

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad DAHLAB, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des énergies renouvelables



Mémoire Présenté pour l'obtention de diplôme de

Master

Option : conversion photovoltaïque

Thème

Etude et réalisation d'un onduleur monophasé

Réalisé par : -BEN ZERROUK Madani.

-ABISMAIL Baelhadj.

Soutenu devant le jury composé par :

Dr.A.BENAHMED	M.C.B	USDB1	President
Dr.O.AIT SAHED	M.C.B	USDB1	Examineur
Dr.R.BOUKENOUI	M.C.B	USDB1	Examineur
Mr.T.DOUMAZ	M.A.A	USDB1	Promoteur
Dr.M.M. BOUZAKI	M.C.B	USDB1	Co-Promoteur

Juillet 2022

Remerciements

En achevant ce modeste travail, nous remercions ALLAH qui nous a permis d'arriver à ce jour.

*Nous tenons à présenter nos remerciements et notre profonde reconnaissance à notre promoteur **Mr.T.DOUMAZ** ainsi que notre Co-promoteur **Dr.M.M. BOUZAKI** qui nous ont guidés tout au long de ce travail.*

*Nous remercions également le président du jury **Dr.A.BENAHMED** ainsi que les membres du jury **Dr.O.AIT SAHED** et le **Dr .R.BOUKENOUI** pour avoir accepté l'examination et l'évaluation de ce travail.*

Nous remercions également, l'ensemble des enseignants du département des Energies Renouvelables qui ont contribué à notre formation, auxquels nous exprimons nos plus grands respects et profonde reconnaissance.

Nous terminons en remerciant les personnes qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père OMAR, à ma chère mère, qu'ALLAH les garde et les protège pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leurs encouragements et pour leurs soutien moral et financier.

A mes chères sœurs,

*Mes frères **Kacem, Nouradine, Yacine, Mustapha***

A ma chère femme,

A toute ma famille,

*A mon binome **Madani Ben zerrouk**, mon copain **Abdelhadi***

*A toutes mes amis ; **Yacine, Khoudir, Slimane...***

A tous ceux qui m'ont toujours soutenu et encouragé tous au long de mes études.

BAELHADJ Abismail

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chères parents, qu'ALLAH me les garde et les protège pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leurs encouragements et pour leurs soutien moral et financier.

*A mes chers frères **Rachid, Redouane, Nabil et Belkacem**
ainsi que leurs familles,*

*A mes chères sœurs **Lamia, Meriem, Khadîdja et Safia**, ainsi
que leurs familles*

A toute ma famille,

*A mon binôme **Baelhadj Abismail**,*

*A tout mes amis **Amer, Madjid, Yacine, Mahdi, Samy,***

Abdelhadi ...

A tous ceux qui nous ont aidée et ont contribué de loin ou de près pour la réussite de ce travail.

MADANI BEN ZERROUK

ملخص

الألواح الشمسية (الكهروضوئية) هي الحل الأكثر تقدمًا لتزويد المواقع المعزولة بالطاقة الكهربائية ، للاستخدام المنزلي تعمل معظم الأجهزة مع التيار المتردد ، لذلك لتزويد هذه الأجهزة من التيار المستمر ، يكون المحول مسئولًا عن هذه المهمة.

في هذا البحث ، بدأ بعرض حول الأنظمة الكهروضوئية حيث تم تحديد العناصر المكونة لهذا الأخير بدقة مع تحديد دور كل منها. يعد المحول الكهربائي جزءًا من أدوات النظام الكهروضوئي ، لذلك تم إجراء دراسة نظرية على محول أحادي الطور ، تليها برمجة مخطط المحول على Proteus مما جعل من الممكن الحصول على إشارة متناوبة. ثم سمح الإدراك العملي بإبراز الرسم التخطيطي الوظيفي على لوحة إلكترونية مما يؤكد نتائج المحاكاة وهو الهدف الرئيسي لهذا المشروع. الكلمات المفتاحية: الكهروضوئية ، متناوب ، الجيبية ، العاكس ، أحادي الطور ، مستمر ، محول.

Résumé

Les panneaux photovoltaïques sont la solution la plus avancée pour alimenter les sites isolés par l'énergie électrique, pour l'utilisation domestique la plupart des appareils fonctionnent avec un courant alternatif alors pour alimenter ces appareils depuis un courant continu, un convertisseur est chargée de cette mission.

Dans ce travail, une présentation sur les systèmes photovoltaïque était entamée où les éléments constituants de ce dernier ont été définis avec précision du rôle de chacun d'eux. L'onduleur fait partie des dispositifs du système photovoltaïque, alors une étude théorique a été faite sur un onduleur monophasé, suivi par une simulation sur le logiciel Proteus qui a permis d'obtenir un signal de sortie sinusoïdal. Ensuite une réalisation pratique a permis de projeter le schéma fonctionnel sur une plaque électronique qui confirme les résultats de simulation et qui est l'objectif principal de ce projet.

Mots clés : photovoltaïque, alternatif, sinusoïdal, onduleur, monophasé, continu, convertisseur.

Abstract

Photovoltaic panels (PV modules) are the most advanced solution for supplying isolated sites with electrical energy. For domestic utilization, most devices work with alternating current, so to feed these devices through direct current, an inverter is responsible for this conversion.

In this work, the photovoltaic systems are defined. In addition, the different constituents of these systems are presented, with the precision of the role of each of them. The inverter is part of the devices of the photovoltaic system. So, a theoretical study was made on a single-phase inverter, followed by a simulation on the Proteus software, which allowed us to obtain an output signal. Then, a practical realization allowed us to project the functional diagram on an electronic board which confirms the simulation results.

Keywords: photovoltaic, alternating, sinusoidal, inverter, single-phase, continuous, converter.

Nomenclature

C : Capacité du condensateur (F).
C : Célérité de la lumière dans le vide.
E_{ph} : énergie photovoltaïque (J).
I_{CC} : Courant de court-circuit (A).
I_c : Courant efficace (A).
I_{ch} : Courant de la charge (A).
I_m : Courant maximal (A).
I_{out} : Courant de sortie (A).
I_{ph} : Photo-courant.
T_a : Température ambiante (K).
U_c : Tension efficace (V).
V_{co} : Tension de circuit ouvert (V).
V_m : Tension maximale (V).
K_B : Constante de Boltzmann.
h : Constante de Planck.
λ : La longueur d'onde.
φ : Flux d'induction magnétique

Abréviation

AC : Alternating Current (Courant Alternatif (CA)).
AM : Amplitude modulée.
DC : Direct Current (courant continu (CC)).
DC/DC : Convertisseur (Courant Continue/Courant Continue)= hacheur.
DC/AC : Convertisseur (Courant Continue/Courant Alternatif)= onduleur.
FF : facteur de forme.
IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor (transistor bipolaire à grille isolée)
MOSFET : Métal-Oxyde Semi-conducteur Field Affect Transistor.
MPPT : Maximum Power Point Tracking qui veut dire point de puissance maximale
PV : Photovoltaïque.
PWM : Pulse Width Modulation qui veut dire modulation de largeur d'impulsions.
Si : Silicium.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : système photovoltaïque....Généralités	
1. Introduction	3
2. Energie solaire.....	3
2.1 Rayonnement solaire.....	3
3. Effet photovoltaïque	4
4. les éléments constituant un système photovoltaïque.....	4
4.1. Cellule photovoltaïque	4
4.1.1. Historique	4
4.1.2. Constitution de la cellule photovoltaïque	5
4.1.3. Caractéristique de la cellule photovoltaïque	5
4.1.4. Influence de l'éclairement	6
4.1.5. Influence de la température	9
4.2. Générateur photovoltaïque	9
5. Classification d'un système solaire photovoltaïque	10
5.1. Système isolé ou autonome	10
5.1.1. Les systèmes autonomes avec stockage.....	10
5.1.2. Les systèmes autonomes sans stockage	10
5.2. Système raccordé au réseau	11
5.3. Système hybride	12
6. les éléments constituant un système photovoltaïque.....	12
6.1. Champ solaire	13
6.2. Le régulateur.....	13
6.3. Les batteries	13
6.4. Les convertisseurs	13
6.5. Les câble	14
6.6. Les récepteurs	14
7. Avantages et inconvénients d'une installation PV	14
A .Avantages	14
B .Inconvénients	15
8. Conclusion	15
CHAPITRE II : Les convertisseurs dédiés aux systèmes photovoltaïques	
1. Introduction	16
2. Classifications des convertisseurs	16
a. -Conversion alternatif-continu	16
b. -Conversion continu- continu	17
c. -Conversion continu-alternatif	17
d. -Conversion alternatif- alternatif	17
3. Les onduleurs	18
3.1. Définition	18
3.2. Principe de fonctionnement d'un onduleur	18
3.3. Les applications des onduleurs.....	19
3.3.1. Contrôle de la vitesse de rotation des machines à courant alternatif	19

3.3.2. Assurer la continuité des alimentations des secours	20
5. Classification des onduleurs	21
5.1. Types d'onduleurs selon l'installation.....	22
a. Onduleurs autonomes	22
b. Onduleurs non autonomes	22
c. Onduleurs hybrides	22
6. Types des onduleurs selon le type de charge	22
6.1. Onduleur triphasé	22
6.2. Les onduleurs monophasés	23
6.2.1. Définition	23
6.2.2. Onduleur de tension.....	23
6.2.3. Onduleur de courant	24
6.2.4. Onduleur monophasé en demi-pont	24
6.2.5. Onduleur monophasé en pont complet (pont H)	25
7. Conclusion.....	26

Chapitre III : Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

1. Introduction	27
2. Présentation du logiciel de simulation	27
3. Présentation du système global	27
4. Schéma de l'onduleur monophasé avec demi-pont	28
5. Réalisation de l'onduleur de tension monophasé et de sa commande	29
6. Résultats de la simulation avec proteus	30
7. Maquette de l'onduleur de tension monophasé	30
8. Présentation des composants utilisés	31
9. Conclusion	33

Chapitre IV : Résultat expérimental et discussions

1. Introduction	34
2. Description du banc d'essais	34
2.1. L'alimentation	34
3. Le résultat du banc d'essai	35
4. Discussion	36
5. Conclusion	38

Conclusion générale	39
----------------------------------	-----------

Liste des figures

Figure (I.1) : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal	4
Figure (I.2) : Courbe courant-tension spécifique à chaque Type de cellule.....	6
Figure (I.3) : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température	7
Figure (I.4) : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température	7
Figure (I.5) : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température	8
Figure (I.6) : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température	8
Figure (I.7) : Structure d'un générateur photovoltaïque	9
Figure (I.8) : Exemple de la structure d'un système PV autonome	10
Figure (I.9) : Injection de la totalité de la production	11
Figure (I.10) : Injection du surplus de production	12
Figure (II.1) : convertisseur alternatif-continu (Redresseur)	17
Figure (II.2) : convertisseur continu-continu (Hacheur)	17
Figure (II.3) : convertisseur continu-alternatif (Onduleur)	17
Figure (II.4) : convertisseur alternatif-alternatif (Cyclo-convertisseur ou Gradateur).....	18
Figure (II.5) : Principe de fonctionnement de l'onduleur autonome	18
Figure (II.6) : K en position (1).....	19
Figure (II.7) : Tension avec K en position (1) et (2).....	19
Figure (II.8) : Réglage de la vitesse d'un moteur à courant alternatif.....	19
Figure (II.9) : Alimentation de secours.....	20
Figure (II.10) : la position du l'onduleur dans un système photovoltaïque	20
Figure (II.11) : Circuit de puissance d'un onduleur de tension triphasé.....	23
Figure (II.12) : Onduleur de tension en pont Monophasé.....	24
Figure (II.13) : Onduleur de courant en pont monophasé.....	24
Figure (II.14) : montage d'un onduleur en demi-pont.....	25
Figure (II.15) : montage d'un onduleur en pont	25
Figure (III.1) : Système global à étudié.....	27

Figure (III.2) : le schéma fonctionnel du circuit de notre onduleur.....	28
Figure (III.3) : Schéma de l'onduleur monophasé avec PROTEUS.....	29
Figure (III.4) : Résultats de la simulation avec ISIS.....	30
Figure (III.5) : le circuit imprimer de notre onduleur.....	30
Figure (IV.1) : montage du banc d'essai du l'onduleur sur la plaque HYCHMAN.....	34
Figure (IV.2) : alimentation de notre circuit avec une tension continue de 12v	35
Figure (IV .3) : le signal résultant sur l'oscilloscope	35
Figure (IV.4) : mesure de tension de sortie fournie par l'onduleur.....	36
Figure (IV.5): montage finale de notre Onduleur	37
Figure (IV.6) : résultat du simulation sur PROTEUS avec transistor Mosfet.....	38

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Ces dernières années, les domaines de l'électronique de puissance se sont développés considérablement et, offrent un potentiel énorme pour la conversion d'énergie électrique. La recherche dans ce domaine considère plusieurs aspects, notamment les propriétés des convertisseurs, les structures et les performances des interrupteurs de puissance et ainsi que les techniques de commandes.

Les convertisseurs statiques monophasés à structure tension sont des éléments essentiels de nombreux systèmes d'électronique de puissance tels que les variateurs de vitesse, les alimentations sans interruption et les filtres actifs. La sécurité de ces systèmes, leur fiabilité, leurs performances, la qualité de l'énergie et la continuité de service constituent aujourd'hui des préoccupations majeures dans le domaine de l'énergie.

L'objectif principal du présent mémoire est l'étude et la réalisation d'un convertisseur statique monophasé à structure tension (appelé onduleur) ce convertisseur assure la conversion courant continu - courant alternatif. Par un choix convenable des séquences de fonctionnement des interrupteurs qui relient la source d'entrée à la charge, on réussit à imposer à la sortie du convertisseur une tension alternative. Si l'établissement, le maintien puis l'ouverture des connexions entre l'entrée et la sortie ne dépendent que de la commande des semi-conducteurs, l'onduleur est dit autonome. Un onduleur sinusoïdal est un onduleur dont les commutations des interrupteurs sont modulées de façon à obtenir une tension de sortie qui varie sinusoïdalement dans le temps. La grandeur de sortie d'un onduleur peut être à fréquence et amplitude constantes ou variables. Ces caractéristiques sont fonction de l'application envisagée. Les applications des onduleurs sont très nombreuses, les onduleurs sinusoïdaux prennent une place assez importante dans ces applications et le développement des semi-conducteurs fonctionnant à fréquence élevée élargissent de plus en plus leurs utilisations.

En effet, les onduleurs monophasés, sont utilisés pour les alimentations de secours à des consommateurs qui ne peuvent subir des interruptions du courant électrique, c'est le cas des ordinateurs à grande envergure par exemple. Les onduleurs monophasés sont aussi utilisés pour les entraînements à tension et fréquence variables des moteurs monophasés.

Notre travail est réalisé en quatre chapitres et on termine par une conclusion générale:

Dans le premier chapitre on présente la généralité sur la technologie photovoltaïque. En commençant par des notions sur le rayonnement,

Dans le second chapitre, on parlera d'une manière générale sur certaines structures des onduleurs monophasés, de leurs différents types ainsi que leurs modes de fonctionnement général.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude, à la simulation par logiciel (Proteus) et à la réalisation expérimentale de notre onduleur, et on parlera des différents composants qu'on a utilisés et leurs utilités.

Le dernier chapitre est consacré aux résultats obtenus; aux commentaires et à la comparaison de ces résultats avec l'expérimentation.

CHAPITRE I : Les systèmes photovoltaïques : Généralités

1. Introduction :

Cette première partie résume les concepts de base de l'énergie solaire et de la production d'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les principaux éléments du système photovoltaïque sont étudiés et un aperçu générale sur les différents types des systèmes photovoltaïques est effectué.

2. Energie solaire :

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du soleil, traversant l'atmosphère qui en absorbe une partie et parvenant à la surface de la terre, convertit directement le rayonnement lumineux en électricité [1].

2.1. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10⁻⁶m. Sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent. Le rayonnement solaire se présente sous ces différentes formes :

- **Le rayonnement direct :** reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, ils forment donc des ombres et peuvent être concentrés par des miroirs. Ils peuvent être mesurés par un pyréliomètre.

-**Le rayonnement diffus :** constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet «éclatement» des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

- **Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol :** est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

-**Le rayonnement global :** est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un solarimètre sans écran. Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyromètre placé horizontalement à l'endroit requis [2,3].

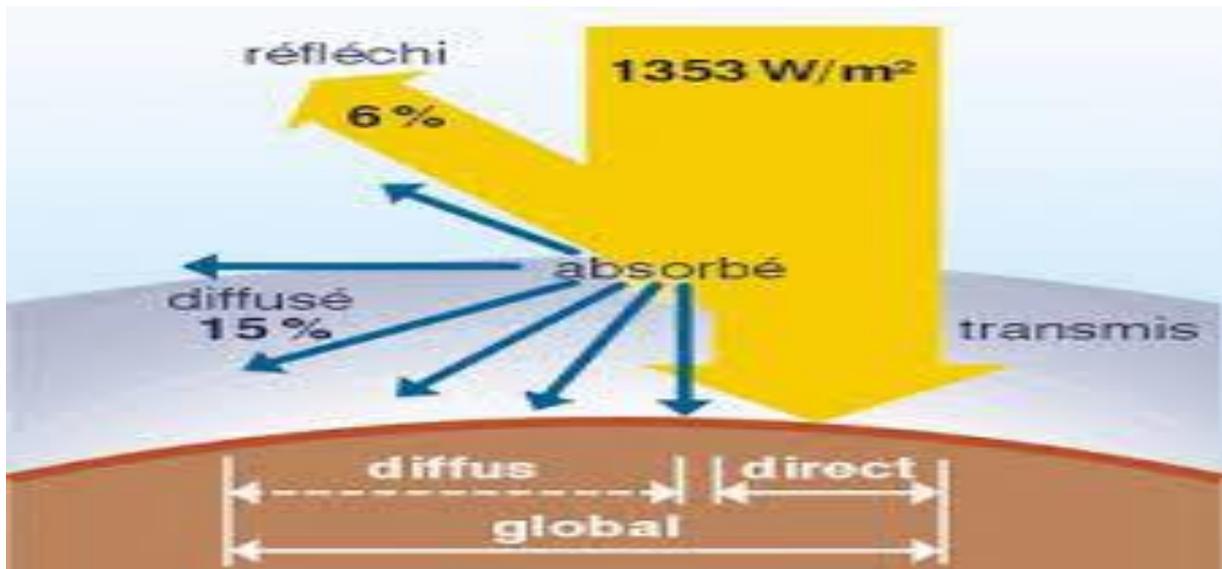


Figure (I.1) : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal [2,3].

3. Effet photovoltaïque :

Il a été démontré que le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie E_{ph} qui répond, elle-même, à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \cdot (c/\lambda) \dots \dots \dots (1)$$

h : est la constante de Planck.

C :

est la célérité de la lumière dans le vide.

λ : la longueur d'onde.

D'après la relation (1), on voit que cette énergie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Le flux d'énergie solaire est alors transmis sous forme de rayonnements électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont assez différentes du corps noir dans l'espace, mais encore plus sur la terre, Il est à remarquer que le spectre de l'énergie solaire en atmosphère terrestre est décalé vers le rouge et l'infrarouge par rapport au spectre hors atmosphère [4].

4. les éléments constituant un système photovoltaïque :

4.1. Cellule photovoltaïque :

4.1.1. Historique :

Il est important de citer les dates les plus importantes dans l'histoire du photovoltaïque.

-1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

-1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

-1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

-1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

-1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

-1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

4.1.2. Constitution de la cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs.

Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur qui sont dopées différemment. Pour la couche N, c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche P c'est un déficit d'électrons, les deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu [5].

Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches du semi-conducteur. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux. Une couche anti reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [6].

4.1.3. Caractéristique de la cellule photovoltaïque :

Pour la cellule idéale : $I_{out} = I_{ph} - I_d \dots\dots\dots(2)$

Où $I_d = I_{0exp} (qV_{out} / (A K_B T)) \dots\dots\dots(3)$

Une cellule photovoltaïque est définie par sa courbe caractéristique électrique (courant tension). Elle indique la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule depuis le court-circuit jusqu'au circuit ouvert.

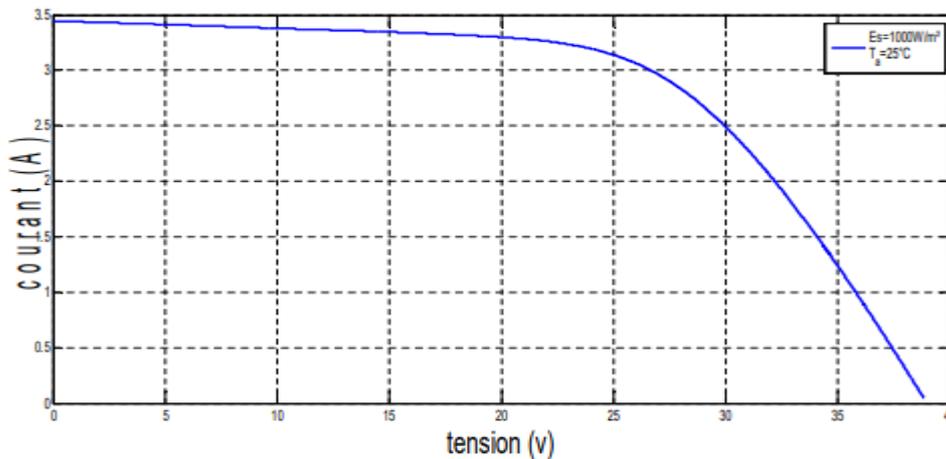


Figure (I.2) : Courbe courant-tension spécifique à chaque Type de cellule [6].

D’après les caractéristiques courant-tension, il est possible de déduire d’autres paramètres électriques spécifiques à chaque cellule : le courant de court-circuit (I_{cc}) correspondant au courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle (en pratique, ce courant est très proche du photo-courant I_{ph}). La tension du circuit (V_{co}) correspondant à la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul.

Entre ces deux valeurs, il existe un optimum donnant la plus grande puissance $P_m = I_m \times V_m$ ou puissance crête caractérisant la performance de la cellule.

Le facteur de forme FF indique le degré d’idéalité de la caractéristique correspondant au rapport suivant :

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{cc} \times V_{co}} \dots\dots\dots(4)$$

Avec : P_m : puissance maximale mesurée dans les conditions de référence (STC : Standard Test Condition), c’est-à-dire sous l’ensoleillement de 1000 W/m², à la température de 25° C sous un spectre AM 1,5. Le FF est établi dans des conditions de fonctionnement données (ensoleillement, température à la surface de la cellule, etc.) et varie selon le type de cellule. Par exemple, une cellule en silicium amorphe a une tension plus élevée qu’une cellule en silicium cristallin mais son courant est nettement plus faible, en raison de sa faible collecte et de sa faible épaisseur.

4.1.4. Influence de l’éclairement :

L’énergie électrique produite par une cellule dépend de l’éclairement qu’elle reçoit sur sa surface. La caractéristique courant-tension d’une cellule en fonction de l’éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l’air ambiant constantes : Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l’éclairement.

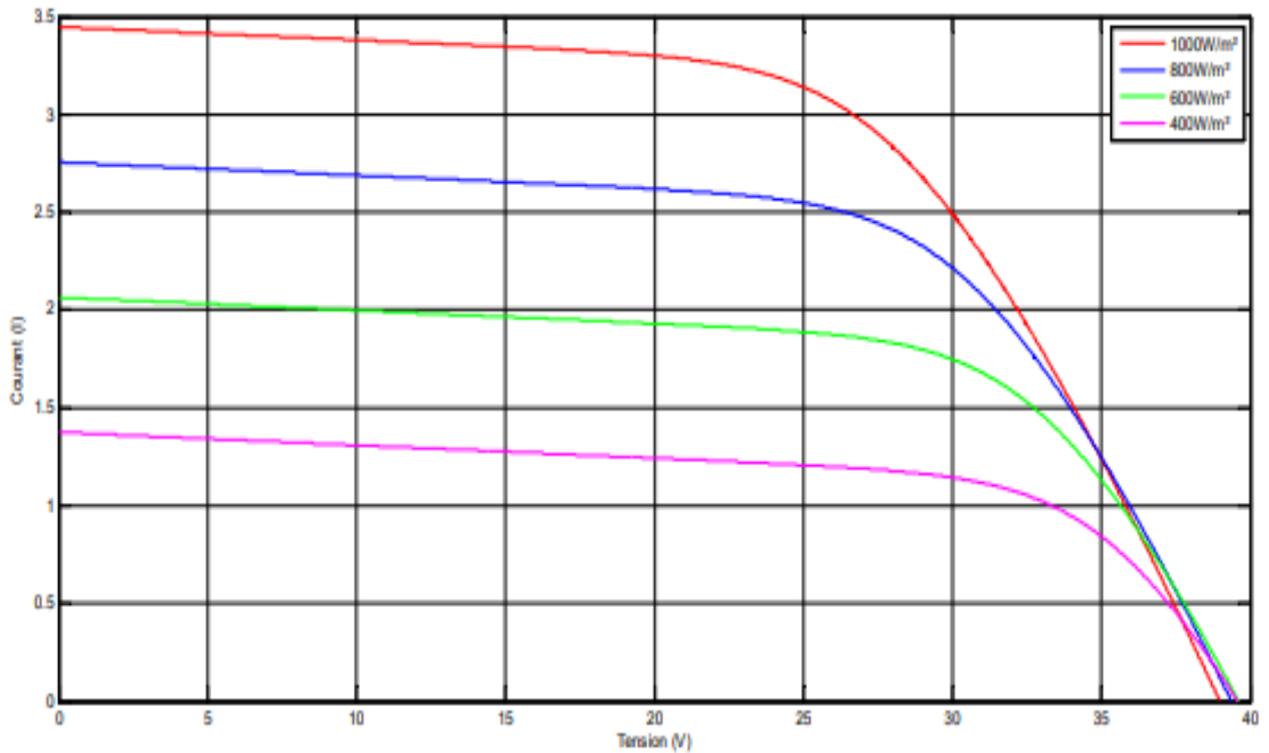
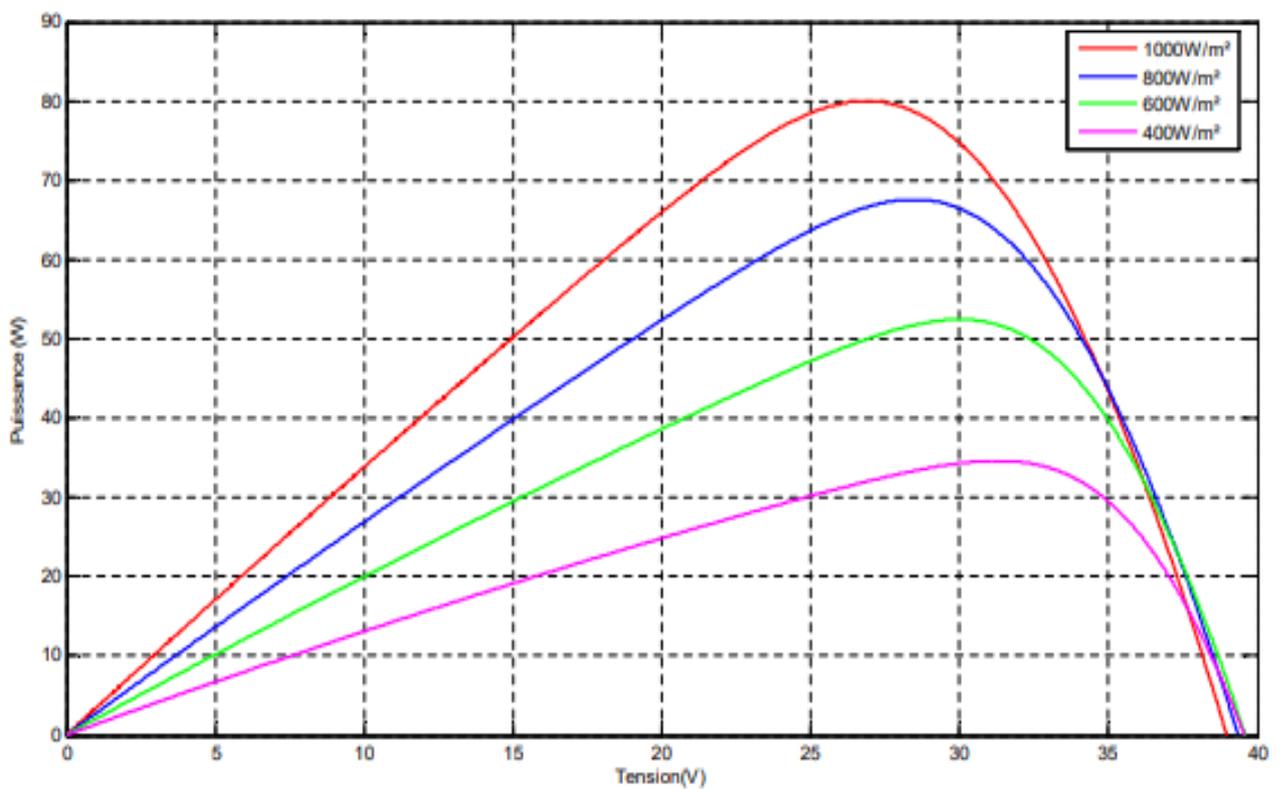


Figure (I.3): Caractéristique courant-tension d’une cellule en fonction de la température [6].



Figure(I.4):Caractéristique puissance-tension d’une cellule en fonction de la température[6].

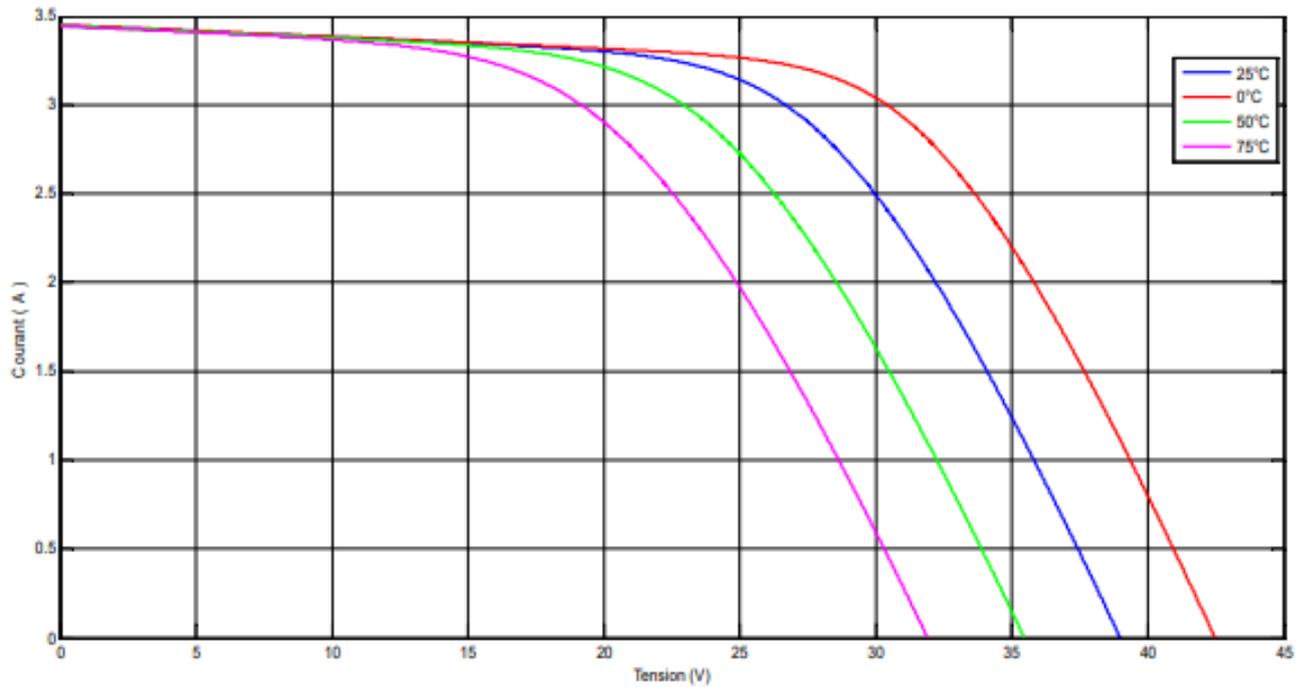
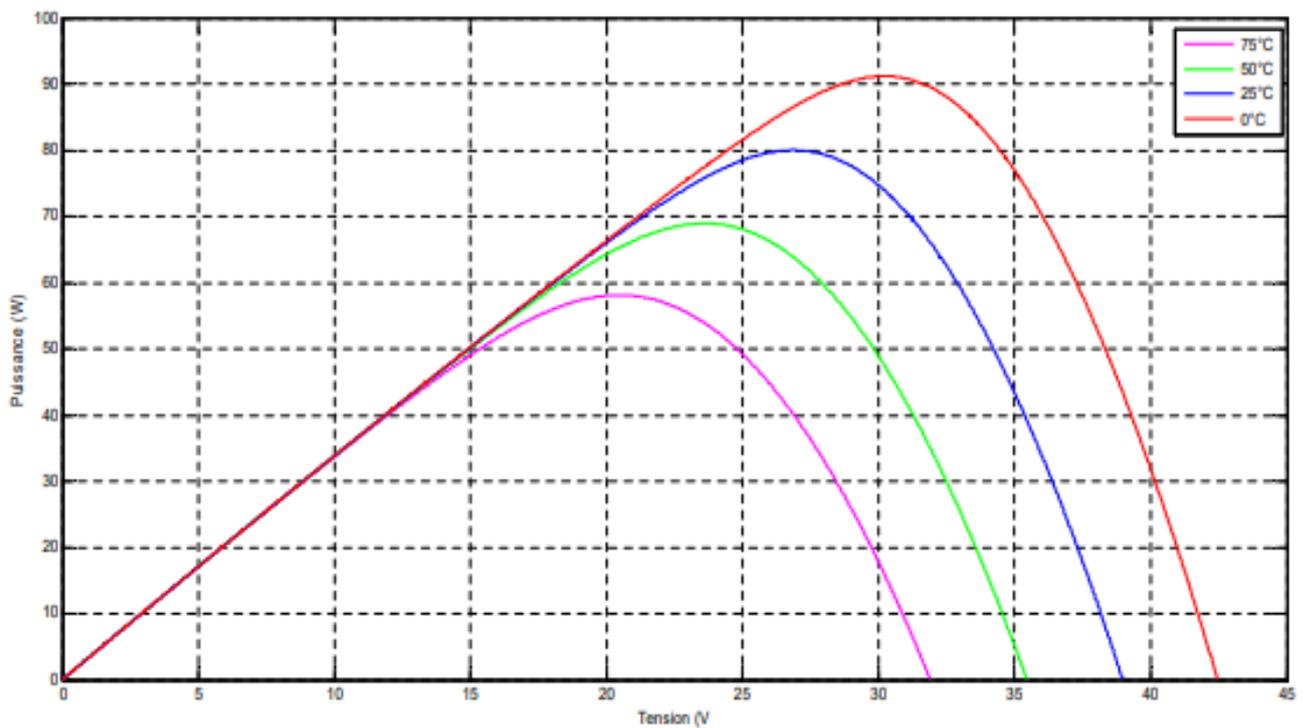


Figure (I.5): Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température[6].



Figure(I.6):Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température[6].

4.1.5. Influence de la température :

L'influence de la température est importante et a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques. La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les réchauffer, car une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique, il se dissipe sous forme de chaleur ; c'est pourquoi la température de la cellule (T_c) est toujours plus élevée que la température ambiante (T_a).

$$T_c = T_a + \frac{E_m}{800} (TUC - 20) \dots \dots \dots (5)$$

La figure (I.6), montre que la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale [7].

4.2. Générateur photovoltaïque :

La puissance disponible aux bornes d'une cellule est très faible. Il est donc nécessaire d'associer en série et/ou en parallèle de telles cellules pour obtenir des modules de puissance compatible avec le matériel usuel. Les modules sont ensuite connectés en série pour former une chaîne. Ces dernières sont connectées en parallèle pour former des branches du générateur photovoltaïque. Les modules ainsi connectés forment un champ photovoltaïque. L'association des modules en séries nous permet de contrôler la tension du champ et en parallèle pour contrôler le courant [8].

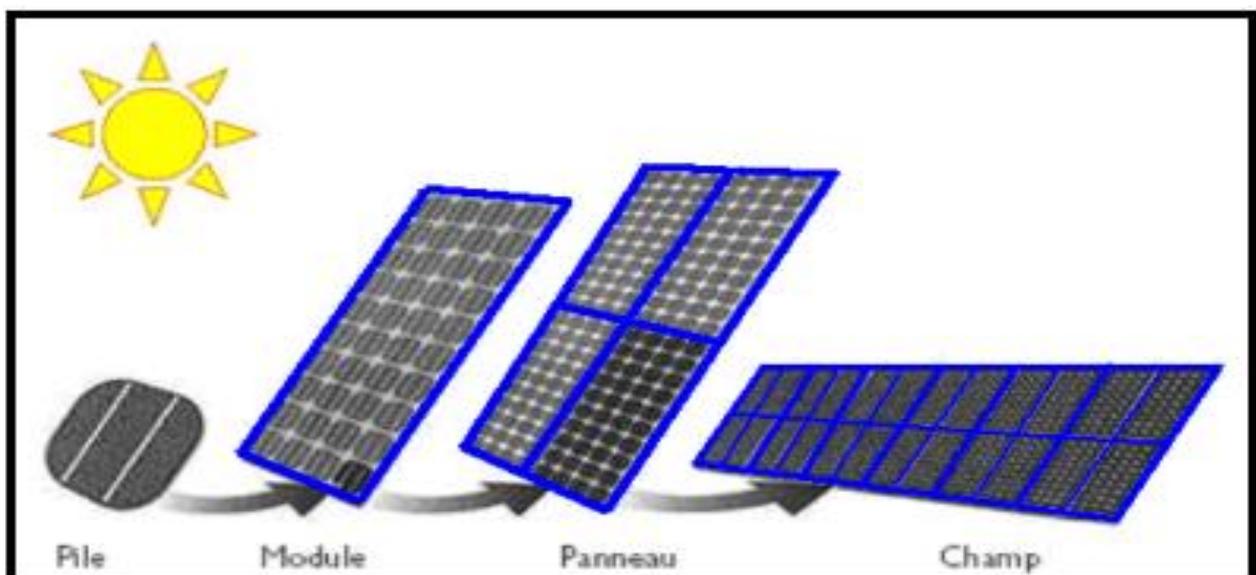


Figure (I.7) : Structure d'un générateur photovoltaïque [8].

5. Classification d'un système solaire photovoltaïque :

Les systèmes photovoltaïques sont actuellement divisés en deux grandes catégories: Les systèmes autonomes et les systèmes couplés au réseau.

5.1. Système isolé ou autonome :

Un système photovoltaïque isolé alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. C'est bien souvent le seul moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau n'est pas disponible : les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne... Ce type de système nécessite l'utilisation de batteries pour le stockage de l'électricité et d'un contrôleur de charge pour assurer la durabilité des batteries.

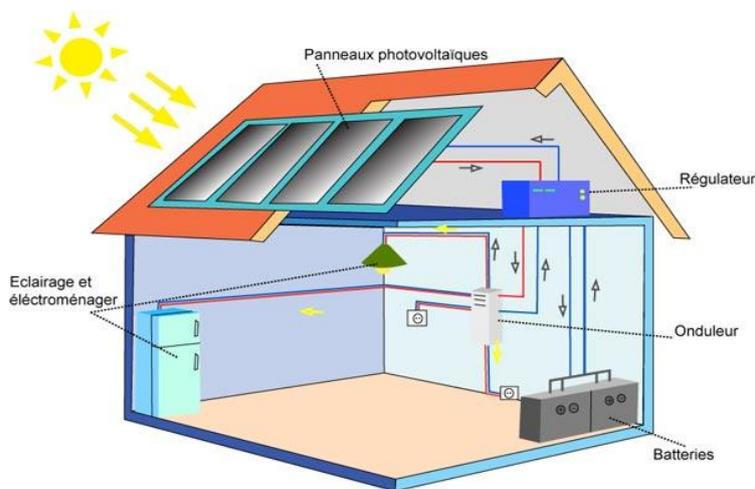


Figure (I.8) : Exemple de la structure d'un système PV autonome [9].

5.1.1. Les systèmes autonomes avec stockage :

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes, elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique dans les batteries est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques [9].

5.1.2. Les systèmes autonomes sans stockage :

Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour son démarrage. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de l'éclairage solaire. Mais il faut bien dimensionner le générateur photovoltaïque de sorte qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairage le plus faible. Le pompage solaire au fil de la journée est un exemple de cette catégorie de

systèmes autonomes où le stockage de l'eau dans un réservoir est généralement le plus adopté. La pompe solaire est branchée directement sur le générateur photovoltaïque par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/DC ou DC/AC selon que nous utilisons respectivement un moteur à courant continu ou un moteur à courant alternatif. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable et fonction du rayonnement solaire [10].

5.2. Système raccordé au réseau :

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. Dans le cas de systèmes connectés au réseau, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un onduleur. Le rendement typique d'un onduleur est d'environ 95%. Il en existe de différentes puissances et des onduleurs sont conçus spécifiquement pour les applications photovoltaïques. L'onduleur possède également une fonction de découplage du réseau qui empêche d'injecter du courant sur le réseau lorsque celui-ci n'est pas en fonctionnement et une fonction de protection contre les surtensions [11]. Et la aussi on connaît deux types :

***Injection de la totalité de la production:** L'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injections sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque.

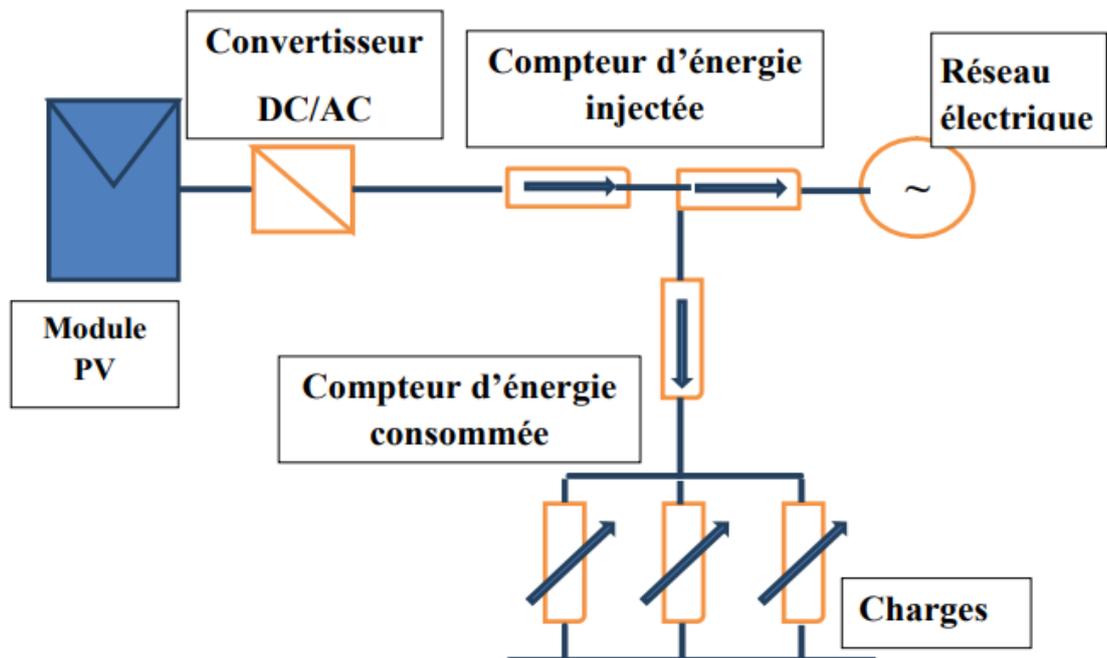


Figure (I.9) : Injection de la totalité de la production [11].

***Injection du surplus de production:** L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau

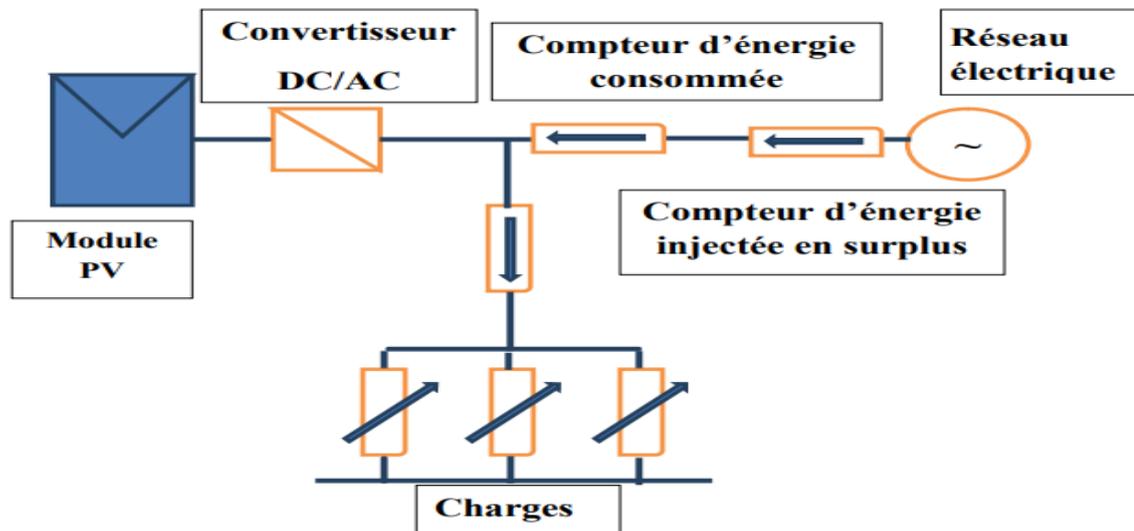


Figure (I.10): Injection du surplus de production [11].

5.3. Système hybride :

Pour de très nombreuses applications d'intérêt sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontaliers, l'habitat isolé, les dispensaires, etc., hors réseau d'électricité conventionnelle, la disponibilité permanente de la source primaire d'énergie est vitale et conditionne dans une très large mesure, la fiabilité des installations et leur fonctionnement permanent. Les solutions technologiques classiques apportées par le stockage électrochimique conventionnel sont onéreuses, limitées techniquement en puissance et restreintes en capacité. Les solutions apportées par les groupes électrogènes, de par la nécessité d'approvisionnement en carburant et celle de leur maintenance, présentent des inconvénients liés au bruit, la pollution et sur tout leur mauvais rendement à charge partielle. Les nouvelles solutions technologiques ont apportées par les systèmes hybrides, même si elles ne sont pas encore économiquement compétitives, offrent par contre une sûreté élevée. Toutefois, à la vue de la nécessité du développement durable, ces solutions, avec l'appui de la volonté publique, peuvent être économiquement viables, à moyen et long terme [12].

6. les éléments constituant un système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est généralement constitué d'un champ de panneaux photovoltaïques, d'un régulateur, d'une ou plusieurs batteries de stockage, d'un onduleur, de câbles et des charges électriques.

6.1. Champ solaire :

Par définition, un champ solaire représente un ensemble de panneaux photovoltaïques connectés entre eux et installés sur une toiture ou au sol. Les plaques sont montées sur un même support et sont généralement disposées en série et/ou en parallèle. On parle alors de champ solaire pour ces installations photovoltaïques.

6.2. Le régulateur :

- Le régulateur contrôle l'électricité produite par le panneau et l'électricité allant vers les appareils. il existe deux types de régulateurs :
 - type PWM pour un nombre réduit de panneaux.
 - type MPPT (point de puissance maximale) pour un grand nombre de panneaux et permet d'optimiser la production d'énergie du panneau solaire
- Il contrôle la charge et la décharge de la batterie et protège cette dernière contre les surcharges et les décharges profondes pouvant l'endommager. Il mesure la tension de la batterie, et la coupe si la tension est au dessus (ex: 14,5V) ou en dessous (ex: entre 10,5 et 11,9V) d'un certain niveau.
- Il permet de donner des informations à l'utilisateur sur l'état actuel du système solaire.

6.3. Les batteries :

- Une batterie est un composant qui sert à stocker chimiquement de l'énergie électrique (seulement du courant continu DC) pour un usage ultérieur.
- La batterie est donc utilisée pour conserver l'électricité produite au cours de la journée par les panneaux solaire.
- Il existe 3 types de batteries:
 - Les batteries plomb-acide ouvertes (= batteries de voitures) qui ont une durée de vie courte et nécessitent beaucoup d'entretien.
 - Les batteries plomb-acide étanches (= batteries sèches) qui ont une durée de vie plus longue et qui ne nécessitent pas d'entretien.
 - Les batteries à gel qui ont une durée de vie beaucoup plus longue et qui ne nécessitent pas d'entretien.

6.4. Les onduleurs :

Les onduleurs appelés convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative.

A- Les onduleurs DC/DC :

Ce type de composant est utilisé pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter un appareil spécial : chargeur téléphone portable, radio, ordinateur portable...

B- Les onduleurs DC/AC :

Dés que le nombre d'appareils est important, il est plus avantageux d'utiliser un bon onduleur.

Les onduleurs sont des appareils capables de transformer le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). Ils consomment de l'électricité et donc induisent un rendement. On parlera plus en détail sur les onduleurs au prochain chapitre puisque ca correspond a notre projet.

-Caractéristiques:

- Puissance nominale (= somme de la puissance des appareils qui peuvent être branchés/supportés par l'onduleur)
- Plage de tension de sortie (= tension à la sortie)
- Plage de tension d'entrée (= tension qui entre dans l'onduleur)
- Rendement = Puissance de sortie / Puissance d'entrée (par exemple, un TV de 50W en AC alimentée par un onduleur dont le rendement est de 75% nécessite une puissance d'entrée de $50W/0,75 = 66,6W$ en DC)

La puissance nominale doit être environ 2 à 3 fois supérieure à la puissance des appareils à alimenter (permet d'absorber les pics de courant de démarrage de certains appareils électriques).

6.5. Les câble :

Les câbles vont servir à transporter l'électricité et ils sont appelées les câbles solaire dans le marché. Ces derniers doivent donc être dimensionnés afin de limiter les chutes de tension.

6.6. Les charge :

Ce sont les éléments qui utilisent l'électricité produite par les panneaux solaire. elles sont appelées charges continues quand elles utilisent un courant continu.elles sont dites charges alternatives quand elles utilisent un courant alternatif. Il est conseillé d'utiliser des récepteurs fonctionnant au courant continu et de faible consommation afin de minimiser le coût de l'installation (exemple: utiliser des lampes économiques au lieu de lampes incandescentes). Pour les appareils fonctionnant au courant alternatif, il faudra utiliser un onduleur [13].

7. Avantages et inconvénients d'une installation PV :

A .Avantages :

-D'abord, une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.

- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable aux divers besoins énergétiques. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

-Le coût de fonctionnement d'un système PV est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

B .Inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert, des investissements d'un coût élevé.

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour les faibles demandes d'énergie en régions isolées.

-Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie sous forme de chaleur.

-Tributaire des conditions météorologiques.

- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du l'installation est accru.

- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes

8. Conclusion :

Des généralités et définitions sur les systèmes photovoltaïques sont présentées dans cette partie. Dans ce qui suite, nous étudierons les différents onduleurs dédiés aux systèmes photovoltaïques.

Chapitre II : Les convertisseurs dédiés aux systèmes photovoltaïques

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser plus en détail sur les onduleurs qui font partie d'une plus grande classe dite convertisseur.

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 limitées 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 naît une nouvelle branche de l'électronique appelée l'électronique de puissance.

À 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 ...).

2. Classifications des convertisseurs :

On définit quatre classes de convertisseurs transformant directement l'énergie électrique qui sont la fonction de base des convertisseurs statiques, et que nous retrouvons en pratique sous forme de :

- Redresseurs.
- Hacheurs.
- Onduleurs.
- Cyclo- convertisseurs ou gradateurs.

a) -Conversion alternatif-continu(Redresseurs) :

Le convertisseur transformant l'énergie électrique sous forme alternative pour alimenter une charge en continu est le redresseur. Souvent alimentée par un réseau à fréquence industrielle éventuellement polyphasé, mais aussi en haute fréquence. La tension ou le courant de sortie peut être ou non réglable par rapport à la grandeur d'entrée (tension ou courant). Il existe des redresseurs monophasés, triphasés et polyphasés. Ils peuvent être constitués de diodes ou de diodes et thyristors (dits mixtes). Ils ne sont pas réversibles en énergie, le transfert s'effectue de la source vers la charge. Les redresseurs réversibles sont constitués uniquement de thyristors ou bien de transistors plus diodes en antiparallèle.



Figure (II.1) : convertisseur alternatif-continu (Redresseur)

b) **-Conversion continu- continu (Hacheur):**

Le convertisseur transformant l'énergie délivrée sous forme continue pour alimenter une charge continue est le hacheur (abaisseur), celui-ci règle la tension ou le courant appliqué à la charge. Il peut être réversible ou non [14].

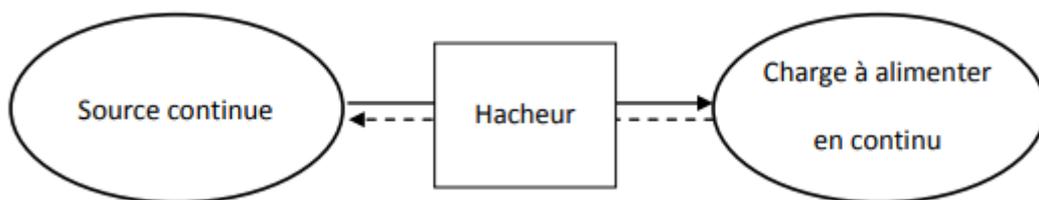


Figure (II.2) : convertisseur continu-continu (Hacheur)

c) **-Conversion continu-alternatif (Onduleur):**

Ce convertisseur transforme l'énergie délivrée sous forme continue pour alimenter une charge alternative. Si cette charge délivre de la puissance et présente des forces électromotrices (réseau de distribution électrique, machine synchrone, alternateur...), l'onduleur pourra avoir une structure identique à celle d'un redresseur, c'est le fonctionnement réversible d'un même convertisseur. On parle alors d'onduleur assisté ou non-autonome. Si la charge est constituée d'un circuit oscillant, on pourra utiliser les propriétés de ce dernier pour adapter la structure de l'onduleur. Il prend alors le nom de l'onduleur à résonance.



Figure (II .3) : convertisseur continu-alternatif (Onduleur)

d) **-Conversion alternatif- alternatif (Gradateur):**

Le convertisseur transformant l'énergie électrique sous forme alternative pour alimenter une charge alternative qui peut se faire avec ou sans changement de fréquence. Dans le premier cas on parle de cyclo-convertisseur dans le second cas on parle de gradateur (élevateur). Il n'est quasiment utilisé que pour des puissances très importantes (> 1 MVA). Le gradateur est un convertisseur de structure extrêmement

simple. Il est principalement utilisé en éclairage (lampadaire halogène, éclairage de scène, discothèque,...) et sur moteur universel (perceuse, aspirateur,...).

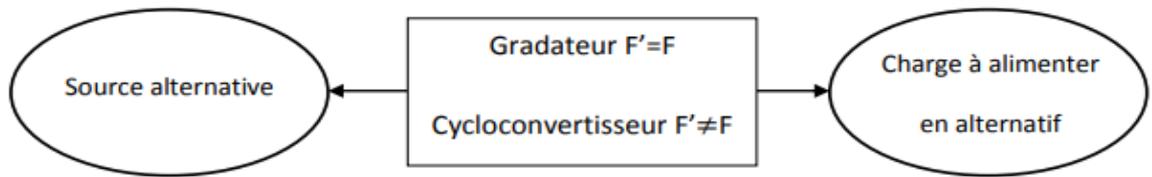


Figure (II.4) : convertisseur alternatif-alternatif (Cyclo-convertisseur ou Gradateur).

3. Les onduleurs :

3.1. Définition :

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique continue. Son fonctionnement est à dissocier des autres convertisseurs comme les convertisseurs AC/AC, les redresseurs (AC/DC) ou encore les convertisseurs DC/DC. Cependant un onduleur peut être associé à d'autres convertisseurs pour en changer la fonction. Le nom anglais de l'onduleur, 'inverter', vient du fait qu'historiquement l'onduleur avait la fonction inverse d'un redresseur.

3.2. Principe de fonctionnement d'un onduleur :

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion Onduleur Monophasé. Onduleur Triphasé.

Pour réaliser un onduleur autonome, il suffit de disposer d'un interrupteur inverseur K(positions (1) et (2) dans le schéma) et d'une source de tension continue E comme le montre la figure (II .5) :

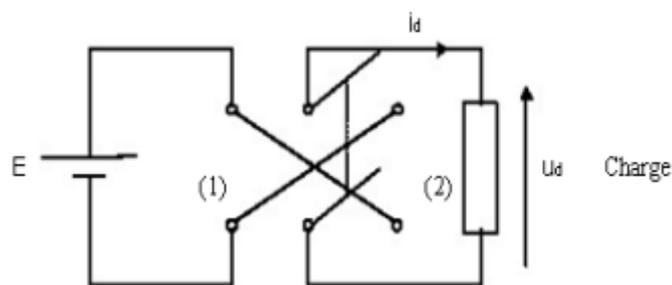


Figure (II.5) : Principe de fonctionnement de l'onduleur autonome

- Lorsque K est en position (1), on obtient le montage de la Figure (II. 6) :

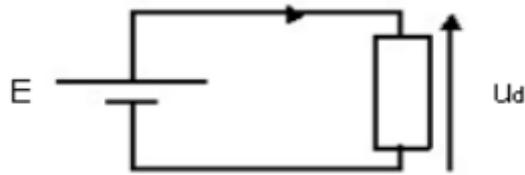


Figure (II. 6) : K en position (1)

- Soit : $U(t) = E$ Lorsque K est en position (2), on obtient: $U = -E$. La Figure (II. 7) donne la forme de $U_d(t)$ sur une période complète de fonctionnement.

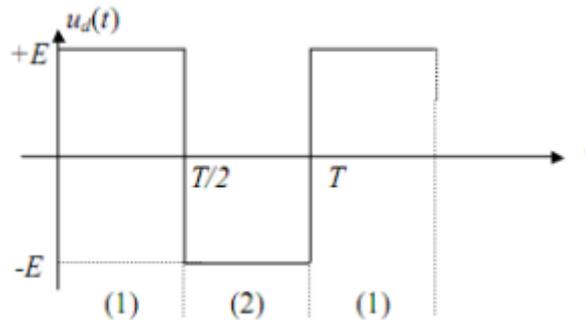


Figure (II.7): Tension avec K en position (1) et (2).

3.3. Les applications des onduleurs:

Les nombreux domaines d'application à entraîner une utilisation accrue des onduleurs, on trouve principalement Les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée alimentés directement à partir du réseau à travers un redresseur avec filtrage, soit à partir d'une batterie d'accumulateur [15,18].

3.3.1. Contrôle de la vitesse de rotation des machines à courant alternatif :

On remarque que la vitesse d'un moteur à courant alternatif est fixée par la pulsation des courants statiques. Le contrôle de la vitesse du moteur se réalise par action simultanée sur la fréquence et sur l'amplitude de la tension figure (II. 8). Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée.

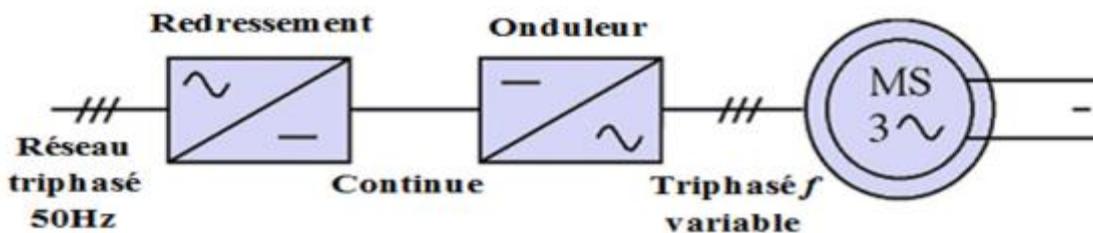


Figure (II.8) : Réglage de la vitesse d'un moteur à courant alternatif

3.3.2. Assurer la continuité des alimentations de secours:

L'onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur pour assurer la continuité de l'alimentation des machines à partir des batteries figure (II .9). [20].

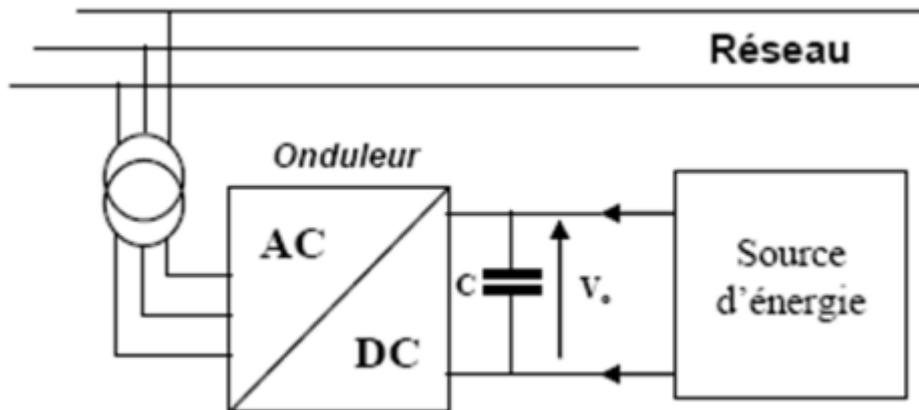


Figure (II.9): Alimentation de secours

Ainsi que d'autre domaine d'application :

- ❖ Les alimentations sans interruption [21] ;
- ❖ Le raccord des panneaux solaires au réseau électrique et tout les systèmes et les installations PV (autonome, connecté au réseau, hybride) [21,22] :

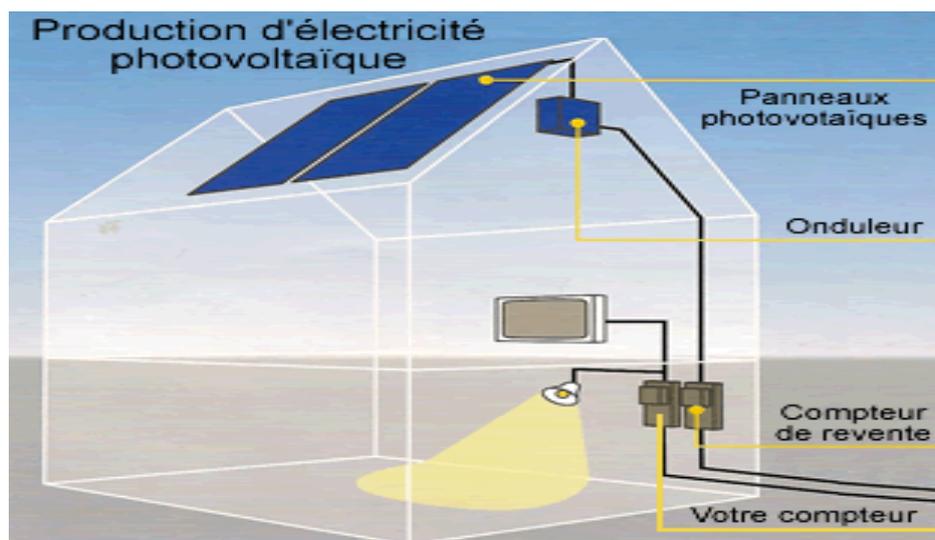


Figure (II.10) : La position de l'onduleur dans un système photovoltaïque [21].

- ❖ Les nombreux dispositifs nécessitant de fonctionner à une fréquence spécifique [23] :
- ❖ Les générateurs d'ultrasons ou d'électricité utilisés dans le domaine médical,
- ❖ L'alimentation des lampes dites à cathode froide pour le rétro-éclairage des afficheurs à cristaux liquides [24],
- ❖ Les variateurs de vitesse des machines alternatives : la tension du réseau est redressée puis un onduleur fabrique une tension dont la fréquence et la forme sont réglables [25] ;
- ❖ Dans le domaine de la soudure à l'arc [26] les onduleurs sont souvent appelés inverter, suivant la terminologie anglo-saxonne. Les onduleurs dans les postes à l'arc vont générer un courant alternatif monophasé à moyenne fréquence (entre 5 kHz et 20 kHz), ce qui permet d'utiliser des transformateurs élévateurs de courant nettement plus petits et légers que ceux employés traditionnellement à la fréquence du réseau, soit 50 Hz ou 60 Hz. Ces machines se caractérisent par un rapport poids / puissance faible, un déphasage (cosinus phi) très faible et une bonne adéquation en milieu hostile (conditions de chantier, alimentation fluctuante par groupe électrogène, basses ou hautes températures, etc.) ;
- ❖ Dans le domaine de la réception hertzienne nomade TV grand public, les onduleurs (12 V -230 V) permettent de brancher un téléviseur sur la prise allume-cigare.

5. Classification des onduleurs :

La classification des onduleurs se fait à la base de critères différents et c'est pour cela qu'on se retrouve à avoir plusieurs types d'onduleurs.

a) Selon les caractéristiques de sortie :

- Onduleur carré
- Onduleur sinusoïdal.

b) Selon la source de l'onduleur

- Inverseur de source de courant
- Onduleur de source de tension

c) Selon différentes techniques PWM :

- Simple modulation de largeur d'impulsion (SPWM)
- Modulation de largeur d'impulsion multiple (MPWM)
- Modulation de largeur d'impulsion sinusoïdale (SPWM)
- Modulation de la largeur d'impulsion sinusoïdale modifiée (MSPWM)

d) Selon le nombre de niveaux de sortie :

- Onduleurs réguliers à 2 niveaux
- Onduleur à plusieurs niveaux.

5.1. Types d'onduleurs selon l'installation :

Il existe trois types d'onduleurs : les onduleurs de tension et les onduleurs de courant. On distingue aussi **les onduleurs autonomes ; non autonomes ; hybrides.**

a. Onduleurs autonomes:

Un onduleur autonome délivre une tension avec une fréquence soit fixe, soit ajustable par l'utilisateur. Il n'a pas toujours besoin de réseau électrique pour fonctionner. (Par exemple un convertisseur de voyage que l'on branche sur la prise allume-cigare d'une voiture utilise le 12 V continu du véhicule pour générer du 120 ou 230 V, alternatif en 50 ou 60 Hz).

b. Onduleurs non autonomes:

Un onduleur non autonome est un montage redresseur tout thyristors 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 motrices électriques) [15,18].

c. Onduleurs hybrides :

Les onduleurs hybrides ou intelligents sont une nouvelle génération dédiée aux applications d'énergie renouvelable pour l'autoconsommation et en particulier pour les panneaux solaires photovoltaïques (onduleur solaire). L'énergie des panneaux solaires photovoltaïques est active seulement pendant la journée et essentiellement lorsque le Soleil est au zénith (point d'intersection de la verticale du panneau et du soleil) : elle est donc fluctuante et non synchronisée avec la consommation des habitations.

De ce fait, il est nécessaire de stocker l'excédent de production avant utilisation [21].

6. Types des onduleurs selon le type de charge :

6.1. Onduleur triphasé :

On peut réaliser un onduleur triphasé en regroupant, en parallèle, trois onduleurs monophasés (en pont ou en demi-pont) et commander les interrupteurs de chacun pour obtenir à la sortie trois phases décalées de 120° . En fait, en regroupant trois demi ponts monophasés, on obtient un onduleur en pont triphasé à six interrupteurs représenté par la figure (II.11) dont les interrupteurs du même bras de l'onduleur doivent être complémentaires pour que la tension continue U ne soit jamais en court circuit et pour que les circuits des courants I_a , I_b et I_c ne soient jamais ouverts. Afin que les interrupteurs puissent imposer les tensions de sortie, quelques soient les courants de charge, il faut que ces derniers soient bidirectionnels en courant. Chacun d'eux est formé d'un semi-conducteur à ouverture et à fermeture commandées et d'une diode montée en antiparallèle. Ces interrupteurs peuvent être réalisées,

suivant la puissance à contrôler, avec des transistors Mosfet ou bipolaires, des IGBTs ou des GTOS associés à une diode en antiparallèle pour obtenir la réversibilité en courant [16-18].

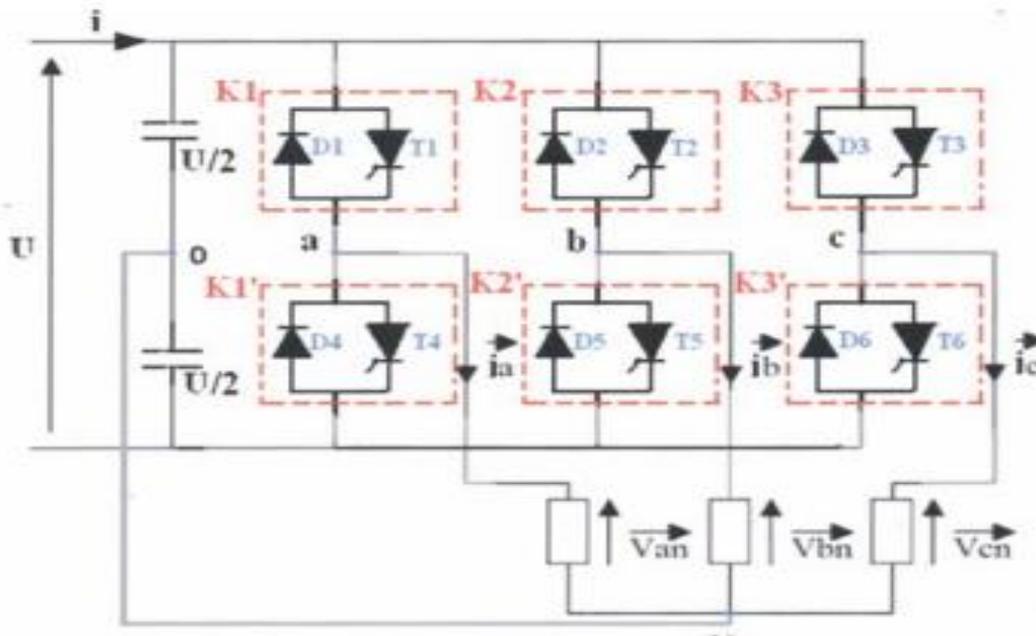


Figure (II.11) : Circuit de puissance d'un onduleur de tension triphasé [16].

6.2. Les onduleurs monophasés :

6.2.1. Définition :

L'onduleur est un convertisseur statique permettant de fabriquer un échange d'énergie entre une source de tension continue fournie par une batterie ou un redresseur, et une source de tension alternative pour alimenter des charges en courant alternatif. La forte évolution de cette fonction s'appuie, d'une part sur le développement des composants à semi-conducteurs entièrement commandables, puissants, robuste et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi-généralisée des technique dites de modulation de largeur d'impulsion [20], ainsi que le progrès réalisé dans le domaine de la micro-informatique.

6.2.2. Onduleur de tension :

On appelle onduleur de tension, un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue. Nous présentons le principe des onduleurs de tension dans le cas où la sortie est monophasée et utilisons l'onduleur en pont à quatre interrupteurs : K1, K2, K1' et K2'.

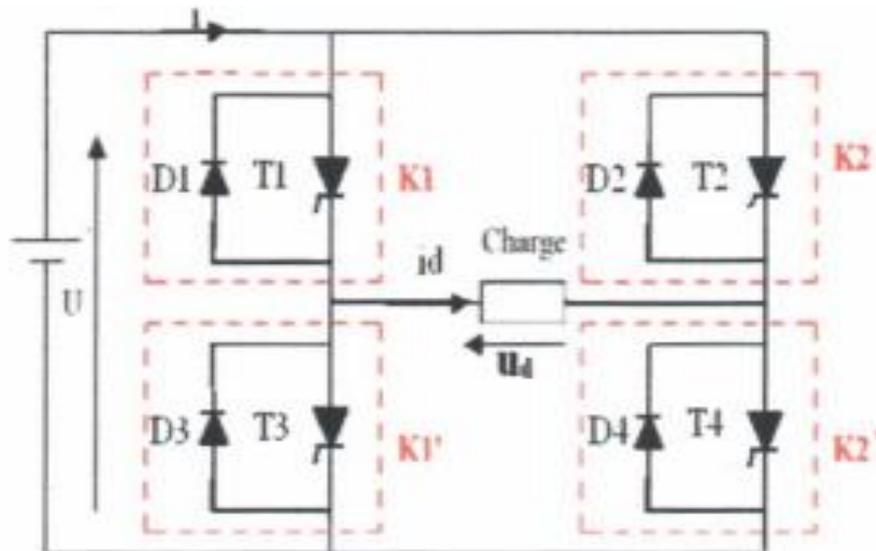


Figure (II.12): Onduleur de tension en pont Monophasé [17].

6.2.3. Onduleur de courant :

On appelle onduleur de courant, un onduleur qui est alimenté par une source de courant continue. Comme exemple, on prend le montage de la figure ci-dessous illustrant le modèle d'un onduleur de courant monophasé, qui se compose de quatre interrupteurs de puissance K1, K2, K1' et K2'. [16,17]

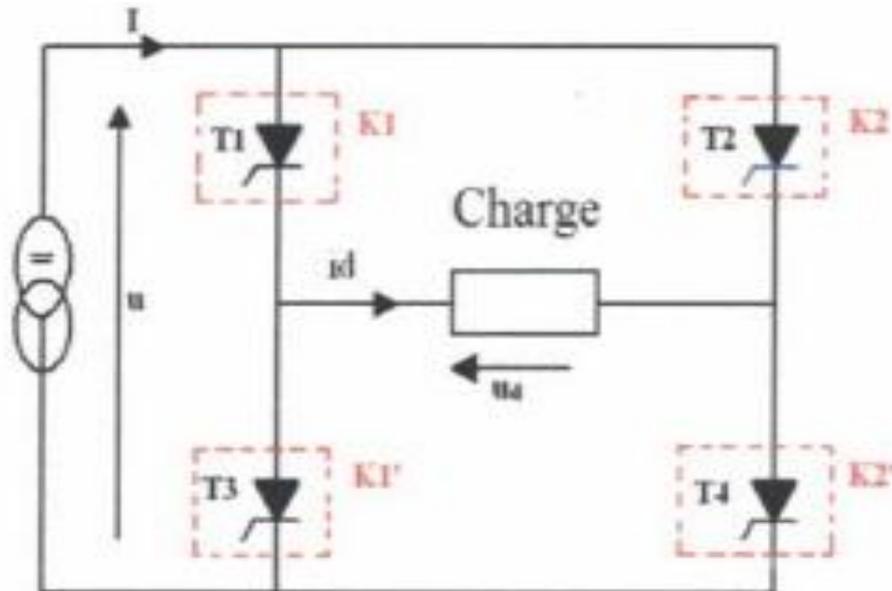


Figure (II.13): Onduleur de courant en pont monophasé [17].

6.2.4. Onduleur monophasé en demi-pont :

La figure (II.14) illustre l'onduleur en demi-pont ne comportant que deux interrupteurs T1 et T2 et sont connectés à la charge au point milieu de l'alimentation à l'aide de deux condensateurs, à tout instant le courant I_{ch} se partage à égalité entre les deux capacité en supposant que la tension au borne des capacité est constante et égale à $V/2$ [19].

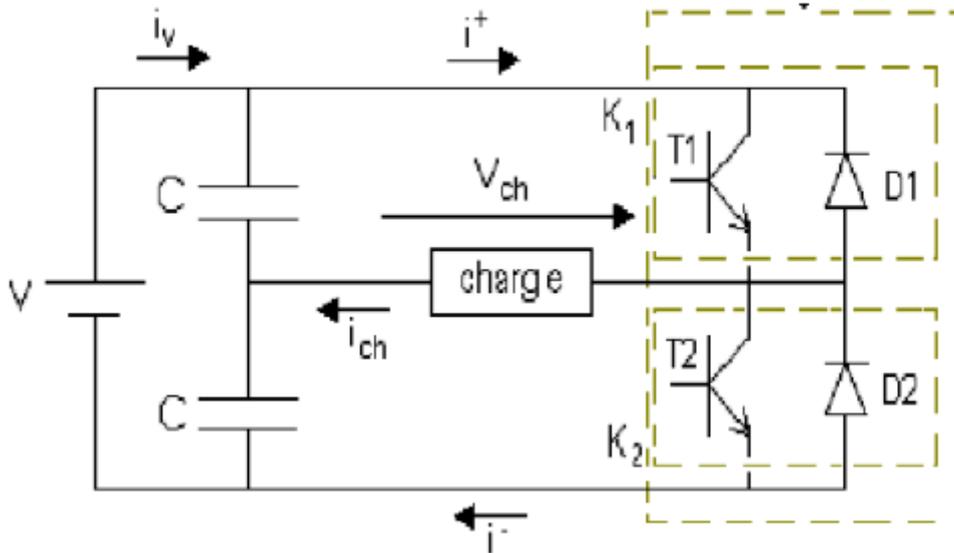


Figure (II.14) : montage d'un onduleur en demi-pont [19].

6.2.5. Onduleur monophasé en pont (pont H) :

L'onduleur en pont est représenté en figure(II.15).il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par T1, T2, T3 et T4 quand les interrupteurs T1 et T4, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur +E, et de -E lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs T2et T3. Pour éviter le court-circuit de la source de tension continue, Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément. [19]

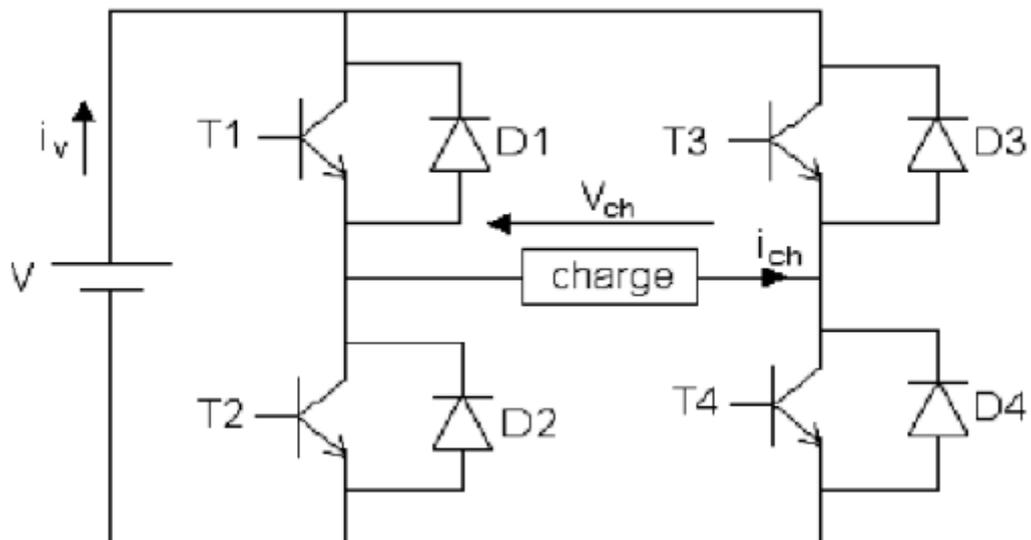


Figure (II.15) : montage d'un onduleur en pont [19].

7. Conclusion :

La technologie des onduleurs repose sur un principe électronique simple de conversion de l'énergie électrique. Cette technologie devient, en réalité, de plus en plus complexe au fur et à mesure des avancées technologiques et des innovations qui lui sont apportées, et des exigences des systèmes PV.

Chapitre III : Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

1. Introduction :

L'objectif de ce travail est l'étude et réalisation d'un convertisseur DC/AC (onduleur de tension monophasé), dont la présence s'est avérée primordiale dans une stratégie de puissance pour un système photovoltaïque. C'est pourquoi, nous allons consacrer ce chapitre pour la présentation des différentes étapes de la réalisation d'onduleur.

2. Présentation du logiciel de simulation :

PROTEUS est une suite logicielle, éditée par la société Labcenter Electronics et revendue en France exclusivement par Multipower. Proteus est actuellement (2020). Cette CAO électronique permet la conception d'un système électronique complet et de le simuler, y compris avec le code des microcontrôleurs. Pour ce faire, elle inclut un éditeur de schéma (ISIS), un outil de placement-routage (ARES), un simulateur analogique-numérique, un environnement de développement intégré pour microcontrôleurs, un module de programmation par algorithmes ainsi qu'un éditeur d'interface pour Smartphone afin de piloter à distance des cartes Arduino.

3. Présentation du système global :

Le schéma avec les principaux éléments qui constituent le système global à élaborer est représenté sur la figure suivante

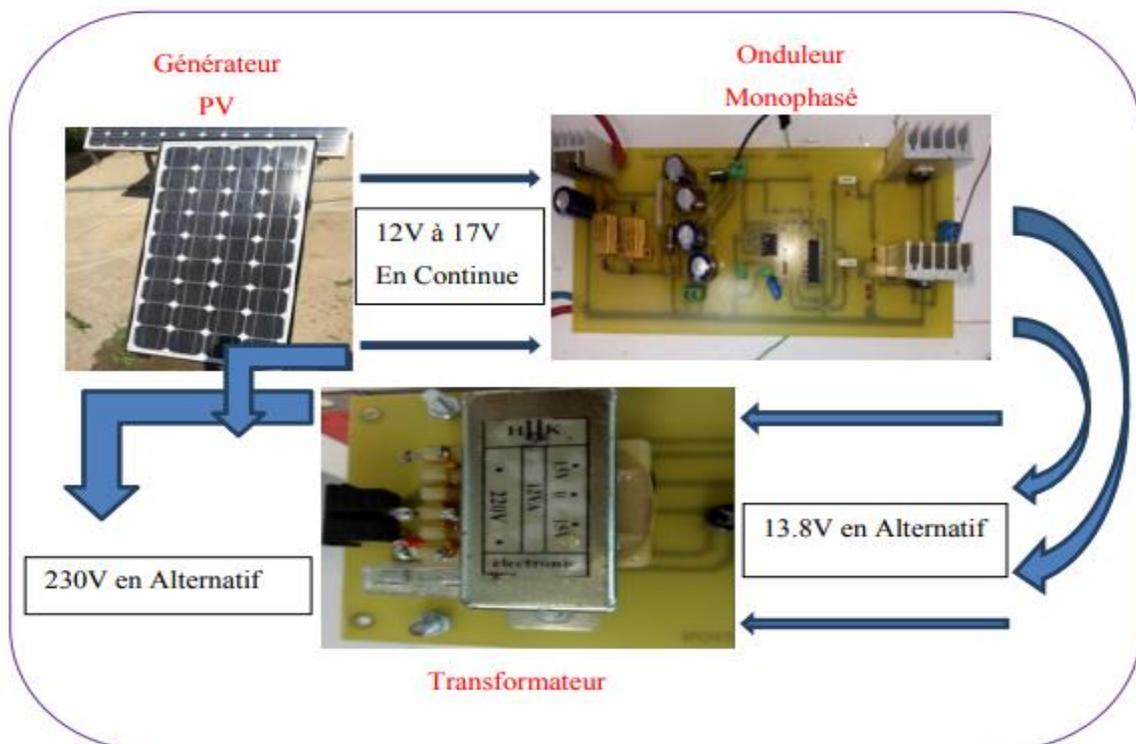


Figure (III.1) : Système global à étudié.

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

4. Schéma de l'onduleur monophasé avec demi-pont :

La réalisation de notre dispositif électronique est inspirée à partir de schéma présenté dans la figure suivante :

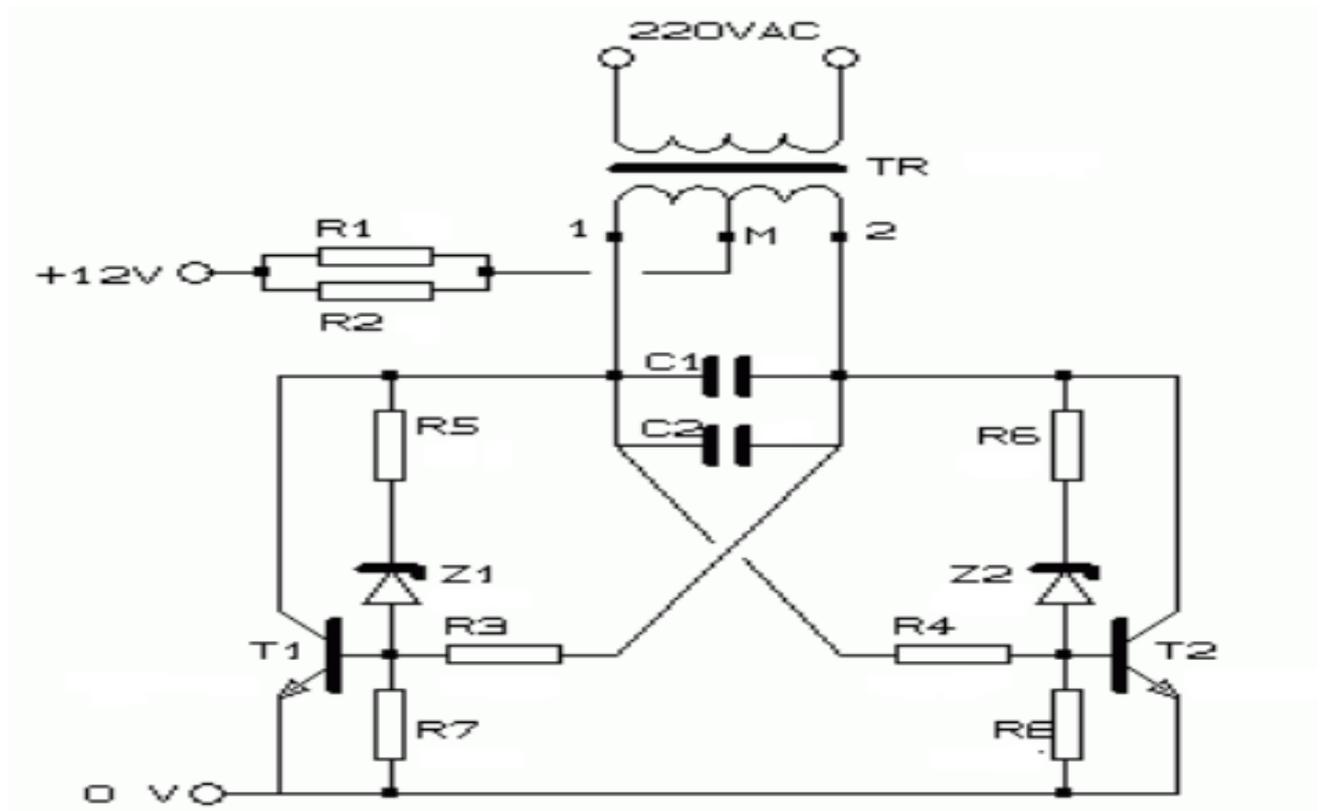


Figure (III.2) le schéma fonctionnel du circuit de notre onduleur [27].

Liste des composants.

- C1, C2 – Condensateurs plastiques 1 μ F / 250 V
- R1, R2 – Resistances bobinees 1 Ω / 5 W
- R3, R4 – Resistances 270 Ω / 0.5 W
- R5, R6 – Resistances 100 Ω / 0.5 W
- R7, R8 – Resistances 220 Ω / 0.5 W
- T1,T2 – Transistors BD177 avec gros radiateurs
- Z1,Z2 – Diodes Zener 27 V / 0.5 W
- Transformateur 220 V / 2x12 V

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de ce circuit d'onduleur se base sur le jeu de commutations d'interrupteurs commandés de manière appropriée, la diode avec le transistor jouent le rôle de ces interrupteurs qui permet au courant de passer ou non. Les deux interrupteurs fonctionnent d'une manière alternative, lorsque l'un d'eux est fermé l'autre est ouvert et c'est là que le phénomène d'alternance du courant se crée. Les condensateurs servent à emmagasiner le courant qui ensuite le décharge afin d'alimenter le transistor qui donne ordre de laisser passer le courant. Les résistances servent à filtrer le courant et le ralentir pour que son alternance ne soit pas brusque.

5. Réalisation de l'onduleur de tension monophasé et de sa commande :

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

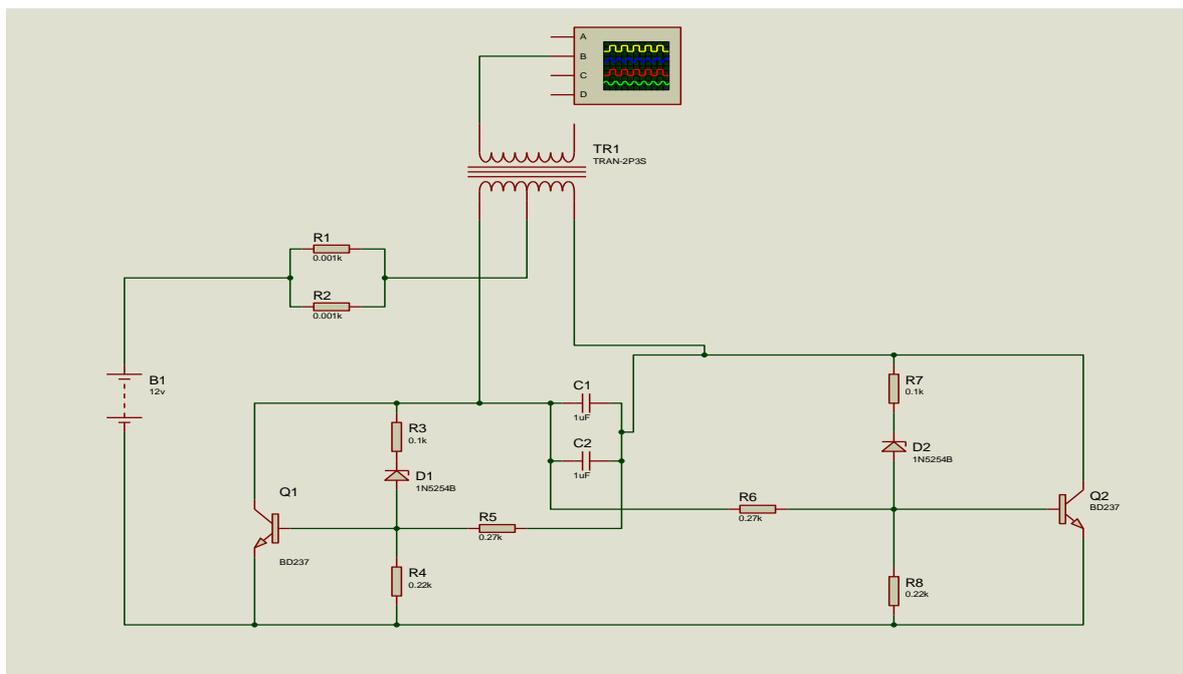


Figure (III.3) : Schéma de l'onduleur monophasé avec Proteus

TR1 : un transformateur de tension 12v/220v

B1 : une batterie de tension 12v

R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8 : des résistances

C1,C2 : des condensateurs non polariser

Q1,Q2 : des transistors NPN BD177

D1,D2 : des diodes Zenner

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

6. Résultats de la simulation avec proteus :

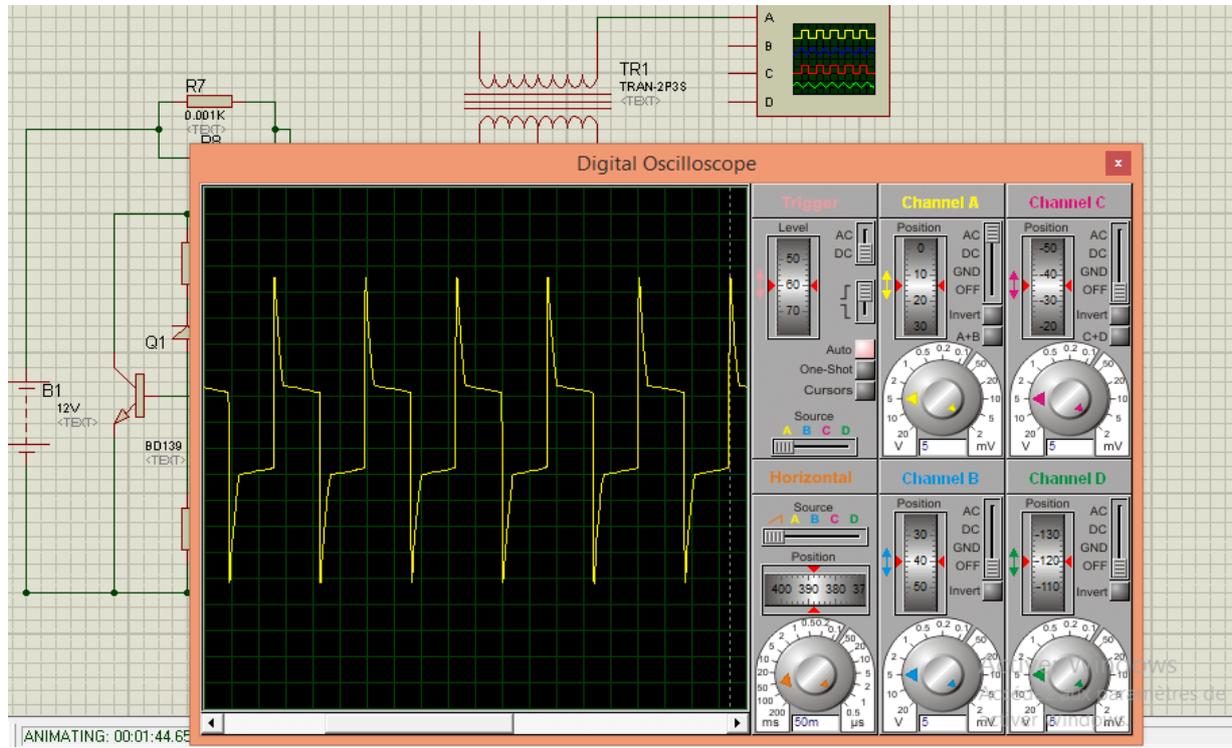


Figure (III.4) : Résultats de la simulation avec ISIS

7. Maquette de l'onduleur de tension monophasé :

La réalisation d'un onduleur de tension monophasé consiste à déterminer l'architecture et les éléments (composants) à utiliser dans le circuit (Partie commande et puissance). Certes, tout composant inadapté peut empêcher le fonctionnement optimal de cette carte de puissance, mais surtout risque d'occasionner des pertes bien plus importantes que les économies réalisées

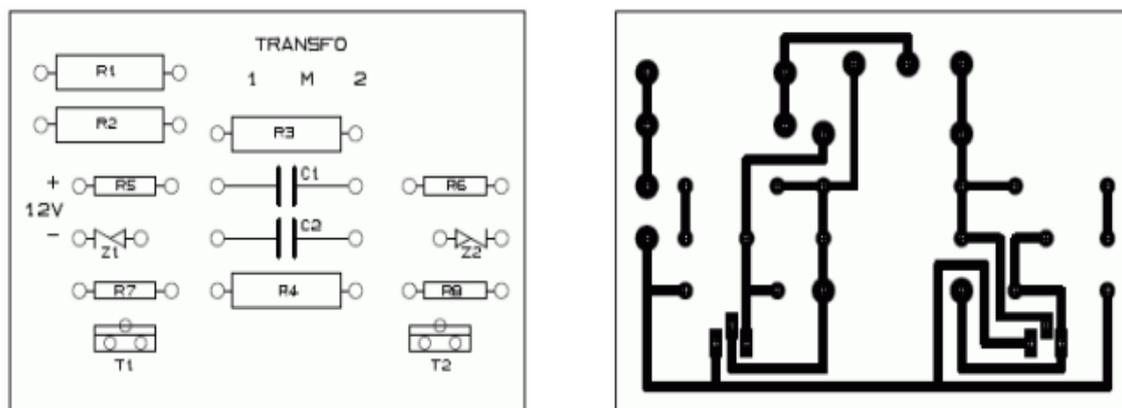


Figure (III.5) : le circuit imprimé de notre onduleur

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

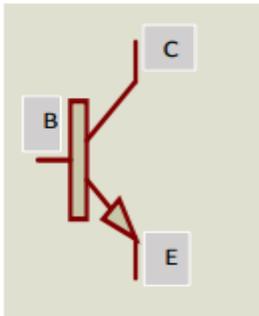
Ces deux schéma nous aiderons a la réalisation pratique de notre objectif

8. Présentation des composants utilisés :

A partir du schéma précédent et des résultats de simulation on se doit de présenter les éléments constitutants de notre onduleur suivants :

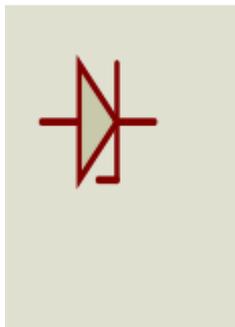
a. transistors NPN : BD 177

$V_{ce(sat)} = 0$.



Le transistor est un dispositif à semi-conducteurs alimenté en courant. Il peut servir à réguler le flux de courant électrique dans lequel une petite quantité de courant dans la base contrôle un courant plus important entre le collecteur et l'émetteur. Il est possible d'utiliser les transistors pour amplifier un signal faible, comme un oscillateur ou comme un commutateur. Un transistor **NPN** est commandé (ou activé) par un courant positif polarisé à la base pour contrôler le flux de courant du collecteur à l'émetteur. Une fois la tension de polarisation déterminée $V_{(sat)}$, la prochaine variable requise est la quantité de tension et de courant dont la charge a besoin pour fonctionner. Il s'agit des caractéristiques de tension et de courant minimum du transistor.

b. Diode Zener :

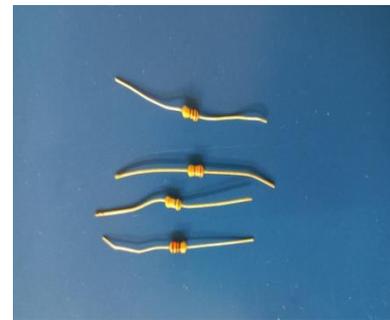
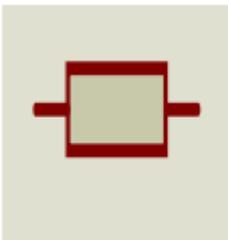


Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

La diode Zener est une diode particulière qui a la propriété de laisser passer le courant à partir d'une certaine tension inverse : cette tension de seuil s'appelle la tension Zener. C'est un claquage contrôlé, où le courant se stabilise et ne prend pas des valeurs destructrices, comme pour une diode classique.

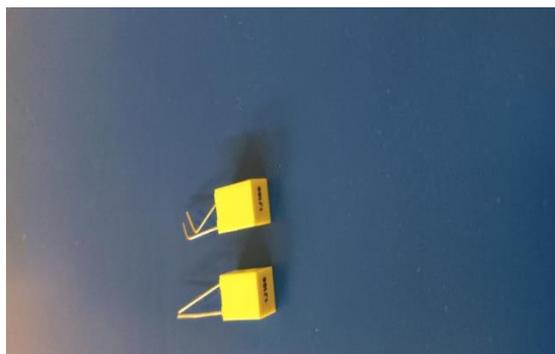
Les diodes Zener sont fréquemment utilisées pour réguler la tension dans un circuit. Lorsqu'on la connecte en inverse en parallèle avec une source de tension variable, une diode Zener devient conductrice lorsque la tension atteint la tension d'avalanche de la diode. Elle maintient ensuite la tension à cette valeur

c. Résistances :



C'est un composant électrique noté (R) qui s'oppose au mouvement des électrons dans les conducteurs. La résistance est donnée par la relation $R=U/I$; U est la tension a ces bornes et I le courant qui la traverse.

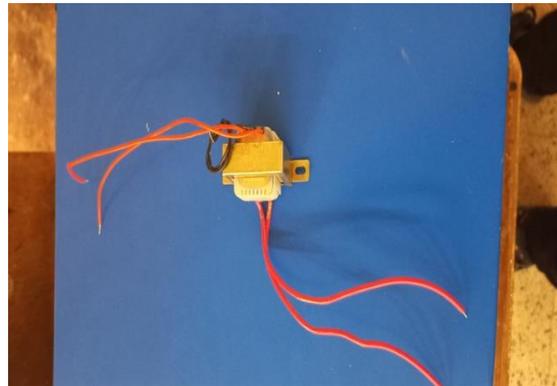
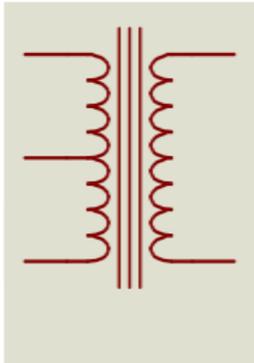
d. Condensateurs plastique :



Le but du condensateur à la sortie est de filtrer les variations de tension et de maintenir la tension fournie constante, et le condensateur d'entrée pour filtrer la tension à la sortie du générateur photovoltaïque.

Chapitre III Dimensionnement et réalisation d'un onduleur de tension monophasé

e. Transformateur :



Les transformateurs sont des machines statiques à induction électromagnétique généralement utilisés pour modifier les caractéristiques de l'énergie électrique alternative afin de la rendre aussi commodes que possible à tous les stades de la production, du transport, de la distribution et de l'utilisation. Cet appareil est d'un emploi absolument universel, en effet il transforme les signaux des sources de tensions et de courants sinusoïdaux en signaux de même fréquence mais de valeurs efficaces généralement différentes.

***Principe de fonctionnement :** En vertu de la loi de Faraday, lorsqu'un flux d'induction magnétique variable ϕ circule dans le circuit magnétique, il induit dans chacun des enroulements une force électromotrice proportionnelle dans le temps aux taux de changement ($d\phi / dt$) et au nombre de spires que comporte cet enroulement

9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons commencé par la structure générale de l'onduleur monophasé réalisé. Ensuite, nous avons détaillé les différentes étapes de réalisation de l'onduleur de tension monophasé (partie commande et partie puissance), et comment le choix des différents composants qui le constituent a été effectué. Dans le prochain chapitre, nous montrerons les résultats expérimentaux obtenus.

***Chapitre IV Résultat
expérimental et discussion***

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la validation expérimentale des études et réalisation présentées dans le troisième chapitre. Il s'agit de la présentation de l'onduleur de tension monophasé réalisé au sein du laboratoire. Des résultats pratiques seront présentés à la fin de ce chapitre.

2. Description du banc d'essais :

Le banc d'essai élaboré lors de notre projet de fin de cycle comprend un circuit électrique étudiée avec le logiciel Proteus et composée des éléments présentés dans le chapitre précédent. et avant la réalisation définitive ; une partie expérimentale faite d'abord sur la plaque HYCHMAN comme c'est présenté dans la figure suivante

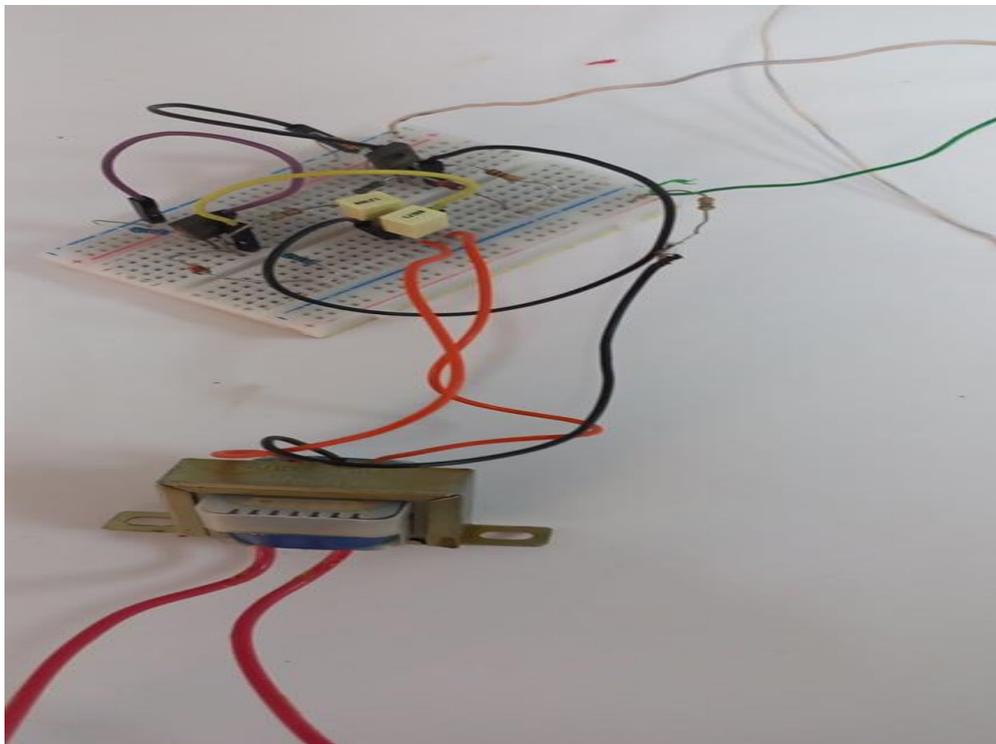


Figure (IV.1) : montage du banc d'essai de l'onduleur sur la plaque HYCHMAN

2.1. L'alimentation :

L'alimentation de notre onduleur doit se faire avec un panneau photovoltaïque qui sert un générateur de courant qui produit 12V en courant continu ou bien avec une batterie pour convertir le courant continu en courant alternatif avec qui on alimente nos domicile et par manque de matériel et pour que la tension d'alimentation soit contrôlé pour éviter la surcharge qui nous endommagera les composants électroniques et aussi pour marquer les observations sur l'évolution de courant de sortie alors on est amené à remplacer le panneau photovoltaïque par un générateur de courant continu qui alimente l'onduleur avec une tension de 12 V en courant continu

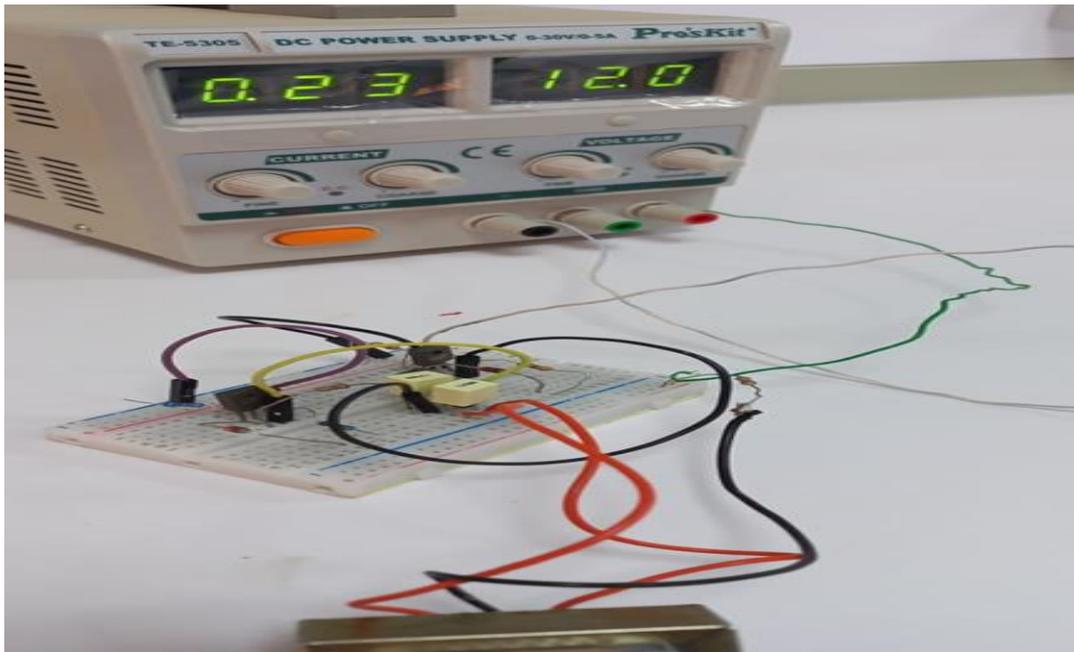


Figure (IV.2) : alimentation du circuit avec une tension continue de 12v avec un GBF

3. Le résultat du banc d'essai :

Après l'alimentation de notre onduleur avec une source de tension de 12V en continu et à l'aide de l'oscilloscope on a pu lire le signal de sortie qui est un signal sinusoïdal et sur le voltmètre on lit la valeur de la tension efficace, cette expérience a été réalisée au niveau des laboratoires d'unités de recherche (URAER-GHARDAIA).

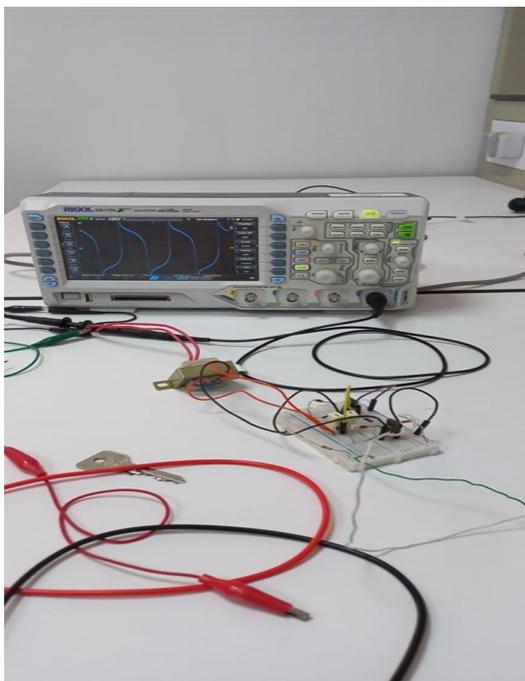


Figure (IV .3) : le signal résultant sur l'oscilloscope

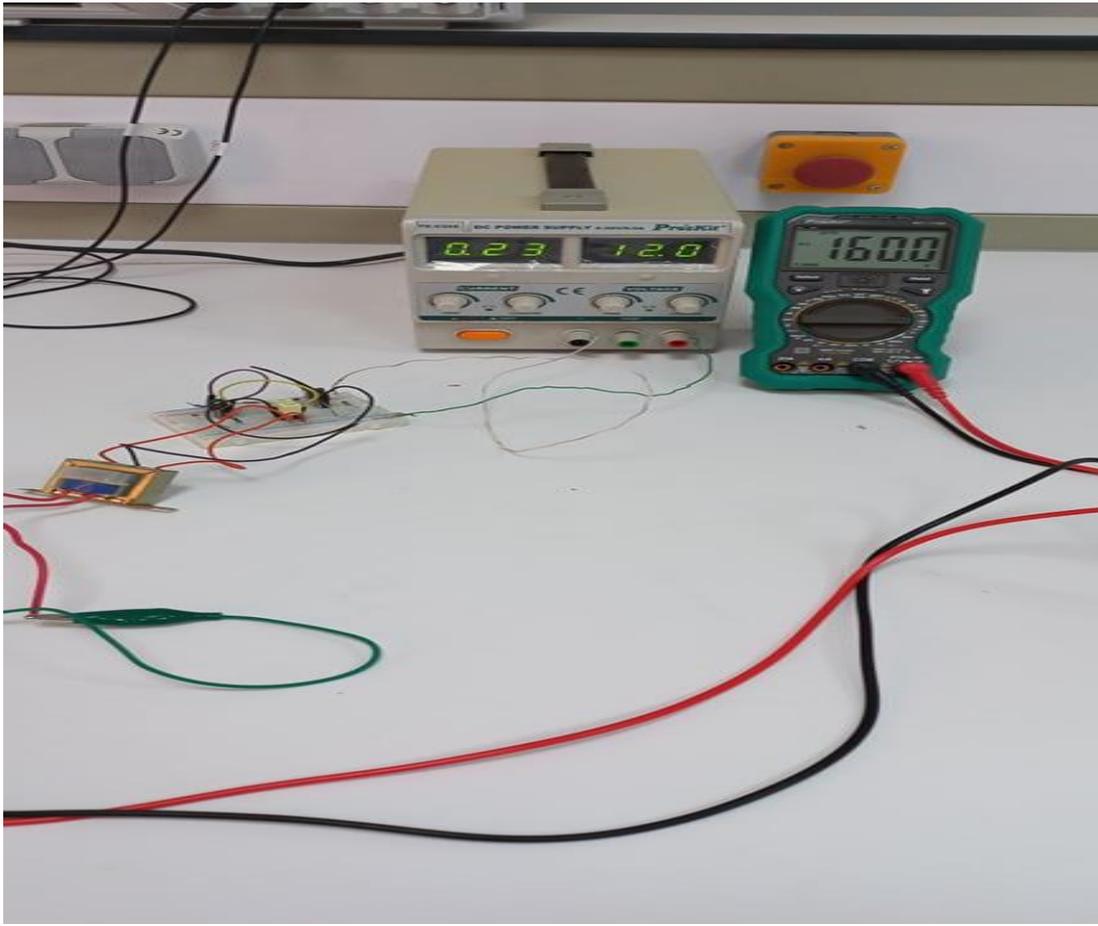


Figure (IV.4) : mesure de tension de sortie fournie par l'onduleur

4. Discussion :

- La valeur lu sur le voltmètre représente la valeur de tension efficace $U_{eff} = 160 \text{ V}$ qui est la valeur de tension maximale fournie par l'onduleur réaliser.
- La courbe du signal de sortie de l'onduleur affichée sur l'oscilloscope est un signal sinusoïdal mais avec des déformation qui l'empêche qu'il soit parfait donc notre courant de sortie est un courant alternatif.

Donc on déduit que l'onduleur réalisé est un onduleur qui permet de convertir un courant continu avec une tension de 12 V au courant alternatif avec une tension de 160 V et qui est l'objectif de notre projet de fin d'étude

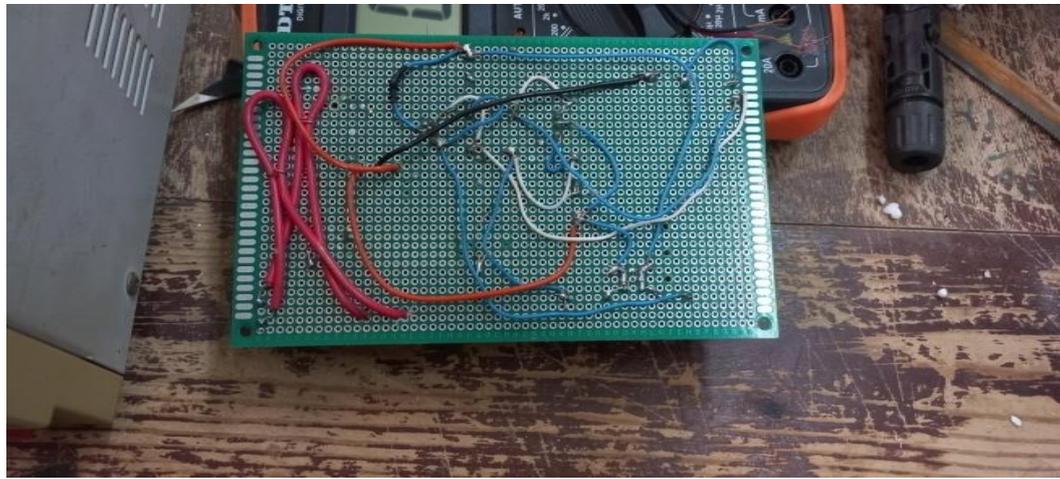
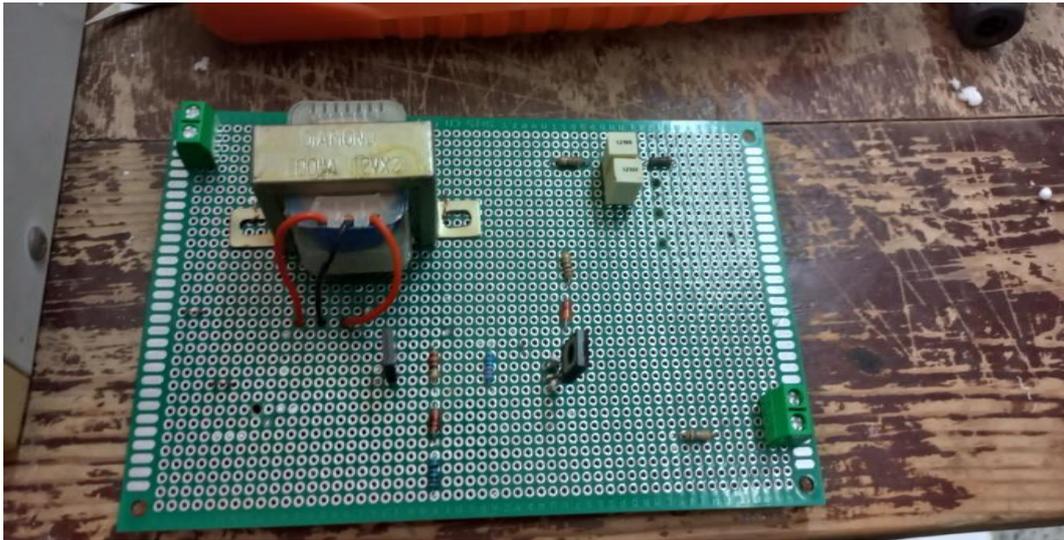


Figure (IV.5): montage finale de notre Onduleur

Remarque :

On remarque dans l'allure du signal qu'il y'avait des courbures et des déformations ce qui veut dire que notre signal n'est pas complètement sinusoïdal. pour améliorer ce signal nous avons implémenté directement des transistors Mosfet dans PROTEUS. le signal obtenu est un signal plus amélioré par rapport au celui obtenu auparavant mais au niveau du montage nous n'avons obtenu aucun résultat. Ceci s'explique par le manque de driver de commande spécifiques aux transistors Mosfet. Ceci ouvre les perspectives d'avenir pour les futures projets pour améliorer ce schéma et avoir un onduleur parfait avec les fonctionnalités parfaites

Le transistor MOSFET est un élément transconducteur, c'est à dire un composant actif destiné à fournir une variation de courant circulant entre deux bornes, à partir d'une faible variation de tension appliquée sur une électrode de commande.

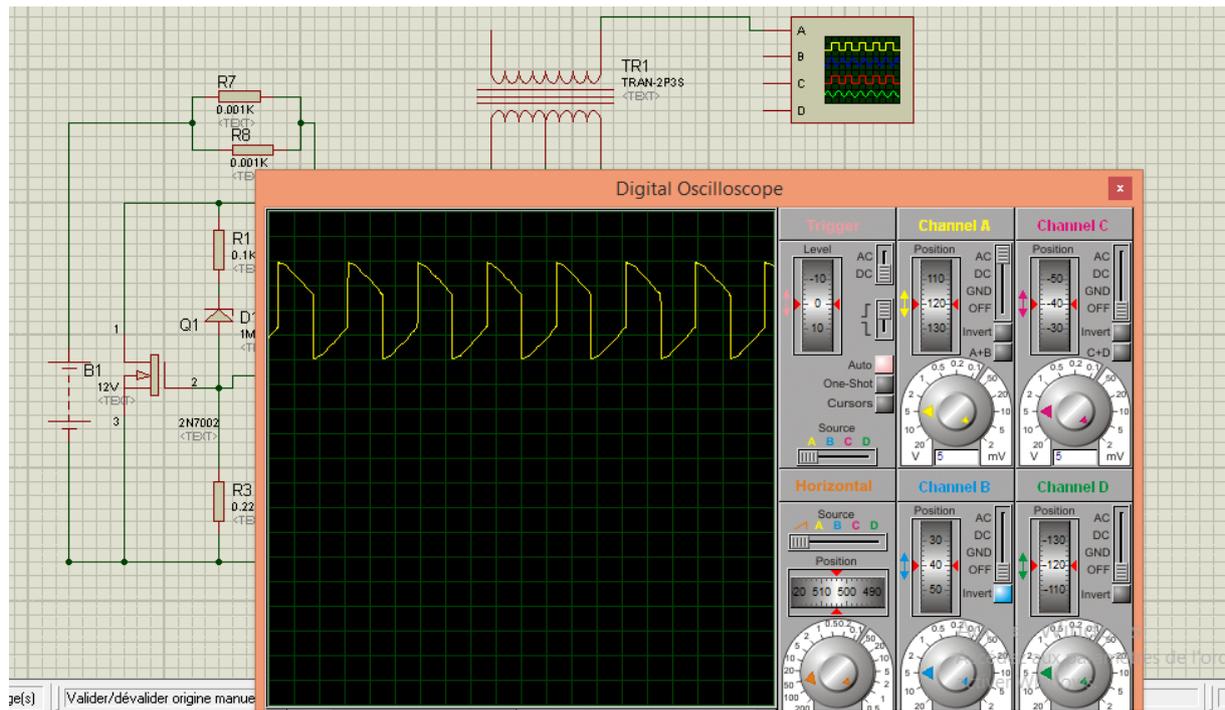


Figure (IV.6) : résultat de la simulation sur Proteus avec transistor Mosfet

5. Conclusion :

-Le premier objectif de notre travail est de mieux connaître les convertisseurs de puissance en étudiant leur principe de fonctionnement.

-l'objectif principal de notre projet de fin d'étude est la réalisation d'un onduleur monophasée à demi-pont qui permet de convertir un courant continu de 12 volt en un courant alternatif de 160 Volt-50Hz.

-Nous avons atteint une forme quasi-sinusoïdale avec une tension de sortie de 160 V en courant alternatif conforme à la simulation PROTEUS.

-Notre futur objectif consiste à l'amélioration des performances statiques et dynamiques des onduleurs, c'est-à-dire augmenter la performance et la robustesse vis-à-vis des variations paramétriques, limiter les pertes par commutation et par conduction, et simplifier la mise en œuvre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le premier chapitre a été consacré à une présentation générale des systèmes photovoltaïques et les éléments constituant, ainsi que leurs rôles.

Dans le deuxièmes, nous avons présentée les convertisseurs dédiés aux systèmes photovoltaïques et on a spécifier notre étude sur les onduleurs monophasé en demi pont sur lequel on a parler a propos de son fonctionnement.

Le troisième chapitre été le plus important, c'est la où une étude du schéma fonctionnel d'onduleur a fait l'objet et une simulation sur le logiciel PROTEUS qui nous a permet de déduire les composants du ce dispositif et ensuite une réalisation pratique a été entamé.

Le troisième chapitre a été consacré au résultat expérimental et aux remarques ainsi que les perspectives.

Lors de la première expérimentation nous avons utilisée un schéma d'onduleur en demi-pont à base de transistors bipolaires. La simulation par le logiciel PROEUS et l'implémentation des composants sur la plaque HYCHMAN et puis sur le circuit électrique nous a donné une forme quasi-sinusoïdale de tension de 160V/AC -50Hz. Nous préconisons a l'avenir, pour améliorer le signal sinusoïdal de passer a un schéma d'onduleur a pont complet H qui améliorera les commandes et les commutations.

Lors de la deuxième expérience nous avons utilisé le même schéma d'onduleur en demi-pont en implémentant directement des transistors Mosfet, le résultat de la simulation par le logiciel PROEUS a donnée une meilleure forme quasi-sinusoïdale par rapport a celle obtenu auparavant. Mais l'implémentation des composants sur la plaque HYCHMAN n'a donnée aucun signal (donc on n'est pas passé a l'implémentation sur le circuit électrique). En effet, il s'avère que les transistors Mosfet doivent avoir des drivers de commandes spécifiques ce qui ouvre de large perspectives a l'avenir pour améliorer les performances de ces onduleurs.

Références

- [1] MOUSSOUNI Nasser Eddine. Mémoire de fin d'étude (Commande des Systèmes Electriques)
- [2] J. Royer, T.djiako, E.schiller, B. Sada, «Le pompage photovoltaïque», Institut de l'Energie Des Pays Francophone ,199
- [3] A. Lobouret, M. Viloz, «Energie solaire photovoltaïque», Edition Dunod, 2006
- [4] A.T. Singo, « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome », Thèse de Doctorat, Université d'Henri Poincaré, Nancy, 2010.
- [5] B. Fléche, D. delagnes, «énergie solaire photovoltaïque», STI ELT juin 200
- [6] Y. Pankow, «Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension .application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat, Centre Nationale de Recherche Technologique de Lille, 2004.
- [7] S. Brigand, «principe du photovoltaïque », complément technique 2008, www.Editionsdumoniteur.com.
- [8] A. Sadek, «Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien», Mémoire de Magistère, Université de Batna, 2009
- [9] A.C. Postor, « Evaluation comparative de chargeurs de batteries pour systèmes photovoltaïques », Projet de fin d'études, Université Toulouse, Septembre 2002
- [10] Muhammad H.Rachid. "Power Electronics, circuits, devices, and applications ", Prentice
- [11] Y. Riffonneau, «Gestion des flux énergétique dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau », Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier, 2009
- [12] A. Kabeche, M. Belhamel, R. Ibtouen, S. Moussa et M. R. Benhaddadi, «Optimisation d'un système hybride (éolien –photovoltaïque) totalement autonome», Revue de Energies Renouvelables vol. 9, N ° 3, 2006, pp : 199-209.
- [13] Sylvain Brigand. Installations Solaires Photovoltaïques, Editions du Moniteur, 2011.Mark Hankins. Installations Solaires Photovoltaïques Autonomes, collection Dunod, 2010.
- [14] : L. P.Lachauvinière ,ficher << Convertisseur statique >> communication technique.
- [15] S. Guy, B. Robert, Labrique Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternaif (volume 4). Edition tec&doc, 1995.

- [16] Onduleur de tension: mise en œuvre et Structures-principes-applications. Techniques d'ingénieur, Traité de génie électrique D.3176-3177.
- [17] Onduleurs et harmoniques, Cahiers techniques Merlin Gerin N°159.
- [18] T. Wildi : Electrotechnique, 3eme édition, éditions de Boeck université (1999).
- [19] : Mr. ANDRIABANJIMANALINA TENDRY RINASOA. CONVERTISSEUR MULTINIVEAUX. Mémoire d'ingénieur université d'Antananarivo école supérieur polytechnique 2004.
- [20] S. MECHERI, << Réalisation d'un onduleur de tension monophasé centrale par carte ARDUINE >>, Université de Constantine I, 2013/2014.
- [21] Cahier technique, Systèmes de coupure et de protection, Socomec, pp.116, 2011.
- [22] H. Foch, « Eléments Constitutifs et Synthèse des Convertisseurs Statiques », Techniques de l'ingénieur, Traité Génie électrique, D3152, 1989.
- [23] M. Adouane, M. Haddadi, A. Malek et M. Hadjiat, « Etude et Conception d'un Onduleur Monophasé Autonome géré par Microcontrôleur PIC 16F876A, Revue des Energies Renouvelable, Vol 12 no 4, 543 – 550, 2009.
- [24] M. Correvon, « Convertisseur de Fréquence à Circuitintermédiaire à tension continue (Convertisseur U) », Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud. [
- [25] Cours électronique de puissance, Conversion Continu-Alternatif, Onduleur, DUT, Université Joseph Fourier.
- [26] Jim Willaims, « A fourth Generation of LCD backlight technology, Component and measurement improvements refine performance », Linear Technology Application Note65, Novembre 1995.
- [27] <https://forums.futura-sciences.com/electronique/622658-calculer-de-frequence-dun-circuit-onduleur.html>.

Silicon NPN Power Transistors

BD175 BD177 BD179

DESCRIPTION

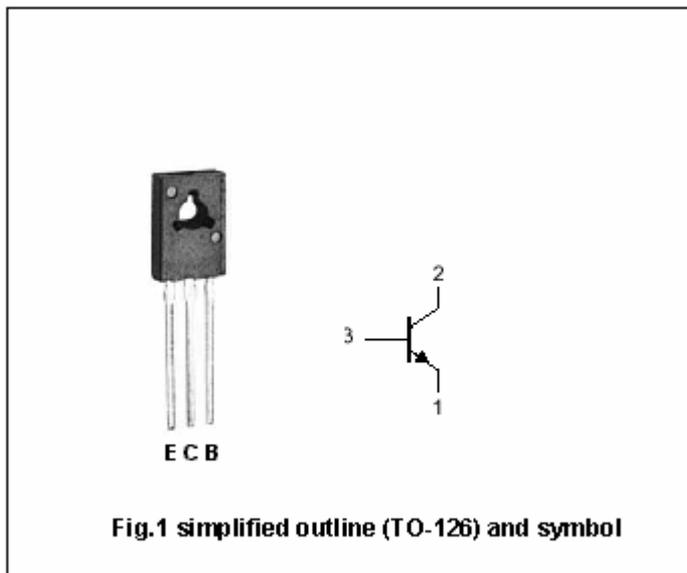
- With TO-126 package
- Complement to type BD176/178 /180

APPLICATIONS

- For medium power linear and switching applications

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	Emitter
2	Collector;connected to mounting base
3	Base



Absolute maximum ratings (Ta=25°C)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
V _{CB0}	Collector-base voltage	BD175	45	V
		BD177	60	
		BD179	80	
V _{CEO}	Collector-emitter voltage	BD175	45	V
		BD177	60	
		BD179	80	
V _{EBO}	Emitter -base voltage	Open collector	5	V
I _C	Collector current (DC)		3	A
I _{CM}	Collector current-Peak		7	A
P _C	Collector power dissipation	T _C =25°C	30	W
T _j	Junction temperature		150	°C
T _{stg}	Storage temperature		-65~150	°C

Silicon NPN Power Transistors

BD175 BD177 BD179

CHARACTERISTICS

T_j=25°C unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP.	MAX	UNIT	
V _{CEsat}	Collector-emitter saturation voltage	I _C =1A; I _B =0.1A			0.8	V	
V _{BE}	Base-emitter on voltage	I _C =1A; V _{CE} =2V			1.3	V	
V _{CEO(SUS)}	Collector-emitter sustaining voltage	BD175	I _C =0.1A; I _B =0			V	
		BD177					45
		BD179					60
I _{CBO}	Collector cut-off current	BD175			100	μA	
		BD177					V _{CB} =45V; I _E =0
		BD179					V _{CB} =60V; I _E =0
I _{EBO}	Emitter cut-off current	V _{EB} =5V; I _C =0			1	mA	
h _{FE-1}	DC current gain	I _C =150mA; V _{CE} =2V	40		250		
h _{FE-2}	DC current gain	I _C =1A; V _{CE} =2V	15				
f _T	Transition frequency	I _C =250mA; V _{CE} =10V	3			MHz	

◆ h_{FE-1} Classifications

6	10	16
40-100	63-160	100-250

□ classification 16 :only BD175

Silicon NPN Power Transistors

BD175 BD177 BD179

PACKAGE OUTLINE

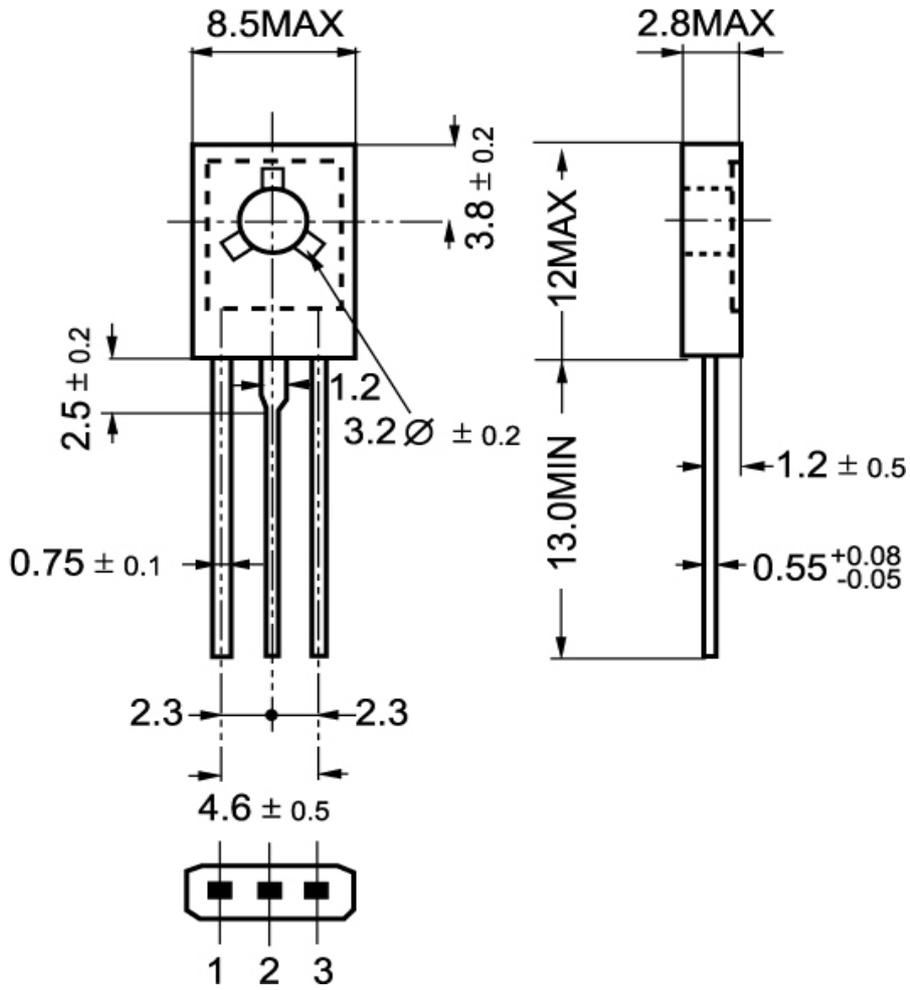
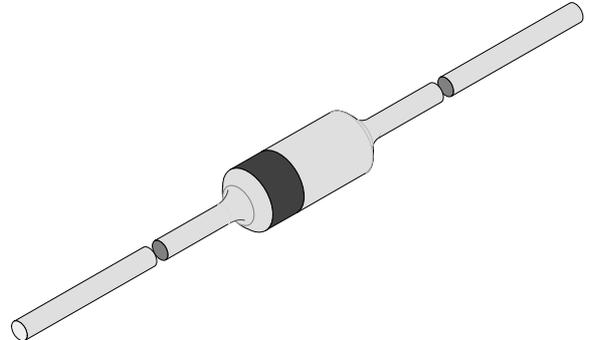


Fig.2 Outline dimensions

Silicon Z-Diodes

Features

- Very sharp reverse characteristic
- Very high stability
- Low reverse current level
- V_Z -tolerance $\pm 5\%$



94 9367

Applications

Voltage stabilization

Absolute Maximum Ratings

 $T_j = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Type	Symbol	Value	Unit
Power dissipation	$T_L \leq 75^\circ\text{C}$		P_V	500	mW
Z-current			I_Z	P_V/V_Z	mA
Junction temperature			T_j	200	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range			T_{stg}	-65...+200	$^\circ\text{C}$

Maximum Thermal Resistance

 $T_j = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Junction ambient	$l=9.5\text{mm (3/8")}$, $T_L=\text{constant}$	R_{thJA}	300	K/W

Electrical Characteristics

 $T_j = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Type	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Forward voltage	$I_F=200\text{mA}$		V_F			1.1	V

1N5221B...1N5267B



Vishay Telefunken

Type	$V_{Znom}^{1)}$	I_{ZT}	for	r_{zIT}	r_{zik}	at	I_{ZK}	I_R	at	V_R	TK_{VZ}
	V	mA		Ω	Ω		mA	μA		V	%/K
1N5221B	2.4	20		< 30	< 1200		0.25	< 100		1.0	< -0.085
1N5222B	2.5	20		< 30	< 1250		0.25	< 100		1.0	< -0.085
1N5223B	2.7	20		< 30	< 1300		0.25	< 75		1.0	< -0.080
1N5224B	2.8	20		< 30	< 1400		0.25	< 75		1.0	< -0.080
1N5225B	3.0	20		< 29	< 1600		0.25	< 50		1.0	< -0.075
1N5226B	3.3	20		< 28	< 1600		0.25	< 25		1.0	< -0.070
1N5227B	3.6	20		< 24	< 1700		0.25	< 15		1.0	< -0.065
1N5228B	3.9	20		< 23	< 1900		0.25	< 10		1.0	< -0.060
1N5229B	4.3	20		< 22	< 2000		0.25	< 5		1.0	< +0.055
1N5230B	4.7	20		< 19	< 1900		0.25	< 5		2.0	< +0.030
1N5231B	5.1	20		< 17	< 1600		0.25	< 5		2.0	< +0.030
1N5232B	5.6	20		< 11	< 1600		0.25	< 5		3.0	< +0.038
1N5233B	6.0	20		< 7	< 1600		0.25	< 5		3.5	< +0.038
1N5234B	6.2	20		< 7	< 1000		0.25	< 5		4.0	< +0.045
1N5235B	6.8	20		< 5	< 750		0.25	< 3		5.0	< +0.050
1N5236B	7.5	20		< 6	< 500		0.25	< 3		6.0	< +0.058
1N5237B	8.2	20		< 8	< 500		0.25	< 3		6.5	< +0.062
1N5238B	8.7	20		< 8	< 600		0.25	< 3		6.5	< +0.065
1N5239B	9.1	20		< 10	< 600		0.25	< 3		7.0	< +0.068
1N5240B	10	20		< 17	< 600		0.25	< 3		8.0	< +0.075
1N5241B	11	20		< 22	< 600		0.25	< 2		8.4	< +0.076
1N5242B	12	20		< 30	< 600		0.25	< 1		9.1	< +0.077
1N5243B	13	9.5		< 13	< 600		0.25	< 0.5		9.9	< +0.079
1N5244B	14	9.0		< 15	< 600		0.25	< 0.1		10	< +0.082
1N5245B	15	8.5		< 16	< 600		0.25	< 0.1		11	< +0.082
1N5246B	16	7.8		< 17	< 600		0.25	< 0.1		12	< +0.083
1N5247B	17	7.4		< 19	< 600		0.25	< 0.1		13	< +0.084
1N5248B	18	7.0		< 21	< 600		0.25	< 0.1		14	< +0.085
1N5249B	19	6.6		< 23	< 600		0.25	< 0.1		14	< +0.086
1N5250B	20	6.2		< 25	< 600		0.25	< 0.1		15	< +0.086
1N5251B	22	5.6		< 29	< 600		0.25	< 0.1		17	< +0.087
1N5252B	24	5.2		< 33	< 600		0.25	< 0.1		18	< +0.088
1N5253B	25	5.0		< 35	< 600		0.25	< 0.1		19	< +0.089
1N5254B	27	4.6		< 41	< 600		0.25	< 0.1		21	< +0.090
1N5255B	28	4.5		< 44	< 600		0.25	< 0.1		21	< +0.091
1N5256B	30	4.2		< 49	< 600		0.25	< 0.1		23	< +0.091
1N5257B	33	3.8		< 58	< 700		0.25	< 0.1		25	< +0.092
1N5258B	36	3.4		< 70	< 700		0.25	< 0.1		27	< +0.093
1N5259B	39	3.2		< 80	< 800		0.25	< 0.1		30	< +0.094
1N5260B	43	3.0		< 93	< 900		0.25	< 0.1		33	< +0.095
1N5261B	47	2.7		< 105	< 1000		0.25	< 0.1		36	< +0.095
1N5262B	51	2.5		< 125	< 1100		0.25	< 0.1		39	< +0.096
1N5263B	56	2.2		< 150	< 1300		0.25	< 0.1		43	< +0.096
1N5264B	60	2.1		< 170	< 1400		0.25	< 0.1		46	< +0.097
1N5265B	62	2.0		< 185	< 1400		0.25	< 0.1		47	< +0.097
1N5266B	68	1.8		< 230	< 1600		0.25	< 0.1		52	< +0.097
1N5267B	75	1.7		< 270	< 1700		0.25	< 0.1		56	< +0.098

¹⁾ Based on dc-measurement at thermal equilibrium; lead length = 9.5mm (3/8"); thermal resistance of heat sink = 30K/W

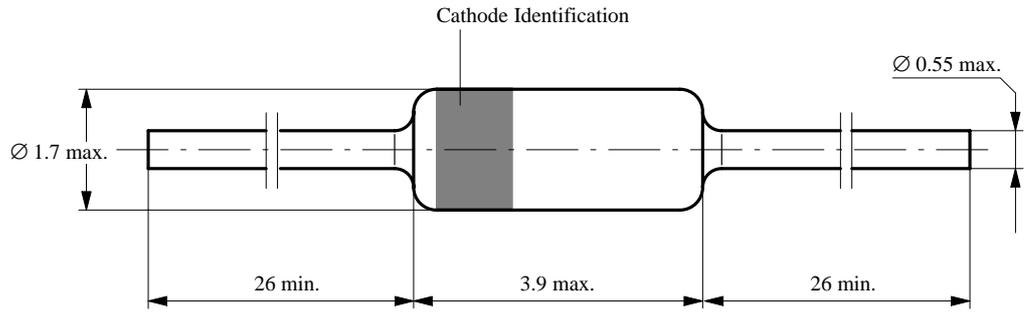
Dimensions in mm



technical drawings
according to DIN
specifications

94 9366

Standard Glass Case
54 A 2 DIN 41880
JEDEC DO 35
Weight max. 0.3 g





Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of **Vishay Semiconductor GmbH** to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay-Telefunken products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay-Telefunken against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0) 7131 67 2831, Fax number: 49 (0) 7131 67 2423

Overview

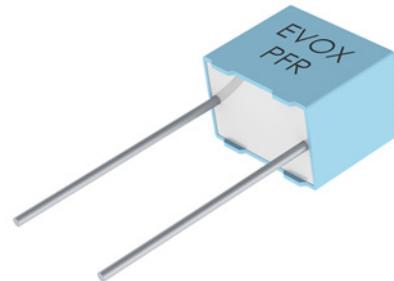
The PFR Series is a capacitor with polypropylene film and metal foil electrodes, encapsulated in self-extinguishing resin in a box of material meeting the requirements of UL 94 V-0.

Applications

Typical applications include high speed applications requiring low losses at high frequencies and high dV/dt , such as electrical ballasts, televisions, video and telecommunications.

Benefits

- Rated voltage: 63 – 1,000 VDC
- Rated voltage: 40 – 250 VAC
- Capacitance range: 0.0001 – 0.022 μ F
- Lead spacing: 5 mm
- Capacitance tolerance: $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$
- Climatic category: 55/100/56, IEC 60068-1
- Tape & Reel packaging in accordance with IEC 60286-2
- RoHS Compliant and lead-free terminations
- Category temperature range of -55°C to $+100^{\circ}\text{C}$



Customer Part Number

PFR	5	101	J	63	J11	L4BULK
Series	Lead Spacing (mm)	Capacitance Code (pF)	Capacitance Tolerance	Rated Voltage (VDC)	Size Code	Packaging
Polypropylene Film/Foil	5 (Standard)	First two digits represent significant figures. Third digit specifies number of zeros.	F = $\pm 1\%$ G = $\pm 2\%$ H = $\pm 2.5\%$ J = $\pm 5\%$ K = $\pm 10\%$	63 = 63 100 = 100 250 = 250 400 = 400 630 = 630 1000 = 1,000	See Dimension Table	See Ordering Options Table

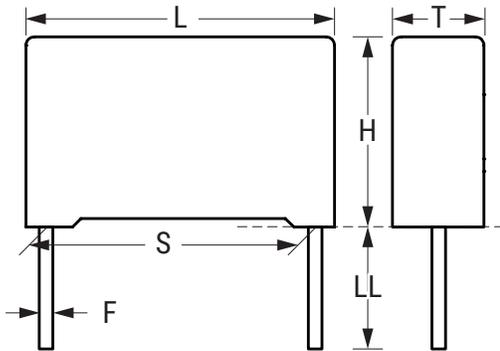
KEMET Internal Part Number

F	411	J	H	101	J	063	C
Capacitor Class	Series	Lead Spacing (mm)	Size Code	Capacitance Code (pF)	Capacitance Tolerance	Rated Voltage (VDC)	Packaging
F = Film	Polypropylene Film/Foil	J = 5.0	See Dimension Table	First two digits represent significant figures. Third digit specifies number of zeros.	F = $\pm 1\%$ G = $\pm 2\%$ R = $\pm 2.5\%$ J = $\pm 5\%$ K = $\pm 10\%$	063 = 63 100 = 100 250 = 250 400 = 400 630 = 630 1K0 = 1,000	See Ordering Options Table

Ordering Options Table

Lead Spacing Nominal (mm)	Type of Leads and Packaging	Lead Length (mm)	KEMET Lead and Packaging Code	Legacy Lead and Packaging Code
5	Standard Lead and Packaging Options			
	Bulk (Bag) – Short Leads	4 +1/-0	C	L4BULK
	Tape & Reel (Standard Reel F 360 mm)	$H_0 = 18.5 \pm 0.5$	L	L16.5TR18
	Other Lead and Packaging Options			
	Ammo Pack	$H_0 = 16.5 \pm 0.5$	Q	L16.5TA16
	Ammo Pack	$H_0 = 18.5 \pm 0.5$	R	L16.5TA18
Tape & Reel (Large Reel F 500 mm)	$H_0 = 18.5 \pm 0.5$	P	L16.5LR18	

Dimensions – Millimeters



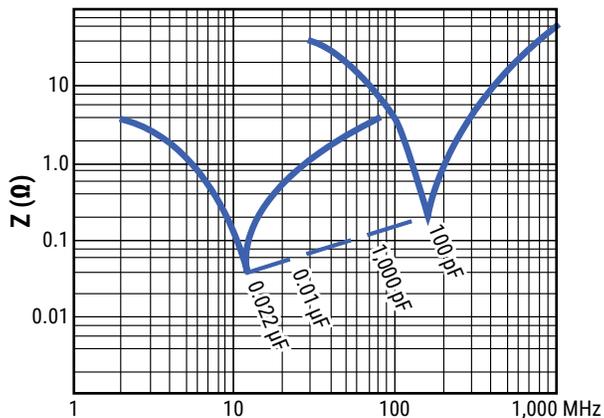
KEMET Size Code	Legacy Size Code	S		T		H		L		F	
		Nominal	Tolerance								
JH	J11	5	-0.4	4.5	0/-0.5	6	0/-0.5	7.2	0/-0.5	0.5	±0.05
JK	J12	5	-0.4	5.5	0/-0.5	7	0/-0.5	7.2	0/-0.5	0.5	±0.05
JR	J13	5	-0.4	6.5	0/-0.5	8	0/-0.5	7.2	0/-0.5	0.5	±0.05

Note: See Ordering Options Table for lead length (LL) options.

Performance Characteristics

Voltage Range (VDC)	63	100	250	400	630	1,000
Voltage Range (VAC)	40	63	160	220	250	250
Capacitance Range (μF)	0.0001 – 0.022	0.0001 – 0.01	0.0001 – 0.0068	0.0001 – 0.0068	0.0001 – 0.0047	0.0001 – 0.001
Capacitance Values	In accordance with IEC E12 series					
Capacitance Tolerance	$\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$					
Category Temperature Range	-55°C to +100°C. An operating temperature up to +105°C is allowed under certain conditions. Please consult KEMET for details					
Climatic Category	IEC 60068-1, 55/100/56					
Capacitance Drift	Maximum 0.3% after a 2 year storage period at a temperature of +10°C to +40°C and a relative humidity of 40% to 60%					
Temperature Coefficient	-200 (+50, -100) ppm/°C at 1 kHz					
Self-Inductance	Approximately 6 nH/cm for the total length of capacitor winding and the leads					
Dissipation Factor $\tan\delta$	Maximum Values at +23°C					
		$C \leq 0.001 \mu\text{F}$		$0.001 \mu\text{F} < C \leq 0.0047 \mu\text{F}$		$C > 0.0047 \mu\text{F}$
	1 kHz	0.0004		0.0004		0.0004
	10 kHz	0.0004		0.0005		0.0007
	100 kHz	0.0005		0.0007		-
Insulation Resistance	Measured at +20°C, according to IEC 60384-13					
	Between Terminals:					
	$\geq 100,000 \text{ M}\Omega$					

Resonance Frequencies



Environmental Test Data

Test	IEC Publication	Procedure	Requirements
Voltage Proof	60384-1 Clause 4.6	$1.6 \times V_R$ after 60 seconds	The capacitors must withstand the voltage without breakdowns or flashovers and without decreased insulation resistance below the value in each detail specification. No visible damage
	Clause 4.6 2.3	$2 \times V_R$ (minimum 400 VDC to case) after 60 seconds	As above
Vibration	60068-2-6 Test Fc	6 hours with 10 – 500 Hz and 0.75 mm amplitude or 98 m/s ² depending on frequency	No visible damage $\tan\delta \leq 1.2 \times$ stated value at 100 kHz $\Delta C/C \leq \pm 0.5\%$
Bump	60068-2-29 Test Eb	4,000 bumps with 390 m/s ² mounted on PCB	$\Delta C/C \leq \pm 0.5\%$ $\tan\delta \leq 1.2 \times$ stated value at 100 kHz Insulation resistance: $\geq 100,000 \text{ M}\Omega$ for $C_R \leq 0.33 \mu\text{F}$ $\geq 30,000 \text{ M}\Omega, \mu\text{F}$ for $C_R > 0.33 \mu\text{F}$
Resistance to Soldering Heat	60068-2-20 Method 1A	Solder bath at + 260°C $\pm 5^\circ\text{C}$ with screening	Immersion of the terminations into the solder bath shall be completed in a time not exceeding 1 second and the terminations shall remain immersed to the specified depth for 10 + 1 second and then be withdrawn. $\Delta C/C \leq \pm 1.0\%$ $\tan\delta$ increase < 0.001 No visible damage
Climatic Sequence	60384-1 Paragraph 4:21	60068-2.2 dry heat 16 hours 60068-2-34 damp heat, one cycle 60068-2-1 Test Aa 2 hours	Insulation resistance: $\geq 100,000 \text{ M}\Omega$ for $C_R \leq 0.33 \mu\text{F}$ $\geq 30,000 \text{ M}\Omega, \mu\text{F}$ for $C_R > 0.33 \mu\text{F}$ $\Delta C/C \leq \pm 0.5\%$ $\tan\delta \leq 1.2 \times$ stated value at 100 kHz
Damp Heat Steady State	60068-2-3 Test Ca	+40°C and 90 – 95% RH	56 days no visible damage Insulation resistance: $\geq 50,000 \text{ M}\Omega$ for $C_R \leq 0.33 \mu\text{F}$ $\geq 15,000 \text{ M}\Omega, \mu\text{F}$ for $C_R > 0.33 \mu\text{F}$ $\Delta C/C \leq \pm 1\%$ $\tan\delta \leq 1.2 \times$ stated value at 100 kHz
Endurance, AC		1,000 hours at +85°C and $1.25 \times V_R$ AC	No visible damage $\Delta C/C \leq \pm 3\%$ $\tan\delta \leq 1.5 \times$ stated value at 100 kHz Insulation resistance: $\geq 100,000 \text{ M}\Omega$ for $C_R \leq 0.33 \mu\text{F}$ $\geq 30,000 \text{ M}\Omega, \mu\text{F}$ for $C_R > 0.33 \mu\text{F}$
Charge and Discharge	60384-17 Paragraph 4.13	10,000 pulses and with (2 x) dV/dt according to detail specification	$\tan\delta$ (100 kHz) $\leq 2 \times$ stated value (100 kHz) $\Delta C/C \leq \pm 0.5\%$ Insulation resistance: $\geq 50,000 \text{ M}\Omega$ for $C_R \leq 0.33 \mu\text{F}$ $\geq 15,000 \text{ M}\Omega \cdot \mu\text{F}$ for $C_R > 0.33 \mu\text{F}$

Environmental Compliance

All KEMET pulse capacitors are RoHS Compliant.



Table 1 – Ratings & Part Number Reference

VDC	VAC	Cap Value (µF)	Maximum Dimensions in mm			Lead Spacing (S)	dV/dt (V/µs)	Size Code (New/Legacy)	KEMET Part Number	Legacy Part Number
			T	H	L					
63	40	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)063(2)	PFR5101(1)63J11(2)
63	40	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)063(2)	PFR5151(1)63J11(2)
63	40	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)063(2)	PFR5221(1)63J11(2)
63	40	0.00033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH331(3)063(2)	PFR5331(1)63J11(2)
63	40	0.00047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH471(3)063(2)	PFR5471(1)63J11(2)
63	40	0.00068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH681(3)063(2)	PFR5681(1)63J11(2)
63	40	0.0010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH102(3)063(2)	PFR5102(1)63J11(2)
63	40	0.0015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH152(3)063(2)	PFR5152(1)63J11(2)
63	40	0.0022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH222(3)063(2)	PFR5222(1)63J11(2)
63	40	0.0033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH332(3)063(2)	PFR5332(1)63J11(2)
63	40	0.0047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH472(3)063(2)	PFR5472(1)63J11(2)
63	40	0.0068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH682(3)063(2)	PFR5682(1)63J11(2)
63	40	0.010	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK103(3)063(2)	PFR5103(1)63J12(2)
63	40	0.015	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR153(3)063(2)	PFR5153(1)63J13(2)
63	40	0.020	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR203(3)063(2)	PFR5203(1)63J13(2)
63	40	0.022	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR223(3)063(2)	PFR5223(1)63J13(2)
100	63	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)100(2)	PFR5101(1)100J11(2)
100	63	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)100(2)	PFR5151(1)100J11(2)
100	63	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)100(2)	PFR5221(1)100J11(2)
100	63	0.00033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH331(3)100(2)	PFR5331(1)100J11(2)
100	63	0.00047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH471(3)100(2)	PFR5471(1)100J11(2)
100	63	0.00068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH681(3)100(2)	PFR5681(1)100J11(2)
100	63	0.0010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH102(3)100(2)	PFR5102(1)100J11(2)
100	63	0.0015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH152(3)100(2)	PFR5152(1)100J11(2)
100	63	0.0022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH222(3)100(2)	PFR5222(1)100J11(2)
100	63	0.0033	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK332(3)100(2)	PFR5332(1)100J12(2)
100	63	0.0047	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK472(3)100(2)	PFR5472(1)100J12(2)
100	63	0.0068	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR682(3)100(2)	PFR5682(1)100J13(2)
100	63	0.010	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR103(3)100(2)	PFR5103(1)100J13(2)
250	160	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)250(2)	PFR5101(1)250J11(2)
250	160	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)250(2)	PFR5151(1)250J11(2)
250	160	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)250(2)	PFR5221(1)250J11(2)
250	160	0.00033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH331(3)250(2)	PFR5331(1)250J11(2)
250	160	0.00047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH471(3)250(2)	PFR5471(1)250J11(2)
250	160	0.00068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH681(3)250(2)	PFR5681(1)250J11(2)
VDC	VAC	Cap Value (µF)	T (mm)	H (mm)	L (mm)	Lead Spacing (S)	dV/dt (V/µs)	Size Code (New/Legacy)	KEMET Part Number	Legacy Part Number

- (1) F = ±1%, G = ±2%, H = ±2.5%, J = ±5%, K = ±10% for Legacy Part Number.
 (2) Insert lead and packaging code. See table for available options.
 (3) F = ±1%, G = ±2%, R = ±2.5%, J = ±5%, K = ±10% for New Kemet Part Number.

Table 1 – Ratings & Part Number Reference cont.

VDC	VAC	Cap Value (µF)	Maximum Dimensions in mm			Lead Spacing (S)	dV/dt (V/µs)	Size Code (New/Legacy)	KEMET Part Number	Legacy Part Number
			T	H	L					
250	160	0.0010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH102(3)250(2)	PFR5102(1)250J11(2)
250	160	0.0015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH152(3)250(2)	PFR5152(1)250J11(2)
250	160	0.0022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH222(3)250(2)	PFR5222(1)250J11(2)
250	160	0.0033	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK332(3)250(2)	PFR5332(1)250J12(2)
250	160	0.0047	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR472(3)250(2)	PFR5472(1)250J13(2)
250	160	0.0068	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR682(3)250(2)	PFR5682(1)250J13(2)
400	220	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)400(2)	PFR5101(1)400J11(2)
400	220	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)400(2)	PFR5151(1)400J11(2)
400	220	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)400(2)	PFR5221(1)400J11(2)
400	220	0.00033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH331(3)400(2)	PFR5331(1)400J11(2)
400	220	0.00047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH471(3)400(2)	PFR5471(1)400J11(2)
400	220	0.00068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH681(3)400(2)	PFR5681(1)400J11(2)
400	220	0.0010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH102(3)400(2)	PFR5102(1)400J11(2)
400	220	0.0015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH152(3)400(2)	PFR5152(1)400J11(2)
400	220	0.0022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH222(3)400(2)	PFR5222(1)400J11(2)
400	220	0.0033	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK332(3)400(2)	PFR5332(1)400J12(2)
400	220	0.0047	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR472(3)400(2)	PFR5472(1)400J13(2)
400	220	0.0068	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR682(3)400(2)	PFR5682(1)400J13(2)
630	250	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)630(2)	PFR5101(1)630J11(2)
630	250	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)630(2)	PFR5151(1)630J11(2)
630	250	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)630(2)	PFR5221(1)630J11(2)
630	250	0.00033	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH331(3)630(2)	PFR5331(1)630J11(2)
630	250	0.00047	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH471(3)630(2)	PFR5471(1)630J11(2)
630	250	0.00068	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH681(3)630(2)	PFR5681(1)630J11(2)
630	250	0.0010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH102(3)630(2)	PFR5102(1)630J11(2)
630	250	0.0015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH152(3)630(2)	PFR5152(1)630J11(2)
630	250	0.0022	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK222(3)630(2)	PFR5222(1)630J12(2)
630	250	0.0033	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR332(3)630(2)	PFR5332(1)630J13(2)
630	250	0.0047	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR472(3)630(2)	PFR5472(1)630J13(2)
1000	250	0.00010	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH101(3)1K0(2)	PFR5101(1)1000J11(2)
1000	250	0.00015	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH151(3)1K0(2)	PFR5151(1)1000J11(2)
1000	250	0.00022	4.5	6.0	7.2	5	1,000	JH/J11	F411JH221(3)1K0(2)	PFR5221(1)1000J11(2)
1000	250	0.00033	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK331(3)1K0(2)	PFR5331(1)1000J12(2)
1000	250	0.00047	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK471(3)1K0(2)	PFR5471(1)1000J12(2)
1000	250	0.00068	5.5	7.0	7.2	5	1,000	JK/J12	F411JK681(3)1K0(2)	PFR5681(1)1000J12(2)
1000	250	0.0010	6.5	8.0	7.2	5	1,000	JR/J13	F411JR102(3)1K0(2)	PFR5102(1)1000J13(2)
VDC	VAC	Cap Value (µF)	T (mm)	H (mm)	L (mm)	Lead Spacing (S)	dV/dt (V/µs)	Size Code (New/Legacy)	KEMET Part Number	Legacy Part Number

- (1) F = ±1%, G = ±2%, H = ±2.5%, J = ±5%, K = ±10% for Legacy Part Number.
 (2) Insert lead and packaging code. See table for available options.
 (3) F = ±1%, G = ±2%, R = ±2.5%, J = ±5%, K = ±10% for New Kemet Part Number.

Soldering Process

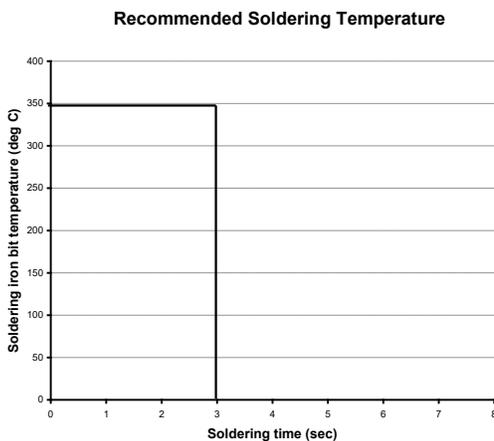
The implementation of the RoHS directive has resulted in the selection of SnAgCu (SAC) alloys or SnCu alloys as primary solder. This has increased the liquidus temperature from that of 183°C for SnPb eutectic alloy to 217 – 221°C for the new alloys. As a result, the heat stress to the components, even in wave soldering, has increased considerably due to higher pre-heat and wave temperatures. Polypropylene capacitors are especially sensitive to heat (the melting point of polypropylene is 160 – 170°C). Wave soldering can be destructive, especially for mechanically small polypropylene capacitors (with lead spacing of 5 mm to 15 mm), and great care has to be taken during soldering. The recommended solder profiles from KEMET should be used. Please consult KEMET with any questions. In general, the wave soldering curve from IEC Publication 61760-1 Edition 2 serves as a solid guideline for successful soldering. Please see Figure 1.

Reflow soldering is not recommended for through-hole film capacitors. Exposing capacitors to a soldering profile in excess of the above the recommended limits may result to degradation or permanent damage to the capacitors.

Do not place the polypropylene capacitor through an adhesive curing oven to cure resin for surface mount components. Insert through-hole parts after the curing of surface mount parts. Consult KEMET to discuss the actual temperature profile in the oven, if through-hole components must pass through the adhesive curing process. A maximum two soldering cycles is recommended. Please allow time for the capacitor surface temperature to return to a normal temperature before the second soldering cycle.

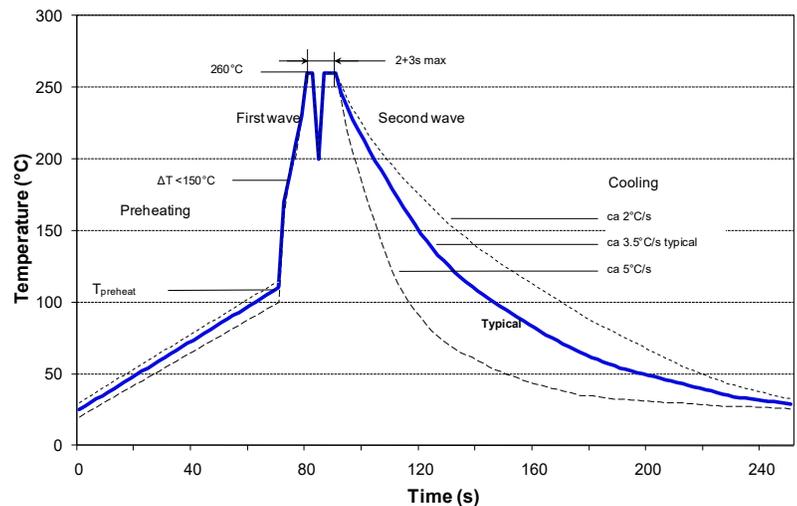
Manual Soldering Recommendations

Following is the recommendation for manual soldering with a soldering iron.



The soldering iron tip temperature should be set at 350°C (+10°C maximum) with the soldering duration not to exceed more than 3 seconds.

Wave Soldering Recommendations



Soldering Process cont.

Wave Soldering Recommendations cont.

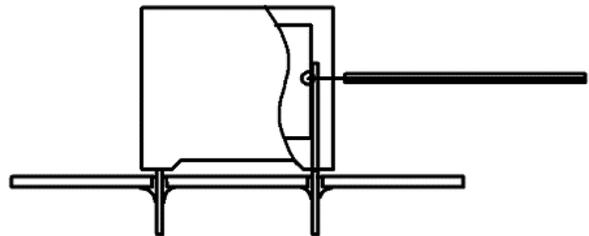
1. The table indicates the maximum set-up temperature of the soldering process
Figure 1

Dielectric Film Material	Maximum Preheat Temperature			Maximum Peak Soldering Temperature	
	Capacitor Pitch ≤ 10 mm	Capacitor Pitch = 15 mm	Capacitor Pitch > 15 mm	Capacitor Pitch ≤ 15 mm	Capacitor Pitch > 15 mm
Polyester	130°C	130°C	130°C	270°C	270°C
Polypropylene	100°C	110°C	130°C	260°C	270°C
Paper	130°C	130°C	140°C	270°C	270°C
Polyphenylene Sulphide	150°C	150°C	160°C	270°C	270°C

2. The maximum temperature measured inside the capacitor:

Set the temperature so that inside the element the maximum temperature is below the limit:

Dielectric Film Material	Maximum temperature measured inside the element
Polyester	160°C
Polypropylene	110°C
Paper	160°C
Polyphenylene Sulphide	160°C



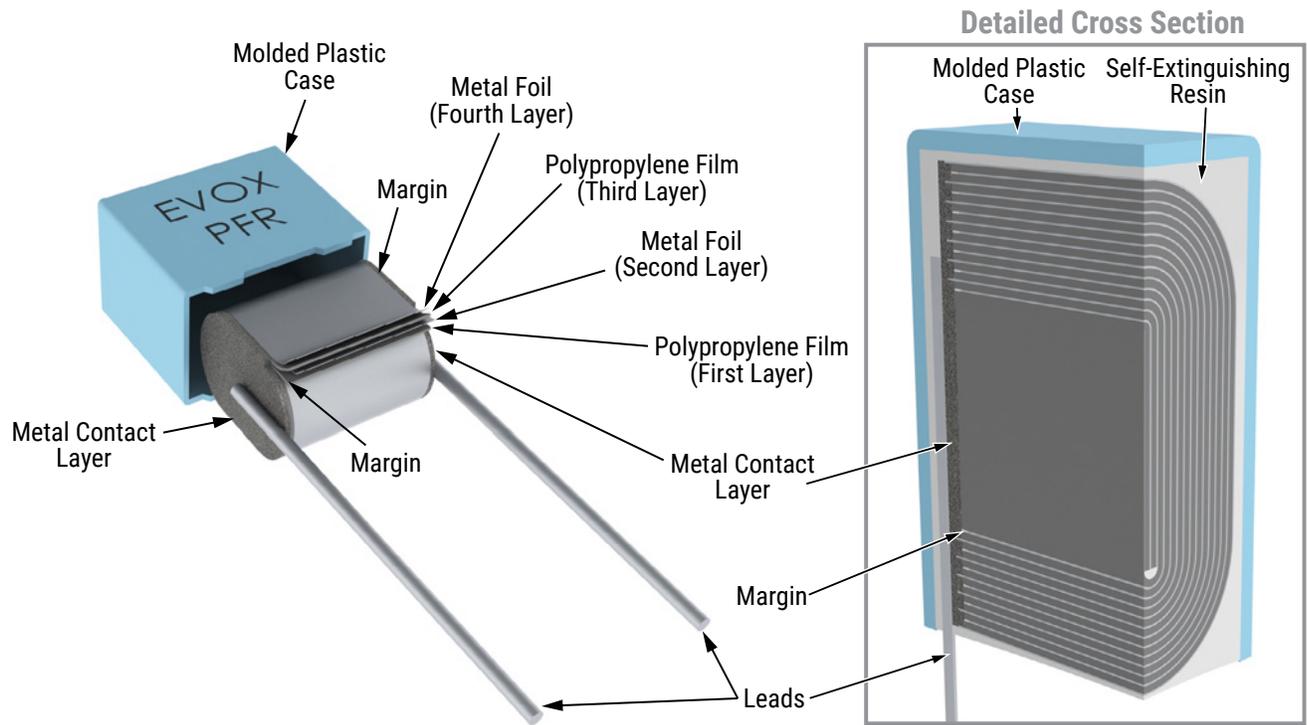
Temperature monitored inside the capacitor.

Selective Soldering Recommendations

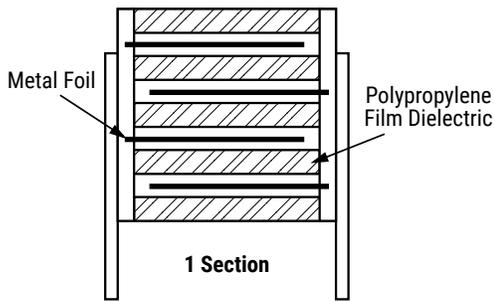
Selective dip soldering is a variation of reflow soldering. In this method, the printed circuit board with through-hole components to be soldered is preheated and transported over the solder bath as in normal flow soldering without touching the solder. When the board is over the bath, it is stopped and pre-designed solder pots are lifted from the bath with molten solder only at the places of the selected components, and pressed against the lower surface of the board to solder the components.

The temperature profile for selective soldering is similar to the double wave flow soldering outlined in this document, **however, instead of two baths, there is only one bath with a time from 3 to 10 seconds.** In selective soldering, the risk of overheating is greater than in double wave flow soldering, and great care must be taken so that the parts are not overheated.

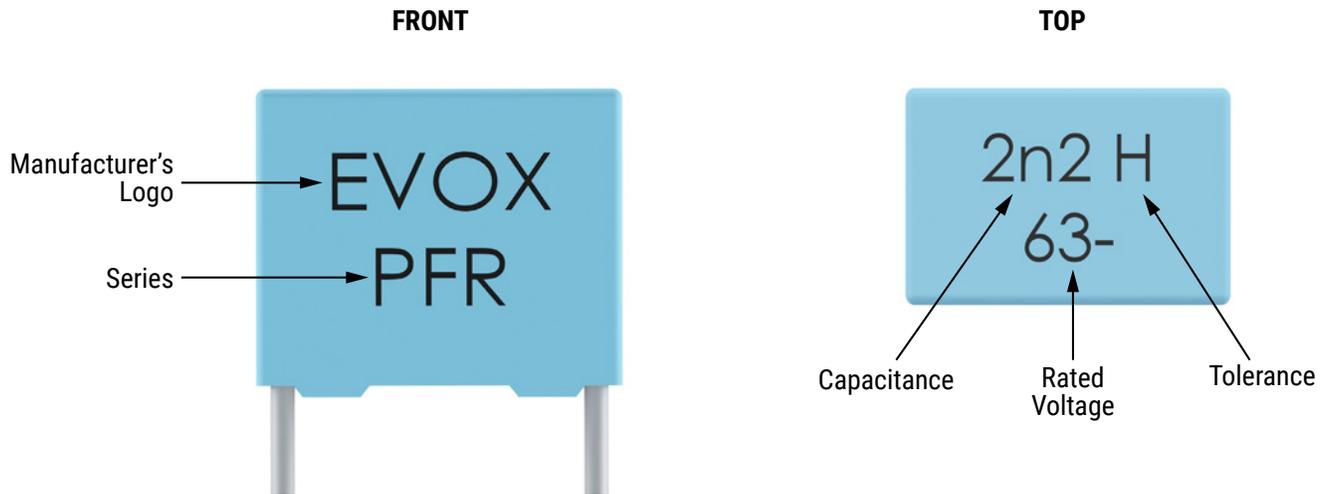
Construction



Winding Scheme



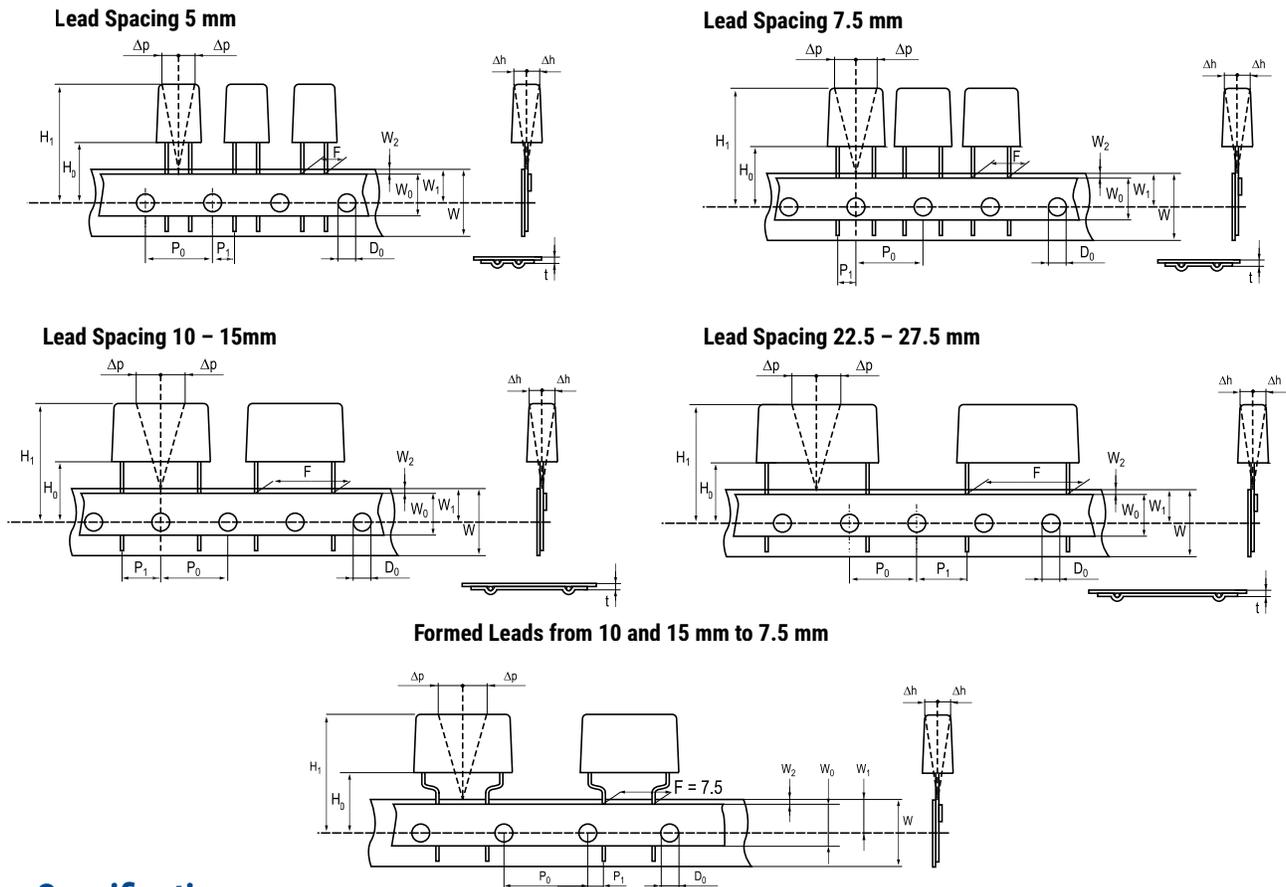
Marking



Packaging Quantities

KEMET Size Code	Legacy Size Code	Lead Spacing	Thickness (mm)	Height (mm)	Length (mm)	Bulk Short Leads	Bulk Long Leads	Standard Reel ø 360 mm	Large Reel ø 500 mm	Ammo
JF	J01	5	2.5	6.5	7.2	2,000	2,000	2,500	5,000	3,000
JJ	J02		3.5	8	7.2	2,000	2,000	2,000	4,000	2,000
JL	J03		4.5	9	7.2	1,000	1,000	1,500	3,000	1,700
JQ	J04		5	10	7.2	1,000	1,000	1,300	2,600	1,500
JT	J05		6	11	7.2	1,000	1,000	1,000	2,000	1,200
JU	J06		7.2	13	7.2	1,000	1,000	800	1,600	-
JH	J11		4.5	6	7.2	1,000	1,000	1,500	3,000	1,700
JK	J12		5.5	7	7.2	1,000	1,000	1,200	2,400	1,300
JR	J13		6.5	8	7.2	1,000	1,000	900	1,800	1,100

Lead Taping & Packaging (IEC 60286-2)



Taping Specification

Dimensions in mm										Standard IEC 60286-2
Lead Spacing	+0.6/-0.1	F	5	7.5	Formed 7.5	10	15	22.5	27.5	F
Carrier Tape Width	±0.5	W	18	18	18	18	18	18	18	18±1/-0.5
Hold-down Tape Width	Minimum	W_0	5	5	5	5	5	5	5	
Position of Sprocket Hole	±0.5	W_1	9	9	9	9	9	9	9	9±0.75/-0.5
Distance Between Tapes	Maximum	W_2	3	3	3	3	3	3	3	3
Sprocket Hole Diameter	±0.2	D_0	4	4	4	4	4	4	4	4
Feed Hole Lead Spacing	±0.3	P_0 (1)	12.7	12.7	12.7 (4)	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
Distance Lead - Feed Hole	±0.7	P_1	3.85	3.75	3.75	7.7	5.2	5.3	5.3	P1
Deviation Tape - Plane	Maximum	Δp	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Lateral Deviation	Maximum	Δh	2	2	2	2	2	2	2	2
Total Thickness	±0.2	t	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9 Maximum	0.9 Maximum	0.9 Maximum
Sprocket Hole/Cap Body	Nominal	H_0 (2)	18.5±0.5	18.5±0.5	18.5±0.5	18.5±0.5	18.5±0.5	18.5±0.5	18.5±0.5	18.0±2/-0
Sprocket Hole/Top of Cap Body	Maximum	H_1 (3)	32	31	43	43	43	58	58	58 Maximum

(1) Maximum cumulative feed hole error, 1 mm per 20 parts

(2) 16.5 mm available on request

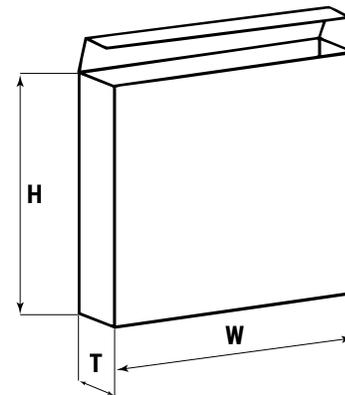
(3) Depending on case size

(4) 15 mm available on request

Lead Taping & Packaging (IEC 60286-2) cont.

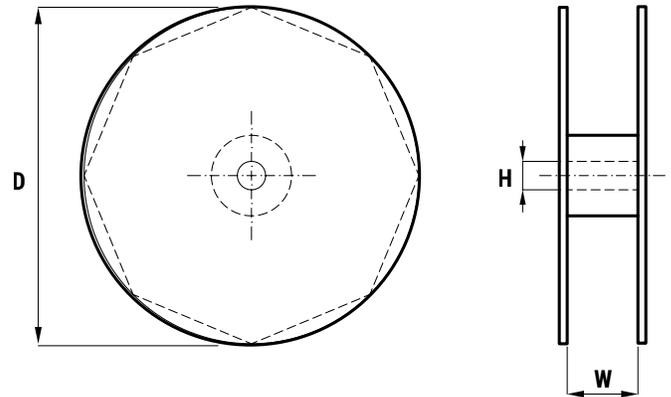
Ammo Specifications

Series	Dimensions (mm)		
	H	W	T
R4x, R4x+R, R7x, RSB	360	340	59
F5A, F5B, F5D			
F6xx, F8xx			
PHExxx, PMExxx, PMRxxx, SMR & PFR	330	330	50



Reel Specifications

Series	Dimensions (mm)		
	D	H	W
R4x, R4x+R, R7x, RSB	355 500	30	55 (Max)
F5A, F5B, F5D		25	
F6xx, F8xx			
PHExxx, PMExxx, PMRxxx, SMR & PFR	360 500	30	46 (Max)



Manufacturing Date Code (IEC-60062)

Y = Year, Z = Month			
Year	Code	Month	Code
2010	A	January	1
2011	B	February	2
2012	C	March	3
2013	D	April	4
2014	E	May	5
2015	F	June	6
2016	H	July	7
2017	J	August	8
2018	K	September	9
2019	L	October	0
2020	M	November	N
2021	N	December	D
2022	P		
2023	R		
2024	S		
2025	T		
2026	U		
2027	V		
2028	W		
2029	X		
2030	A		

KEMET Electronics Corporation Sales Offices

For a complete list of our global sales offices, please visit www.kemet.com/sales.

Disclaimer

All product specifications, statements, information and data (collectively, the "Information") in this datasheet are subject to change. The customer is responsible for checking and verifying the extent to which the Information contained in this publication is applicable to an order at the time the order is placed. All Information given herein is believed to be accurate and reliable, but it is presented without guarantee, warranty, or responsibility of any kind, expressed or implied.

Statements of suitability for certain applications are based on KEMET Electronics Corporation's ("KEMET") knowledge of typical operating conditions for such applications, but are not intended to constitute – and KEMET specifically disclaims – any warranty concerning suitability for a specific customer application or use. The Information is intended for use only by customers who have the requisite experience and capability to determine the correct products for their application. Any technical advice inferred from this Information or otherwise provided by KEMET with reference to the use of KEMET's products is given gratis, and KEMET assumes no obligation or liability for the advice given or results obtained.

Although KEMET designs and manufactures its products to the most stringent quality and safety standards, given the current state of the art, isolated component failures may still occur. Accordingly, customer applications which require a high degree of reliability or safety should employ suitable designs or other safeguards (such as installation of protective circuitry or redundancies) in order to ensure that the failure of an electrical component does not result in a risk of personal injury or property damage.

Although all product-related warnings, cautions and notes must be observed, the customer should not assume that all safety measures are indicated or that other measures may not be required.

KEMET is a registered trademark of KEMET Electronics Corporation.

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

KEMET:

[PFR5101J1000J11L4BULK](#) [PFR5151J1000J11L4BULK](#) [PFR5221J1000J11L4BULK](#) [PFR5331J1000J12L4BULK](#)
[PFR5471J1000J12L4BULK](#) [PFR5681J1000J12L4BULK](#) [PFR5102J1000J13L4BULK](#) [PFR5101J630J11L4BULK](#)
[PFR5151J630J11L4BULK](#) [PFR5221J630J11L4BULK](#) [PFR5331J630J11L4BULK](#) [PFR5471J630J11L4BULK](#)
[PFR5681J630J11L4BULK](#) [PFR5102J630J11L4BULK](#) [PFR5152J630J11L4BULK](#) [PFR5222J630J12L4BULK](#)
[PFR5332J630J13L4BULK](#) [PFR5472J630J13L4BULK](#) [PFR5101J400J11L4BULK](#) [PFR5151J400J11L4BULK](#)
[PFR5221J400J11L4BULK](#) [PFR5331J400J11L4BULK](#) [PFR5471J400J11L4BULK](#) [PFR5681J400J11L4BULK](#)
[PFR5102J400J11L4BULK](#) [PFR5152J400J11L4BULK](#) [PFR5222J400J11L4BULK](#) [PFR5332J400J12L4BULK](#)
[PFR5472J400J13L4BULK](#) [PFR5682J400J13L4BULK](#) [PFR5101J250J11L4BULK](#) [PFR5151J250J11L4BULK](#)
[PFR5221J250J11L4BULK](#) [PFR5331J250J11L4BULK](#) [PFR5471J250J11L4BULK](#) [PFR5681J250J11L4BULK](#)
[PFR5102J250J11L4BULK](#) [PFR5152J250J11L4BULK](#) [PFR5222J250J11L4BULK](#) [PFR5332J250J12L4BULK](#)
[PFR5472J250J13L4BULK](#) [PFR5682J250J13L4BULK](#) [PFR5101J100J11L4BULK](#) [PFR5151J100J11L4BULK](#)
[PFR5221J100J11L4BULK](#) [PFR5331J100J11L4BULK](#) [PFR5471J100J11L4BULK](#) [PFR5681J100J11L4BULK](#)
[PFR5102H100J11L4BULK](#) [PFR5102J100J11L4BULK](#) [PFR5152J100J11L4BULK](#) [PFR5222J100J11L4BULK](#)
[PFR5332J100J12L4BULK](#) [PFR5472J100J12L4BULK](#) [PFR5682J100J13L4BULK](#) [PFR5103J100J13L4BULK](#)
[PFR5101J63J11L4BULK](#) [PFR5151J63J11L4BULK](#) [PFR5221J63J11L4BULK](#) [PFR5331J63J11L4BULK](#)
[PFR5471J63J11L4BULK](#) [PFR5561F63J11L4BULK](#) [PFR5561J63J11L4BULK](#) [PFR5681J63J11L4BULK](#)
[PFR5102J63J11L4BULK](#) [PFR5152J63J11L4BULK](#) [PFR5222J63J11L4BULK](#) [PFR5332J63J11L4BULK](#)
[PFR5472J63J11L4BULK](#) [PFR5682J63J11L4BULK](#) [PFR5103J63J12L4BULK](#) [PFR5153J63J13L4BULK](#)
[PFR5203J63J13L4BULK](#) [PFR5223J63J13L4BULK](#) [PFR5102F100J11L4BULK](#) [PFR5102H250J11L4BULK](#)
[PFR5103H63J12L4BULK](#) [PFR5221H100J11L4BULK](#) [PFR5332H100J12L4BULK](#) [PFR5471H100J11L4BULK](#)
[PFR5472H63J11L4BULK](#) [PFR5221J63J11L16.5TR18](#) [PFR5821J63J11L16.5TA16](#) [PFR5103G63J12L4BULK](#)
[PFR5101J100J11L16.5TA18](#) [PFR5681J100J11L16.5TR18](#) [PFR5102H1000J13L4BULK](#) [PFR5472F63J11L16.5TR18](#)
[PFR5472F63J11L4BULK](#) [PFR5681H630J11L4BULK](#) [PFR5332J63J11L16.5TR18](#) [PFR5471K400J11L4BULK](#)
[PFR5681F63J11L4BULK](#) [PFR5152H100J11L4BULK](#) [PFR5102J100J11L16.5TR18](#) [PFR5102F63J11L4BULK](#)
[PFR5103G100J13L4BULK](#) [F411JH102G063C](#) [PFR5682F63J11L4Bulk](#) [PFR5682G63J11L4Bulk](#)