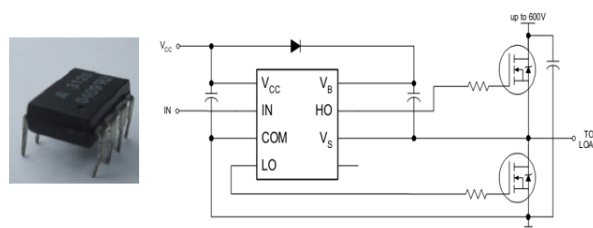


FIGURE 3.27 – DRIVER IR2111

annexe9 : Schéma de Catre d'isolation

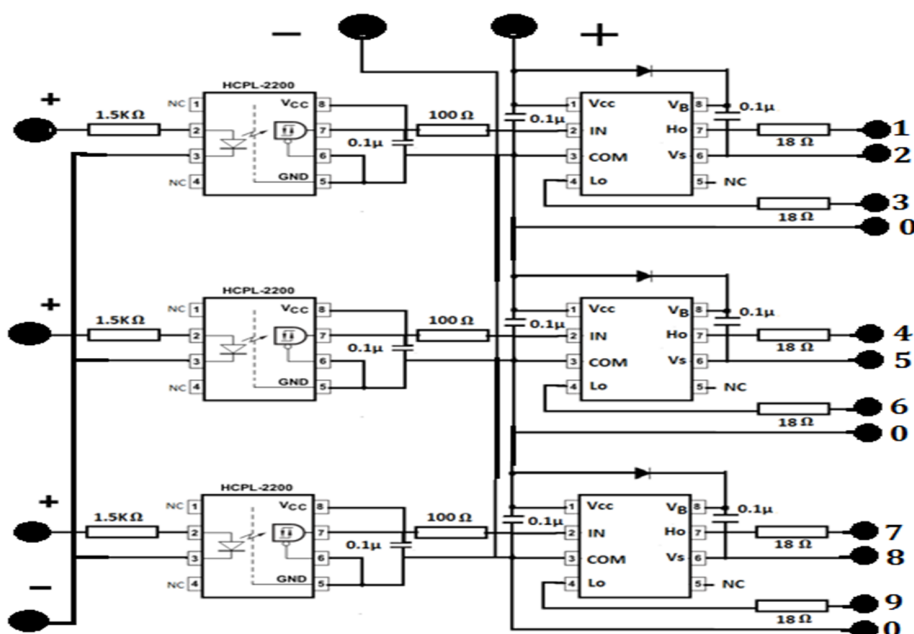


FIGURE 3.28 – Schéma de Catre d'isolation avec composant

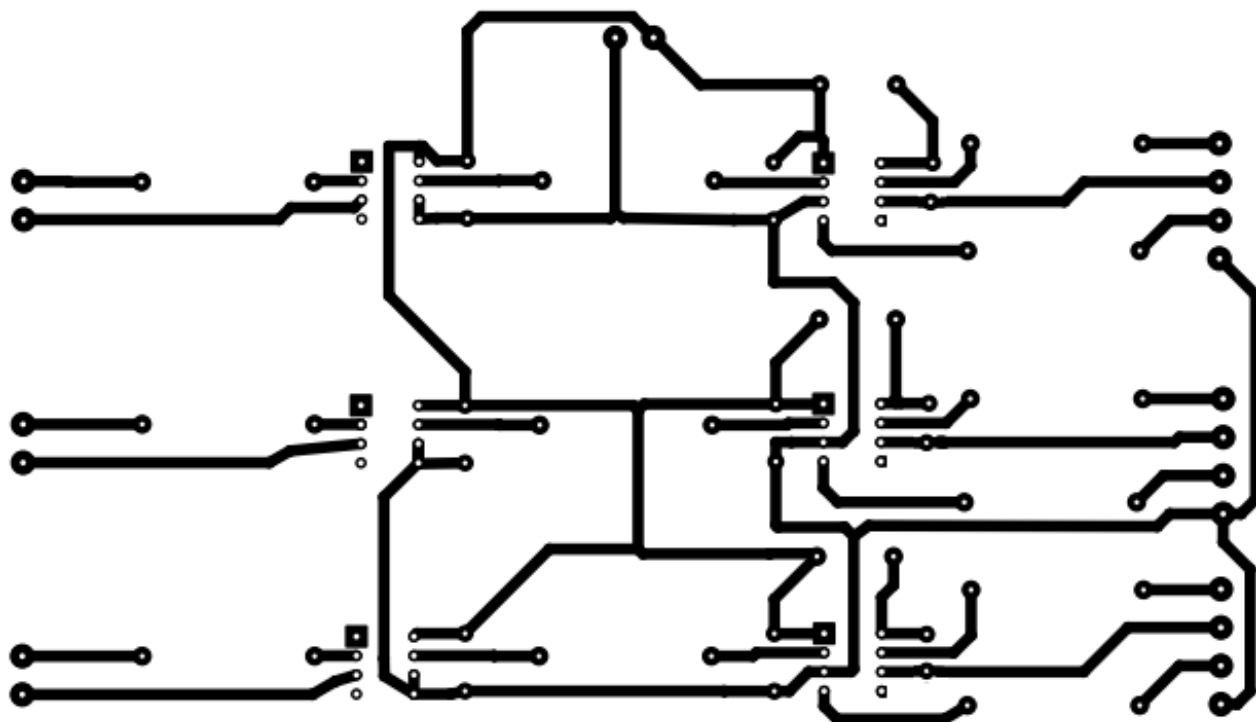


FIGURE 3.29 – Schéma de Catre d'isolation

annexe10 : Capacité (système de filtrage) :

Nous avons placé condensateur électrochimique de filtrage en parallèle avec la source afin d'assurer l'équilibrage des tensions la valeur de cette condensateur $10000\mu F/400V$, le modèle du condensateur, représenté sur la Figure3.30



FIGURE 3.30 – Capacité (système de filtrage)

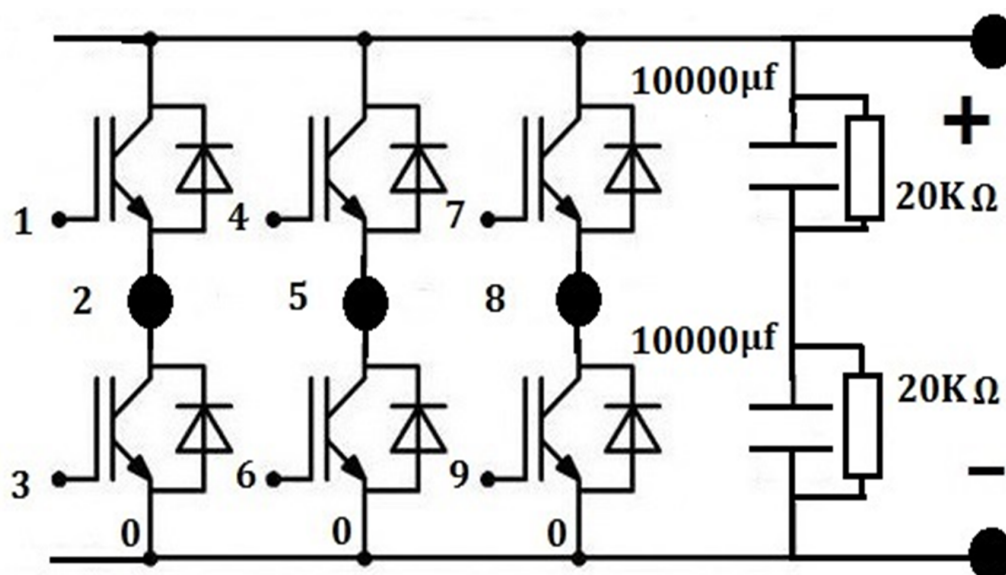
annexe11 : onduleur triphasé :

FIGURE 3.31 – onduleur triphasé

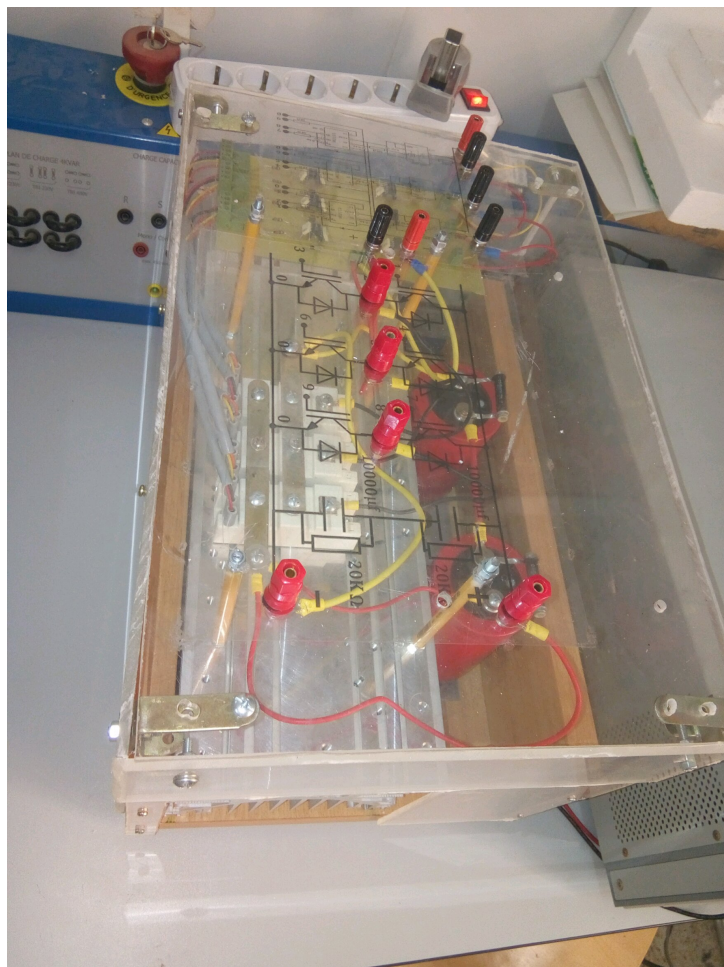


FIGURE 3.32 – chima complet d premier onduleur triphasé réalise

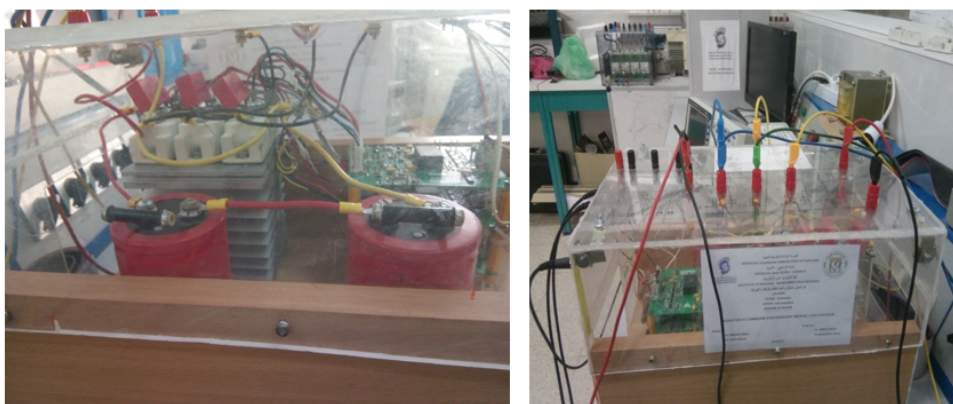


FIGURE 3.33 – chima complet d deuxieme onduleur triphasé réalise