

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)
Filière : Electronique



MASTER INSTRUMENTATION
PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté par : Mekaret Fayssal & Zidouri Abdelkhaliq

Intitulé du Sujet

**Etude, simulation et réalisation d'un mini onduleur
pour systèmes photovoltaïques**

Soutenu en 2018, devant le jury composé de :

M ^r LACHACHI Djamel	MAA	Univ. Tlemcen	Président
M ^{me} BENABDALLAH Nadia	MCA	ESSA-Tlemcen	Encadreur
M ^r BENAHMED Nasreddine	Professeur	Univ. Tlemcen	Co-Encadreur
M ^r BELARBI Boumediene	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur

Année Universitaire 2017-2018

REMERCIEMENTS



Nous remercions et glorifions Allah le tout puissant et miséricordieux d'avoir guidé nos pas pour accomplir ce travail et de le mené à terme. Ce dernier, a été effectué au sein de l'université (Aboubakr Belkaid) de Nemcen et plus précisément au département de génie électrique et électronique de la faculté de technologie.

Nous tenons à remercier vivement nos encadreurs, Mme BENABDALLAH Nadia et Mr BENAMED Nasreddine, d'avoir accepté de nous guider tous le long de ce travail. Et cela, avec leur grande disponibilité, leur rigueur scientifique et leurs précieux conseils qui nous ont permis de travailler dans les meilleures conditions, et ce, depuis le début de la préparation de notre projet.

Nous tenons à remercier, aussi, Mr LACHACHI Djamel pour l'honneur, de bien vouloir accepter de présider le jury de notre soutenance.

Les remerciements sont, également, adressés à Mr BELARBI Boumedienne. Monsieur nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant d'examiner le présent travail que nous souhaitons est d'un bon niveau.

Par ailleurs, trouverons ici, nos sincères reconnaissances à tous les ingénieurs de laboratoires du département de génie électrique et électronique et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études ;

A m chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral ;

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement ;

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire ;

A tous mes enseignants qui m'ont transmis leur savoir.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi.

Fayssal

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré 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 frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

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

Abdelkhalig

LISTE DES FIGURES

Figure I.1:	Synthèse des convertisseurs statiques	3
Figure I.2:	Conversion alternatif-continu	4
Figure I.3:	Pont de Greatz	4
Figure I.4:	Conversion continu-continu	5
Figure I.5:	Hacheur série avec un moteur à courant continu	5
Figure I.6:	Conversion alternatif-alternatif	6
Figure I.7:	Gradateur de lumière	6
Figure I.8:	Conversion continue-alternative	6
Figure I.9:	Utilisation d'un onduleur dans une installation solaire	7
Figure I.10:	Installation photovoltaïque avec onduleur	7
Figure I.11:	Montage d'un onduleur en pont H	8
Figure I.12:	Forme d'onde de la sortie d'un onduleur en pont H	9
Figure I.13:	Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque	10
Figure I.14:	Filtrage de la tension par inductance de sortie	10
Figure I.15:	Système photovoltaïque connecté au réseau	11
Figure I.16:	Schéma d'un système photovoltaïque non raccordé au réseau	12
Figure I.17:	Forme d'onde rectangulaire	13
Figure I.18:	Forme d'onde à créneaux de largeur variable	13
Figure I.19:	Forme d'onde pour la PWM	13
Figure I.20:	Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont	14
Figure I.21:	Schéma de principe d'un onduleur en pont	14
Figure I.22:	Schéma de principe d'un onduleur PUSH-PULL	15
Figure I.23:	Câblage des micros onduleurs avec des panneaux PV	17
Figure II.1:	Schéma électrique de notre mini onduleur push-pull	19
Figure II.2:	Forme carrée du signal de sortie d'un montage astable	20
Figure II.3:	Brochage du circuit intégré NE555	21
Figure II.4:	Schéma électrique d'un MOFSET, en a : canal N et en b : canal P	21
Figure II.5:	Chronogramme de fonctionnement de l'astable à NE555	22

Figure II.6:	Table de vérité de la bascule R S	22
Figure II.7:	Transistors montés en drive totem pull ou push pull	23
Figure II.8:	Image d'un transistor bipolaire	24
Figure II.9:	Schéma électrique d'un transistor bipolaire	24
Figure II.10:	Configuration du transistor bipolaire en type PNP et NPN	25
Figure II.11:	Schéma équivalent d'un transistor /a : l'état bloqué, b: l'état saturé	25
Figure II.12:	Exemple d'une ampoule commandée par un transistor bipolaire	26
Figure II.13:	Structure d'un TEC JFET	27
Figure II.14:	Schéma électrique d'un MOFSET, en a : canal N et en b : canal P	28
Figure II.15:	Caractéristiques (I_{DS} en fonction de V_{DS} à $V_{GS}=\text{constante}$) d'un NFET.....	29
Figure II.16:	Diode intrinsèque du MOFSET	30
Figure II.17:	Montage des diodes rapides avec le MOFSET	31
Figure II.18:	Image d'un transformateur abaisseur 220VAC-12 VAC	31
Figure II.19:	Schémas des tôles d'un transformateur monophasé	32
Figure II.20:	Enroulements d'un transformateur	33
Figure II.21:	Image d'un transformateur à point milieu	34
Figure II.22:	Symbole électrique d'un transformateur à point milieu	34
Figure II.23:	Réversibilité du transformateur point milieu	35
Figure III.1 :	Fenêtre principale du logiciel Proteus professionnel 8.0	36
Figure III.2 :	Fenêtre principale du logiciel ISIS	37
Figure III. 3:	Barre d'outils du logiciel ISIS	38
Figure III.4:	Fenêtre principale du logiciel du logiciel ARES	38
Figure III.5:	Présentation du système global	39
Figure III.6:	Schéma électrique du mini onduleur sous ISIS	40
Figure III.7:	Caractéristiques du transformateur pour la simulation sous ISIS	41
Figure III.8:	Signale sortie visualiser sur l'oscilloscope d'ISIS de la figure III.6	41
Figure III.9:	Schéma électrique appliqué sur ISIS	42
Figure III.10:	Schéma de notre circuit imprimé obtenu sur ARES	43
Figure III.11:	Photo de notre circuit imprimé que nous avons réalisé en utilisant une plaque de circuit imprimé brute	43

Figure III.12:	Produit obtenu après soudure des composants	44
Figure III.13:	Test du fonctionnement de notre mini onduleur	44
Figure III.14:	Mise du circuit dans une boîte en plastique	45
Figure III.15:	Photo de notre produit final	45
Figure III.16:	la batterie utilisée dans l'expérience	46
Figure III.17:	Test final du produit que nous avons réalisé	46

Liste des abréviations

DC : courant continu.

AC : courant alternative.

PV : photovoltaïque.

MPPT : maximum power point tracking.

MLI : modulation a largeur d'impulsions.

GCI : grid connected inverter

MOSFET : metal oxide semiconductor field transistor

IGBT : insulated gate bipolar transistor.

LED : light emitting diode.

FET : toxic equivalency factor.

JFET : junction Field effect transistor.

CMOS : Complementary Metal Oxide

PCB : printed circuit board

SOMMAIRE

Introduction Général	1
Chapitre I : Généralités sur les onduleurs	
I.1 Introduction	3
I.2 Convertisseurs statiques	3
I.2.1 Convertisseur alternatif continu	4
I.2.2 Convertisseur continu-continu « hacheur »	4
I.2.3 Convertisseur alternatif-alternatif « gradateur »	5
I.2.4 Conversion continu-alternatif « onduleur »	6
I.3 Principe de fonctionnement d'un onduleur photovoltaïque	8
I.3.1 Caractéristiques électriques d'un onduleur photovoltaïque	9
I.4 Classification des onduleurs photovoltaïques	11
I.4.1 Onduleurs non autonomes (raccordés aux réseaux)	11
I.4.2 Onduleurs autonomes (non raccordé au réseau électrique)	12
I.4.3 Onduleur en demi-pont (deux interrupteurs)	14
I.4.3 .a)- Schéma de principe	14
I.4.3 .b)- Principe de fonctionnement	14
I.4.4 Onduleur en pont (quatre interrupteurs)	14
I.4.4 .a)- Schéma de principe	14
I.4.4 .b)- Principe de fonctionnement	15
I.4.5 Onduleur avec transformateur à point milieu ou onduleur PUSH-PULL	15
I.4.5.a)- Schéma de principe	15
I.4.5.b)- Principe de fonctionnement	15
I.4.5.c)-la commande MLI.....	15
I.4.6 Critères de différenciation entre les trois types d'onduleurs de tension	
I.5 Micros onduleurs photovoltaïques	16
I.5.1 Critères de sélection d'un bon onduleur	17
I.6 Conclusion	18

Chapitre II : Onduleur à transformateur à point milieu et ses éléments constitutifs

II.1	Introduction	19
II.2	Etudes des différents éléments constitutifs de l'onduleur push-pull	19
II.2.1	: Etude et principe de fonctionnement de l'oscillateur astable	20
II.2.1.a)	- Définition	20
II.2.1.b)	- Oscillateur réalisé avec le circuit intégré NE555	21
II.2.2	Etude et principe du fonctionnement du circuit amplificateur	22
II.2.2.a)	- Les transistors bipolaires	24
II.2.2.b)	- Les transistors à effet de champ	26
II.2.3	Le transformateur	31
II.2.3.a)	- Constitution d'un transformateur	32
II.2.3.b)	- Principe de fonctionnement d'un transformateur à point milieu	33
II.3	Conclusion	35

Chapitre III : Réalisation du mini onduleur à transformateur à point milieu

III.1	Introduction	36
III.2	Simulation	36
III.2.1	Présentation du logiciel Proteus	36
III.2.2	Logiciel ISIS	37
III.2.3	Logiciel ARES	38
III.2.4	Présentation du système global	39
III.2.5	Schéma électrique du mini onduleur monophasé	40
III.3	Réalisation du circuit	41
III.4	Test du mini onduleur réalisé	44
III.4	Conclusion	47
	Conclusion générale	48
	Références	49

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la découverte et la mise en œuvre des semi-conducteurs tels que les diodes et les transistors, l'électronique industrielle ne cesse de progresser, et on peut même dire qu'elle a pris l'ampleur. Cette ampleur a été plus approfondit ensuite par la miniaturisation des différents composants électroniques.

Une des parties importantes de l'électronique industrielle qui s'intéresse aux domaines des grandes puissances est appelée « électronique de puissance »

L'électronique de puissance, ou plus correctement « électronique de conversion d'énergie » a moins de 50 ans. Elle a connu un tel essor qu'aujourd'hui près de 15 % de l'énergie électrique produite est convertie sous une forme ou une autre. Au cours de ces années, la taille, le poids et le coût des convertisseurs n'ont fait que diminuer, en grande partie grâce aux progrès faits dans le domaine des interrupteurs électroniques.

C'est une électronique de commutation : elle tire parti du fait qu'un interrupteur parfait fermé (résistance nulle, tension aux bornes nulle) ou ouvert (résistance infinie, courant traversant nul) ne dissipe aucune énergie, donc ne présente aucune perte. Lorsqu'il est associé à des éléments de filtrage passifs et purement réactifs (c'est-à-dire sans aucune résistance interne), il permet théoriquement de modifier la tension et/ou le courant sans perte, donc de réaliser une conversion de tension ou de courant en conservant l'énergie. Ce but est atteint en découpant la tension et/ou le courant à très haute fréquence (par rapport à la fréquence d'entrée ou de sortie du convertisseur) et en lissant le résultat obtenu pour en extraire la valeur moyenne. En pratique, on doit s'attendre à des pertes de l'ordre de 2 à 10 % dues à l'imperfection des éléments physiques qui le constituent. Ces pertes raisonnables justifient l'essor de ce type d'électronique dans les systèmes à haute puissance, puisqu'elles permettent une évacuation de la chaleur générée sans recourir à des moyens extrêmes et coûteux. Progressivement, l'électronique de puissance s'est imposée dans tous les domaines où les pertes doivent rester faibles pour limiter l'échauffement, comme dans les ordinateurs, et où le rendement doit être élevé pour préserver la source d'énergie, comme dans les systèmes alimentés par batteries (GSM, GPS, ordinateurs portables...).

De nos jours, les énergies renouvelables occupent une place beaucoup plus grande.

Une forme d'énergie qui est de plus en plus utilisée et pour cause, cette source d'énergie est disponible presque partout. L'énergie produite sous forme continue, doit être ondulée pour pouvoir alimenter des charges alternatives ou l'injecter au réseau de distribution alternatif.

Ce mémoire qui s'intéresse principalement à l'étude de la conversion continu-alternatif, donne toute fois un aperçu général des autres types de convertisseurs et leurs applications afin de justifier l'intérêt.

Nous avons jugé utile et nécessaire de structurer notre mémoire en trois chapitres organisés de la manière suivante :

- Le premier chapitre donne des généralités sur les onduleurs monophasés ;
- Le deuxième chapitre est une étude de la structure du montage ;
- Le travail pratique c.à.d la réalisation du mini onduleur est présenté au troisième chapitre.

Enfin nous terminons notre travail avec une conclusion générale.

I.1 Introduction :

L'énergie électrique utilisée dans l'industrie et chez les particuliers provient principalement du réseau triphasé (excepte les piles, les batteries...) et les dispositifs utilisant cette énergie ne fonctionnent que très rarement sous formes d'ondes sinusoïdales à fréquence 50 Hz.

Dans un système photovoltaïque relié au réseau, l'onduleur constitue véritablement le cœur et l'élément principal. C'est lui qui convertit le courant continu en courant alternatif, assure en même temps un point de fonctionnement optimal au champ de modules et constitue une interface totalement compatible avec le réseau électrique public.

L'onduleur assume une fonction de liaison directe avec le réseau électrique, il doit donc répondre à des impératifs concernant la qualité du courant (tension, fréquence, phasage), la sécurité (risque de production sur le réseau lorsque ce dernier est coupé) et la fiabilité (les performances ne doivent pas diminuer dans le temps).

I.2 Convertisseurs statiques :

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant. Les premiers convertisseurs de puissance électrique ont été réalisés avec des machines électriques couplées mécaniquement. Avec l'apparition des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance leurs réalisations sont faites avec les diodes, les transistors, les thyristors etc.... Les systèmes de conversion deviennent de plus en plus élaborés et ne nécessitent plus de machines tournantes.

Il existe 4 familles de convertisseurs qui réalisent directement l'interfaçage entre la source et le récepteur : les redresseurs, les onduleurs, les gradateurs et les hacheurs. [1,17]

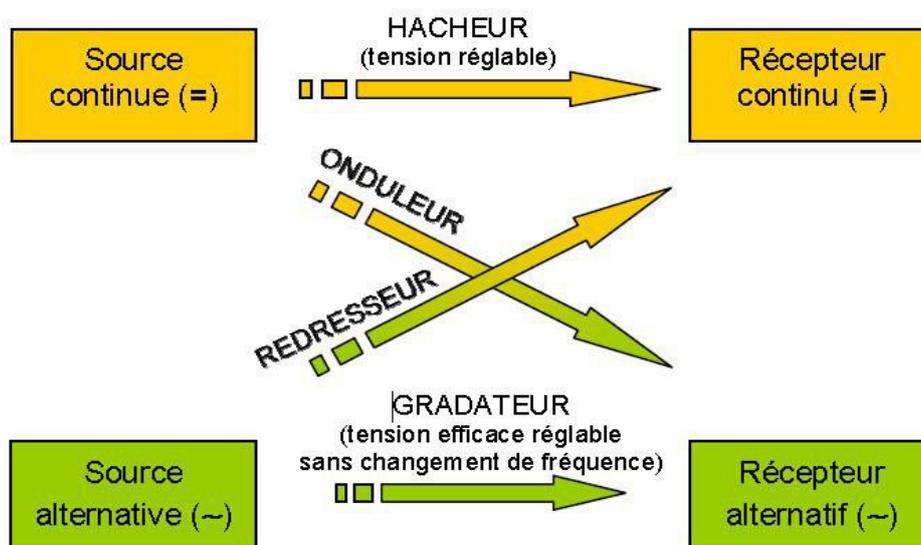


Figure I.1: Synthèse des convertisseurs statiques

I.2.1 Convertisseur alternatif continu :

Un redresseur, également appelé convertisseur alternatif-continu, est un convertisseur destiné à alimenter une charge qui nécessite de l'être par une tension ou un courant continu à partir d'une source alternative. Ces convertisseurs sont non réversibles et transfèrent l'énergie de la source alternative vers la charge continue uniquement. Ils sont dans la majorité des cas constitués essentiellement de diodes seuls ou avec des thyristors. Ces derniers sont alors qualifiés de structure mixte. [1,2]

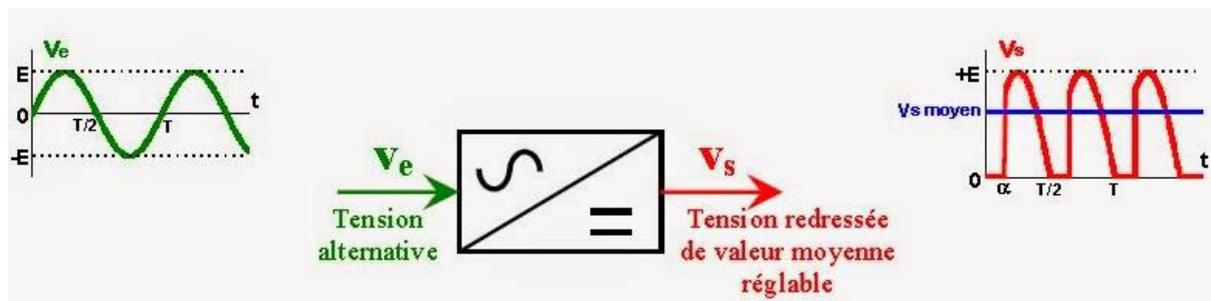


Figure I.2 : Conversion alternatif-continu

Exemple d'un redresseur :

Un pont de diodes ou pont de Graetz est un assemblage de quatre diodes montées en pont qui en régime monophasé, redresse le courant alternatif en courant continu, c'est-à-dire ne circulant que dans un seul sens.

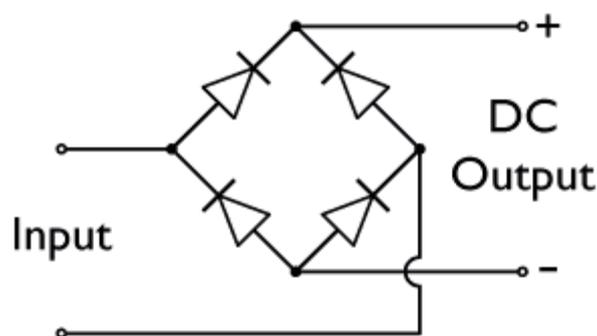


Figure I.3 : Pont de Graetz.

I.2.2 Convertisseur continu-continu « hacheur » :

Le hacheur ou convertisseur continu-continu est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs électroniques commandés ce qui permet de modifier la valeur de la tension (moyenne) d'une source de tension continue avec un rendement élevé (Figure I.4). [1,4]

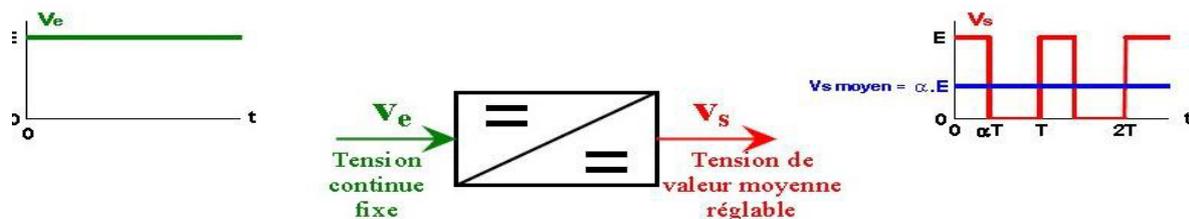


Figure I.4: Conversion continu-continu

Exemple d'utilisation d'un hacheur :

Certains hacheurs sont réversibles : ils peuvent alors fournir de l'énergie à la charge, généralement une machine à courant continu dans ce type d'application, ou bien en prélever ce qui permet de freiner la machine.

Les hacheurs de puissance sont utilisés par exemple, pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu. Ils sont aussi un élément essentiel des alimentations à découpage.

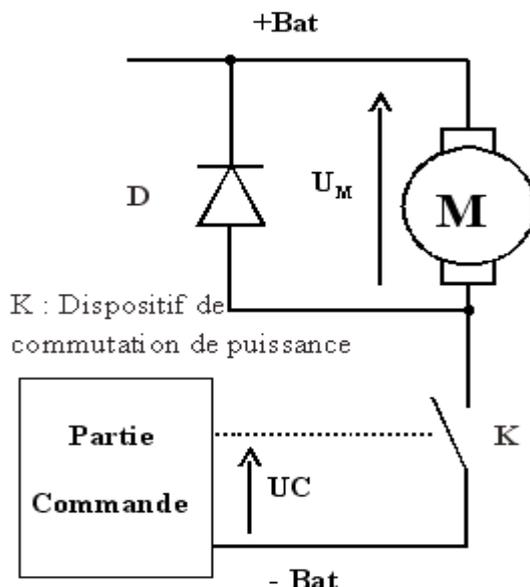


Figure I.5 : Hacheur série avec un moteur à courant continu

I.2.3 Convertisseur alternatif-alternatif « gradateur » :

Un gradateur est un appareil électrique destiné à faire varier la puissance délivrée à un autre appareil utile, souvent un éclairage (projecteurs de scène, par exemple). C'est donc un dispositif de l'électronique de puissance, qui fonctionne en faisant varier la tension et l'intensité de sortie, ce qui modifie ainsi la puissance dans l'appareil utile, nommé la charge.

Le gradateur diminue la puissance délivrée à la charge, en comparaison avec un circuit sans gradateur. Ce dispositif est utilisé sur des tensions alternatives (souvent sinusoïdales) : c'est un convertisseur direct alternatif-alternatif. [2,4]

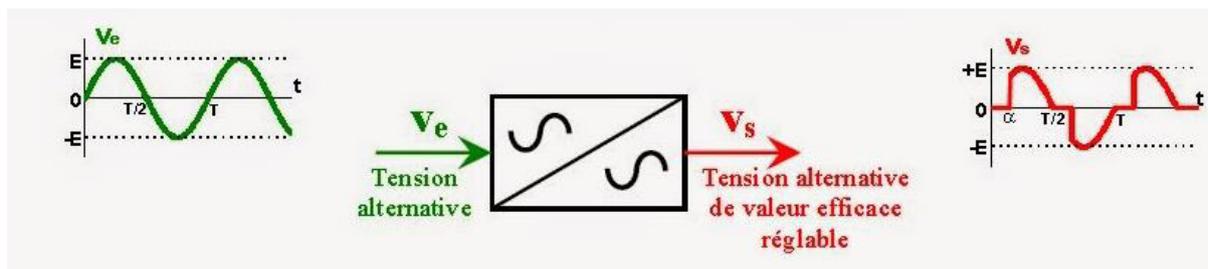


Figure I.6: Conversion alternatif-alternatif

Exemple d'utilisation d'un gradateur :

Un gradateur de lumière est un appareil que l'on utilise pour faire varier l'intensité lumineuse d'une lampe.

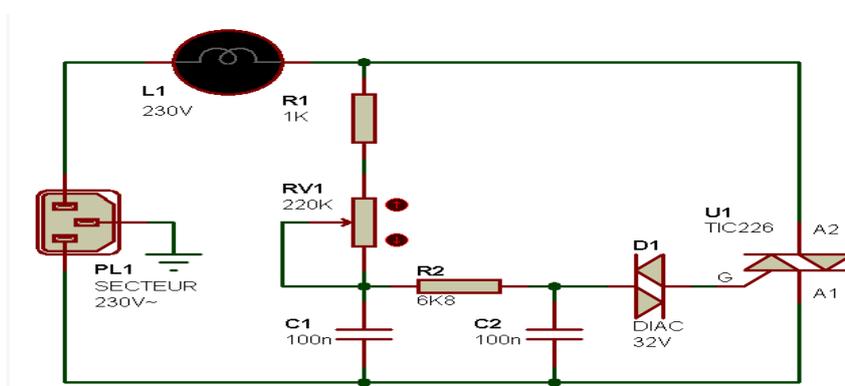


Figure 1.7: Gradateur de lumière

I.2.4 Conversion continu-alternatif « onduleur » :

C'est un dispositif électronique qui permet de fournir une tension ou un courant alternatif à partir d'une source de tension ou courant continu. Plusieurs fonctionnements types sont possibles dont les principaux: la modulation à rapport cyclique constant et la modulation à largeur d'impulsion.

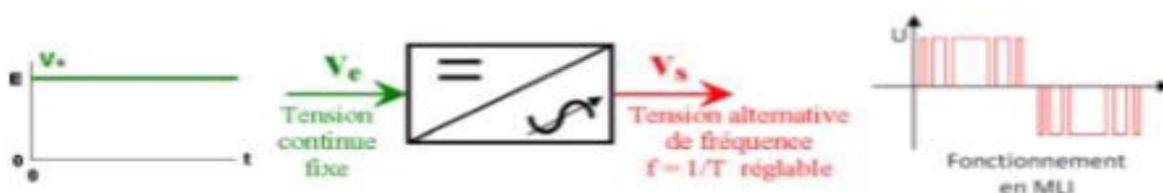


Figure I.8: Conversion continue-alternative

Exemple d'utilisation d'un onduleur

L'onduleur de secours pour le matériel informatique permet d'assurer la continuité de l'alimentation en cas de coupure sur le réseau. Il permet aussi de filtrer les éventuelles defaults de la tension du réseau (parasites ou sur tension). [1,2]

La structure comprend un accumulateur avec dispositif de charge et un onduleur avec sortie filtre (Figure I.9).

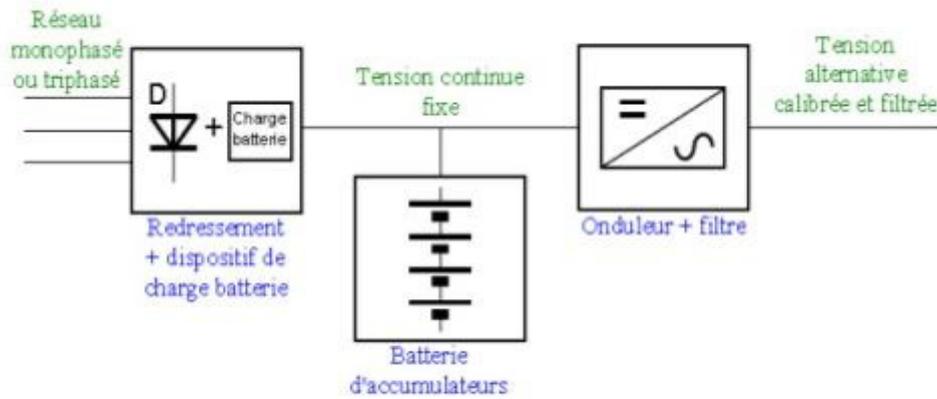


Figure I.9: Utilisation d'un onduleur dans une installation solaire

Remarque : En ce qui concerne les applications industriels, nous trouvons les onduleurs dans toutes les installations photovoltaïques quelle soient autonome ou non.

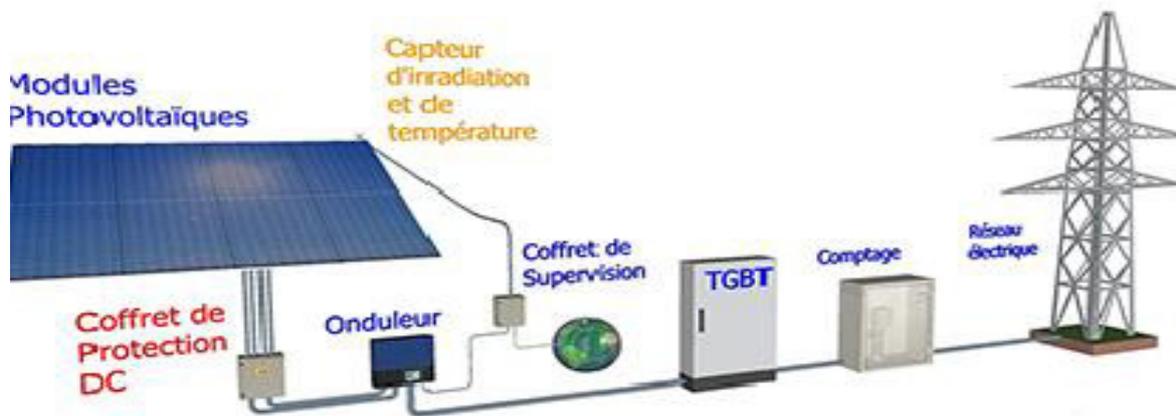


Figure I.10: Installation photovoltaïque avec onduleur

Dans le cas du photovoltaïque, les onduleurs DC/AC sont des générateurs de courant alternatif à partir de courant continu, nécessaires pour faire fonctionner les appareils domestiques.

A ne pas confondre les onduleurs photovoltaïques avec les onduleurs pour ordinateurs, qui sont des appareils de protection et de stabilisation du courant, afin que les surtensions ne viennent pas endommager le matériel informatique.

I.3 Principe de fonctionnement d'un onduleur photovoltaïque :

La fonction de l'onduleur photovoltaïque (PV) est de convertir la puissance électrique générée par le champ photovoltaïque en une puissance électrique alternative compatible avec le réseau électrique. Pour cela, le premier système du circuit électronique doit faire la recherche du point de fonctionnement où la puissance est au maximum sur tous les points possibles de fonctionnement (en courant et tension continu) en sortie du champ photovoltaïque pour créer une tension continue intermédiaire, ce système de recherche du point optimum de fonctionnement est appelé : système MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Puis un deuxième système électronique appelé l'onduleur convertit la tension continue intermédiaire en tension alternative compatible en tension et en phase avec celle du réseau électrique.

L'électronique de l'onduleur photovoltaïque doit aussi prendre en compte les normes de sécurité en vigueur, tel que le découplage du réseau électrique en cas d'absence momentanée de celui-ci ou encore éviter l'émission d'harmoniques sur le réseau pouvant perturber le fonctionnement d'appareils électriques sensibles. Une partie du suivi du bon fonctionnement de l'installation photovoltaïque peut aussi être assurée par l'onduleur en enregistrant ou en transmettant sur un serveur les informations du fonctionnement. [4]

Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée.

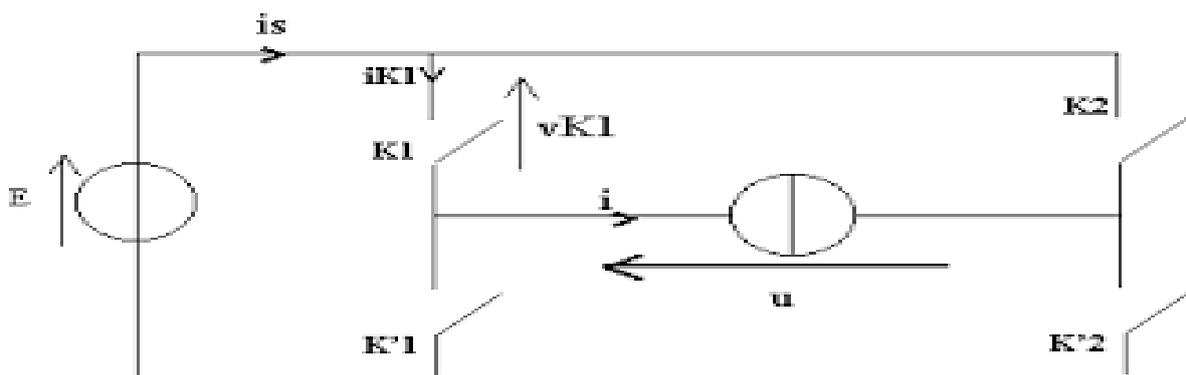


Figure I.11: Montage d'un onduleur en pont H

A la fermeture de $K1$ et $K'2$, $K2$ et $K'1$ restent ouverts (bloqués) dans ce cas la charge est parcourue et la tension de sortie prend la valeur positive de la tension d'entrée E .

$K1$ et $K'2$ étant ouvert à la fermeture de $K'1$ et $K2$ dans ce cas le courant s'établit dans le récepteur, mais en sens inverse et amène la tension du récepteur à la valeur négative de la tension d'entrée.

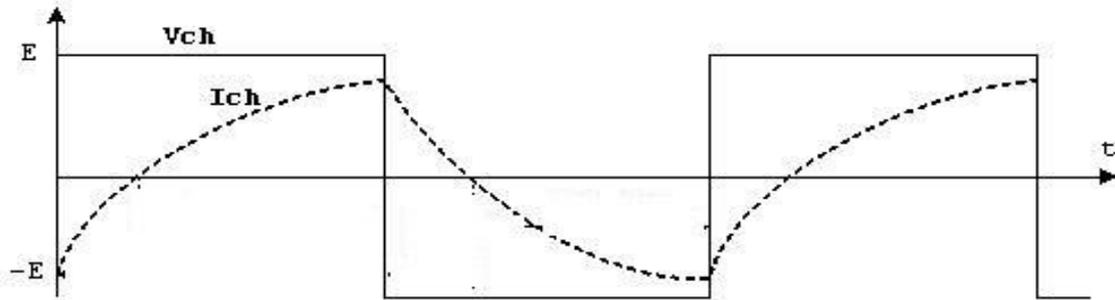


Figure I.12: Forme d'onde de la sortie d'un onduleur en pont H

Remarque :

On peut tout de même noter que la plupart des récepteurs (charge) alternatifs sont inductifs c'est-à-dire le récepteur est constitué par une inductance en série avec une résistance, ce qui a pour effet de décaler la valeur du courant par rapport à la tension aux bornes de la charge d'où la forme d'onde obtenues.

La forme d'onde du courant obtenu à la sortie n'est pas sinusoïdale, mais se rapproche un peu plus d'une sinusoïde.

I.3.1 Caractéristiques électriques d'un onduleur photovoltaïque :

Un onduleur solaire (parfois commercialisé sous le nom de variateur solaire, convertisseur solaire ou onduleur photovoltaïque) est un onduleur convertissant le courant continu de l'énergie photovoltaïque issue d'un panneau solaire en courant alternatif.

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion AC/DC est le même.

La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système.

En effet, le générateur PV (ensemble de modules PV) a une courbe caractéristique non linéaire (Figure I.13).

Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. **[3,5]**

La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.

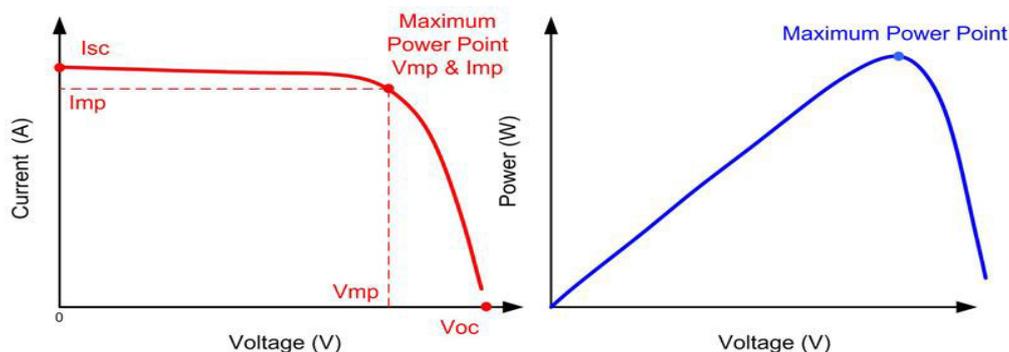


Figure I.13: Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque

Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance qui est le produit de la tension et du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique (Figure I.13).

En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement motivée par des raisons technologiques.

L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI ou PWM en anglais). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'un moteur, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau.

On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance qui joue le rôle de filtre et permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi-sinusoïdaux : d'un point de vue formel elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant. [3]

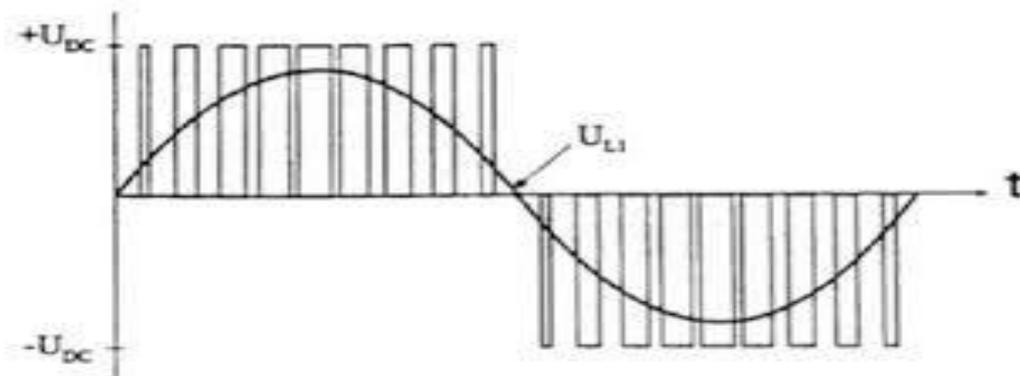


Figure I.14: Filtrage de la tension par inductance de sortie

I.4 Classification des onduleurs photovoltaïques :

Il existe plusieurs centaines de schémas d'onduleurs, chacun correspondant à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées.

En générale les classifications sont liées aux modes de commutation des éléments semi-conducteurs constituant l'onduleur.

Un premier mode de classification qui se présente comme une nécessité, peut être fait, on dissocie grossièrement les différents onduleurs existant en :

- Onduleurs non autonomes.
- Onduleurs autonomes.

I.4.1 Onduleurs non autonomes (raccordés aux réseaux) :

Quand un onduleur est connecté au réseau et alimenté par une source d'énergie renouvelable (en particulier une source solaire), il est appelé techniquement : **Grid-Connected Inverter** ou **GCI**.

En effet, les performances techniques et la fiabilité des onduleurs utilisés pour le raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau de distribution d'électricité, sont des paramètres qui peuvent très fortement faire varier la production d'énergie électrique annuelle et donc la rentabilité financière d'un système.

Dans les systèmes photovoltaïques connectés au réseau (Figure I.15), l'un des objectifs que doit réaliser l'onduleur connecté au réseau, est le contrôle du courant issu du champ de modules photovoltaïques et de la puissance injectée au réseau suivant les normes en vigueur. De ce fait, les spécifications standards servant à la conception d'un onduleur connecté concerneront la puissance nominale, la tension nominale du réseau, la tension maximale du DC-bus, le contrôle de l'onduleur etc. [5,6]

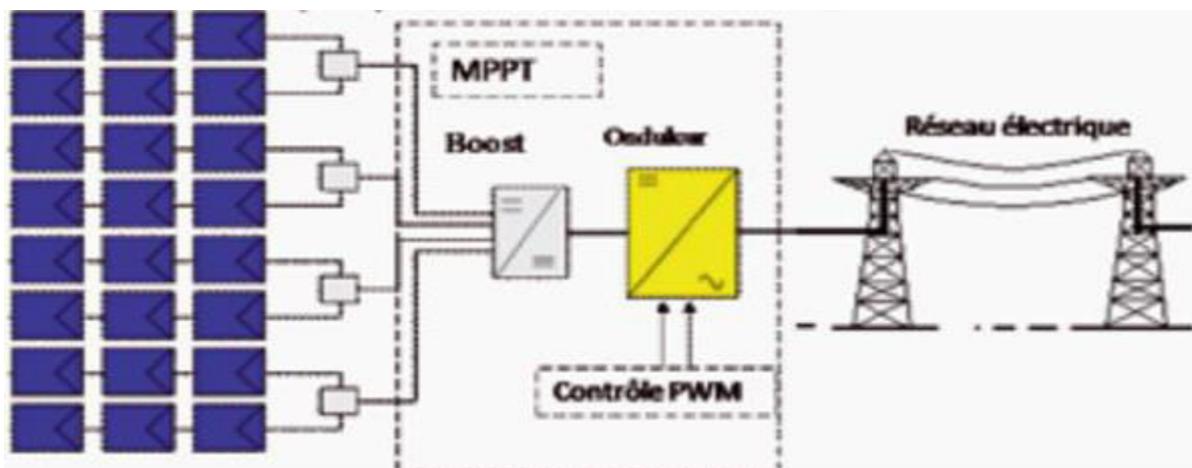


Figure I.15: Système photovoltaïque connecté au réseau

I.4.2 Onduleurs autonomes (non raccordé au réseau électrique) :

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continus alternatifs permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

Le signal alternatif en sortie peut être sinusoïdal ou non, de fréquence fixe ou variable.

Les onduleurs autonomes sont constitués par des interrupteurs de puissance (MOSFET, IGBT, thyristors...) qui sont pilotés par des différents types de commande en vue d'obtenir des formes tensions et des courants qui sont proches de la forme sinusoïdale.[4]

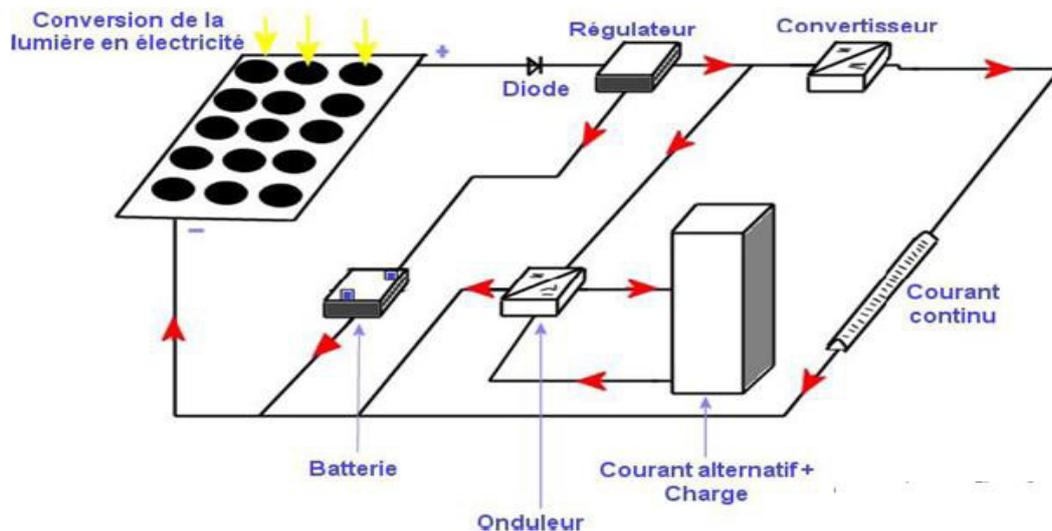


Figure I.16: Schéma d'un système photovoltaïque non raccordé au réseau

Les onduleurs autonomes se classent en deux groupes :

- **Onduleurs à fréquence fixe** : Ceux-ci sont utilisés comme alimentation de sécurité dans les centres hospitaliers, les centrales téléphoniques, les ordinateurs, etc. Ces onduleurs sont alimentés à partir d'une batterie d'accumulateurs.
- **Onduleurs à fréquence variable** : Ceux-ci sont alimentés en courant continu à partir du réseau alternatif par l'intermédiaire d'un redresseur. Ils fournissent des tensions de fréquence et d'amplitude variables utilisées pour contrôler la vitesse des moteurs à courant alternatif.

Les onduleurs autonomes se classent aussi d'après la forme d'onde de leur tension de sortie :

- **Onduleurs à onde rectangulaire** : L'onde de sortie est rectangulaire. L'amplitude de l'onde de sortie dépend de la valeur de la tension d'entrée. [5,6]

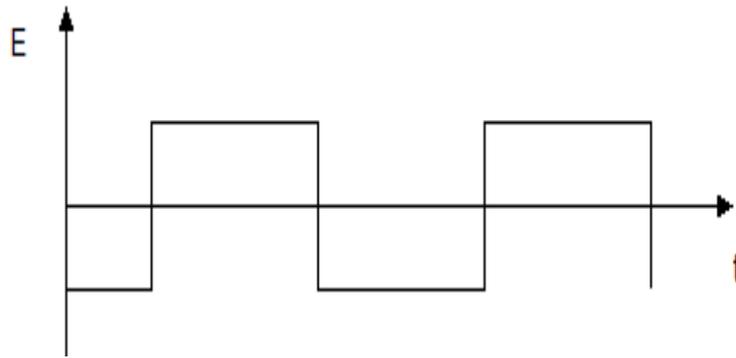


Figure I.17 : Forme d'onde rectangulaire

- **Onduleurs en créneaux de largeur variable** : L'onde de sortie est constituée par des créneaux rectangulaires alternatifs et séparés par une zone morte à tension nulle. La tension de sortie varie si on agit sur la durée des créneaux.

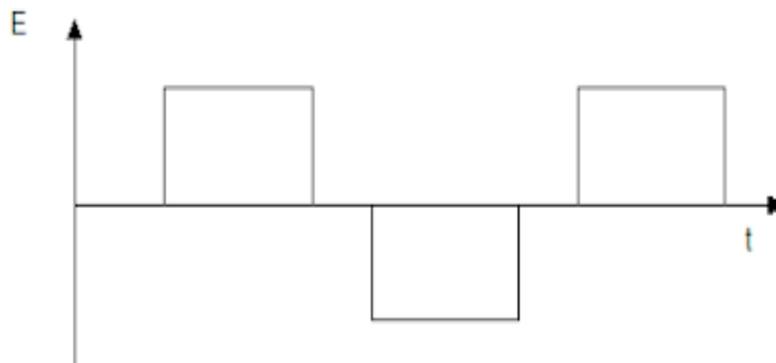


Figure I.18: Forme d'onde à créneaux de largeur variable

- **Onduleurs à modulation d'impulsion (PWM)** : L'onde de sortie est formée de trains d'impulsions positifs et négatifs, de largeur et d'espacement variable. La résultante de la forme de sortie se rapproche d'une sinusoïde.

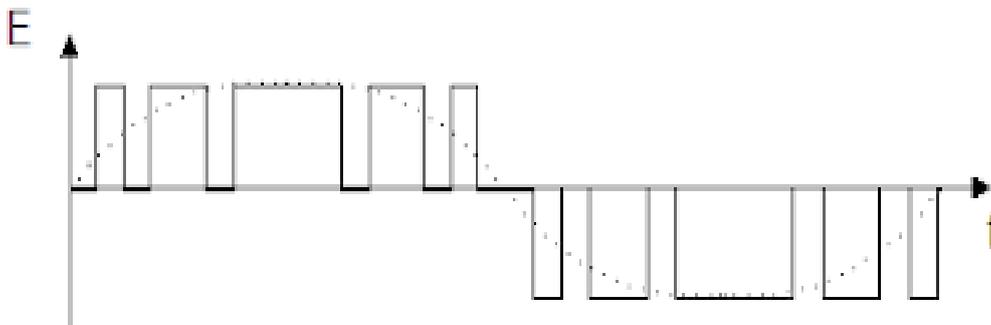


Figure I.19: Forme d'onde pour la PWM

On peut aussi classer les onduleurs selon le nombre d'interrupteurs utilisés :

I.4.3 Onduleur en demi-pont (deux interrupteurs)

a)- Schéma de principe

Il est donné par la figure suivante :

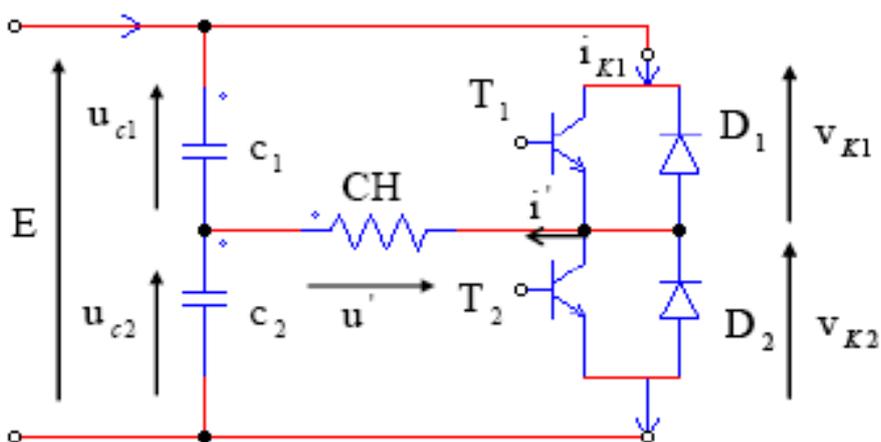


Figure I.20 : Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont

b)- Principe de fonctionnement

On dispose d'une source unique de tension et le point milieu est réalisé par la mise en série de deux capacités à valeur élevée. Ces deux capacités sont traversées par les courants de la charge, lorsque le transistor T_1 conduit, la capacité C_1 se décharge et la capacité C_2 se charge, la tension $u=E/2$. De même lorsque le transistor T_2 conduit la capacité C_2 se décharge et la capacité C_1 se charge, la tension $u=-E/2$.

I.4.4 Onduleur en pont (quatre interrupteurs)

a)- Schéma de principe

La figure suivante donne son schéma de principe.

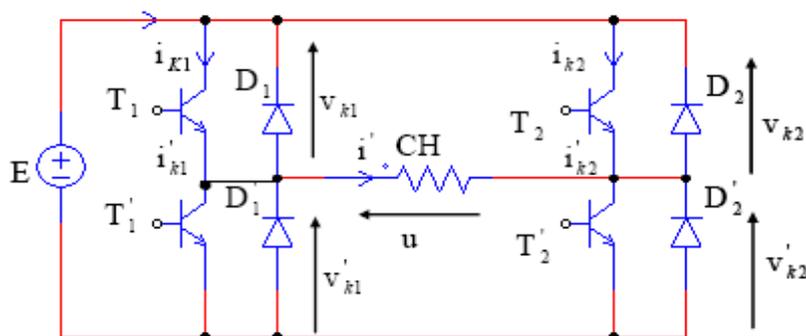


Figure I.21 : Schéma de principe d'un onduleur en pont

b) Principe de fonctionnement

Nous supposons que les interrupteurs T_1 et T'_2 sont fermés pendant la première demi-période rendant la tension u égale $+E$, les interrupteurs T'_1 et T_2 sont fermés pendant l'autre demi-période rendant u égale à $-E$. Cette commande s'appelle la commande symétrique. Il existe d'autres types de commande tels que, la commande décalée et la commande MLI.

c) la commande MLI :

La technique de modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation PWM) consiste à générer un signal carré avec un rapport cyclique modulé en fonction d'un signal de commande. Le signal généré peut servir à commander un circuit de puissance à découpage (pont en H), associé à un filtrage passe-bas inductif, pour générer une onde sinusoïdale ou d'une autre forme. La technique est utilisée dans les onduleurs monophasés, diphasés ou triphasés . Le même principe est utilisé dans les amplificateurs Audio de classe D. [6]

I.4.5 Onduleur avec transformateur à point milieu ou onduleur PUSH-PULL

a) Schéma de principe

Il est donné par la figure suivante :

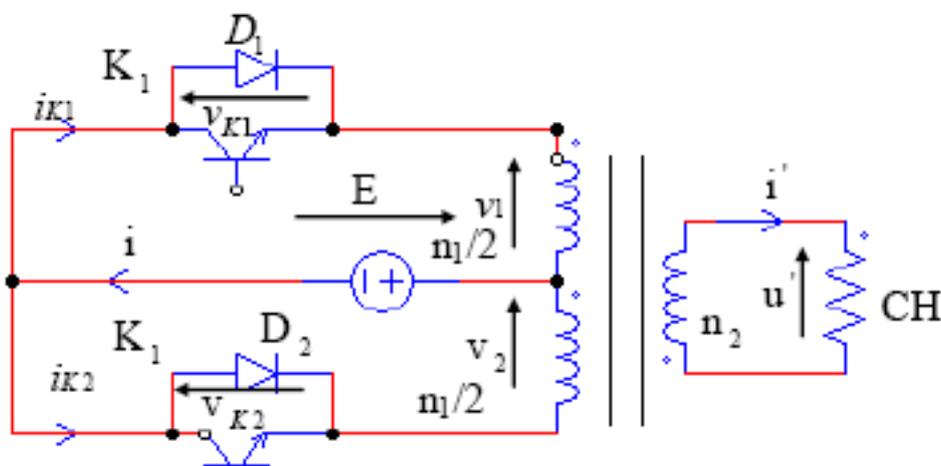


Figure I.22: Schéma de principe d'un onduleur PUSH-PULL

b) Principe de fonctionnement

Le principe de base de cette configuration, est que chaque enroulement est sollicité alternativement par la tension E . lorsque le transistor 1 ou la diode 1 conduit, le transistor 2 voit une tension égale a $2E$ à ses bornes. Si le rapport de transformateur est 1, la tension alternative apparaissant au secondaire est une tension rectangulaire de valeur $\pm E$.

I.4.6 Critères de différenciation entre les trois types d'onduleurs de tension :

A première vue ce qui différencie les onduleurs à deux interrupteurs (en demi- pont) à ceux de quatre (pont complet), réside dans le fait que :

Dans les premières, on a besoin seulement de deux semi-conducteurs commandés et deux diodes ; tandis que les seconds on recourt à quatre semi-conducteurs commandés associée à quatre diodes, donc à un nombre deux fois plus. Cette différence qui se compte pour les premières comme avantage est souvent réduite du fait du doublement de la tension ou du courant.

Pour l'onduleur push-pull :

$$U_{I_{max}} = -U_{u_{max}} = 2E$$

Pour l'onduleur en demi-pont :

$$I_{K1} = 2i_e$$

De plus avec les montages à deux interrupteurs on ne peut régler que la cadence d'ouverture et de fermeture des deux intercepteurs donc de leurs fréquences, par contre dans le montage à quatre interrupteur spécialement celui à commande décalée, on peut régler la cadence et même la tension de sortie.

D'autre part malgré que le principe est le même, l'onduleur en pont ne nécessite ni transformateur, ni diviseur capacitif comme c'est le cas pour les onduleurs à deux interrupteurs.

Toutefois l'importance de cet inconvénient (des deux derniers) diminue car : La présence du transformateur dans la plus part des onduleurs a pour but d'assurer l'isolement galvanique et d'obtenir en sortie la tension désirée.

Presque dans tous les onduleurs, la présence du filtre d'entrée est indisponible. Pour l'onduleur en demi-pont, ce sont les capacités de son diviseur qui peuvent aussi jouer le rôle de capacités de filtrage.

En plus, l'onduleur en pont présente une chute de tension plus ou moins grande aux bornes des interrupteurs série qui fonctionnent en même temps.

I.5 Micros onduleurs photovoltaïques :

A la différence d'un onduleur central, un micro onduleur central est fixé directement sous le panneau photovoltaïque dont il est censé transformer le courant électrique. Le courant électrique transmis aux câbles de raccordement est donc déjà en alternatif Il est directement utilisable dans les appareillages électriques contrairement aux onduleurs centraux, dont la durée de vie varie de 10 à 15ans. Un micro onduleur est conçu pour une durée de vie plus longue sous garantie des panneaux (25ans).

Son installation est aussi plus simple. Comme le micro onduleurs ne traitent l'énergie que d'un seul panneau, la nécessité des liaisons multiples entre panneaux et onduleur, indispensable avec les grands onduleurs centraux, n'existe plus.[3]

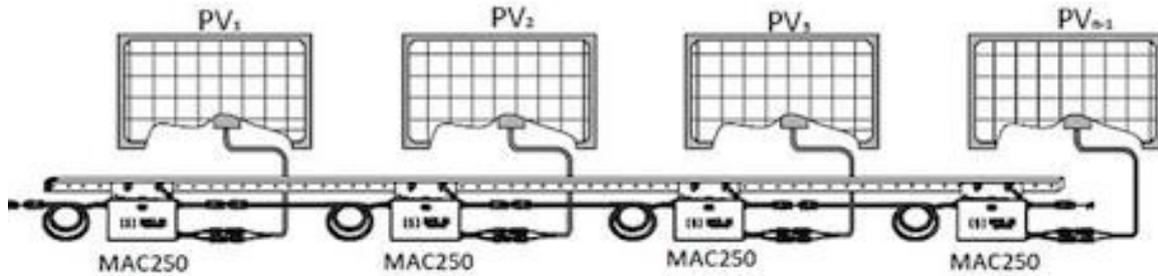


Figure 1.23: Câblage des micros onduleurs avec des panneaux PV

I.5.1 Critères de sélection d'un bon onduleur :

- **La précision de la tension de sortie** : Elle est donnée en % par rapport au 230 V AC. L'onduleur doit être stable quelle que soit sa charge et quelle que soit sa tension d'entrée.
- **La résistance aux surcharges et au courant réactif** : Pour arriver à démarrer certaines charges, l'onduleur doit produire plusieurs fois sa puissance maximale pendant un temps assez bref. Comme exemple de charge à démarrage difficile, on peut citer les réfrigérateurs ou des moteurs chargés mécaniquement, des pompes, ...etc.
- **La distorsion harmonique** : dans certaines utilisations sensibles, la présence d'harmoniques est une gêne audible (hi-fi). Les onduleurs non sinusoïdaux perturbent non seulement l'environnement électromagnétique mais les harmoniques sont également une perte d'énergie dans le cas d'alimentation de moteurs.
- **Le rendement** : C'est le critère de choix principal. On désire perdre le moins d'énergie possible entre les batteries et la charge en 230 V AC. Des onduleurs modernes et performants, atteignent un rendement supérieur à 90 % dès que la charge est de 5 à 10 % de sa puissance nominale. Dans un habitat isolé l'onduleur doit fonctionner avec une charge partielle lorsqu'il n'alimente que de l'éclairage et dans ce cas le rendement à petite puissance est très important.
- Des fabricants proposent des appareils incorporant **deux onduleurs** pour remédier à ce problème ; Fonctionnement sur un petit circuit et commutation automatique sur un circuit plus puissant quand la demande dépasse les besoins.
- **La consommation en mode d'attente (stand-by)** : C'est une donnée très importante pour les onduleurs qui travaillent occasionnellement et restent branchés en permanence. Souvent l'énergie utilisée par la consommation à vide est plus importante que celle utilisée par les

récepteurs. Un onduleur performant de 500 W/12 V consomme environ 0,4 A (environ 5 W) en attente, ce qui fait 9,6 Ah/jour ou 120 Wh/jour. Pour économiser l'énergie, les onduleurs modernes utilisent des techniques de détection d'utilisateur pour démarrer toute la puissance dès qu'un appareil est branché sur le réseau. [7]

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné des généralités sur les onduleurs : leurs constitutions physiques élémentaires, leurs fonctionnements et leurs applications.

Dans le chapitre suivant, nous allons vous présenter l'onduleur à transformateur à point milieu de notre travail ainsi que ses éléments constitutifs.

II.1 Introduction :

Le but principal du dispositif que nous voulons réaliser est de construire un circuit capable de transformer une tension continue issue d'un PV ou d'une batterie en une tension similaire à celle des réseaux électriques domestiques. Comme il existe plusieurs modes et différents schémas électriques pour atteindre cet objectif, nous avons opté dans notre travail pour l'onduleur à transformateur à point milieu dit encore onduleur push-pull.

L'onduleur push-pull convertit la tension continue d'alimentation en tension alternative pour alimenter le transformateur réalisant l'isolement galvanique et l'adaptation de tension. La tension alternative au secondaire du transformateur est redressée puis filtrée pour obtenir la tension de sortie.

Bien sûr il faut faire un choix sur les interrupteurs électroniques, sur les circuits intégrés, sur les condensateurs pour pouvoir réaliser la fonction voulue. Tous ses éléments constitutifs de l'onduleur seront soumis à une contrainte de tension (imposée par la source) et par une contrainte de courant (imposé par la charge).

II.2 Etudes des différents éléments constitutifs de l'onduleur push-pull :

Le schéma de la figure II.1 présente le schéma électrique de notre mini onduleur push-pull qu'on est censé simuler et réaliser.

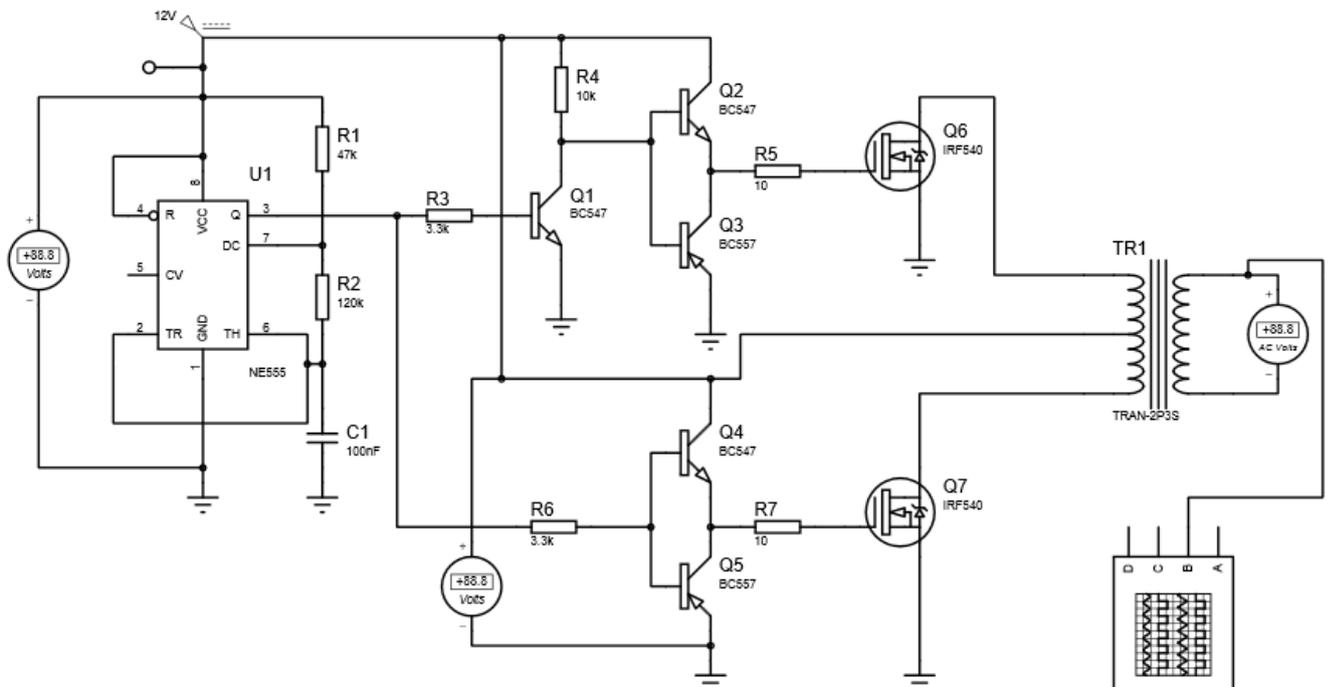


Figure II.1 : Schéma électrique de notre mini onduleur push-pull

Notre mini onduleur push-pull est composé des circuits blocs suivants:

- Circuit multivibrateur ou oscillateur astable ;
- Circuit amplificateur ;
- Transformateur à point milieu.

II.2.1 : Etude et principe de fonctionnement de l'oscillateur astable :

a)- Définition :

Un oscillateur est un circuit électronique qui génère un signal périodique. Ces signaux sont de deux types :

- Signaux sinusoïdaux : utilisés dans les techniques de radiocommunication.

C'est l'onde porteuse du signal radio et du signal T.V. Ce type d'onde est généré également dans les synthétiseurs de notes musicales et dans la technologie du radar.

- Signaux rectangulaires : propres à la technologie numérique (cas de notre signal). Ils se caractérisent uniquement par des transitions d'un niveau H à un niveau L et vice-versa à une fréquence déterminée par le circuit générateur. Ce circuit est généralement appelé multivibrateur astable. Ce circuit possède deux états logiques L et H instables. La sortie bascule périodiquement d'un état logique à l'autre état complémentaire. Ceci est indiqué sur la figure II.2. [1, 8]

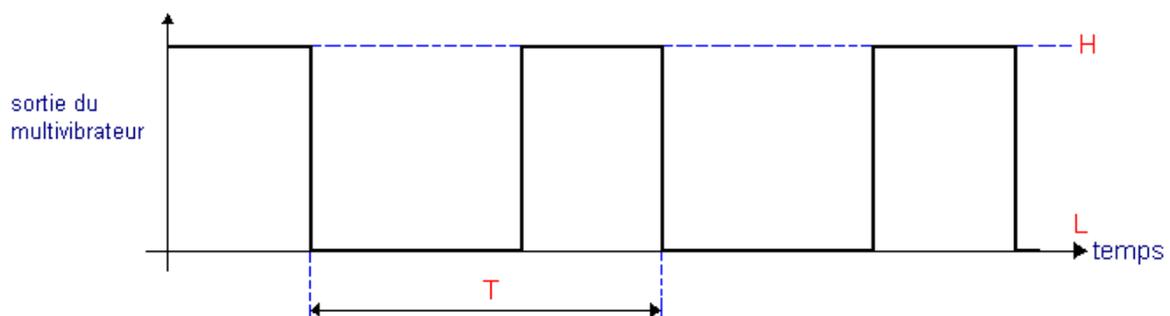


Figure II.2 : Forme carrée du signal de sortie d'un montage astable

T est la période du signal rectangulaire. Elle est déterminée par les caractéristiques propres du montage. La fonction principale de ce signal dans les circuits logiques est de fournir une horloge appelée généralement clock (CLK). Cette horloge est nécessaire dans les circuits logiques synchrones où les changements d'état logique en différents point du circuit se font soit au front montant, soit au front descendant de l'horloge.

b)- Oscillateur réalisé avec le circuit intégré NE555 :

Le NE555 c'est le circuit qu'on a utilisé dans notre montage dans son mode astable, c'est un circuit intégré très couramment utilisé pour générer des impulsions de cadencement précis. Il a été créé en 1971 par Hans R Camenzind et commercialisé par la compagnie Signetics .Il convenait pour les bricoleurs ou les professionnels du fait de son faible coût et sa facilité d'utilisation. C'est basiquement une minuterie de 8 broches et a principalement deux modes de fonctionnement: monostable et astable. Il contient 23 transistors, 2 diodes et 16 résistances.[8,9]

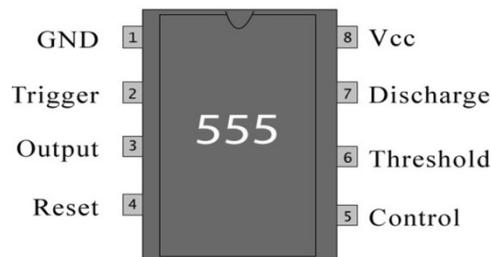


Figure II.3 : Brochage du circuit intégré NE555

En mode monostable la durée des impulsions peut être commandée avec précision par une résistance et un condensateur externe tandis qu'en mode astable la fréquence des signaux est commandée par deux résistances externes et un condensateur (fonctionnement en oscillateur). Le NE555 est utilisé pour faire des montages de clignotement de LED, des sirènes, des mesures de température etc....

Un schéma d'astable à CI NE555 ainsi que le chronogramme de son fonctionnement sont donnés sur les deux figures suivantes.

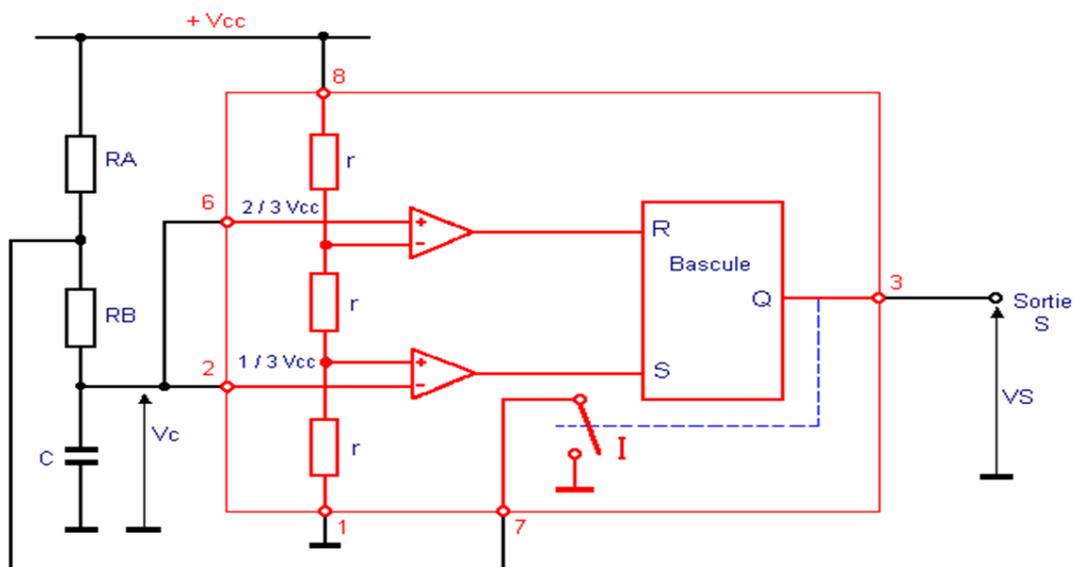


Figure II.4 : Un schéma d'astable à CI NE555 (En rouge c'est le schéma bloc interne du NE555)

L'interrupteur I est fermé lorsque Q est au niveau L et ouvert lorsque Q est au niveau H, ainsi qu'à la mise sous tension.

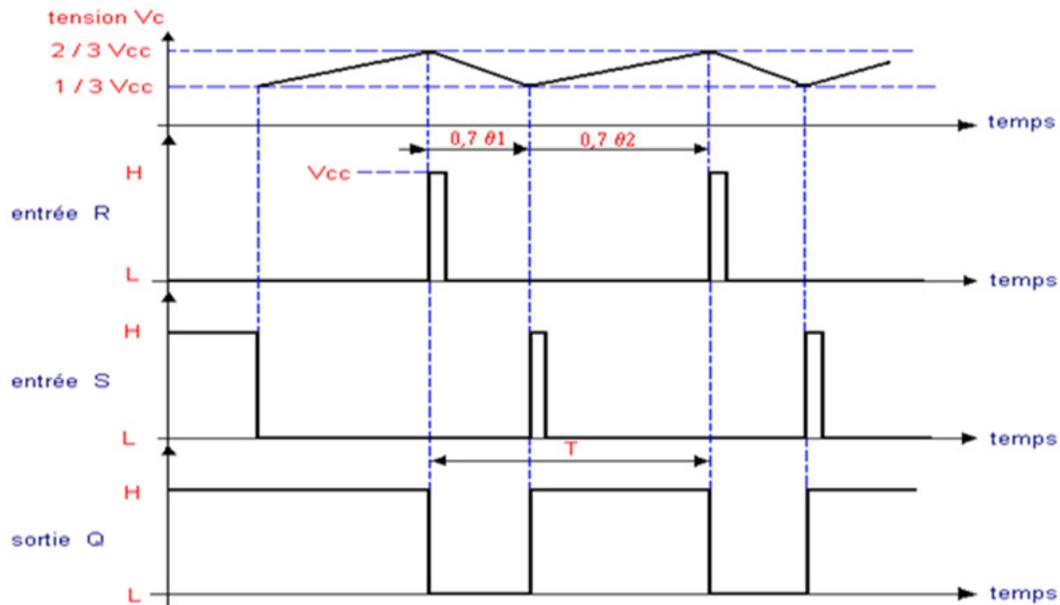


Figure II.5 : Chronogramme de fonctionnement de l'astable à NE555

A la mise sous tension, le condensateur C se charge à travers les résistances en série RA et RB puisque l'interrupteur I est ouvert (Q est au niveau H).

La table de vérité suivante indique le fonctionnement de la bascule RS.

R	S	Q
0	0	Mémoire
1	0	0
0	1	1
1	1	1

Figure II.6 : Table de vérité de la bascule R S.

Lorsque la tension V_C atteint $2/3V_{cc}$, l'entrée R passe au niveau H, donc la sortie Q passe au niveau L. Ceci ferme l'interrupteur I. Le condensateur C se décharge à travers la résistance RB. La constante de décharge vaut $\tau_1 = R_B C$. Lorsque V_C atteint le seuil $1/3V_{cc}$,

l'entrée S passe au niveau H et Q repasse au niveau H. Le condensateur C se recharge avec une constante de temps $\tau_2 = (R_A + R_B) C$ et le cycle continue ainsi indéfiniment.

La période T du signal rectangulaire, ainsi que le rapport cyclique *Rap*, sont donnés par les formules suivantes :

$$T = 0,7 (2 R_B + R_A) C \quad , \quad Rap = (R_A + R_B) / (R_A + 2 R_B).$$

Il est donc possible de faire varier ces deux paramètres en modifiant les valeurs respectives des trois composants R_A , R_B et C.

II.2.2 Etude et principe du fonctionnement du circuit amplificateur :

Notre circuit amplificateur est composé essentiellement de deux transistors MOFSET IRF 540 qui sont reliés à des diodes en parallèle. Chacun de ces deux MOFSET est commandé à travers des transistors bipolaires NPN (BC 547) est d'autres PNP (BC 557) montés en drive totem pull ou drive push pull.

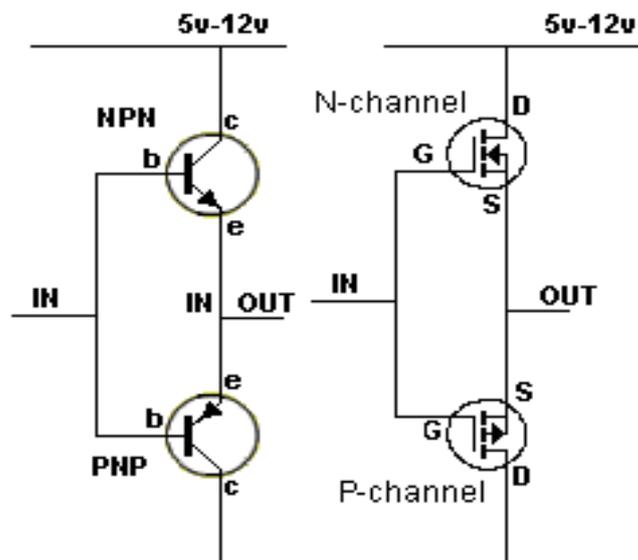


Figure II.7 : Transistors montés en drive totem pull ou push pull

Un transistor dont le nom vient de l'anglais transconductance varistor (résistance variable de transconductance) est un composant électronique principalement utilisé comme interrupteur commandé ou pour l'amplification du courant. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives qui permet le contrôle d'un courant ou d'une tension sur l'une des électrodes de sorties. Il permet également de stabiliser une tension ou de moduler un signal[1]. On distingue généralement deux grandes familles de transistors :

- **Les transistors bipolaires** : qui sont des amplificateurs de courant utilisés en analogique et en électronique de puissance.

- **Les transistors à effet de champ** : qui représentent la quasi-totalité des transistors des circuits complexes (comme ceux des microprocesseurs).

Dans notre circuit on a utilisé les deux types de transistors.

a)- Les transistors bipolaires :

Le transistor bipolaire, est un composant à trois bornes qui est composé de deux diodes PN collées dos à dos de façon à former soit un type **NPN** ou un autre type **PNP**. Il reçoit un signal d'entrée et fournit un signal de sortie. Il y a simultanément transfert de l'information entre l'entrée et la sortie et transfert d'énergie entre la source et la sortie. [10 ,11]



Figure II.8 : Image d'un transistor bipolaire

Le transistor (Transfer résistor) est un composant bipolaire car les électrons et les trous participent simultanément aux phénomènes de conduction.

Le transistor bipolaire peut se représenter sur un schéma électronique avec un symbole d'un composant à 3 pattes, composé des bornes suivantes :

- La base qui permet de commander le passage du courant à travers le composant ;
- Le collecteur est la broche par laquelle le courant entre dans le transistor bipolaire ;
- L'émetteur est la broche par laquelle le courant sort du composant, ainsi que le signal de sortie.

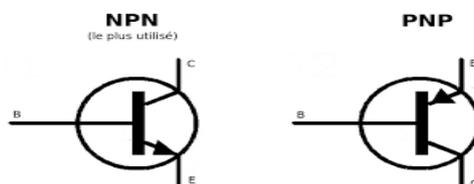


Figure II.9 : Schéma électrique d'un transistor bipolaire

Le type NPN s'apparente à un sandwich avec du silicium de type P au milieu, et le type PNP à un sandwich avec du silicium de type N au milieu.

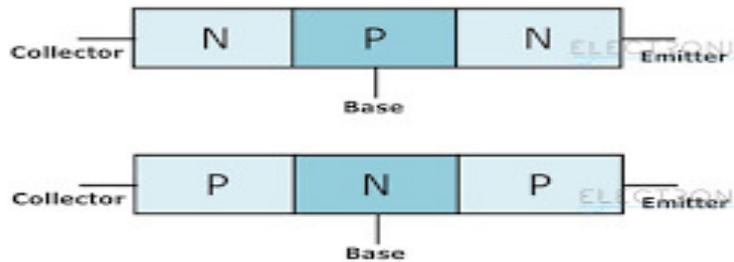


Figure II.10 : Configuration du transistor bipolaire en type PNP et NPN

Il existe deux régimes de fonctionnement pour le transistor bipolaire :

- **Le régime saturé-bloqué (commutation)** : dans ce régime, le transistor peut avoir deux états : un état "bloqué" ou un état "passant" (ou "saturé"). On parle de saturation lorsque le transistor est à l'état passant, c'est à dire lorsque le courant traverse le transistor du collecteur vers l'émetteur. Inversement, il est dit bloqué lorsque le courant ne le traverse plus. [10,11]

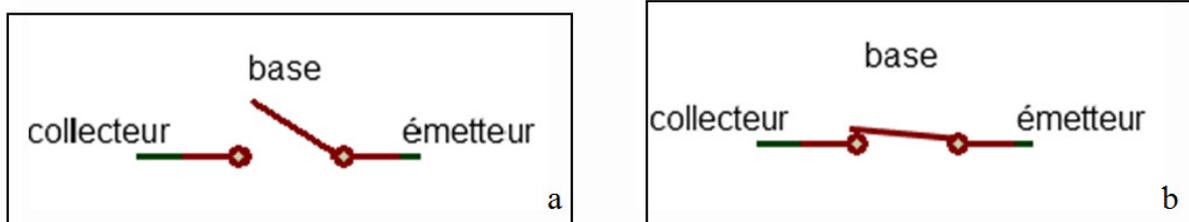


Figure II.11 : Schéma équivalent d'un transistor /a : l'état bloqué, b: l'état saturé

Lorsqu'il y a un courant inexistant ou très faible sur la base du transistor, celui-ci ne conduit pas et est donc à l'état bloqué. En revanche, lorsque le courant est suffisant (mais pas trop fort, sinon le transistor grille il conduit et est donc à l'état saturé. Par conséquent, l'ampoule de notre montage peut s'éclairer en toute harmonie.

Le courant de base doit être positif (pour que le transistor conduise) ou nul (pour qu'il se bloque), $I_b > 0$.

Un courant nul correspond à l'état bloqué du transistor

Le courant de base est en fait additionné au courant collecteur. Cette union nous amène à un résultat qui n'est autre que I_E . D'où la formule : $I_E = I_B + I_C$. Mais bien souvent, le courant de base est insignifiant par rapport au courant collecteur. On simplifie donc la formule précédente comme ceci : $I_E \approx I_C$

Cette dernière formule n'est vraie que si $I_B \ll I_C$.

En régime de saturation le transistor bipolaire permet très facilement de commander un élément à partir d'un capteur quelconque. Par exemple, il est possible de placer un capteur de présence qui enverrait un signal dans la base du transistor, permettant de commander l'état passant du transistor et ainsi de commander l'activation d'une lampe alimentée sur une alimentation différente. [11]

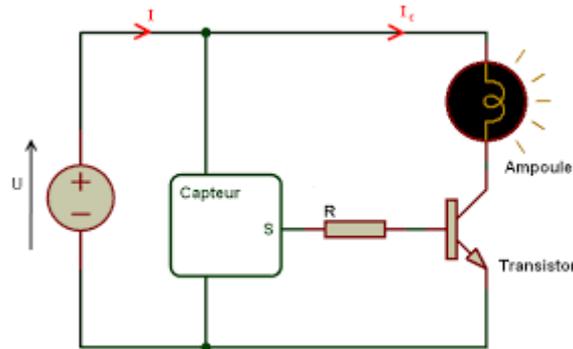


Figure II.12 : Exemple d'une ampoule commandée par un transistor bipolaire

- **Le régime linéaire** : différent du régime de saturation, le régime linéaire nous donne la possibilité d'avoir une infinité d'états du transistor. Le passage du courant entre le collecteur et l'émetteur peut donc prendre les valeurs suivantes : un tout petit peu passant, un peu plus passant, un peu passant, moyennement passant, passant, un peu plus passant, passant beaucoup, passant très beaucoup, ... , il y en a beaucoup. [1]

b)- Les transistors à effet de champ :

Un transistor à effet de champ (FET) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors. Sa particularité est d'utiliser un champ électrique pour contrôler la forme et donc la conductivité d'un « canal » dans un matériau semi-conducteur. Il concurrence le transistor bipolaire dans de nombreux domaines d'applications, tels que l'électronique numérique. Les FETs sont les dispositifs commandés en tension contrairement au transistor bipolaire qui est commandé en courant. On distingue deux types de TEC:

- Les TEC à jonction ou JFET ;
- Les TEC à grille isolée ou MOSFET

Le TEC (JFET) est réalisé dans un barreau de semi-conducteur dopé. Sa conductance dépend du taux de dopage et des dimensions du barreau. Pour moduler les dimensions du canal, on ajoute deux zones de dopage P. En polarisant les jonctions PN en inverse, on peut agir sur les dimensions des zones délimitées et donc sur la taille du canal. On peut ainsi moduler le courant dans le transistor en intervenant sur le champ existant dans les jonctions. [11,12]

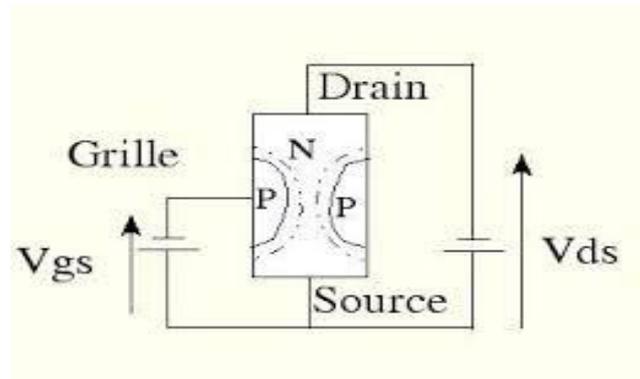


Figure II.12 : Structure d'un JFET

Le TEC du circuit que nous voulons réaliser est un transistor à effet de champ à grille isolée plus couramment nommé MOSFET. Comme tous les transistors, le MOSFET module le courant qui le traverse à l'aide d'un signal appliqué sur son électrode nommée grille. Il trouve ses applications dans les circuits intégrés numériques, en particulier avec la technologie CMOS, ainsi que dans l'électronique de puissance.

Les MOSFETs sont des transistors similaires au TEC à jonction, mais pour lesquels la grille est totalement isolée du canal.

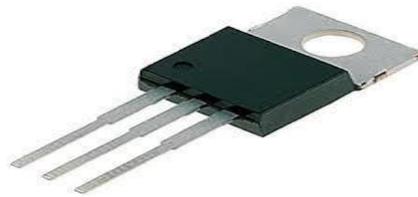


Figure II.13 : Image d'un transistor MOSFET

Le MOSFET se présente comme un composant à trois ports :

- le « drain » (noté D) ;
- la « grille » (notée G) ;
- la « source » (notée S).

Les tensions sont mesurées par rapport à la source. On mesure ainsi :

- la tension entre le drain et la source ;
- la tension entre la grille et la source.

Pour un MOSFET idéal, aucun courant ne peut entrer par la grille. Ainsi, le courant qui entre par le drain ressort par la source et vice versa. On note donc ce courant car il est le même en D et en S'Il existe deux types de MOSFET :

- Le MOSFET « canal N » ou NFET.
- Le MOSFET « canal P » ou PFET.

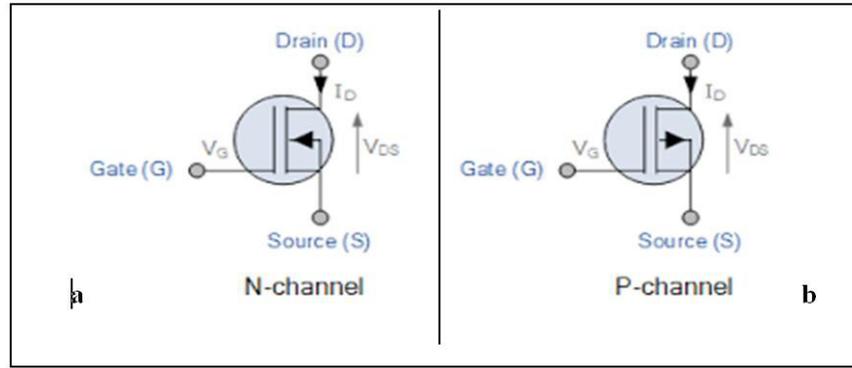


Figure II.14 : Schéma électrique d'un MOSFET, en a : canal N et en b : canal P

Vu que le TEC que nous allons utiliser dans notre circuit (mini onduleur) est un MOSFET de canal N, nous allons présenter et expliquer le mode de fonctionnement de ce type de composant.

Le NFET possède trois « régimes » différents :

• **Le régime de coupure :**

Le MOSFET se comporte comme un interrupteur ouvert lorsque $V_{GS} \leq V_{TH}$ ($I_{DS}=0A$). La tension de seuil, notée V_{TH} , est une caractéristique du composant mais dépend aussi de facteurs extérieurs, en particulier la température. En effet : $V_{TH} = \alpha kT/q$, où k est la constante de Boltzmann, T la température en Kelvin et q la charge élémentaire. [15]

• **Le régime linéaire (triode) :**

Dans certaines conditions, le MOSFET se comporte comme une résistance, dont la valeur dépend de V_{GS} . Ce régime porte mal son nom de « régime linéaire » [1,13].

Il ne constitue pas un intérêt pratique dans le cadre de cette leçon. Ce régime a lieu lorsque :

$V_{GS} > V_{TH}$;

$V_{DS} < (V_{GS} - V_{TH})$.

On peut exprimer le courant I_D circulant dans le drain pour ce régime de fonctionnement :

$$I_D = K((V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2)$$

Où K EST UNE caractéristique du transistor.[]

• **Le régime de saturation :**

Dans certaines conditions, le courant traversant le MOSFET ne dépend plus de la tension V_{DS} , mais uniquement de la tension entre la grille et la source V_{GS} :

$$I_{DS} = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_{TH})^2$$

Il se comporte ainsi comme un générateur de courant commandé en tension. Cela permet par exemple d'amplifier un signal faible. Cependant, la relation entre le courant et la tension n'est pas linéaire, ce qui a tendance à déformer le signal.

D'un autre côté, l'absence de courant entre la grille et la source permet un interfaçage direct entre un système de puissance (alimentation électrique, éclairage...) et un système de contrôle numérique (ordinateur...). [1,15]

La constante K est caractéristique du composant. Ce régime a lieu lorsque : $V_{GS} > V_{TH}$, $V_{DS} < (V_{GS} - V_{TH})$.

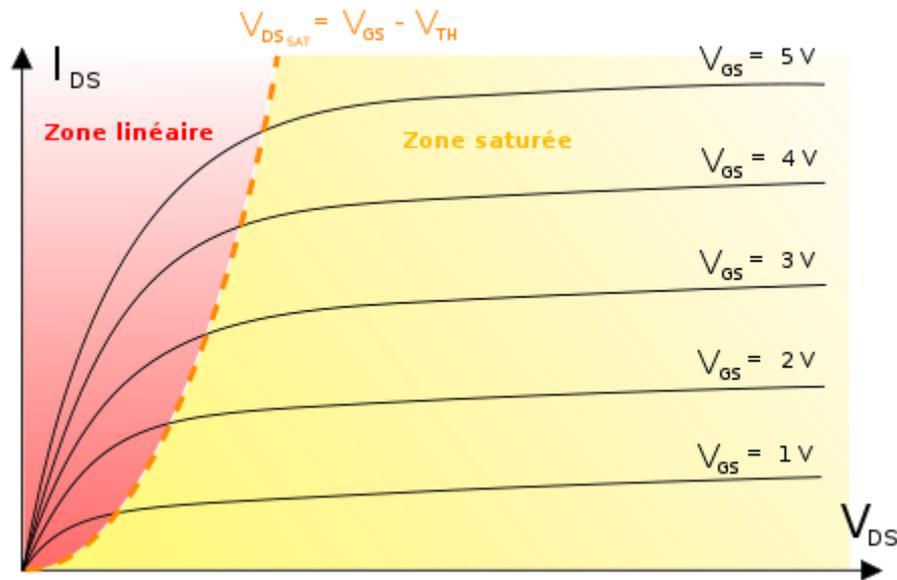


Figure II.15 : Caractéristiques (I_{DS} en fonction de V_{DS} à $V_{GS}=\text{constante}$) d'un NFET.

En rouge, la zone de fonctionnement « linéaire », qui ne nous intéresse pas. En jaune, la zone de fonctionnement en saturation. Il est à noter que cette courbe n'est pas tout à fait réaliste :

Le courant n'est pas une fonction linéaire de V_{GS} ;

Pour V_{GS} plus petit qu'une tension de seuil non nulle, le courant s'annule.

La séparation entre les deux zones est donnée par $V_{DS_{saturé}}=V_{GS}-V_{TH}$ et dépend donc de la tension de grille, pour V_{GS} plus petit qu'une tension seuil non nulle, le courant s'annule.

La séparation entre les deux zones est donnée par $V_{DS_{sat}}=V_{GS}-V_{TH}$ et dépend donc de la tension de grille.

En passant d'une valeur $V_{GS} < V_{TH}$ à une valeur $V_{GS} > V_{TH}$ avec V_{DS} suffisamment grand le NFET se comporte comme un interrupteur contrôlable en série d'une résistance (faible). Cela nous intéresse notamment pour les circuits digitaux et la conception de portes logiques. Il existe une diode en parallèle du transistor MOSFET. Cette diode se situe entre drain et source :

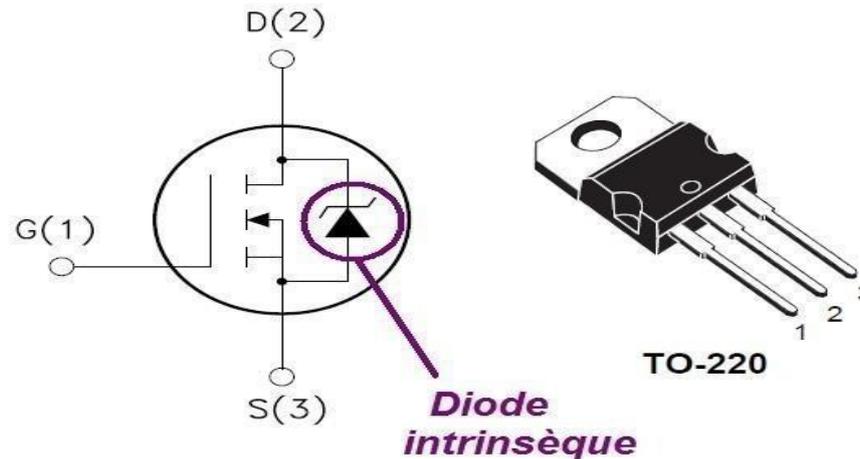


Figure II.16 : Diode intrinsèque du MOSFET

Le courant de drain inverse ne peut pas être bloqué par le transistor à cause de cette diode.

La diode intrinsèque du MOSFET est représentée par une diode Zener. En effet, lorsque la tension V_{DS} augmente (la grille n'étant pas commandée pour que le transistor soit bloqué : $V_{GS} = 0V$), il arrive un point de claquage où le transistor MOSFET entre en conduction par avalanche. La plupart des transistors MOSFET de puissance ont une tension de claquage qui vaut environ 1.2 à 1.3 fois la tension V_{DS} . [11]

Exemple : un transistor MOSFET 100V va entrer en mode avalanche autour de 120V à 130V. Il y a une certaine marge. Il se comporte comme une diode Zener de 120V ou 130V, mais il faut être prudent avec ce mode de fonctionnement en avalanche (voir plus bas).

La diode intrinsèque peut s'avérer utile dans des structures comme le pont en H ou le demi-pont. Elle sert de diode de roue libre à l'autre transistor MOSFET du demi-pont. En revanche, cette diode intrinsèque au transistor est plutôt lente et peut poser des problèmes à haute fréquence. Pour éliminer la conduction dans cette diode lente, on peut ajouter 2 diodes :

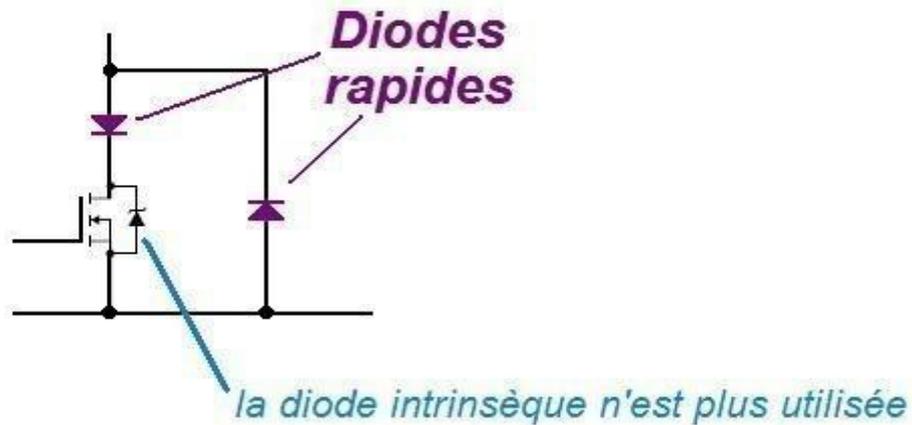


Figure II.17 : Montage des diodes rapides avec le MOFSET

Bien sûr, le R_{dson} du MOSFET est maintenant en série avec la diode en série avec le drain, d'où une chute de tension et un échauffement supplémentaire.

II.2.3 Le transformateur :

Un transformateur est un appareil qui permet de convertir une tension alternative donnée en une autre tension alternative, en augmentant ou en abaissant sa valeur, sans en changer la fréquence. Un transformateur possède une isolation galvanique entre son entrée (primaire) et sa sortie (secondaire), c'est-à-dire qu'aucun conducteur électrique ne relie les deux parties [12,13].



Figure II.18 : Image d'un transformateur abaisseur 220V AC-12 V AC

Il est doté d'un ou plusieurs enroulements (bobinage) primaires, et d'un ou plusieurs enroulements secondaires. Le principe de fonctionnement repose sur le transfert d'énergie par mutuelle inductance (induction électromagnétique) : le courant alternatif qui parcourt l'enroulement primaire crée un champ magnétique, qui est capté par l'enroulement secondaire qui le transforme alors en courant. Le rapport de transformation est lié au nombre de spires de

l'enroulement primaire, par rapport au nombre de spires de l'enroulement secondaire. Par exemple si l'enroulement secondaire comporte 50 spires alors que l'enroulement primaire en comporte 500, le rapport de transformation sera d'environ 10. En appliquant une tension de 240V au primaire, le secondaire délivrera une tension d'environ 24V. En pratique, le transfert d'énergie ne peut être total, une certaine quantité étant perdue. Le transformateur possède une caractéristique mentionnant cette propriété, il s'agit du coefficient de couplage, qui pourra être optimisé en choisissant les matériaux et les formes qui conviennent. Parfois, au primaire comme au secondaire, il peut n'y avoir qu'un seul enroulement, mais avec une ou plusieurs prises intermédiaires. Il est important de retenir que le transformateur, de par sa nature, ne peut transmettre de tension continue, et est limité au transfert de tension alternative, dont la plage d'amplitude et de fréquence dépendent de son type. Il existe plusieurs sortes de transformateurs dédiés à divers domaines : audio, secteur, haute tension, HF,...etc. [13,14]

a)- Constitution d'un transformateur :

Il est constitué de deux parties principales, le circuit magnétique et les enroulements.

• Le circuit magnétique :

Le circuit magnétique d'un transformateur est soumis à un champ magnétique variable au cours du temps. Pour les transformateurs reliés au secteur de distribution, cette fréquence est de 50 ou 60 Hertz. Le circuit magnétique est le plus souvent feuilleté pour diminuer les pertes par courant de Foucault, qui dépendent de l'amplitude du signal et de sa fréquence. Pour les transformateurs les plus courants, les tôles empilées ont la forme de E et de I, donnant la possibilité ainsi de glisser une bobine au sein des fenêtres du circuit magnétique ainsi constitué. [14]



Figure II.19 : Schémas des tôles d'un transformateur monophasé

Les circuits magnétiques des transformateurs «haut de gamme» ont la forme d'un tore. Le bobinage des tores étant plus délicat, le prix des transformateurs toroïdaux est nettement plus élevé.

Le conducteur électrique utilisé dépend des applications, mais le cuivre est le matériau de choix pour l'ensemble des applications à fortes puissances. Les fils électriques de chaque tour doivent être isolés les uns des autres pour que le courant circule dans chaque tour. Pour des petites puissances, il suffit d'utiliser des conducteurs magnétiques émaillés pour assurer cette isolation ; dans les applications à plus fortes puissances on entoure les conducteurs de papier diélectrique imprégné d'huile minérale. Pour les plus fortes puissances on utilise des conducteurs multibrins pour limiter l'effet de peau mais aussi les pertes par courants de Foucault. [14]

• Les enroulements :

Les enroulements du primaire ou du secondaire peuvent avoir des connexions externes, nommées prise, à des points intermédiaires de l'enroulement pour permettre une sélection de rapport de tension. Les prises peuvent être connectées à un changeur automatique de prises en charge pour le contrôle de la tension du circuit de distribution. Les transformateurs à fréquences audio, utilisés pour la distribution de l'audio à des haut-parleurs, ont des prises pour permettre l'ajustement de l'impédance de chacun des haut-parleurs. Un transformateur à prise médiane est fréquemment utilisé dans les amplificateurs de puissance audio. Les transformateurs de modulation dans les transmetteurs à modulation d'amplitude sont particulièrement identiques. [14]

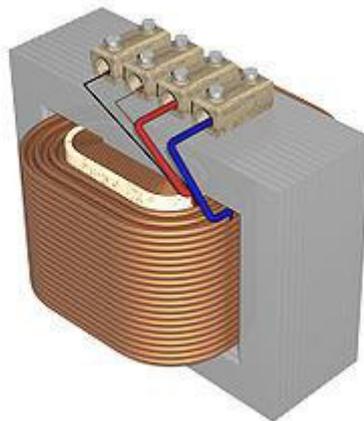


Figure II.20 : Enroulements d'un transformateur

b)- Principe de fonctionnement d'un transformateur à point milieu.

Dans ce type de transformateur nous n'avons qu'un seul primaire simple, mais le secondaire est séparé en deux parties (Figures II.21 et II.22). Les deux parties étant en contact électrique, plus précisément en série, c'est à dire non isolées entre elles. On parle ici de secondaire à prise

intermédiaire ou encore de secondaire à point milieu. En règle générale, les deux secondaires délivrent des tensions identiques, mais ce n'est pas une obligation.

Le point milieu permet la conception d'alimentations symétriques, par exemple +15V et -15V, avec cela va de soi, l'adjonction de diodes de redressement, de condensateurs de filtrage et de régulateurs de tension. [14]



Figure II.21 : Image d'un transformateur à point milieu.

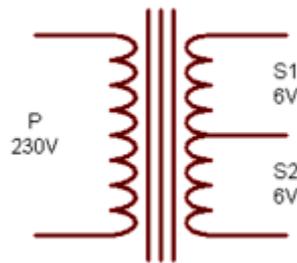


Figure II.22: Symbole électrique d'un transformateur à point milieu.

En règle générale, ce composant est utilisé pour abaisser la tension 230V du secteur à une valeur plus faible adaptée à l'alimentation d'un récepteur .

Dans le cas des onduleurs associés à une batterie produisant une tension continue de 12V ou 24V, le transformateur va être mis en œuvre pour élever la tension de 12V à une tension de valeur efficace de 230V de fréquence de 50Hz. Pour cela il faut choisir les bonnes valeurs des inductances pour les enroulements primaires (L_p) et secondaires (L_s) en suivant la règle suivante :

$$L_p/L_s = (V_i/V_o)^2$$

Où :

L_p est l'inductance de l'enroulement primaire ;

L_s est l'inductance de l'enroulement secondaire ;

V_i est la tension d'entrée ;

V_o est la tension de sortie. [14]

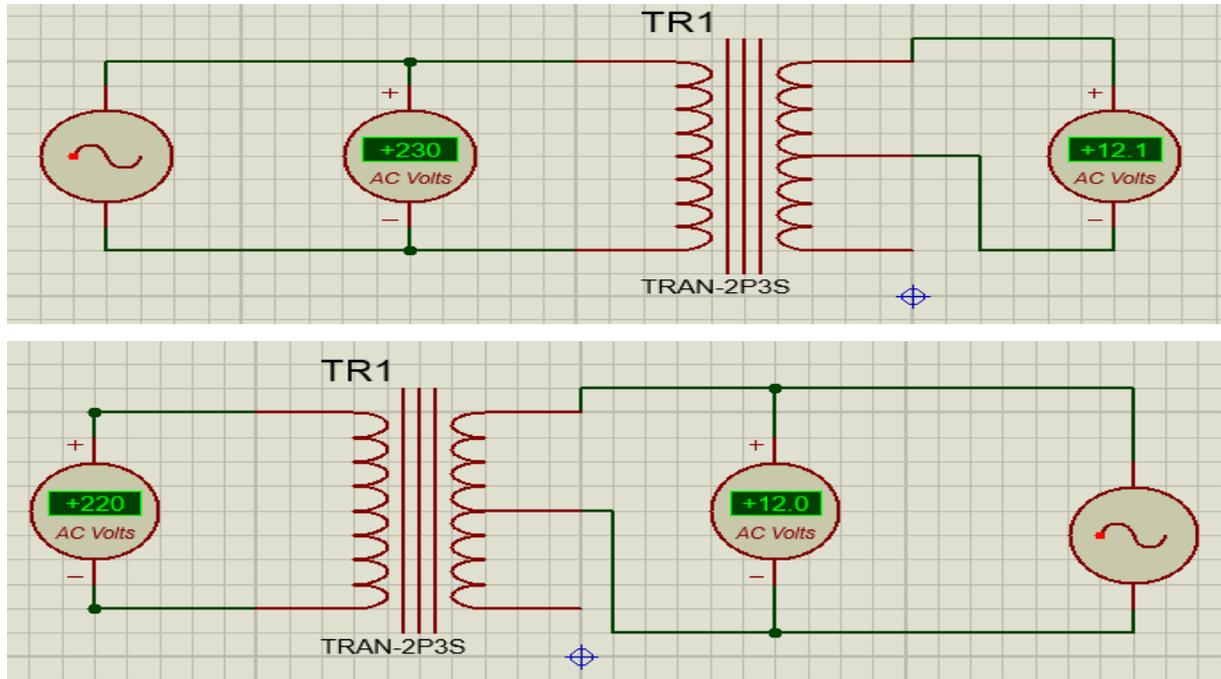


Figure II.22 : Réversibilité du transformateur point milieu

II.3 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents composants électroniques que nous allons utiliser dans la réalisation de notre micro onduleur.

Aussi nous avons montré les caractéristiques et expliqué le mode de fonctionnement et l'utilité de chaque composant.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter tout d'abord la simulation du fonctionnement de notre mini onduleur sous l'environnement Isis-Proteus, ensuite nous montrerons la réalisation et le test pratique du mini onduleur.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons mettre en évidence ce que nous avons présenté dans les chapitres précédents en illustrant les étapes de la réalisation de notre mini onduleur destiné pour des applications photovoltaïques.

Ce chapitre est constitué de deux parties :

- La première partie présente la simulation ainsi que le dimensionnement du circuit imprimé sous les environnements ISIS et ARES de Proteus.
- La deuxième partie présente la réalisation pratique et le test de notre produit final délivrant à sa sortie un signal alternatif d'amplitude 220V lorsqu'il est attaqué par la tension continue de la batterie de 12V.

III.2 Simulation :

Avant de détailler et expliquer la simulation de notre circuit électrique, nous avons jugé nécessaire de présenter le logiciel que nous allons utiliser (Proteus) et expliquer son principe de fonctionnement.

III.2.1 Présentation du logiciel Proteus :

Proteus est une suite logicielle permettant la CAO électronique éditée par la société Absenter Electronics [1].

Proteus est composé de deux logiciels principaux : ISIS permettant entre autres la création de schémas et la simulation électrique, et ARES dédié à la création de schémas de circuits imprimés.

Grâce à des modules additionnels, ISIS est également capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur (PIC, Atmel, 8051, ARM, HC11...) et son interaction avec les composants qui l'entourent.

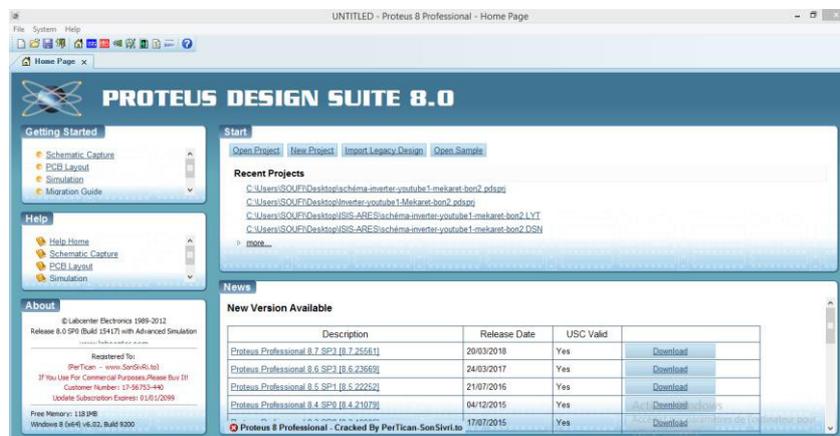


Figure III.1 : Fenêtre principale du logiciel Proteus professionnel 8.0

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages [1,15]

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et à utiliser ;
- Le support technique est performant ;
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

III.2.2 Logiciel ISIS :

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. [15]

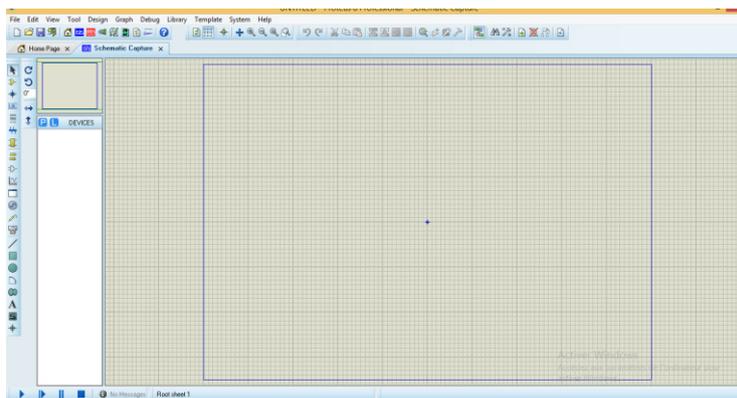


Figure III.2 : Fenêtre principale du logiciel ISIS

Barre d'outils d'ISIS :

La boîte verticale de boutons (figure III.3), comprend les principaux raccourcis au développement rapide d'applications. En plaçant le curseur de la souris sur un bouton, sans cliquer, une info-bulle affiche le nom du bouton, dont les plus importants :

- **Component mode :**

Un clic sur ce bouton puis (component from libraires), permet l'ajout de différents composants.

- **Generator mode :**

Permettant l'accès aux différents types de générateurs

- **Instruments :**

Un raccourci permettant l'ajout des appareils de mesure tels que le voltmètre, l'ampèremètre et l'oscilloscope.

- **Terminal :**

Permettant d'ajouter des points particuliers dans un schéma tels que les entrées/sorties ou GND.

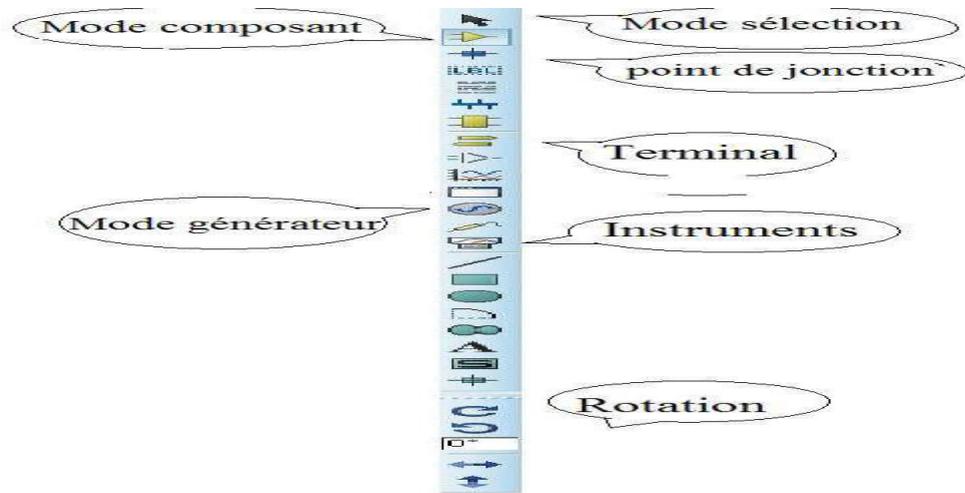


Figure III.3: Barre d'outils du logiciel ISIS

III.2.3 Logiciel ARES :

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètent parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement. [15]

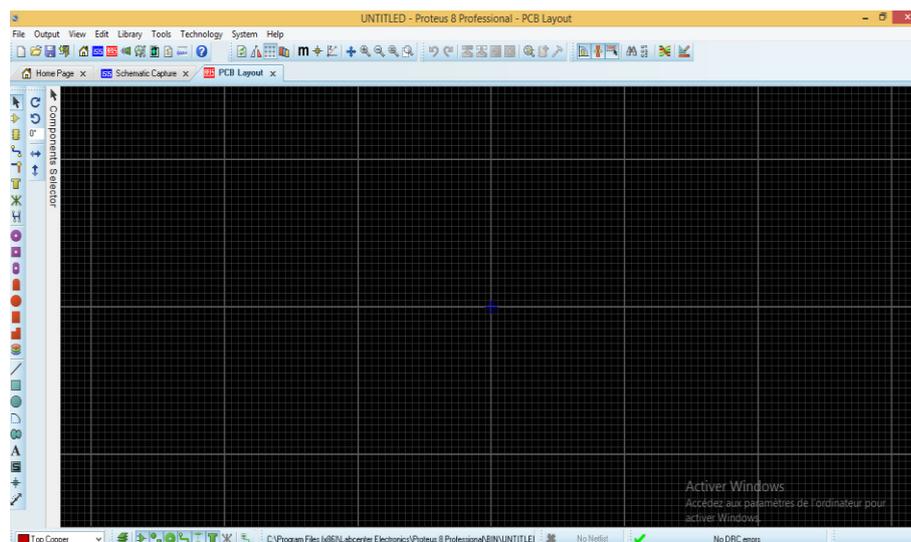


Figure III.4: Fenêtre principale du logiciel ARES

III.2.4 Présentation du système global :

Le schéma avec les principaux éléments qui constituent le système global à élaborer est présenté sur la figure III.5.

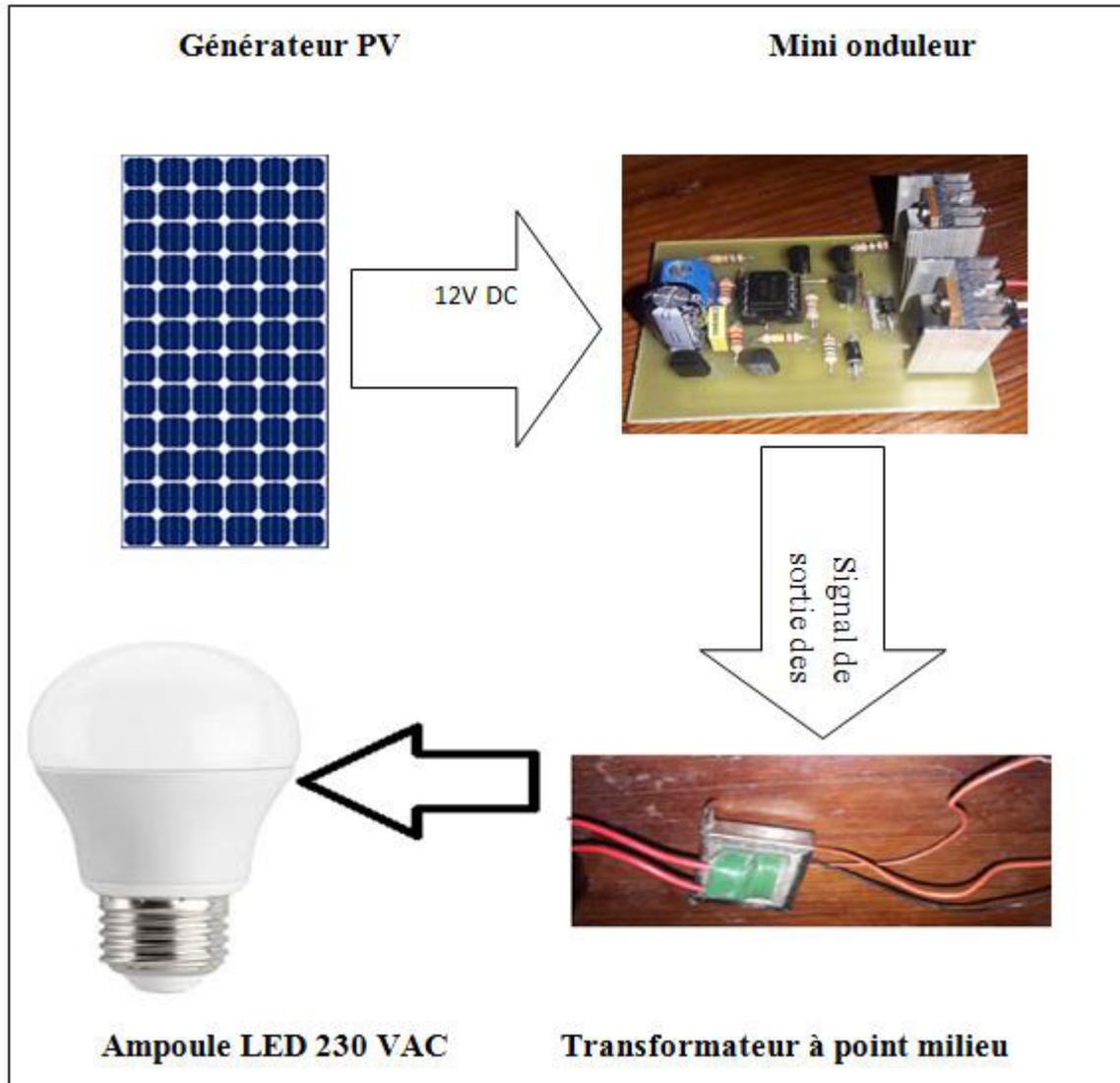


Figure III.5: Présentation du système global

Dans notre cas vu l'indisponibilité des panneaux solaires au niveau de l'université nous avons remplacé le générateur PV par un générateur de tension et de courant continu car il fournit la même valeur et le même mode de tension que celui généré par le panneau solaire (12V DC).

III.2.5 Schéma électrique du mini onduleur monophasé :

Après avoir défini le type de circuit à réaliser (onduleur de tension monophasé) dans le deuxième chapitre et déterminer les composants à utiliser, nous avons simulé notre circuit en premier temps sur le logiciel ISIS pour tester son fonctionnement (Figure III.6).

A noter aussi que pour obtenir la bonne fréquence du signal de sortie (50Hz dans le cas de l'Algérie) il faut choisir les bonnes valeurs des résistances et des condensateurs du circuit oscillateur (dans notre cas le NE555 en mode astable).

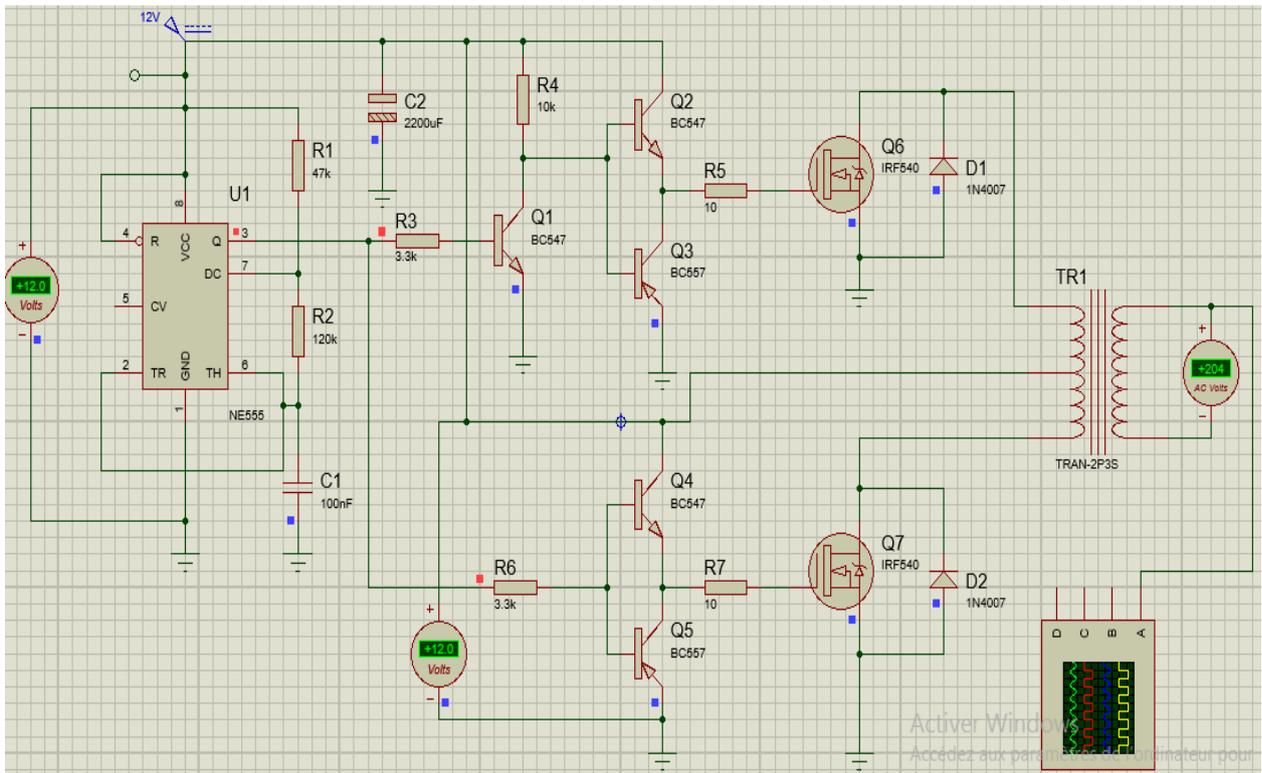


Figure III.6: Schéma électrique du mini onduleur sous ISIS

Remarque :

Il est important de noter, que même si les composants sont bien choisis et parfaitement reliés entre eux, le circuit ne donnera pas le résultat espéré si le rapport de transformation n'est pas correct. Donc il est impératif de choisir les bonnes valeurs des inductances des enroulements primaires et secondaires du transformateur.

Dans notre cas (Figure III.7) :

- L'inductance du primaire = 1H ;
- L'inductance du secondaire = 6mH.

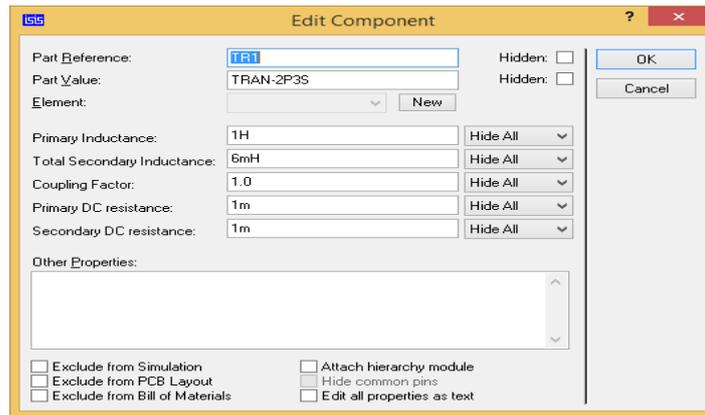


Figure III.7 : Caractéristiques du transformateur pour la simulation sous ISIS

Après avoir bien choisi tous les paramètres du circuit (valeur des composants, des inductances, ...) il est nécessaire de visualiser le signal de la tension de sortie en utilisant l'oscilloscope disponible sur ISIS.

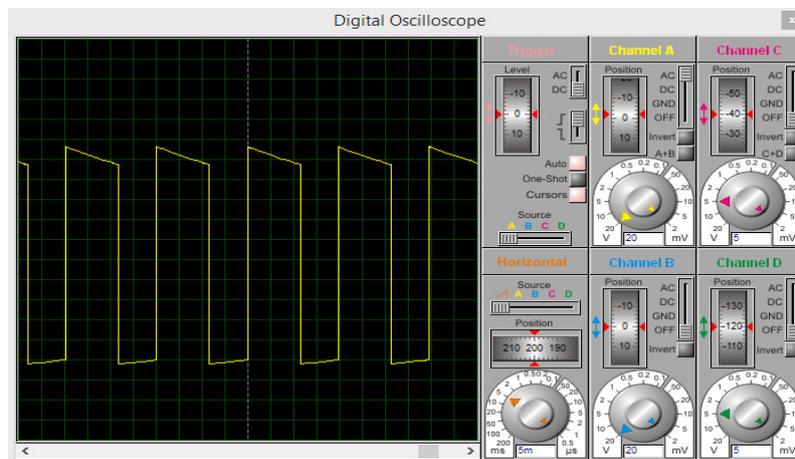


Figure III.8 : Signal de sortie visualisé sur l'oscilloscope d'ISIS de la figure III.6

On remarque que le signal de sortie est un signal alternative carré de fréquence de 50Hz, d'où la confirmation du bon fonctionnement du circuit, ce qui nous donne le feu vert pour commencer la réalisation pratique.

III.3 Réalisation du circuit :

Après avoir défini le type de circuit à réaliser (onduleur de tension monophasé), ainsi que les composants à utiliser nous avons développé le circuit imprimé du convertisseur, à l'aide du logiciel ARES, et ce après avoir effectué un dimensionnement approprié.

Mais si on applique le schéma électrique du circuit tel qu'il est dans la figure III.6 on aura un problème lorsqu'on voudra attaquer l'entrée du système par une tension continu de 12V, et même on ne pourra pas visualiser le signal de sortie du système par ce que le transformateur ne fait pas partie du circuit imprimé, donc il est nécessaire de faire quelque changement sur le

Chapitre III : Réalisation du mini onduleur à transformateur à point milieu

schéma électrique développé sur ISIS. Il faut prévoir deux couronnes pour connecter les deux fils de l'alimentation et trois couronnes pour souder les trois fils du primaire du transformateur à point milieu. Pour cela il y a des connecteurs dédié à ça disponible sur ISIS. Nous plaçons un bornier à deux pattes à l'entrée du schéma de l'onduleur pour le relier avec l'alimentation 12V DC et un autre à trois pattes à la sortie du système pour pouvoir souder les trois fils du primaire du transformateur.

Le nouveau schéma électrique (de passage) avec les deux connecteurs (entouré par deux cercles rouges) est représenté dans la figure III.9. C'est ce dernier qui sera utilisé sur ARES pour réaliser le schéma du circuit imprimé.

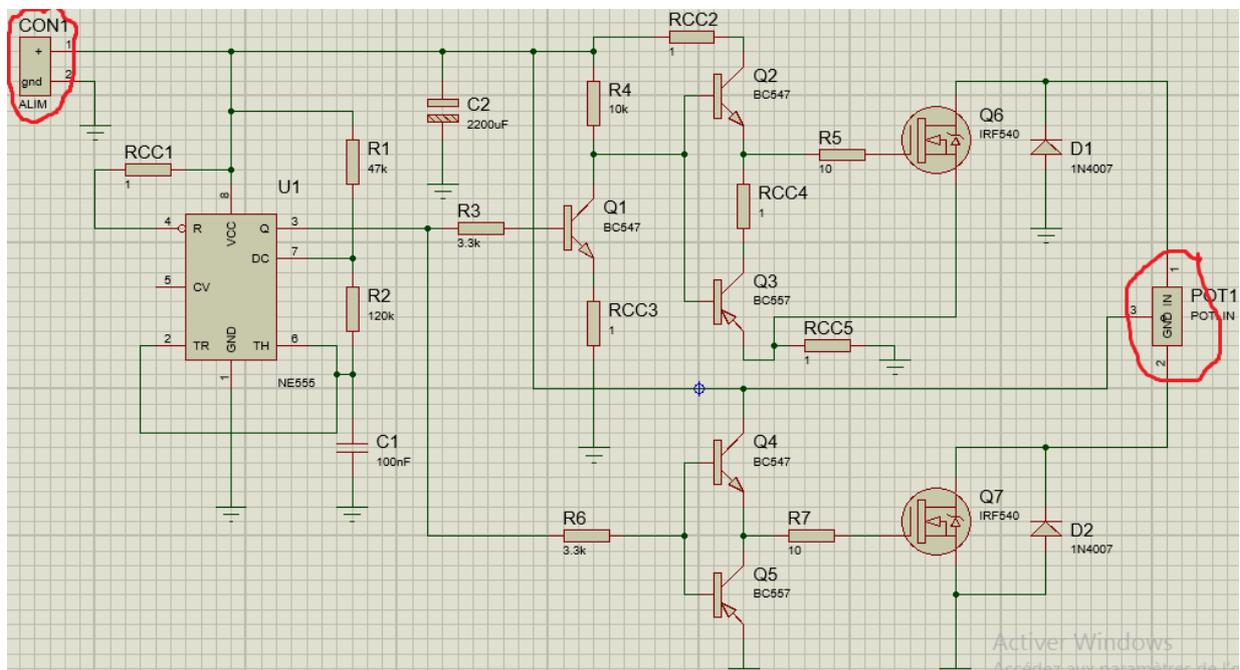


Figure III.9 : Schéma électrique appliqué sur ARES

Vu que nous utilisons un circuit simple face on devra faire le câblage manuellement, et puisque nous ne pouvons pas croiser les câbles entre eux nous mettrons des résistances de court-circuit de valeur égale à 1 Ohm qui vont jouer le rôle de straps.

Le schéma de notre circuit imprimé que nous avons confectionné est représenté sur la figure suivante.

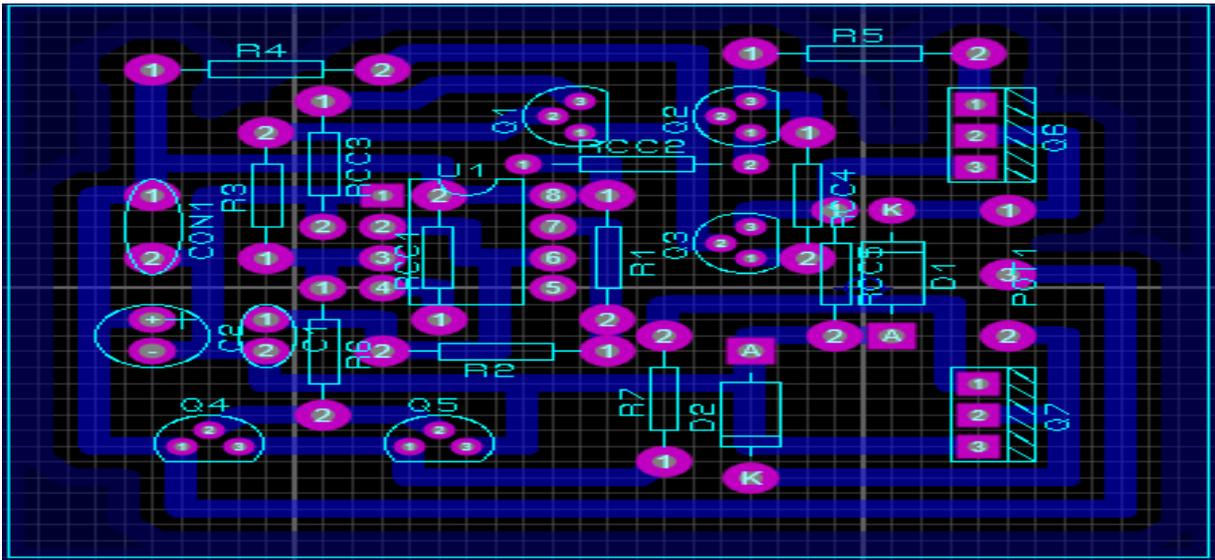


Figure III.10 : Schéma de notre circuit imprimé obtenu sur ARES

Le type de circuit que nous avons choisi pour la réalisation de notre circuit c'est le circuit simple face (Figure III.11). La technique de fabrication est relativement facile et le matériel utilisé est peu onéreux. Les circuits simples face (en cuivre) obtenus à partir des plaques pré sensibilisé, courantes chez les revendeurs et disponible au laboratoire de l'université.

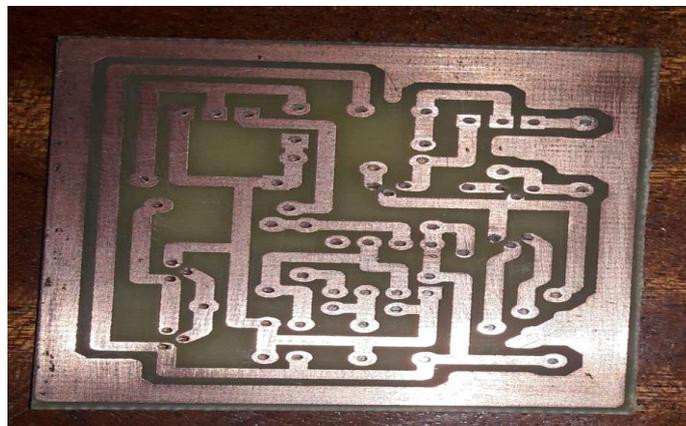


Figure III.11 : Photo de notre circuit imprimé que nous avons réalisé en utilisant une plaque de circuit imprimé brute

Nous avons choisi une largeur de piste de 2mm qui est une largeur adaptée pour bien faire circuler le courant électrique.

- **Implantation et soudure des composants sur le circuit imprimé :**

En suivant le schéma électrique du circuit réalisé sur ARES, nous avons implanté et nous avons soudé les différents composants pour obtenir le produit de la figure III.12.



Figure III.12 : Produit obtenu après soudure des composants

III.4 Test du mini onduleur réalisé :

Nous allons utiliser un générateur de tension et de courant continu par ce que ce dernier offre le même type de tension et courant généré par les panneaux PV.

Après, nous avons relié la sortie du circuit avec le transformateur à point milieu, et nous avons placé une lampe LED de 220V AC et de puissance 9W à la sortie du système. Si le système fonctionne bien la lampe s'allumera une fois le générateur branché.

Comme résultat pratique (Figure III.13), la lampe s'allume et fonctionne parfaitement ce qui montre le bon fonctionnement de notre mini onduleur que nous avons réalisé.



Figure III.13 : Test du fonctionnement de notre mini onduleur

Chapitre III : Réalisation du mini onduleur à transformateur à point milieu

Pour donner plus de valeur à notre travail, et pour protéger aussi notre circuit contre toute contrainte externe, nous l'avons placé avec le transformateur à point milieu dans une boîte en plastique transparente pour faire apparaître la circuiterie (Figure III.14).

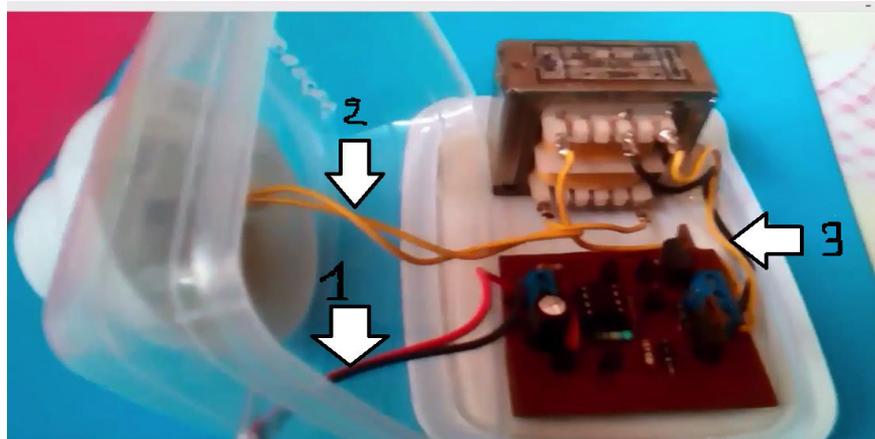


Figure III.14 : Mise du circuit dans une boîte en plastique

- Les deux câbles rouge et noir indiqués par la flèche **numéro 1**, sont dédiés à l'alimentation, et ils seront branchés directement avec la batterie.
- Les deux câbles jaunes qui sont indiqués par la flèche **numéro 2**, sont les fils du primaire du transformateur qui seront reliés directement avec la douille placé sur le toit de la boîte en plastique.
- Les trois câbles qui sont indiqués par la flèche **numéro 3** (2 jaunes, et 1 noir) sont reliés avec le secondaire du transformateur.

Notre produit final est photographié comme suit.



Figure III.15 : Photo de notre produit final

Chapitre III : Réalisation du mini onduleur à transformateur à point milieu

L'étape suivante consiste à brancher la boîte qui contient le mini onduleur à transformateur à point milieu avec une batterie qui génère une tension de 12V DC.

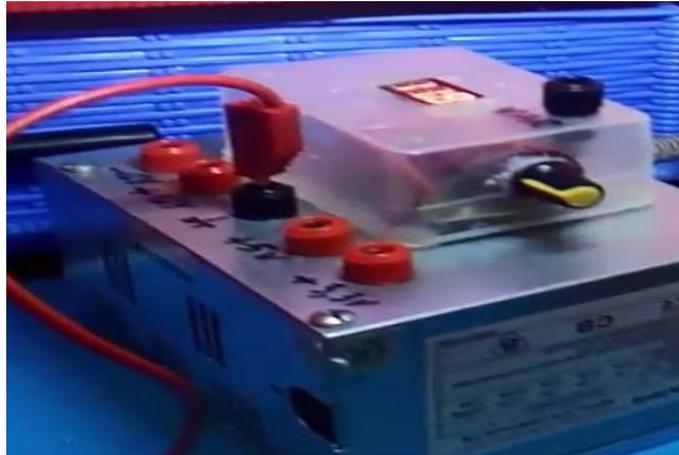


Figure III.16 : la batterie utilisée dans l'expérience

La dernière étape consiste à brancher la batterie avec la boîte qui contient le circuit (mini onduleur), si tout fonctionne bien la lampe s'allumera une fois la batterie branchée.



Figure III.17 : Test final du produit que nous avons réalisé

Nous constatons que la lampe LED qui nécessite une tension 220V AC pour fonctionner, s'allume en étant alimentée par une tension de 12V DC, donc le résultat est satisfaisant et nous pouvons dire que le mini onduleur joue son rôle pleinement.

Enfin, nous devons signaler que toutes les étapes de notre travail pratique depuis le schéma électrique jusqu'à la mise au point du circuit final est disponible sur une vidéo que nous avons placée sur Youtube et dont le lien internet est le suivant :

<https://www.youtube.com/watch?v=oEcLB03q6AY>.

III.5 Conclusion :

Nous pouvons conclure que :

- L'étude théorique est importante dans la réalisation de notre montage.
- La fourniture d'une tension de 220V par l'onduleur ne doit pas faire oublier sa performance limitée en matière de puissance et en qualité du signal (alternative carré), donc l'usage du mini on onduleur que nous avons réalisé est réservé pour des applications d'éclairage.
- Cette réalisation nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur les différentes pannes et astuces qui peuvent accompagner en général les réalisations pratiques, et les prendre comme expérience dans les constructions électroniques.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons présenté une étude théorique, une simulation et une réalisation pratique d'un mini onduleur monophasée.

Nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les notions générales sur les onduleurs : leurs constitutions physiques élémentaires, leurs fonctionnements et leurs applications.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les différents composants électroniques que nous avons utilisés dans la réalisation de notre micro onduleur.

Le troisième chapitre est constitué de deux parties :

- Dans la première partie nous avons présenté la simulation ainsi que le dimensionnement du circuit imprimé sous les environnements ISIS et ARES de Proteus.
- Dans la deuxième partie nous avons présenté la réalisation pratique et le test de notre produit final délivrant à sa sortie un signal alternatif d'amplitude 220V lorsqu'il est attaqué par la tension continue de la batterie de 12V.

La fourniture d'une tension de 220V AC par notre mini onduleur ne doit pas faire oublier sa performance limitée en matière de puissance et en qualité du signal (alternative carré). Par conséquent l'usage du mini onduleur que nous avons réalisé est réservé pour des applications d'éclairage.

Enfin nous devons signaler que ce travail pratique nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur les différentes pannes et astuces qui peuvent accompagner en général les réalisations pratiques, et les prendre comme expérience dans nos futures réalisations électroniques.

En perspectives, nous envisageons d'élargir ces travaux dans le but d'améliorer d'avantage le fonctionnement du mini onduleur monophasé. Nous nous proposons par exemple d'utiliser un microcontrôleur pour permettre l'asservissement de la tension et la fréquence afin de connecter l'onduleur au réseau.

REFERENCES

- [1] <https://www.wikipedia.org>.
- [2] EL IDRISI RAMZI «Réalisation d'un onduleur monophasé autonome commandé par PIC 16F877 »mémoire de projet de fin d'étude pour ingénieur université Hassan1 Settat, Maroc.
- [3] onduleurs pour système PV : fonctionnement, état l'art et étude des performances rapport dirigé par VIOLAINE DIDIER sous la direction de BRUNI GAIDON. aout 2007.
- [4] GUY SEGUIER/ FRANCIL LABRIQUE Les convertisseurs de l'électronique de puissance, volume4, 1989 France.
- [5] SAHLI YAMINA et ABID MIA « étude et réalisation d'un onduleur 12V continue/220V alternatif », mémoire de projet de fin d'étude pour ingénieur (UDL Sidi bel abbés) 1997.
- [6] MECHRI SALAH EDDINE « réalisation d'un onduleur de tension monophasé contrôlé par une carte ARDUINO », mémoire de projet de fin d'étude pour master université Constantine 1.
- [7] <http://www.onduleurs.fr>.
- [8] <http://www.electronique-et-informatique.fr>.
- [9] data sheet NE555/SA555/SE555 C TIER Texas instruments
- [10] <http://www.mongosukulu.com>.
- [11] <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique>.
- [12] <https://www.sonelec-musique.com/electronique.html>
- [13] BOUDOUAOUI AMINA « étude et réalisation d'un onduleur pour système photovoltaïque » mémoire de projet de fin d'étude pour obtention de master en ELECTROTECHNIQUE
- [14] MOUSSOUNI NASSEREDDINE « Etude et réalisation d'un onduleur de tension monophasé », mémoire de projet de fin d'étude pour obtention de master en ELECTROTECHNIQUE (Université Abderrahmane MIRA- BEJAIA)
- [15] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>
- [16] RAHMANI M « Etude et réalisation d'un onduleur monophasé HF à base de MOSFET », mémoire de projet de fin d'étude pour master (UDL Sidi Bel Abbes)
- [17] <https://www.automation-sense.com/blog/electronique>