

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**
Option : **Electrotechnique industrielle**

Présenté par
MESBAH KAHINA
Et
KHELOUFI YOUNES

Thème
**Etude et conception d'un chargeur de batterie
photovoltaïque**

Mémoire soutenu publiquement le 27/09/2018 devant le jury composé de :

Mr Djamel ZIANE
MCB, UMMTO, Président

Mr Nabil BENYAHIA
MCA, UMMTO, Encadreur

Mr Riadh MOUALEK
doctorant, UMMTO, CO - Encadreur

M^{elle} Malika LOUANCHI
MAA, UMMTO, Examinatrice

M^{elle} Nacera YASSA
MAA, UMOB, Examinatrice

Remerciement

D'abords nous remercions le dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force physique et morale pour accomplir ce travail.

*Nous tenons à remercier notre promoteur Mr **N.BENYAHIA** de nous avoir encadrés, sa confiance en nous et son aide.*

*Et le Co-promoteur Mr **R.MOUALEK** pour son aide tout au long de notre travail et ses conseils.*

*Nos vifs remerciements vont également à tous les membres de jury M^{elle} **M.LOUANCHI** et M^{elle} **N.YASSA** et le président Mr **D.ZIANE** qui ont acceptés d'examiner notre travail*

Un grand merci à nos très chère famille, vous qui nous ont toujours soutenues et encouragées de loin, pour vos prières et la confiance que vous avez en nous.

Et sans oublier ceux qui ont contribué de près ou de loin.

Dédicaces

Je tiens à dédie ce modeste travail à toutes personnes qui

Me sont chères :

*Mes très chers parents pour leur sacrifice et leur soutien et tous ce
qu'ils m'ont offerts durant toutes mes années d'étude,*

A mes sœurs KAHINA et LAMIA et à mon frère JUGURTHA,

Et à tous mes amis.

ET à mon binôme KAHINA

K. Younes

Dédicaces

Je tiens à dédie ce modeste travail à toutes personnes qui

Me sont chères :

*Mes très chers parents pour leur sacrifice et leur soutien et tous ce
qu'ils m'ont offerts durant toutes mes années d'étude,*

A mes adorables sœurs (Fatiha et Yasmine) et à Sofianiw,

*A mon binôme Younes qui m'a donné du courage malgré les difficultés
qu'on a rencontré*

A tous mes amis et à toute la promotion ETH.

M.Kahina

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre I: généralités sur les systèmes photovoltaïques	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque.....	3
I.3 Caractéristiques du Rayonnement Solaire	4
I.4 Différents types de systèmes photovoltaïques	4
I.4.1 Installations autonomes	4
I.4.2 Centrales électriques photovoltaïques connectées au réseau	5
I.4.3 Centrales électriques photovoltaïques hybrides	6
I.5 Générateur photovoltaïque	6
I.6 La Cellule photovoltaïque	8
I.6.1 Principe de fonctionnement d'une cellule PV	9
I.6.2 Les différents types de cellules	10
I.7 Caractéristique courant tension	11
I.7.1 Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I-V)	12
I.7.2 Influence de la température sur la caractéristique (I-V).....	13
I.8 Paramètre des cellules photovoltaïques	14
I.9 Association des cellules photovoltaïques	16
I.9.1 Association série	16
I.9.2 Association parallèle	17
I.10 Avantages et Inconvénients du panneau solaire	18
I.11 Conclusion	19
Chapitre II : les dispositifs de stockage de l'énergie électrique	
II.1 Introduction	20
II.2 La batterie	20
II.2.1 Caractéristiques de la batterie	21
II.2.2 Les phases de fonctionnement d'une batterie	23
II.3 Les différents types de batteries d'accumulateurs	24
II.3.1 La batterie au plomb	25
II.3.1.1 Principe de fonctionnement de l'accumulateur au plomb ouvert.....	27
II.3.1.2 Famille technologique de la batterie au plomb.....	30

II.3.1.3 Les avantages et inconvénients de la batterie plomb acide.....	32
II.3.2 Les accumulateurs Nickel-Cadmium	33
II.3.3 Les batteries au lithium Ion (Li-Ion)	34
II.4 Le choix de la batterie à utiliser dans notre système.....	35
II.5 Différents types de profil de charge d'une batterie	36
II.5.1 Profil standard pour les batteries au plomb ouvertes	37
II.5.2 Profil standard pour les batteries au plomb « étanche » ou à recombinaison	38
II.5.3 Profil standard pour les batteries Ni-Cd: étanches par définition	39
II.6 Perspectives pour augmenter la durée de vie de la batterie.....	40
II.7 Conclusion	41

Chapitre III : conception du chargeur solaire

III.1 Introduction	42
III.2 Présentation du système	42
III.3 La source (Panneau photovoltaïque).....	43
III.4 Partie de puissance	44
III.4.1 Convertisseur dévolteur (Buck converter)	45
III.4.2 Dimensionnement de la bobine et du condensateur du convertisseur BUCK.....	46
III.4.3 Commande du convertisseur	47
III.4.3.1 Commande numérique PWM	47
III.4.4 La carte Driver du convertisseur BUCK	48
III.5 La partie capteurs à effet hall.....	50
III.5.1 Le capteur de courant LA55-P	50
III.5.2 Le capteur de tension LV25-P.....	51
III.5.3 Amplificateur opérationnel en montage SUIVER.....	53
III.6 Partie commande par pic 16F877A	54
III.6.1 Présentation du Microcontrôleur pic 16F877A	54
III.6.2 Les périphériques du PIC16f877A	55
III.6.3 Commandes de l'interface	57
III.6.3.1 Afficheur LCD	57
III.6.3.2 Affichage des grandeurs sur l'afficheur LCD	58
III.7 La partie Alimentation	59
III.7.1 Fonctionnement du montage.....	60

III.7.2 Outils de programmation d'unPIC 16f877A	61
III.8 Simulation sur Proteus	63
III.9 Conclusion.....	63
Conclusion générale	64

LISTE DES FIGURES

Fig(I.1) : Schémas d'une installation autonome.....	5
Fig(I.2) : Centrales électriques photovoltaïques raccordées au réseau	6
Fig(I.3) : Cellules photovoltaïques.....	7
Fig(I.4) : Principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque	8
Fig(I.5) : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque.....	8
Fig(I.6) : Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.....	10
Fig(I.7) : Caractéristiques courant-tension d'une cellule.....	12
Fig(I.8) : Caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différents éclaircements.....	12
Fig(I.9) : Caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différentes températures	13
Fig(I.10) : Association série de cellules PV	16
Fig(I.11) : Caractéristique U-I des cellules en Association en série	17
Fig(I.12) : Association parallèle des cellules PV	17
Fig(I.13) : Caractéristique U-I des cellules en Association parallèles	18
Fig(II.1) : Liaison en série des éléments de batterie.....	21
Fig(II.2) : Vue éclatée d'une batterie au plomb.....	25
Fig(II.3) : Réaction chimique lors d'une décharge de la batterie au plomb	28
Fig(II.4) : Réaction chimique lors d'une charge de la batterie au plomb	29
Fig(II.5) : Accumulateur Nickel-Cadmium.....	33
Fig(II.6) : Accumulateur Nickel-Cadmium.....	35
Fig(II.7) : Profil de charge de type I-W-I.....	38
Fig(II.8) : Profil de charge d'un élément de batteries ou plomb « étanche »	39
Fig(III.1) : Schéma synoptique du chargeur solaire	43
Fig(III.2) : Association série de PV branché au chargeur	43
Fig(III.3) : Schéma sur ISIS PROTEUS de la partie puissance du chargeur solaire	44
Fig(III.4) : Schéma équivalent d'un hacheur série	45
Fig(III.5) : Signal de sortie d'une commande PWM	48
Fig(III.6) : Circuit de fonctionnement 4N25	49
Fig(III.7) : Circuit de fonctionnement du IR21094.....	49
Fig(III.8) : Circuit de fonctionnement du LA55-P	50
Fig(III.9) : Circuit de fonctionnement du LV25.....	52
Fig(III.10) : Circuit de fonctionnement d'un amplificateur en mode suiveur.....	54

Fig(III.11) : PIC 16F877-A	55
Fig(III.12) : Afficheur LCD 2 lignes de 16 caractères	57
Fig(III.13) : Partie alimentation 5V & 15/-15V sur ISIS PROTEUS	60
Fig(III.14) : Partie alimentation 15V sur ISIS PROTEUS.....	60

LISTE DES SYMBOLES

R_s : Résistance qui représente les diverses résistances de contact et de connexion.

R_{sh} : Résistance qui caractérise le courant de fuite.

$P_{max.idéal}$: La puissance idéale fournie par la cellule PV.

V_{CO} : La tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{CC} : Le courant de court-circuit débité par la cellule PV.

V_{max} : La tension au point de puissance maximal.

I_{max} : L'intensité de courant au point de puissance maximal.

P_{max} : Point de puissance maximal.

P_{in} : La puissance maximale mesurée dans les conditions STC.

η : Le rendement d'une cellule photovoltaïque.

F.F : Le facteur de forme ou le facteur de remplissage.

I_{SCC} : Le courant de court-circuit de N_s cellules en série.

V_{SCO} : La tension de circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{pc} : Le courant de court-circuit de N_p cellules en parallèles.

V_{pc} : La tension de circuit ouvert de N_p cellules en parallèles.

V_{batt} : Tension aux bornes de la batterie.

I_{batt} : Courant de la batterie.

C_n : Capacité nominale de la batterie en A/h.

Q_0 : Capacité de la batterie en A/h.

E_0 : Tension à vide de la batterie aux conditions normales de température et de pression (298k et 1 ATM) [V]

R_{batt} : Résistance aux bornes de la batterie.

K : constant de polarisation.

A : amplitude de zone de la batterie

B : constant de temps propre a la zone en [Ah]

$I_{charmax}$: Courant de charge maximal.

$I_{Dechmax}$: Courant de décharge maximal.

SOC: état de charge de la batterie compris entre [0 ;1]

V_e : Tension à l'entrée du chargeur solaire.

V_s : Tension maximal à la sortie du chargeur solaire.

α : Le rapport cyclique de conduction

$\square V_s$: Ondulation de la tension.

$\square I_s$: Ondulation de courant.

f_s : Fréquence à la sortie du chargeur.

I_n : Courant nominal débité par chargeur.

P_{n1} : La puissance nominale dissipée dans R_m du capteur de courant.

P_{n2} : La puissance nominale dissipée dans R_m du capteur de tension.

P_{nr1} : La puissance nominale dissipée dans R_1 du capteur de tension.

V_m : La tension à l'entrée du transformateur d'alimentation.

f : Fréquence du réseau d'alimentation du transformateur.

V_T : tension de seuil du régulateur de tension.

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale :

En plaçant deux électrodes métalliques dans un liquide conducteur et en exposant l'ensemble au rayonnement solaire, on peut mesurer une faible tension. C'est ainsi que fut découvert l'effet photovoltaïque en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel. Ce fut donc la première fois que l'énergie solaire a été transformée en énergie électrique. Dans les années 1880, l'américain Charles FRITTS mit au point les premières cellules solaires au silicium. Les investigations sur le silicium, les tentatives pour l'isoler, le purifier, mettre en œuvre ses propriétés physiques, commencèrent avant 1910. Einstein en expliqua les mécanismes en 1912, mais ce n'est qu'entre 1930 et 1945 qu'un premier procédé industriel de purification par refroidissement progressif du silicium fondu fut mis au point. En 1954, deux chercheurs des laboratoires américains Bell, Darryl Chapin et Carl Fuller, annoncèrent au public que des cellules solaires à base de silicium avaient été obtenues avec un rendement de 6%. Bien que ces deux scientifiques arrivèrent par la suite à fabriquer en laboratoire des cellules à 15% de rendement, ils rencontrèrent des obstacles économiques et les laboratoires Bell abandonnèrent leurs efforts de recherche pour diminuer les coûts de fabrication.[1]

Le projet que nous avons choisi d'étudier et la conception d'un chargeur de batterie solaire directement alimenté par un panneau photovoltaïque et avec l'hypothèse simplificatrice que le panneau photovoltaïque fonctionne dans le point de fonctionnement à puissance maximal avec une tension maximale constante $V_{max}=36V$. À partir de cette hypothèse, nous avons fondé notre mémoire en trois chapitres.

Le premier chapitre donne des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, l'énergie photovoltaïque ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants. Les avantages et les inconvénients du photovoltaïque sont cités, et la description de la cellule photovoltaïque.

Pour le deuxième chapitre on s'intéresse en particulier à présenter les différentes technologies de batteries utilisées pour le stockage de l'énergie en insistant sur les spécificités de chacune d'elles et sur leurs caractéristiques générales comme leurs profils de charges. Toutes ces généralités sont pour objet d'orienter le comportement de l'utilisateur afin de préserver et

Introduction Générale

d'utiliser au mieux le capital que constituent les batteries.

Après une brève étude du panneau photovoltaïque et de la batterie mis à disposition, dans le troisième chapitre nous allons réfléchir à une structure intelligente permettant à partir du panneau de charger une batterie en toute sécurité et surtout la communication avec l'utilisateur via interfaces de communications. Dans une première partie nous présenterons le projet, ensuite nous étudierons le montage. Notre étude débutera par une présentation du projet partie par partie et une étude approfondie de chacun des structures utilisées, puis nous définirons les différents composants et les principales caractéristiques qu'ils représentent et à la fin les résultats de simulations réalisées à partir du logiciel Proteus.

Chapitre I :

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie qui dépend de la lumière du soleil, elle fait partie des nouvelles sources d'énergies renouvelables non polluantes; Elle désigne l'énergie récupérée par des panneaux solaires et transformée en électricité, C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète. En effet, cette électricité produite par des cellules photovoltaïques individuelles peut alimenter diverses charges continues sans difficulté. Dans ce chapitre nous décrivons un système photovoltaïque, le principe de fonctionnement et ses caractéristiques et principe de fonctionnement.

I.2 Généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque eut un regain d'intérêt dans les années 1950 lors des premiers lancements spatiaux de satellites (Vanguard I, 1958). Les crises économiques des années 1970 (flambée des prix du pétrole, 1973) puis les accidents des centrales nucléaires tels ceux de Three Mile Island (USA, 1979) ou de Tchernobyl (URSS, 1986) renforcèrent l'intérêt envers les énergies renouvelables, en particulier l'énergie photovoltaïque qui s'impose comme une des sources d'énergies renouvelables les plus prometteuses[1].

Deux types de technologie se partagent la quasi-totalité du marché mondial : les photopiles couches minces et les photopiles cristallines avec toujours le silicium comme matériau semi-conducteur. Les photopiles couches minces utilisent en grande majorité le silicium amorphe hydrogéné, les photopiles cristallines utilisent le silicium monocristallin et poly cristallin.

Actuellement, on peut citer quelques-uns des nouveaux axes de recherches dans le domaine de l'énergie photovoltaïque tels que:

- Recours à de nouveaux nano-matériaux pour une meilleure absorption des rayons du soleil.
- Fabrication de cellules solaires flexibles.

L'énergie solaire fait partie des nouvelles sources d'énergies renouvelables. Elle provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

électrique par l'intermédiaire d'une cellule photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Il consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série ou en parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale. Lorsque les installations photovoltaïques sont connectées à un réseau de distribution, la revente de l'énergie solaire produite est possible. Par contre, les installations non connectées peuvent directement consommer d'électricité produite ou il faut bien lastocker.

I.3 Caractéristiques du Rayonnement Solaire

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (environ 100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes. Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo-nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 KW. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 KW.

Le rayonnement solaire est la transformation du flux d'énergie solaire qui est la base du dimensionnement de tout système solaire. Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. Ce spectre est composé de grains de lumière appelés "photons" et l'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde [2].

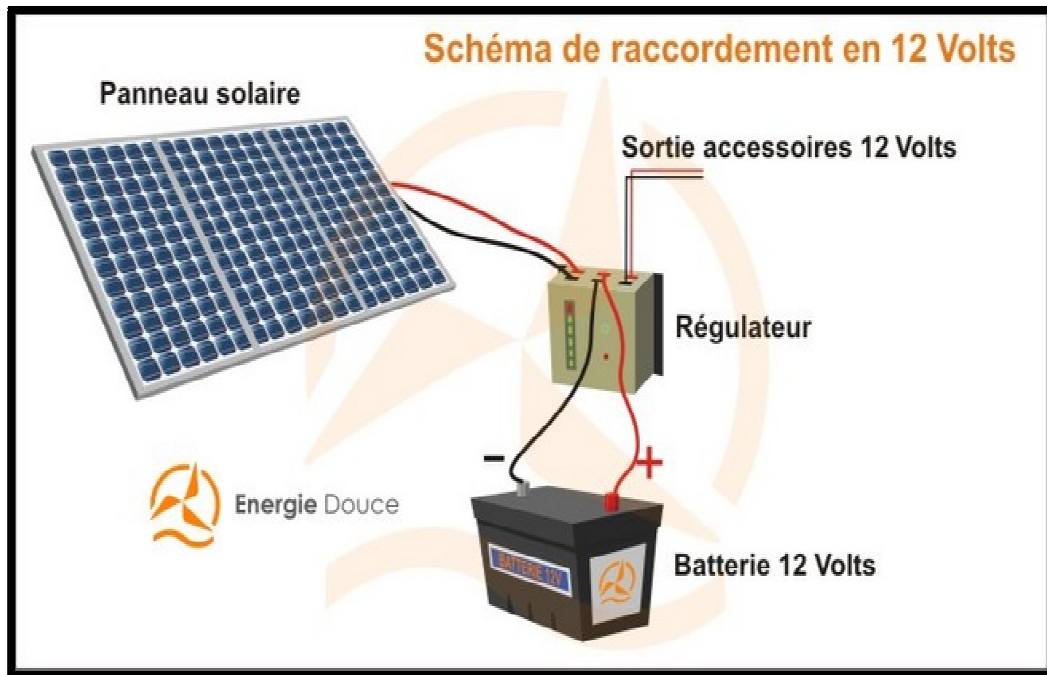
I.4 Différents types de systèmes photovoltaïques

I.4.1 Installations autonomes

Une installation photovoltaïque (PV) dite autonome est tout système dépendant uniquement de l'énergie solaire comme source d'énergie électrique et qui peut être reliée à un réseau de distribution électrique représentée sur figure (I.1), qui peut fournir du courant électrique à des endroits isolés. Ces systèmes peuvent comporter des accumulateurs qui

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

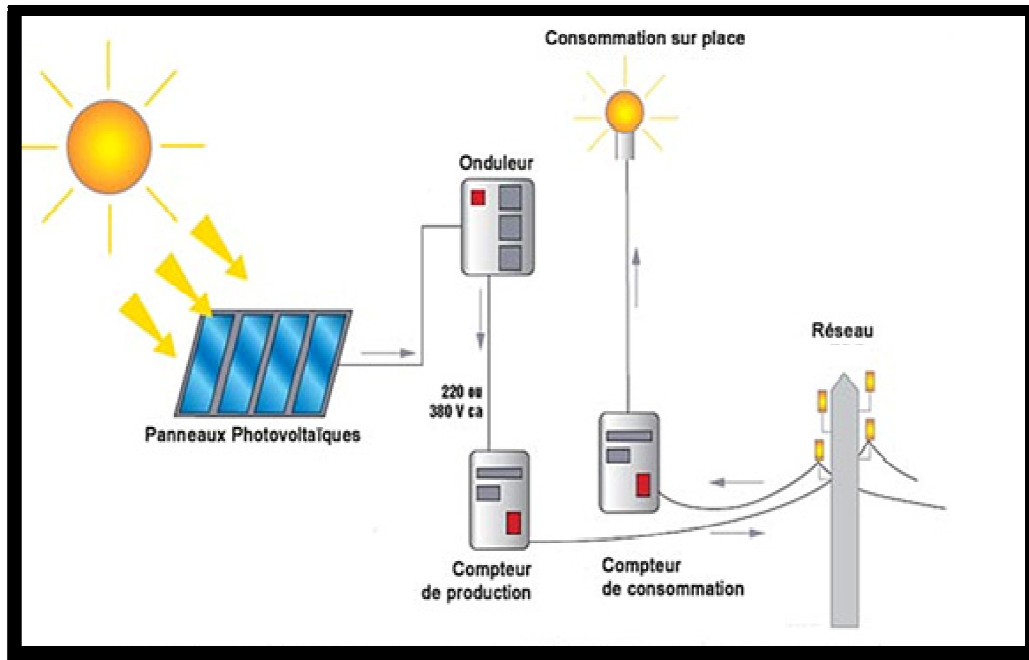
emmagasinent l'énergie produite par les modules PV au cours de la journée (phase d'ensoleillement) et servant durant la nuit (phase d'obscurité) ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant, Ils peuvent également répondre aux besoins d'une application sans recours aux accumulateurs (par exemple, le pompage de l'eau). [3]



fig(I.1): Schémas d'une installation autonome

I.4.2 Centrales électriques photovoltaïques connectées au réseau

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique comme illustré sur la figure (I.2) représente un système photovoltaïque connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue physique, l'énergie n'a pas besoin de stockage et permet de produire de l'électricité pour l'envoyer sur le réseau électrique national et consommée par les charges locales de l'habitat. Ainsi, la totalité de la production électrique est utilisée par les consommateurs proches et élimine donc le maillon le plus problématique et le plus cher d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie, l'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau [3].



fig(I.2): Centrales électriques photovoltaïques raccordées au réseau

I.4.3 Centrales électriques photovoltaïques hybride

Il s'agit d'un système qui regroupe des sources d'énergie de nature différentes tels qu'une installation éolienne, un générateur diesel ou un groupe électrogène à combustible. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue; lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si on désire diminuer notre investissement dans les champs de modules photovoltaïques ou/et les batteries d'accumulateurs.

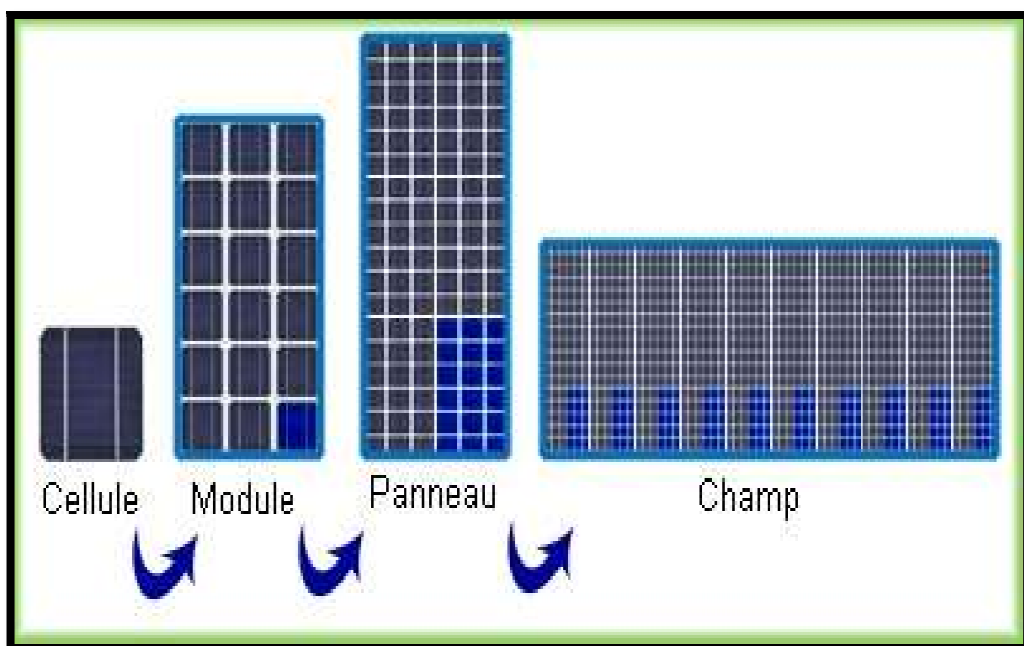
I.5 Générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est un ensemble de cellule solaire connectée électriquement en série ou en parallèle pour générer le courant et la tension désirés. Il peut évoluer d'une simple chaine, module, panneau jusqu'à atteindre le niveau d'un champ photovoltaïque illustrer sur figure(I.3).

Le panneau solaire ou champ solaire se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et /ou en parallèles afin de produire la puissance requise, ces modules sont montés sur armature métallique qui permet de supporté le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique le module le plus cruel de toute l'installation photovoltaïque et le

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

module qui se compose de piles solaire interconnectés. Ces modules sont raccordés entre eux pour former des panneaux et des ensembles (champs) de manière à satisfaire différents niveaux de besoins en énergie, le panneau convertit directement le rayonnement lumineux en électricité. Il utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires qui produisent de l'électricité en courant continu. Le matériau le plus répandu dans la fabrication de cellules solaires disponible à un niveau industriel est un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0.5 à 0.6V.



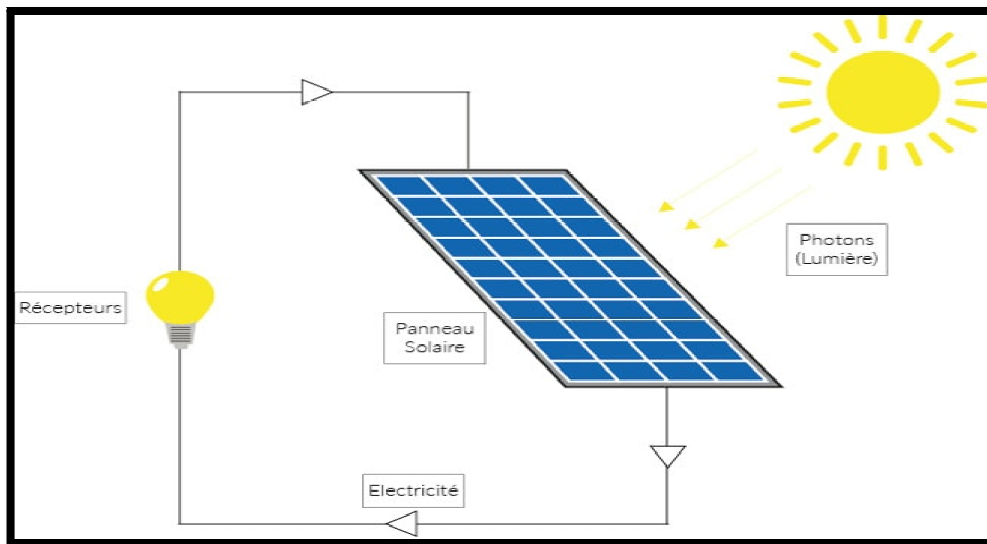
fig(I.3): cellules photovoltaïques

Le rayonnement de la lumière permet de fournir une énergie permettant au semi-conducteur de produire un courant. La lumière n'est pas entièrement utilisée une partie est réfléchiée, une autre est absorbée et une autre traverse le matériau. Seule la partie absorbée permet la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, figure(I.4) illustre le principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque.

La conversion d'énergie met en jeu trois phénomènes physiques [4] :

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

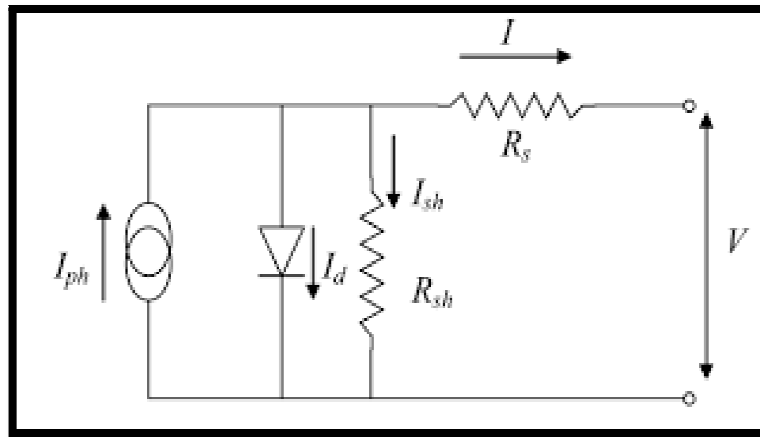
- l'absorption de la lumière dans le matériau.
- le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.
- la collecte des charges.



fig(I.4): principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

I.6 La Cellules photovoltaïque

Les cellules PV constituent l'élément essentiel des installations photovoltaïques. Sont des composants électroniques à base de semi-conducteurs (généralement faites de silicium sous ses différentes formes). Elles sont capables, de par leur structure, de transformer directement l'énergie lumineuse en courant continu basse tension, sans dispositif mécanique, cet effet est appelée effet photovoltaïque [5].



La cellule photovoltaïque est le plus petit élément d'une installation PV, elle est constituée par un matériau semi-conducteur de type P-N. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à 100 cm² ou plus. Sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque figure(I.5) comprend un générateur de courant qui modélise l'éclairement et une diode en parallèle qui modélise la jonction PN. Mais le schéma équivalent réel tient compte de l'effet résistifs parasites dus à la fabrication, il est représenté sur le schéma équivalent par deux résistances, Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir compte des pertes liées aux défauts de fabrication. R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise le courant de fuite dus aux diodes et aux effets de bord de la jonction.

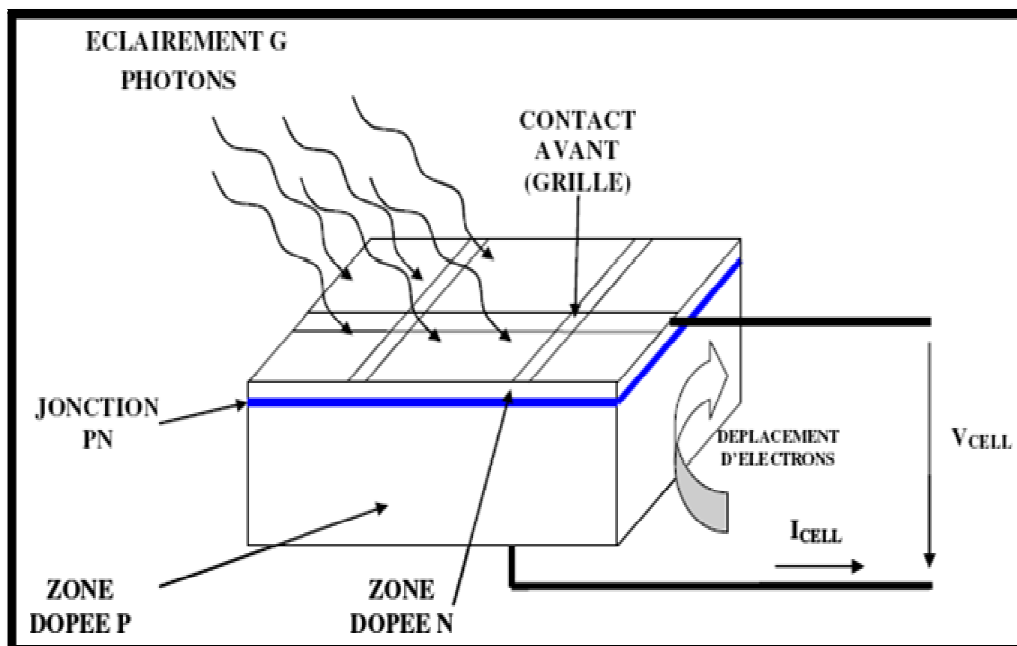
I6.1 Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Lorsqu'un photon de la lumière arrive sur la cellule PV, les cellules solaires permettent de convertir l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positive et négatives. Le matériau semi-conducteur comporte deux parties ; L'une présente un excès d'électrons et l'autre partie un déficit en électrons; dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P, la zone initialement dopée N devient

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

chargée positivement et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P, entre les deux zones se développe une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque ce matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière, sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieur (appelés électrons de couche de valence) ont tendance à être arrachés, mais une partie de ces électrons ne revient pas à leurs états initiaux.

Les électrons arrachés créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. A la surface, le contact électrique (électrode négative ou la zone N) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium, tandis que la plaque métallique (contact arrière) recouvre l'autre face de cristal et joue le rôle d'anode. Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé. La figure(I.6) illustre la constitution et le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.



fig(I.6): principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

I.6.2 Les différents types de cellules

Il existe trois types de cellules [6] :

1. Silicium monocristallin

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique : cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Ces cellules premières générations sont caractérisées par :

- Un taux de rendement excellent de 15% et jusqu'à 24% en labo.
- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.

2. Silicium poly-cristallin (multi-cristallin)

Les cellules poly-cristallines sont composées des cristaux. Elles proviennent aussi du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes.

Les cellules poly-cristallines sont caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Procédé moins gourmand en énergie.
- Rendement de 13% et jusqu'à 20 % en labo.

3. Silicium amorphe

Un matériau moins puissant au soleil que le précédent, ce silicium a une couche très mince répond aux éclaircissements extérieurs et intérieurs. Sa fabrication est théoriquement moins onéreuse et permet de réaliser des petits formats, grâce à la mise en série intégrée et la simplicité de découpage. Il est caractérisé par :

- Coût de production bien plus bas.
- Rendement 6 % seulement par module et de 14 % en labo.
- Fonctionne sous très faible éclaircissement.

I.7 Caractéristique courant tension

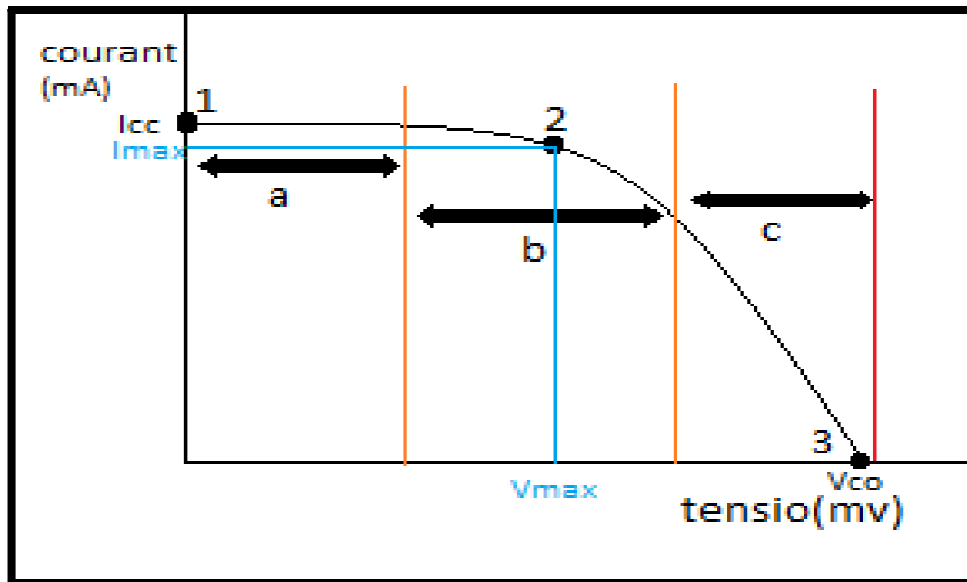
La caractéristique courant-tension (I-V) de la cellule solaire qui se présente comment la cellule photovoltaïque, réagit à toutes les charges possibles sous des conditions particulières

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

d'ensoleillement et de températures, La cellule photovoltaïque possède une caractéristique $I(V)$ représenté sur la figure(I.7).

La caractéristique se divise en trois points différents :

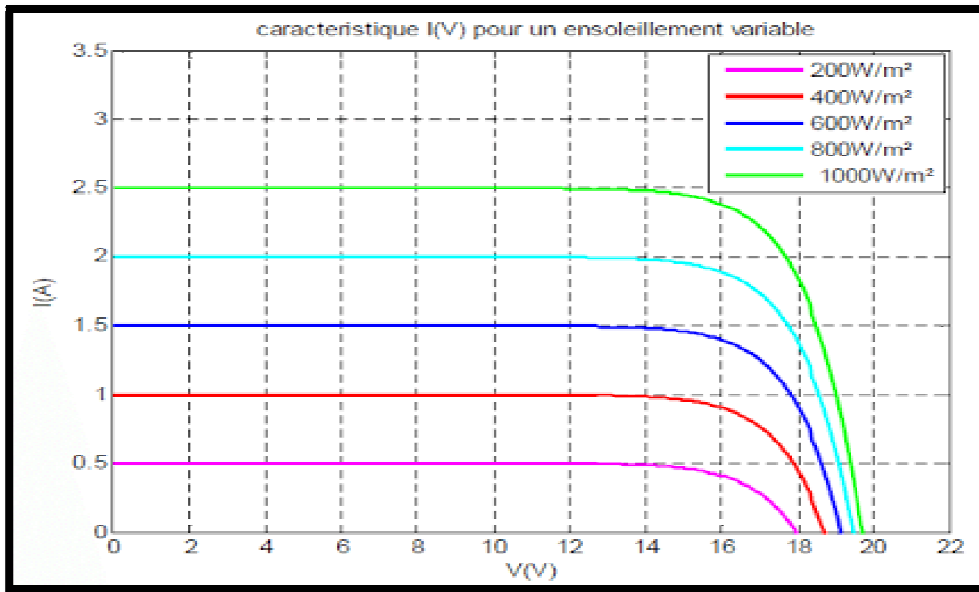
- **Au point 1 :** où la cellule solaire se comporte comme un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'éclairement,
- **Au point 2 :** où la cellule solaire ne se comporte ni comme source de tension ni comme source de courant.
- **Au point 3 :** ou la cellule solaire est considéré comme une source de tension parce que la variation du courant est considérablement grande par rapport à la tension.



fig(I.7): Caractéristiques courant-tension d'une cellule

I.7.1 Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I-V)

La caractéristique d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) est directement dépendante de l'éclairement et de la température. La Figure (I.8) donne l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différents éclairagements [7].



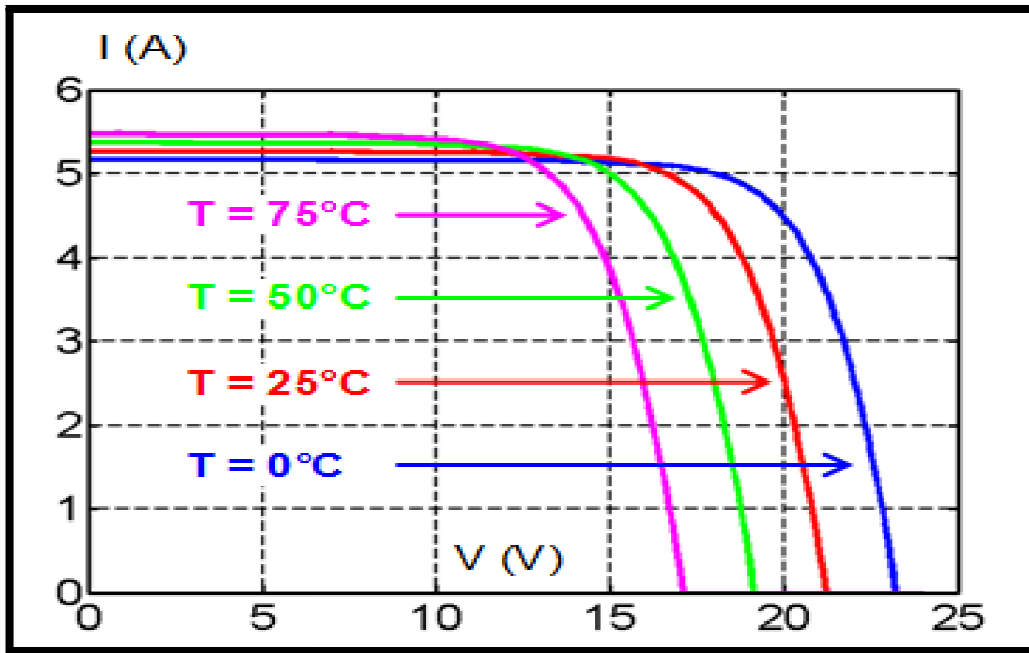
fig(I.8): caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différents éclairements

Nous remarquons qu'à la température ambiante de 25° :

- Pour une installation donnée, le courant de court-circuit I_{CC} varie proportionnellement à l'éclairement E ,
- La tension à vide V_{CO} varie peu avec l'éclairement. Elle peut être considérée comme une constante.
- Les influences de ces paramètres se traduisent donc par des variations de la caractéristique utile du générateur photovoltaïque avec les conditions d'éclairement.

I.7.2 Influence de la température sur la caractéristique (I-V)

La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV. La Figure (I.9) présente la variation des caractéristiques d'un générateur PV de 160W en fonction de la température à un éclairement donné. L'éclairement est ici fixé à 1000W.m⁻² [7].



fig(I.9): Caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différentes températures

Observation :

Nous remarquons qu'à éclairement donné :

- la tension à vide V_{CO} décroît avec la température. Plus la température est élevée plus V_{CO} est diminuée,
- le courant de court-circuit I_{CC} augmente avec la température. Cette hausse est nettement moins importante que la baisse de tension. L'influence de la température sur I_{CC} peut être négligée dans la majorité des cas.
- La température et l'éclairement sont donc les deux principaux paramètres qui vont modifier la caractéristique d'un générateur PV. Ces deux paramètres devront donc être étudiés avec soin lors de la mise en place d'une installation PV.

I.8 Paramètre des cellules photovoltaïques

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Pour étudier le fonctionnement et les caractéristiques essentielles de la cellule solaire photovoltaïque, on doit connaître les principaux paramètres qui la représentent [8] :

1. La tension à circuit ouvert

Correspond à la tension à circuit ouvert V_{CO} correspondant au **Le point (3)** de la figure (I.7), cette tension est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse, cette tension est de l'ordre de 0.5 à 0.7V pour les cellules élémentaires elle varie avec la technologie

2. Courant de court-circuit

Correspond au courant de court-circuit I_{CC} correspondant au **Le point (1)** de la figure (I.7), il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la cellule éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température.

3. Le point de puissance maximal

Pour une cellule solaire idéale, la puissance $P_{max.idéal}$ correspondait donc à la tension de circuit ouvert V_{CO} multipliée par le courant de court-circuit I_{CC} , l'expression en ce point est donnée par :

$$P_{max.idéal} = V_{CO} I_{CC} \quad (I.1)$$

En pratique la courbe caractéristique d'une cellule PV est plus arrondie et la tension au point de puissance maximal V_{max} est inférieure à la tension de circuit ouvert V_{CO} , de même pour le courant fourni I_{max} est inférieur, pour cette même tension, au courant de court-circuit I_{CC} , l'expression de la puissance correspondant au **Le point (1)** de la figure (I.7), est donnée par :

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (I.2)$$

4. Rendement d'une cellule

Le rendement η , des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (I.3)$$

P_{in} : est la puissance maximal mesurée dans les conditions STC(standard test conditions) c'est à dire sous spectre AM1, une température de 25°C, et un éclairement de 1000w/m².

5. Facteur de forme (FF)

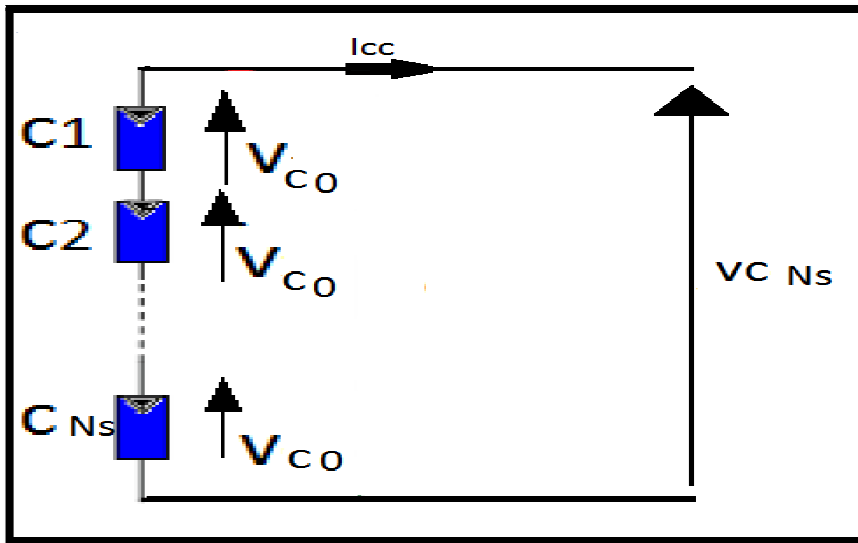
Le facteur de forme ou le facteur de remplissage appelé encore par sa dénomination anglaise (fill factor (F.F)) est le rapport entre la puissance optimale P_m divisé par le produit $V_{co} I_{cc}$ correspondant à la puissance maximal idéal que peut avoir la cellule ; il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{opt}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.4)$$

I.9 Association des cellules photovoltaïques

I.9.1 Association série

Dans un groupement en série figure (I.10), les cellules sont théoriquement traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné [9].

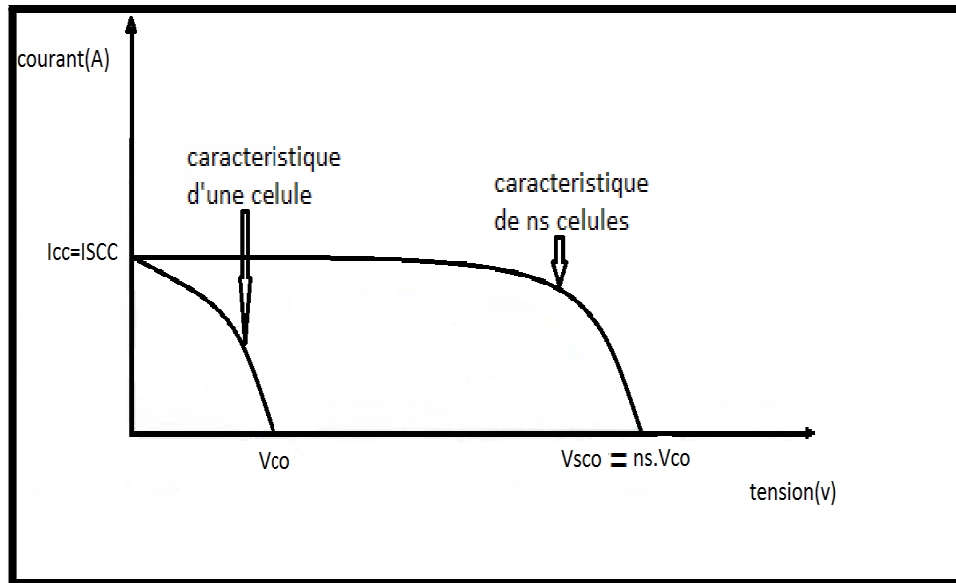


fig(I.10): association série de cellules PV

La figure (I.11) montre la caractéristique résultante (I_{SCC}, V_{SCO}) obtenue en associant en série (indice s) n_s cellules identiques (I_{CC}, V_{CO}):

$$I_{SCC} = I_{CC} \quad (I.5)$$

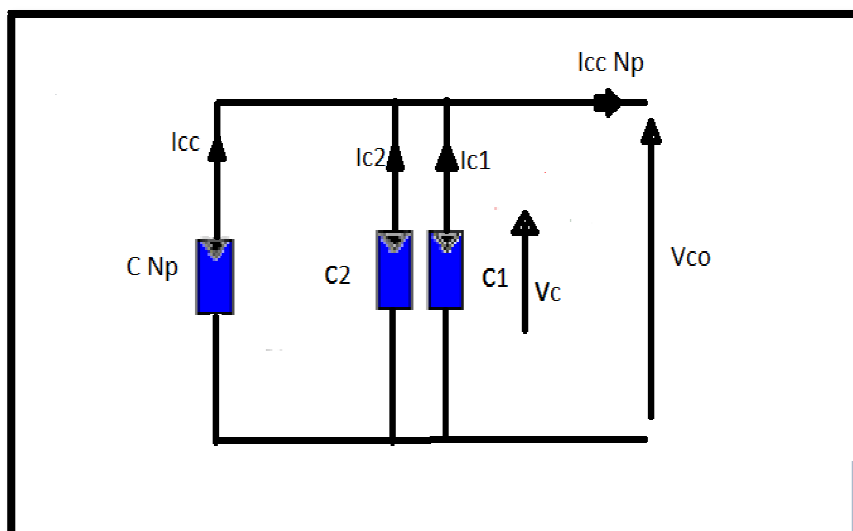
$$V_{SCO} = n_s \cdot V_{CO} \quad (I.6)$$



fig(I.11): Caractéristique U-I des cellules en Association en série

I.9.2 Association parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules figure (I.12), sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante est obtenue par addition des courants à tension donnée[9].



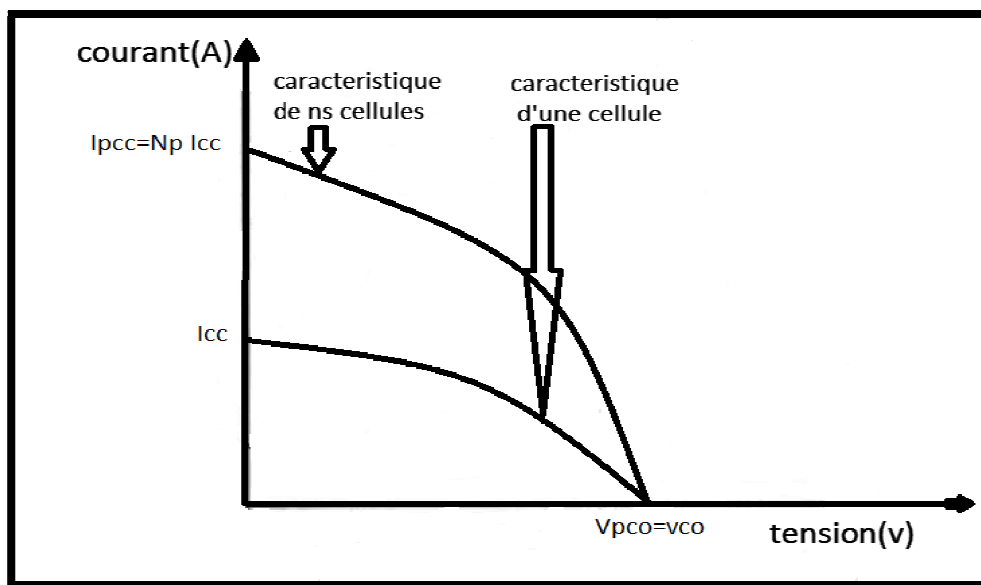
fig(I.12): association parallèle des cellules PV

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

La figure (I.13) montre la caractéristique résultante (I_{pcc}, V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) n_p cellules identiques (I_{cc}, V_{co}):

$$I_{pcc} = n_p \cdot I_{cc} \quad (I.7)$$

$$V_{pco} = V_{co} \quad (I.8)$$



fig(I.13): Caractéristique U-I des cellules en Association parallèles

I.10 Avantages et Inconvénients du panneau solaire

Les panneaux solaires ont plusieurs avantages qui poussent les chercheurs à développer et à encourager cette utilisation ; les principaux avantages sont [10] :

- En premier point la fiabilité et sa faible nécessité d'entretien.
- Les pièces sont mobiles et peuvent être utilisés n'importe où.
- Le panneau produit une énergie propre non polluante, cependant on ne peut pas en dire autant de sa fabrication.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

- Economiquement le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et ne nécessite ni combustible ni personnel très qualifié.

Plusieurs inconvénients limitent l'utilisation de cette technologie, surtout pour les pays sous-développés parmi ces inconvénients [10] :

- la fabrication des cellules est polluante et reste encore très cher vis-à-vis d'autres.
- Le problème de stockage de cette énergie sous forme chimique dans des batteries.
- Le générateur solaire utilisé pour stocké l'énergie dans les batteries qui coute chère.
- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques, 44%.

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions importantes sur l'énergie solaire, et le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïque en expliquant brièvement le phénomène PV (l'effet PV). Nous avons vu aussi que la cellule PV présente une caractéristique courant-tension qu'elle peut être modélisée par un circuit électrique simple. Nous avons présenté l'influence des différents paramètres où Le courant de court-circuit évolue principalement avec l'éclairement et la tension à vide avec la température. Nous avons présenté les différentes technologies de cellules actuellement sur le marché dont les cellules monocristallines ont le meilleur rendement dans les conditions réelles d'utilisation des systèmes photovoltaïques et leurs secteurs d'application.

Chapitre II :

Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

II.1 Introduction

Puisque les générateurs photovoltaïques fournissent seulement l'énergie électrique pendant les moments lumineux, mais que beaucoup d'applications exigent de l'énergie toute la journée, une source d'énergie indépendante ; fiable et une énergie de secours est possible, parmi les choix possibles la batterie d'accumulateurs est une solution de stockage d'énergie particulièrement séduisante; recyclable ; de faible coût et d'une grande maturité est donc nécessaire.

Dans une installation photovoltaïque, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, la gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages et vont répondre à deux fonctions principales la première fournir de l'électricité lorsque le générateur photovoltaïque n'en produit pas et la seconde fournir des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur photovoltaïque.

Ce chapitre concerne les batteries elles-mêmes, on se limite donc ici à étudier les accumulateurs électrochimiques et présenter quelques-unes des technologies disponibles sur le marché en insistant bien sûr sur celles utilisées pour le stockage de l'énergie solaire photovoltaïque aussi permettre une analyse de leurs caractéristiques et leurs principes de fonctionnement.

II.2 La batterie

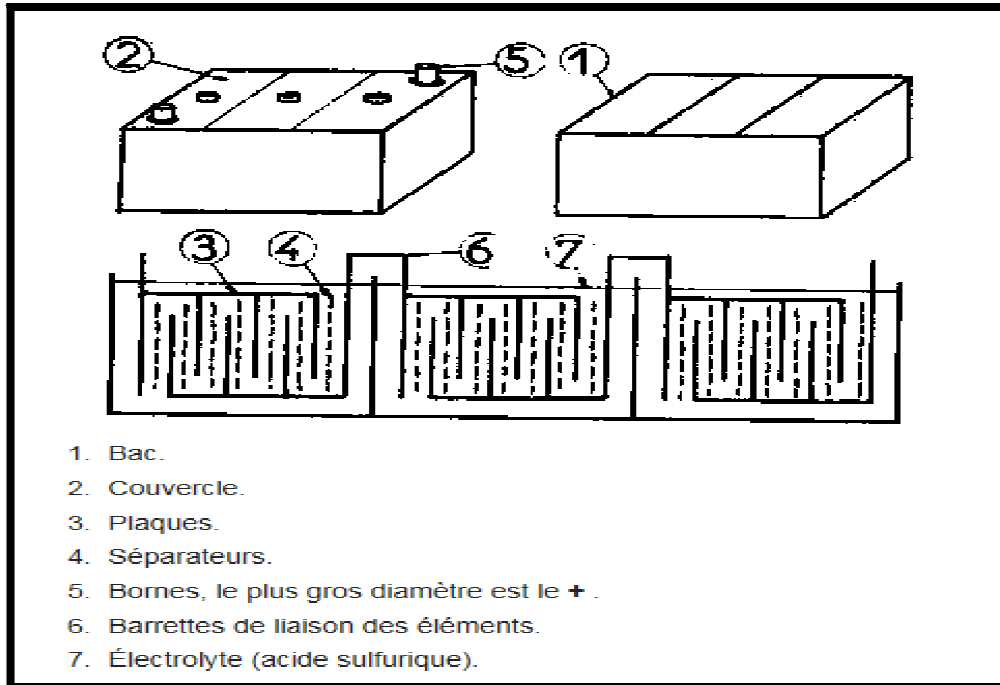
Une batterie d'accumulateurs, ou plus communément une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirées.

Le terme "accumulateur" est employé pour un élément rechargeable, le distinguant ainsi de la pile (élément non rechargeable). Il est donc un générateur réversible, il peut stocker (accumuler) de l'énergie, en convertissant l'énergie électrique en forme chimique, puis la restituer à tout moment sur demande, Chaque accumulateur est constitué d'éléments associés pour former des blocs figure(II.1).

Un élément est un couple électrochimique (2 électrodes) plongé dans une solution. Selon les technologies, ce couple peut être le (NiOOH/Cd) pour les batteries nickel-cadmium, le (Li/oxyde métallique) pour les batteries lithium-ion, le (PbO₂/Pb) pour les batteries au

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

plomb, et présente une force électromotrice différente. Le terme demi-élément désigne une électrode.



fig(II.1): liaison en série des éléments de batterie

II.2.1 Caractéristiques de la batterie

Il existe plusieurs paramètres qui caractérisent une batterie les caractéristiques électriques et chimiques, le paragraphe suivant est consacré à quelques caractéristiques électriques. Les autres caractéristiques physico-chimiques nous apporterons moins dans nos études, nous présentant les principales caractéristiques électriques [11] :

1. Capacité

La capacité est la caractéristique principale d'un accumulateur, c'est l'énergie qu'un accumulateur est capable d'emmagasiner et donc celle qu'il est capable de restituer. Cette capacité s'exprime en Ampères heure (Ah). Par exemple un accumulateur de 10Ah est capable de fournir 10A pendant 1 heure, ou encore 5A pendant 2 heures. Cette capacité C_n , qui apparaît aux catalogues des constructeurs (voire est gravée sur la batterie), est mesurée pour une durée de décharge fixée par les normes. Cette durée de référence est notamment:

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

La densité d'énergie est l'énergie emmagasinée par rapport au poids ou au volume. La densité d'énergie s'exprime en Wattheure/kilogramme (Wh/kg) ou en Wattheure/litre (Wh/l).

6. Latension

C'est la tension moyenne que délivre la batterie en phase de décharge, elle s'exprime en Volt (V). Sa valeur varie en fonction de la technologie employée pour la batterie mais aussi en fonction du temps lors de la décharge.

7. La résistance interne

La résistance interne d'une batterie est la somme de plusieurs résistances élémentaires représentant des phénomènes divers observés lors des études électrochimiques et qui sont utilisés la conception et la fabrication. C'est une caractéristique pénalisante de l'accumulateur [4].

8. Le rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

II.2.2 Les phases de fonctionnement d'une batterie

Quelle que soit la technologie employée, les accumulateurs passent par au moins deux phases de fonctionnement qui sont la charge et la décharge. C'est le principe même de l'accumulateur on stocke de l'énergie (charge) pour la restituer ensuite (décharge) [12].

1. La charge

La charge est le processus de stockage de l'énergie dans un accumulateur, Pour ce faire, on utilise un chargeur qui sera spécifique pour chaque technologie de batterie.

Le rendement de la charge n'est pas de 100% mais plutôt de 50 à 75%. On apportera donc plus d'énergie à l'accumulateur qu'il sera capable d'en restituer ensuite.

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

2. Lasurcharge

Lorsque l'accumulateur est totalement chargé et qu'on continue de le charger avec un courant élevé, il passe en surcharge. Il résulte une élévation de la température, qui peut conduire à une destruction partielle de l'accumulateur voir même une totale ou une explosion est à redouter.

3. Ladécharge

Une fois l'accumulateur chargé, l'énergie peut être restituée à la demande jusqu'à épuisement conduisant à une décharge profonde endommageant ainsi l'accumulateur. Ce cas est irréversible et à éviter absolument.

4. L'autodécharge

Après une charge, même si la batterie n'est pas sollicitée en décharge, l'état chargé n'est pas acquis de façon définitive. Les accumulateurs sont en effet le siège de phénomènes d'autodécharge. Indépendamment à chaque électrode, ces phénomènes d'autodécharge sont associés à des réactions chimiques aux niveaux des deux électrodes. Le taux d'autodécharge dépend principalement du type d'alliage qui utilise pour les grilles.

II.3 Les différents types de batteries d'accumulateurs

Il est difficile d'étudier un chargeur de batterie sans définir, au préalable, le type de batterie qui y est connecté. Pour notre étude nous avons choisis d'étudier quelques types de batteries d'accumulateurs, La liste suivante présente les modèles existants, commercialisés ou non : [13,14]

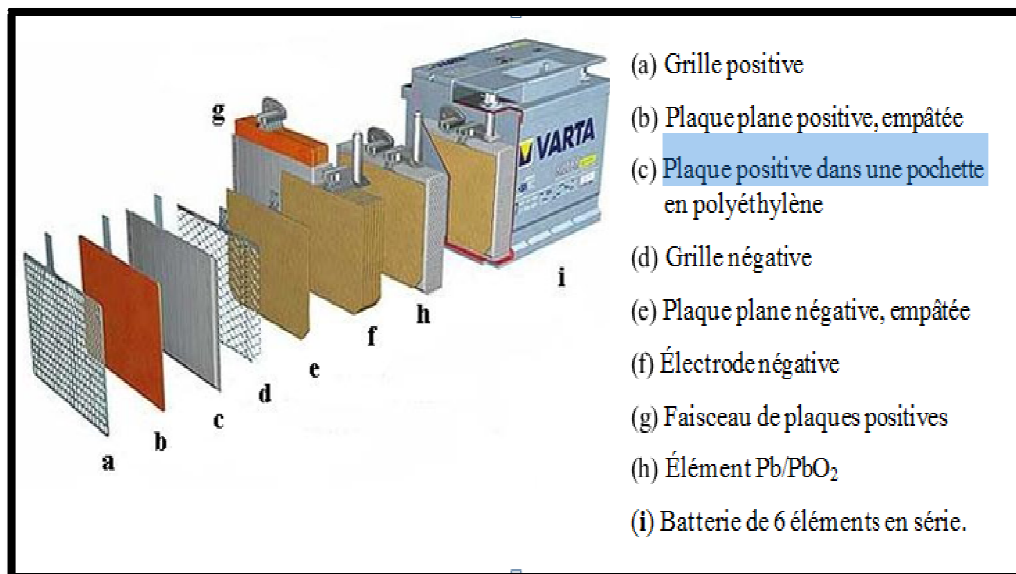
Élément	Pb-acide	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion
Tension nominale d' (V)	2 à 2,15	1,2	1,2	3,6
Énergie massique en (Wh/kg)	25 à 40	40 à 60	60 à 80	100 à 150
Durée en cyclage	300	1500	1200	300

Effet mémoire	Non	Oui	Oui	non
Autodécharge (%/mois)	2 à 5	20 à 25	20 à 25	6 à 10
Recyclabilité	Oui	Oui	Oui	En etude
Charge rapide	Non	50% en - 0.5h	50% en - 0.5h	etude
Rendement	0.8	0.7	0.75	0.9
effet memoire	Non	Oui	Oui	Non

Tableau(II.1):Caractéristiques des différents systèmes de batteries

II.3.1 La batterie au plomb

C'est le type de batterie sur la figure(II.1) c'est la plus utilisé pour les applications photovoltaïques en raison de son cout qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Ce sont des batteries conçues pour délivrer une puissance instantanée.



fig(II.2): Vue éclatée d'une batterie au plomb

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments dont le nombre détermine la tension que la batterie délivrera. Un élément est une association d'électrodes positives et négatives baignant dans l'électrolyte. L'ensemble a une différence de potentiel entre ses bornes d'environ 2.1V, par exemple une batterie d'une tension électrique de l'ordre de 12V comporte six éléments de 2.1V. En réalité, une batterie 12V chargée affichera une tension de 12,8 à 13,2V ; si la tension d'une batterie chargée est inférieure à 11,4V, la batterie sera en fin de vie. Chaque accumulateur est composé d'un ensemble de couples d'électrodes positives et négative montées en parallèle, au milieu de chaque couple est placé un séparateur.

- **Electrodes positive**

Elles sont constituées figure(I.2) d'une grille en alliage de plomb qui assure la tenue mécanique de la plaque et la collecte du courant. Cette grille est garnie d'une pâte préparée à partir d'acide sulfurique et d'une poudre constituée d'un mélange d'oxyde de plomb et de plomb métallique. Lors de la formation de la plaque positive, la matière active est oxydée en dioxyde de plomb (PbO_2) de couleur brun foncé.

- **Electrodes négative**

Ses plaques sont toujours réalisées selon la technologie "plaques planes". Comme précédemment, elle est constituée d'une grille empâtée. La matière active en plomb spongieux (Pb) est également préparée à partir d'acide sulfurique et d'une poudre constituée d'un mélange d'oxyde de plomb et de plomb métallique. Pour que la porosité de la matière active se dégrade moins rapidement, d'autres produits, qualifiés d'expandeurs, lui sont ajoutés en faible quantité afin de maintenir leur performance dans le temps.

- **Les grilles**

Maillon fondamental de la batterie, les grilles sont constituées d'alliages de plomb. Elles servent à la fois à la collecte du courant et à la tenue mécanique de la matière active. De nombreuses recherches leur sont consacrées et beaucoup de soins sont apportés à leurs alliages, car c'est souvent la corrosion des grilles qui limite la durée de vie des batteries au plomb. Le choix du métal des grilles reste limité. Le plomb est à peu près le seul métal qui, sans constituer un poison pour la batterie, supporte convenablement les conditions corrosives du milieu. Le plomb pur étant trop mou pour être utilisé directement, d'autres métaux (étain,

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

antimoine, calcium, argent...) sont introduits dans la composition des grilles afin d'améliorer la dureté mais également la résistance à la corrosion. [15, 16].

- **Séparateurs**

Afin d'éviter le contact entre les éléments positives et négatives, et donc des courts-circuits, les plaques sont isolées entre elles par un séparateur. Ces séparateurs sont généralement des feuilles rectangulaires, intercalées entre les plaques positives et les plaques négatives, et possèdent des qualités remarquables :

- Isolant électrique parfait.
- Très grande perméabilité aux ions porteurs de charge électrique.
- Barrière pour les particules de matières.
- Excellente tenue à l'acide sulfurique.

Les séparateurs sont le plus souvent constitués par des fibres cellulosiques protégés par une résine ou encore par chlorure de polyvinyle fritté ou des feutres en fibre de verre.

- **Electrolyte**

L'électrolyte est une solution diluée d'acide sulfurique, sous forme liquide ou en gel, L'électrolyte est caractérisé le plus souvent par sa concentration en acide sulfurique (mol/l) ou sa densité (rapport de la masse volumique à la masse d'une unité de volume d'eau, en kg/l ou g/cm³).

II.3.1.1 Principe de fonctionnement de l'accumulateur au plomb ouvert

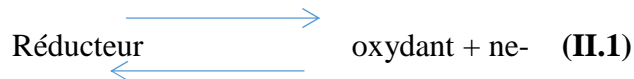
Considérons un élément de technologie "plomb ouvert", à ses bornes, apparaît une f.e.m. d'environ 2,1V : l'électrode en dioxyde de plomb (PbO₂) correspond au pôle positif et celle en plomb (Pb) au pôle négatif.

a. oxydation/réduction aux électrodes (double sulfatation)

C'est système électrochimique réversible transformant l'énergie chimique en énergie électrique, l'accumulateur est le siège de réactions d'oxydoréduction (transferts d'électrons) qui se produisent à l'interface des électrodes avec l'électrolyte :

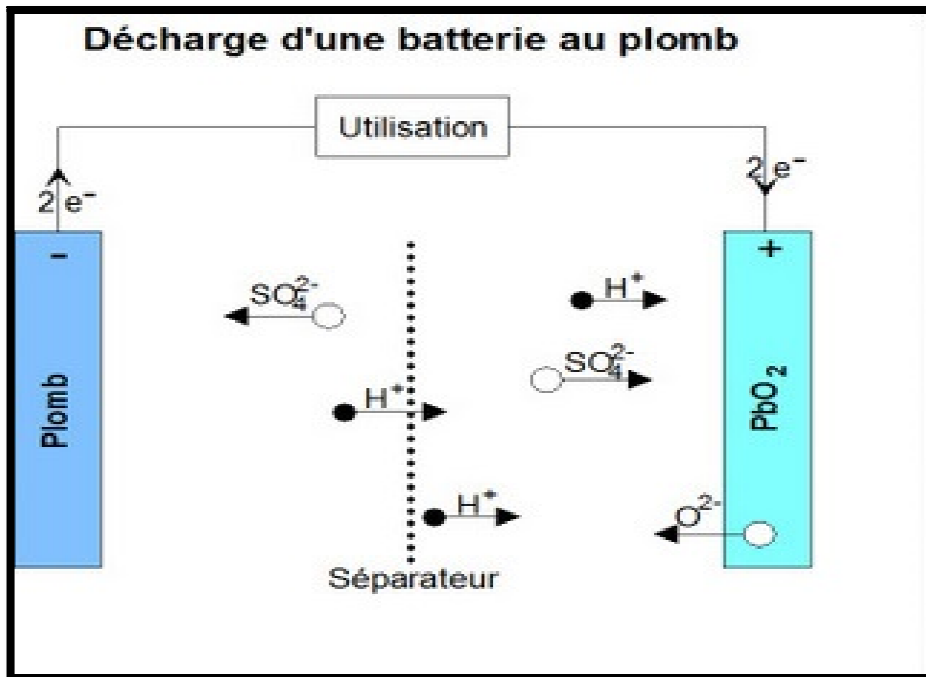
Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

oxydation



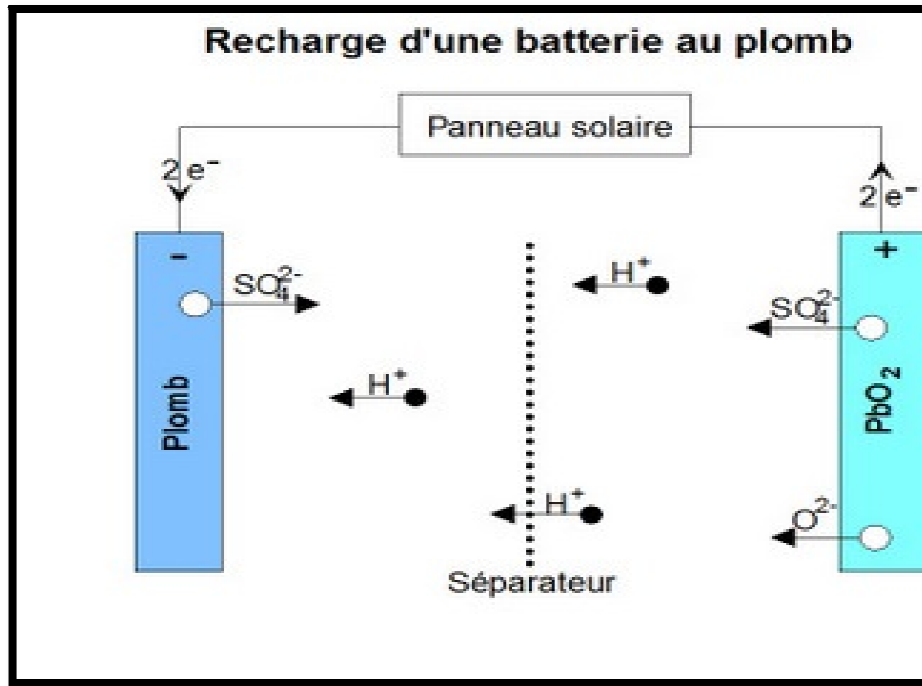
réduction

En décharge, les matériaux actifs positif et négatif produisent, respectivement par réduction et par oxydation, des ions Pb^{2+} qui, en se combinant avec des ions sulfate contenus dans l'électrolyte, se fixent en cristaux sulfate de plomb. Cette transformation du dioxyde de plomb et du plomb spongieux porte le nom de "double sulfatation". L'électrode où a lieu l'oxydation est appelée anode et celle où a lieu la réduction, la cathode. Le fonctionnement en décharge du générateur électrochimique $\text{PbO}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Pb}$ peut se schématiser sur la figure(II.2) de la façon simplifiée suivante :



fig(I.3): réaction chimique lors d'une décharge de la batterie au plomb

En recharge comme montre à la figure(II.4) les deux polarités se désulfatent, l'électrolyte est régénéré (mise en solution d'ion SO_4^{2-}). La plaque positive est peroxydée (formation de PbO_2 et des ions sont libérés (augmentation de la concentration H^+ de l'électrolyte).

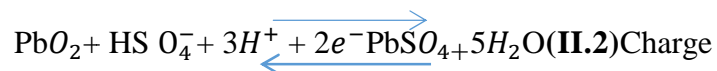


fig(I.4): réaction chimique lors d'une charge de la batterie au plomb

b. Réaction chimique dans l'anode et cathode

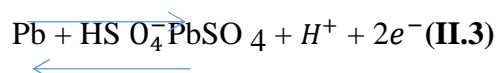
1. L'électrode positive a un comportement de cathode en décharge car le PbO_2 est réduit en $PbSO_4$, et devient anode en charge puisque le $PbSO_4$ s'oxyde en PbO_2 (équation (II.2)).

décharge



2. L'électrode négative est anode en décharge (oxydation du Pb en $PbSO_4$) et cathode en charge ((équation (II.3))

décharge

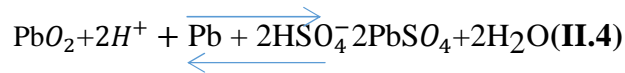


Charge

3. Ces 2 réactions de charge et décharge peuvent se résumer en une seule réaction (équation (II.4)) :

decharge

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique



Charge

II.3.1.2 famille technologique de la batterie au plomb

Des familles de batteries ont été définies en distinguant notamment le type d'électrolyte (libre ou immobilisé). Puis dans une famille, il existe des différences de constitution pour mieux répondre aux besoins des applications. Actuellement deux grandes familles sont commercialisées: les batteries ouvertes et les batteries à recombinaison de gaz (Tableau (II.2)).

type de batterie au plomb	À RECOMBINAISON DE GAZ	
	OUVERTE (1)	(2)
Electrolyte	Liquid	Gélifié absorbé (par le séparateur)
Appellation anglo-saxonne	flooded ou (vented) battery	Gel VRLA (ou sealed) battery VRLA (ou sealed) AGM separator Battery
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • durée de vie pouvant être importante (5 à 15 ans) • technologie la moins chère 	<ul style="list-style-type: none"> • recombinaison => pas de perte en eau (pas d'entretien) • très faible taux de dégagement de gaz (sécurité)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • consommation d'eau (maintenance) • installation en locaux spécifiques (dégagements gazeux) 	<ul style="list-style-type: none"> • plus faible durée de vie (modes de défaillance spécifiques) • plus sensible à la température

Tableau (II.2): Principales comparaisons des 2 familles technologiques de la batterie au plomb

1. La batterie au plomb ouverte

Il s'agit de la technologie initiale, associée aujourd'hui par de nombreux utilisateurs à la batterie de démarrage des véhicules vu l'importance de ce marché, mais cette technologie s'emploie dans tous les domaines. En effet, la batterie au plomb ouverte est généralement considérée comme plus fiable et plus endurante que la batterie à recombinaison. L'adjectif "ouvert" désigne le fait que les productions de gaz (dioxygène et dihydrogène) inhérentes à l'accumulateur s'échappent naturellement par les orifices prévus sur le bac.

Le dégagement de dihydrogène dans le lieu de stockage des batteries est source de danger, car son mélange avec l'air ambiant est potentiellement explosif, une installation en locaux spécifiques ventilés est obligatoire (norme NF C 15 100 et CEI 60364).

Les batteries ouvertes produites aujourd'hui (constituées de grilles à fortes surtensions d'oxygène et d'hydrogène, sont souvent qualifiées de batteries "sans maintenance" ou "sans entretien". Ces appellations (plutôt trompeuses) ont été choisies car la consommation d'électrolyte est si faible que la réserve d'électrolyte d'origine est suffisante pour assurer le bon fonctionnement de la batterie pendant toute sa durée de vie.

2. La batterie à recombinaison de gaz [17,18]

Les premières batteries à recombinaison de gaz sont apparues fin des années 1950. C'est la société SONNENSCHNEIDER qui introduisit cette nouvelle technologie, grâce à la fabrication d'un électrolyte gélifié. Puis dans les années 1970, le marché de cette technologie à électrolyte immobilisé prenait son essor. Ce type d'électrolyte offre plusieurs avantages :

- il permet la formation de chemins gazeux facilitant le transfert rapide du dioxygène, qui suit alors un cycle interne produit à l'électrode positive, sa diffusion vers l'électrode négative est optimisée (10^5 fois plus rapide qu'en électrolyte liquide) et il atteint l'électrode négative où il y est réduit (formation de molécules d'eau).

Cette propriété se traduit par une très faible consommation en eau lors de surcharges de la batterie ; avantage séduisant pour le domaine du stationnaire de secours.

- il autorise le placement des batteries dans des locaux quelconques, dans n'importe quelle position (souvent horizontale, ce qui facilite l'accès aux bornes).

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

L'électrolyte immobilisé est la clef du processus de recombinaison, dont le rendement est élevé. Toutefois, 2 à 3% des gaz produits ne sont pas recombinaison, et pour se prévenir de tout risque de surpression, une soupape d'aération régulée par pression est nécessaire. C'est pourquoi les batteries à recombinaison de gaz sont appelées aussi batteries VRLA (pour Valve-Regulated Lead-Acid) et parfois improprement batteries étanches. Cette technologie est par construction "sans maintenance", donc cette précision n'est jamais mentionnée, contrairement aux batteries ouvertes où ce qualificatif est employé lorsque la consommation d'eau est amoindrie en surcharge.

II.3.1.3 Les avantages et inconvénients de la batterie plomb acide

L'utilisation de La batterie au plomb acide dans divers domaine est lié aux avantages qu'elle présente parmi ces de nombreux avantages :

- Disponibilité.
- Coût à l'achat le plus faible, fiables et ne posant aucun problème de sécurité.
- Facilité à charger et à gérer énergétiquement.
- Nombre de cycles de charge/décharge variant de 600 à 900 sur un banc d'essai, cette valeur importante est réduite de moitié en condition d'utilisation réelle, ce qui donne par exemple, sur un véhicule, environ 300 cycles.
- Insensibilité aux traitements mécaniques et électriques.
- Éléments recyclables à 99,96%.
- Opérations de maintenance simplifiées.

Ces batteries ont aussi des inconvénients :

- Énergie spécifique, ou énergie massique, faible, de 40 Wh/kg pour les éléments ouverts.
- Mauvaise tenue aux décharges profondes, la puissance spécifique disponible baissant avec l'état de charge.
- Décharge profonde non acceptée.
- Réduction des performances pour des températures inférieures à 0°C.

Cet ensemble de qualités, fait que ces éléments riment avec simplicité et fiabilité, même si ils ont des inconvénients comme la masse qui est un handicap sérieux. Elles restent très intéressantes pour les systèmes fixes.

II.3.2 Les batteries au Nickel-Cadmium

Un accumulateur nickel-cadmium ou Ni-Cd est un accumulateur électrique rechargeable il a une structure physique semblable à celle du plomb acide. Au lieu du plomb elles utilisent de l'hydroxyde de nickel pour les électrodes positives et de l'oxyde decadmium pour lesélectrodes négatives, l'électrolyte est de l'hydroxyde de potassium. L'image réel de cet cumulateur est montré sur la figure(II.4). Ce type batterie nickel-cadmium est parmi les premières générations d'accumulateurs rechargeables utilisés sur le téléphone portable.

Une batterie d'accumulateurs Nickel-Cadmium est composée de plusieurs éléments dont le nombre détermine la tension que la batterie délivrera. Un élément a une différence de potentiel entre ses bornes d'environ 1.2V suivant l'état de charge.



fig(II.5): accumulateur Nickel-Cadmium

Ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages et aussi des inconvénients parmi ces nombreux avantages :

- Plus légers et plus compacts que les éléments au plomb, ils offrent une énergie spécifique de 55 Wh/kg et une énergie volumique de 100Wh/dm³.
- Durée de vie élevée (1 500 cycles), elle augmente si la profondeur de décharge est faible (près de 100 000 cycles à 10 % de profondeur dedécharge).

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

- Recharge rapide : jusqu'à 80 % en 1 h 30, recharge complète en 6h.
- Plage de température de fonctionnement importante (-30 °C à +50 °C).
- Insensibilité aux traitements mécaniques et électriques.
- Opérations de maintenance simplifiées.
- Aptitude à supporter la décharge profonde.
- Éléments recyclables à 99,96%.
- Coût d'exploitation plus bas du marché, malgré un coût initial élevé.

Ces batteries ont aussi des inconvénients parmi eux :

- Grande toxicité du cadmium.
- Effet mémoire important, qui se traduit par une diminution progressive de la capacité énergétique, lorsque la batterie n'est pas déchargée à fond.
- Usure prématurée en mode tampon, ce qui pose des problèmes avec les ordinateurs portables, les téléphones sans fils.

L'effet mémoire :

Il est lié à des décharges périodiques parfaitement identiques. La batterie se décharge toujours jusqu'à la même valeur, et au bout d'un certain temps, il devient impossible de la décharger en dessous de cette valeur, même s'il lui reste de l'énergie. C'est comme si elle se "souvenait" du seuil de décharge habituel et comme si elle "considérait" que ce seuil est devenu son minimum.

L'ensemble de ces qualités font que l'on recommande le couple Ni-Cd dans toutes les applications d'outillage portatif. L'effet mémoire n'est pas gênant, car il n'apparaît que lentement. Une décharge complète périodique suffit alors.

II.3.3 Les batteries au lithium Ion (Li-Ion)

La technologie Lithium-Ion est une récente technologie par rapport au Ni-Cd et reste encore très coûteuse, on devra donc y porter un soin particulier. L'élément lithium présente des caractéristiques physico-chimiques très intéressantes comme première caractéristique la tension d'un élément Li-Ion est de 3.6V. Cette équivalence 1 élément (Li-Ion) = 3 éléments (Ni-Cd) est très intéressante car elle permet d'obtenir des batteries à fort potentiel

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

énergétique. Mais sa réactivité avec le milieu ambiant comme l'air en fait un matériau difficile à manipuler à l'état métallique.

En revanche, cette technologie est beaucoup moins robuste que les Ni-Cd. C'est pourquoi, chaque élément intègre plus souvent un système électronique de protection. Les courants de charge et de décharge admissibles sont donc plus faibles.



fig(II.6): Batteries lithium Ion (Li-Ion)

Les autres couples évoluent tellement vite, qu'il est impossible de les cataloguer, par exemple les ordinateurs portables sont passés en quelques années, du Ni-MH, au Li-ion, pour utiliser maintenant du Li-polymère [8]. La forte capacité énergétique offerte par le lithium explique son utilisation dans les applications à hautes performances, où la masse est une contrainte. De plus, cet élément ne présente pas d'effet mémoire mais malheureusement le prix de ces batteries reste encore un obstacle.

II.4 le choix de la batterie à utiliser dans notre système

Les batteries plomb-acide restent utilisées pour la plupart des applications fixes comme le stockage d'énergies photovoltaïques, elle est synonyme de forte puissance, de charge rapide et de faible coût. Mais il ne supporte pas la décharge

Chapitre II : Les dispositifs de stockage de l'énergie électrique

profonde et sa puissance décroît avec l'état de charge. Le Ni-Cd est utilisé dans toutes les applications d'outillage portatif.

Il donne des éléments robustes, qui supportent les décharges profondes répétées. De plus, il fournit une puissance qui ne dépend pas beaucoup de l'état de charge.

Après avoir étudié les caractéristiques des différentes technologies de batteries, nous allons nous intéresser et porter notre choix à la batterie plomb acide ouverte par rapport à sa fiabilité et surtout ne posant aucun problème de sécurité. Les caractéristiques de la batterie utilisée sont sur (annexe 10).

II.5 Différents types de profil de charge d'une batterie

Suivant la technologie de la batterie utilisée, il faut respecter tel mode de décharge et donc de charge des accumulateurs. Ces méthodes de charge sont en pleine évolution, mais nous allons définir les plus courantes. Quel que soit le type de batterie, la recommandation des constructeurs est de respecter un cycle de charge en trois phases. Ce qui diffère en fonction de la technologie utilisée.

Différents types de profil de charge peuvent être adoptés suivant l'application, le couple électrochimique et la rapidité de recharge désirée. Les méthodes de charge peuvent être séparées entre profils à tension constante et ceux à courant constant.

En pratique, on associe les avantages de la charge à tension constante ($U = cte$) (récupération rapide de la capacité, courant final de charge faible) à ceux de la charge à courant I constant (bonne utilisation de la puissance de la source de charge), tout en diminuant les inconvénients de chacun (puissance élevée de la source à tension constante, nécessité d'une régulation de courant ($I = Cte$), rythme de charge lent, tension forte en fin de charge). Nous noterons ces profils de la façon suivante :

- I-U-a ($I = Cste$, $U = Cte$, puis arrêt);
- I-U-I ($I = Cste$, puis $U = Cste$, puis $I = Cste$ pour batterie Pb à recombinaison);
- I-W-I ($I = Cste$, puis puissance $W = Cste$, puis $I = Cste$ pour batterie Pb ouverte).

Nous allons maintenant étudier ces différents profils en fonction de leur application.

II.5.1 Profil standard pour les batteries au plomb ouvertes [14]

La caractéristique de charge utilisée avec les batteries au plomb ouvertes est dite I-W-I, c'est-à-dire courant constant, puis décroissant (pente à puissance constante), puis courant constant. La figure (II.7), présente le profil temporel correspondant. Nous y remarquons trois étapes, premier et deuxième régimes, troisième régime et égalisation.

La première phase se traduit par l'injection d'un courant constant dans la batterie, souvent choisi égal au dixième de la capacité horaire nominale:

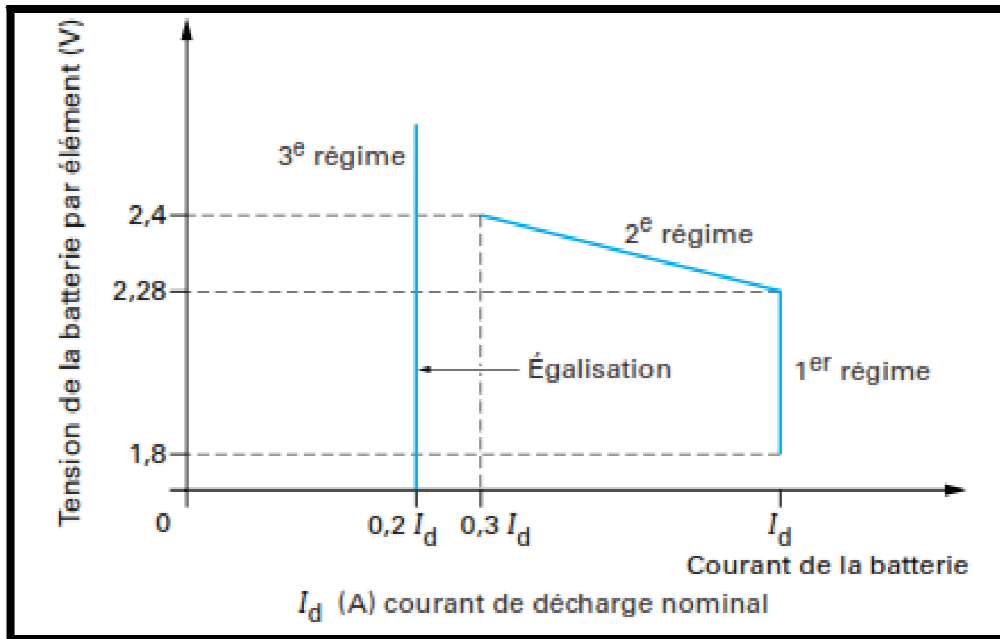
$$\frac{C[\text{A.h}]}{10\text{h}} \quad (\text{II.5})$$

Durant toute cette période, la batterie recouvre progressivement sa capacité nominale. À la fin de cette étape, lorsque la tension de chaque élément de tension nominal de 2.1V atteint 2,28 V, le chargeur passe à la deuxième phase. Le courant décroît alors progressivement au fur et à mesure de la montée de la tension. Cette tension parvient à 2,4 V par élément, l'état de charge de la batterie est alors de l'ordre de 90%, et le chargeur passe en troisième régime, le courant est maintenu constant à 30% I_d (I_d étant le courant de décharge nominal). La tension continue alors de croître, pour se stabiliser.

Lors de la phase d'égalisation, le chargeur fournit un courant constant I_d de l'ordre 20% I_d . Sa durée dépend, bien sûr, de l'état de décharge initial de la batterie. La transition entre les phases 2 et 3 est brutale, d'où l'rupture qui apparaît, sur la figure (II.7), sur la trajectoire tension-courant.

Pourquoi cette phase d'égalisation

Les batteries étant connectées en série, ça peut faire apparaître de légères différences de charges entre les blocs. Ce phénomène s'accroît dans le temps et peut diminuer l'autonomie du véhicule à long terme. Il est donc recommandé de réaliser une égalisation des tensions entre chaque.



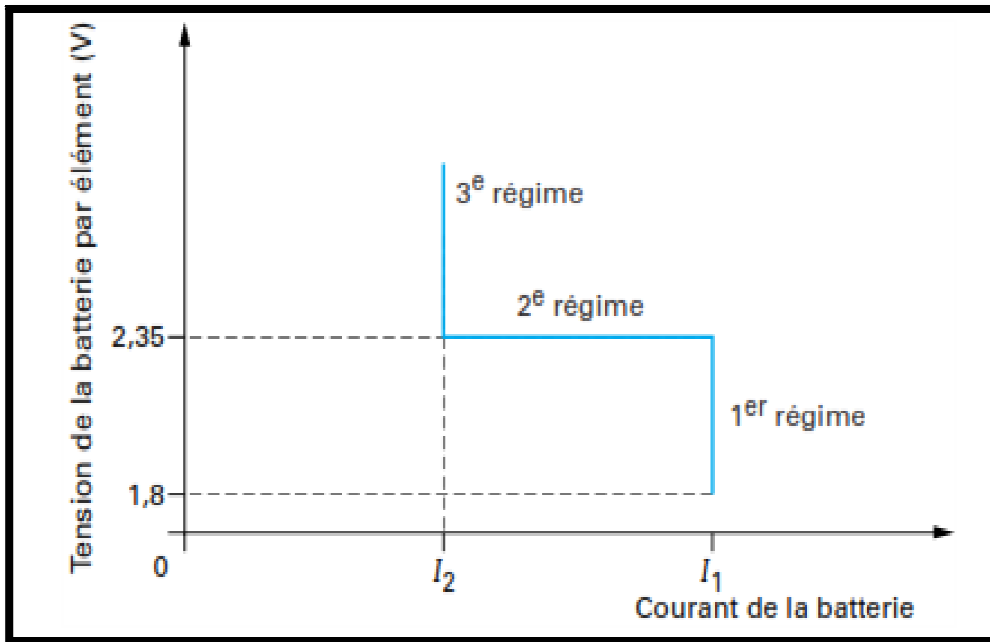
fig(II.7): Profil de charge de type I-W-I

II.5.2 Profil standard pour les batteries au plomb « étanche » ou à recombinaison [14]

La caractéristique de charge utilisée par les batteries au plomb étanche est dite I-U-I, c'est-à-dire courant constant, tension constante, puis courant constant. La figure (II.8) détaille son allure temporelle.

Le chargeur fournit un courant constant I_1 , soit une charge de l'ordre de 0,15 à 0,2 C. Ce courant sera entre 10 et 20% de la capacité de la batterie. Par exemple, une batterie de 100 Ah sera chargée avec un courant compris entre 10 et 20 Ampères. La durée de cette première phase dépend, bien sûr, de l'état de décharge initial de la batterie. Lorsque la tension d'un élément de batterie atteint 2,35V, le chargeur passe alors en deuxième régime. Le courant décroît progressivement. Dès que le courant atteint une valeur I_2 de l'ordre de 2,6A pour une batterie de capacité comprise entre 150 et 170 Ah, le chargeur passe en troisième régime, le courant est maintenu constant.

Une charge d'égalisation, complémentaire, peut être effectuée, à courant constant de faible valeur, pendant un temps prédéterminé (12 h). Elle se fait comme pour les batteries ouvertes, mais à un régime de $0,5I_2$.



fig(II.8) Profil de charge d'un élément de batteries ou plomb « étanche »

II.5.3 Profil standard pour les batteries Ni-Cd: étanches par définition [14]

On utilise dans ce cas un loi de charge de type I-I-a, dont nous allons détailler les trois phases.

Durant la première phase, le courant est limité soit par la batterie (capacité de 0,1 à 0,2C), soit par les possibilités du chargeur. Elle se termine lorsque la tension atteint un seuil prédéterminé de 1,4 à 1,5 V par élément en sachant que tension nominale par élément est de 1,2V.

La deuxième phase consiste à imposer un autre courant constant inférieur au premier. On y arrête la charge par détection de la tension maximale, voire même, pour les petites unités (piles rechargeables), par un décroissement de la tension (environ 20mV par élément).

Les batteries étanches font appel à la détection d'une remontée du courant après la charge complète, courant dû au changement des réactions électrochimiques, suite à l'augmentation de la température et de la pression interne.

II.6 Perspectives pour augmenter la durée de vie de la batterie

Il est souhaitable de contrôler l'élévation de la température pour une charge rapide ou alors d'effectuer un « biberonnage » évitant d'atteindre la charge à 100 % et donc une élévation significative de la température.

On note que plus la charge est rapide, plus il faut contrôler de paramètres, on parle de « batteries intelligentes ». Ces batteries gérées par un processeur interne présentent les avantages suivants :

- possibilité d'allier durée de vie et temps de charge en contrôlant la valeur du courant optimal en fonction de l'état de décharge initial et de la rapidité de charge désirée;
- possibilité de mesurer la résistance interne et d'en déduire l'âge ou la qualité de la batterie;
- possibilité de contrôler l'homogénéisation de la température par un refroidissement forcé;
- possibilité de mesurer l'acceptance pour augmenter le nombre de cycles de charge-décharge et donc sa durée de vie;

L'acceptance :

Il est par définition, le courant limite qu'un accumulateur peut accepter avec une électrolyse acceptable ; celle-ci varie pendant la charge en fonction du temps, de la température, de l'état de charge... .

- possibilité d'équilibrer la tension entre les éléments pendant les phases de freinage par récupération;
- possibilité d'interdire une décharge en dessous d'un certain seuil.

II.7 Conclusion

L'un des principaux inconvénients du stockage de l'énergie et de le faire en respectant le profil de charge spécifique de la batterie afin d'augmenter et de prolonger la durée de vie, en imposant des cycles de décharge profond, et aussi pour réduire le coût d'investissement de la batterie, c'est la raison pour laquelle nous avons essayé d'étudier les différentes batteries rechargeable leurs caractéristiques, et leurs principe de fonctionnement.

Pour conclure, on conseille l'usage des batteries à base de plomb pour notre chargeur solaire, car l'état de charge des éléments au plomb est très facile à évaluer, En revanche, pour les autres couples, il est beaucoup plus difficile de connaître la quantité d'énergie emmagasinée.

Chapitre III :
Conception du chargeur
solaire

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

III.1 Introduction

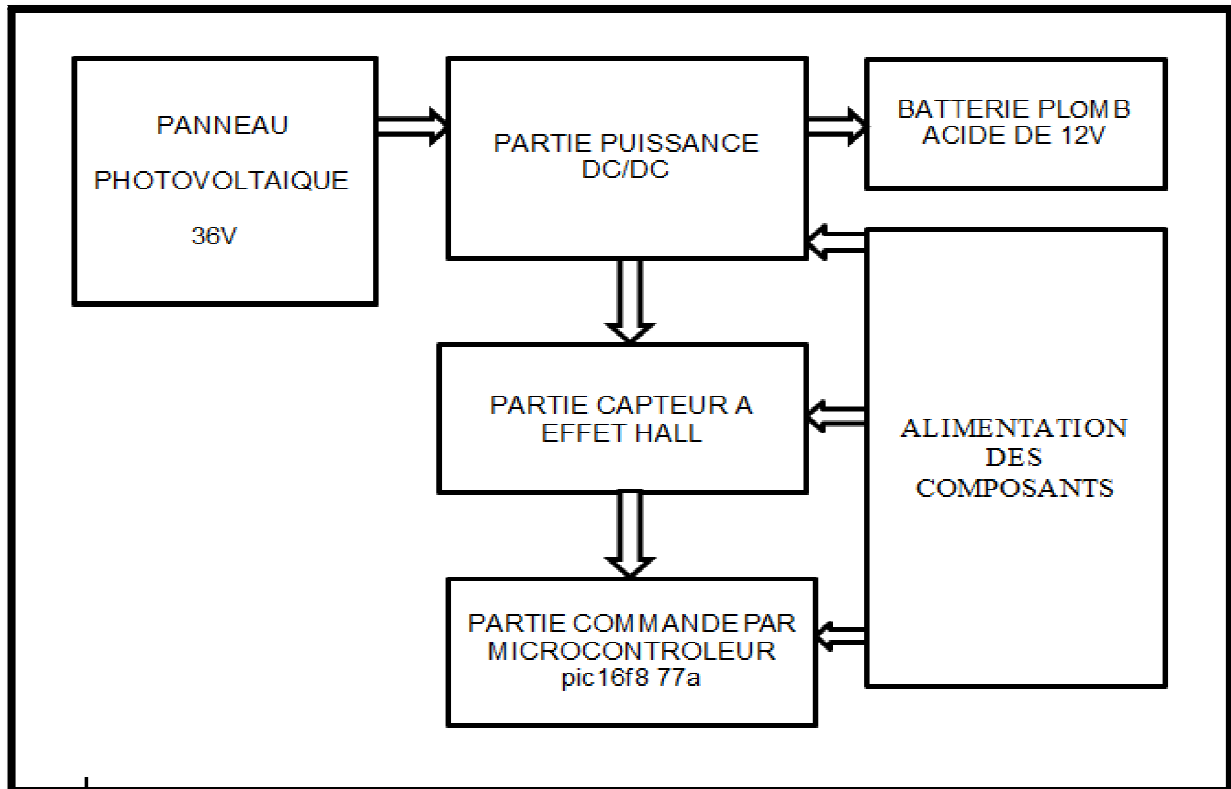
Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les différentes technologies de batteries, ces batteries sont cependant si fragiles devant les phénomènes de surcharge et les dérives de température et de courant alors il convient d'avoir de bonnes bases sur la manière dont les batteries doivent être rechargées pour réaliser un chargeur avec le plus grand soin pour répondre aux exigences de coût et de fiabilité.

Dans ce présent chapitre, nous allons présenter les étapes de conception d'un chargeur solaire de batterie plomb-acide ouverte (annexe 10) fonctionnant sous le contrôle du microcontrôleur PIC16f877A et affichant numériquement les grandeurs utiles du système comme le courant ; la tension de la batterie et le SOC sur un afficheur LCD , nous avons commencé par une approche théorique du système par la suite nous expliquerons le principe de fonctionnement et aborderons les points importants de la conception.

III.2 Présentation du système

Un chargeur est un appareil permettant de recharger un ou plusieurs accumulateurs électriques, groupés en batterie ou non en injectant un courant électrique. Le chargeur le plus simple consiste en la connexion directe d'une source de courant continu de tension adéquate, à une batterie d'accumulateurs. Ce système implique une surveillance du temps de connexion sous peine de surcharge plus ou moins importante de l'accumulateur (en fonction de la tension de charge). [19]

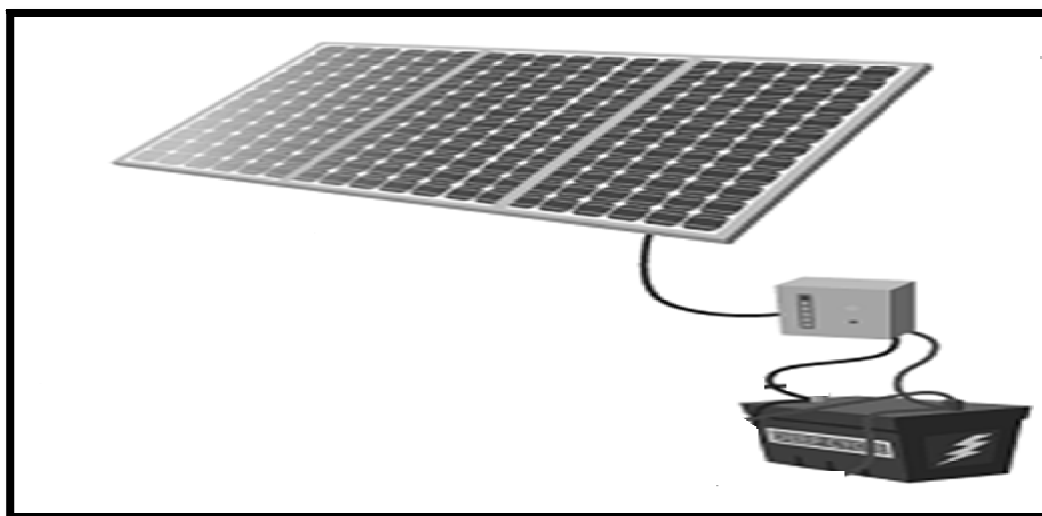
Le chargeur solaire est composé de plusieurs parties ou étages comme présenté sur le schéma synoptique de la figure (III.1). Pour l'obtention d'une tension pour charger une batterie de 12V à partir d'un générateur photovoltaïque de tension 36V ; le chargeur est composé d'un étage de puissance (DC/DC) permettant d'adapter les niveaux de tension entre le générateur photovoltaïque et la batterie ; notre chargeur est constitué aussi d'un étage de contrôle avec un microcontrôleur PIC16F877A, un étage de capteur à effet Hall et un étage d'alimentation en continue pour l'alimentation de quelques-uns de nos composants.



fig(III.1): schéma synoptique du chargeur solaire.

III.3 La source(Panneau photovoltaïque)

Pour avoir la tension désirer qui vaut 36V pour l'alimentation de notre chargeur solaire, nous avons utilisé une association série de trois panneaux photovoltaïques monocristallin.



fig(III.2): Association série de PV branché au chargeur

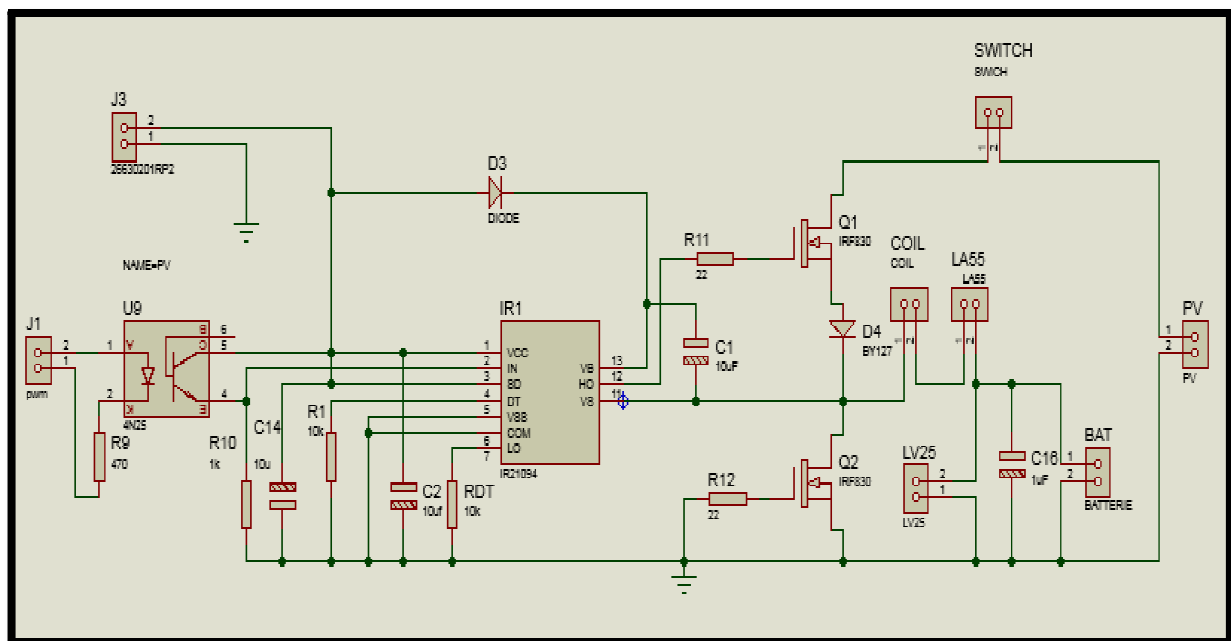
Chapitre III: Conception du chargeur solaire

Un panneau débite une tension de 12V et une puissance de 100W dans les conditions optimales, l'association série de ses trois panneaux figure (III.2) peut débite jusqu'à 36V au point de fonctionnement maximal et dépendra des conditions d'ensoleillement et de la température.

Pour cela dans notre système pour alimenter le chargeur nous allons utiliser une hypothèse simplificatrice que le panneau délivre une tension constante non variable en fonction des conditions d'ensoleillement et de la température qui est $V_e=36V$ et nous allons concevoir le chargeur avec hypothèse que la tension d'alimentation du chargeur est constante et égale à $V_e=36V$.

III.4 Partie de puissance

La figure (III.3) présente la partie puissance du chargeur. Celle-ci est très importante car elle constitue l'interface entre la batterie et le chargeur.



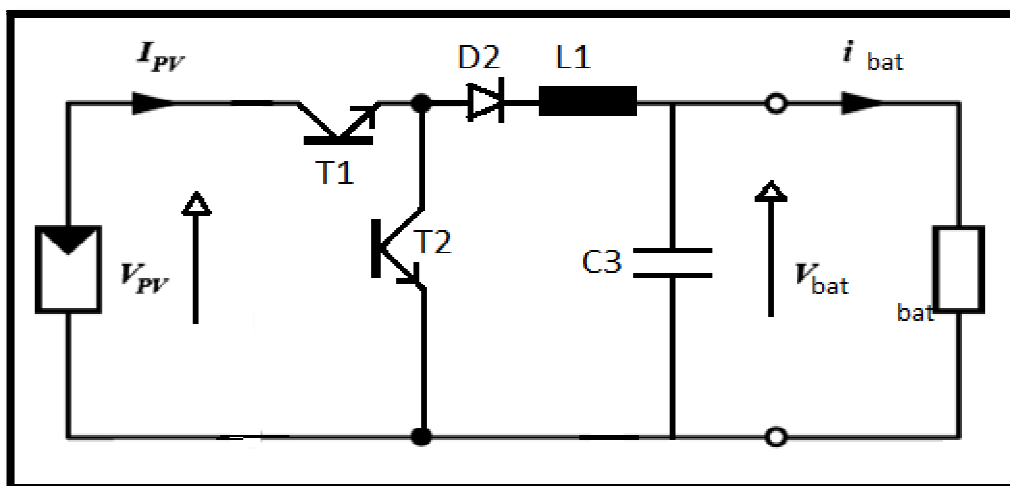
fig(III.3): Schéma sur ISIS PROTEUS de la partie puissance du chargeur solaire

L'objectif principal dans cette partie est de concevoir un convertisseur statique DC/DC entre le panneau solaire et la batterie, le système est destiné pour convertir la valeur moyenne d'une tension continue d'un niveau à un autre en variant le rapport cyclique de conduction α . De cette variation de tension, s'en suit une variation de courant dans le même rapport en

gardant la puissance transmise relativement constante en négligeant les pertes joules dans les composants.

Ces convertisseurs sont construits à base de bobines, de condensateurs dont les inductances et les capacités sont soigneusement dimensionnées afin de minimiser les ondulations du courant et de la tension. Les commutations sont assurées par des composants de l'électronique de puissance tels les IGBT et MOSFET. Ces convertisseurs sont largement utilisés dans les systèmes nécessitant une tension continue variable et régulée cependant plusieurs types de convertisseur existent, en fonction de la charge et de la source, ils peuvent être survolteurs dans le cas d'une alimentation à partir d'un panneau photovoltaïque par exemple, ou dévolteur si la charge utilise une tension inférieure ou égale à celle de la source. Notre présente étude portera sur un convertisseur Buck donné en la figure (III.4).

III.4.1 Convertisseur dévolteur (Buck converter)



fig(III.4): Schéma équivalent d'un hacheur série

La topologie du convertisseur statique utilisé pour cet étage de puissance est du type (Buck). Cette topologie est choisie afin d'adapter la tension de la source photovoltaïque de 36V afin d'assurer une tension adéquate pour notre charge qui est une batterie de 12V. Pour cela, on utilisera un MOSFET IR830 pour notre convertisseur dévolteur.

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est un hacheur qui convertit la valeur moyenne d'une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur moyenne. Ce type de convertisseur peut être utilisé pour charger une batterie. Le schéma de principe de ce type de hacheur est donné par la figure (III.4)

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

Si le commutateur S_1 est fermé, un courant circule dans le circuit, mais ne passe pas par la diode D (diode de T_2) puisqu'elle est inversée. Si le commutateur T_1 est ouvert, la charge est déconnectée de son alimentation, le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L_1 et circule à travers la diode D appelée diode de roue libre (la diode du MOSFET T_2). Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surintensité.

III.4.2 Dimensionnement de la bobine et du condensateur du convertisseur BUCK

a. Capacité du condensateur

Le condensateur, est censé stabiliser lissier la tension aux bornes de la batterie. Pour le dimensionner on doit calculer sa capacité (la formule (III.2)).[30].

$$\square V_s = \frac{V_s}{RfC} \alpha \quad (\text{III.1})$$

$$C = \frac{\alpha V_s}{RfV_s} \quad (\text{III.2})$$

$$\square V_s = 5\% V_s \quad (\text{III.3})$$

Ondulation de la tension : $\square V_s = 5\% V_s$

Tension maximal débité par notre chargeur $V_s = 13.2V$ pour $T > 40$

La fréquence $f_s = 10kHz$.

Rapport cyclique $\alpha = 0.36$.

$R =$ négligée.

La valeur trouvée après calcul égale : $C = 720 \mu F$.

b. La bobine du convertisseur BUCK

On a placé la bobine L_1 pour lissé le courant ; la valeur de l'inductance dépend de la fréquence de découpage utilisée. Pour dimensionner la bobine on calcule son inductance avec la formule (III.7) [30] nous avons trouvé la valeur égale $L = 0.000825H$.

$$I(t) = I_{MIN} - \frac{V_s - V_e}{L} (t - \alpha T) \quad (\text{III.4})$$

$$\text{\AA } t = T \quad I(T) = I(\text{min}) \quad (\text{III.5})$$

$$\Delta I = \frac{V_S - V_e}{L}(t - \alpha) \quad T = \frac{V_S}{L}(1 - \alpha) \quad \alpha \quad (\text{III.6})$$

$$L = \frac{V_S}{4fI} \quad (\text{III.7})$$

Avec

Ondulation de courant : $\Delta I_S = 10\% I_n$ avec $I_n = 4A$.

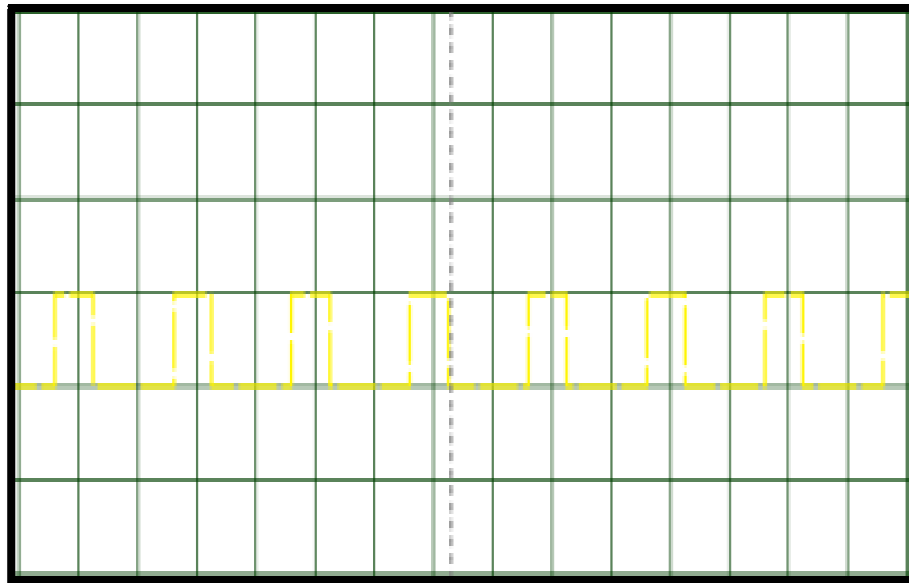
III.4.3 Commande du convertisseur

Les convertisseurs statiques sont utilisés de plus en plus en électronique de puissance, le passage d'un état à un autre se fait périodiquement. On dit alors que le convertisseur fonctionne en découpage si la période de fonctionnement du convertisseur est très faible devant celle de la source. Il existe plusieurs commandes pour les convertisseurs : commande analogique généralement à base d'amplificateur opérationnels et la commande numérique généralement en faisant appel à des circuits intégrés programmables de type microcontrôleurs, c'est la commande que l'on utilisera pour la commande de notre convertisseur BUCK. Cette commande permet la réalisation des signaux de commande d'une manière plus fiable.

III.4.3.1 Commande numérique PWM

Le rôle de cette régulation est de réaliser la commande du convertisseur BUCK à partir d'un signal de la commande par la modulation de largeur d'impulsions (MLI) ou en anglais (PWM). Les performances de cette commande doivent permettre la commutation rapide (ouverture et fermeture) de l'interrupteur de puissance.

Le signal PWM comme montré dans la figure (III.15) permet de contrôler le courant de charge de notre chargeur solaire en modulant le rapport cyclique du convertisseur BUCK. Ce signal de modulation de largeur d'impulsions est généré par le microcontrôleur avec un programme de commande MLI sur MICROC. Un asservissement est réalisé dans le code du PIC avec imposition de la valeur du rapport cyclique α pour que la tension de charge soit toujours égale à la consigne ; dans notre cas la tension maximale de sortie de notre chargeur est de 13.2V sachant que la tension d'entrée de notre panneau solaire photovoltaïque a une tension optimale $V_e = 36V$.



fig(III.5): signal de sortie d'une commande PWM

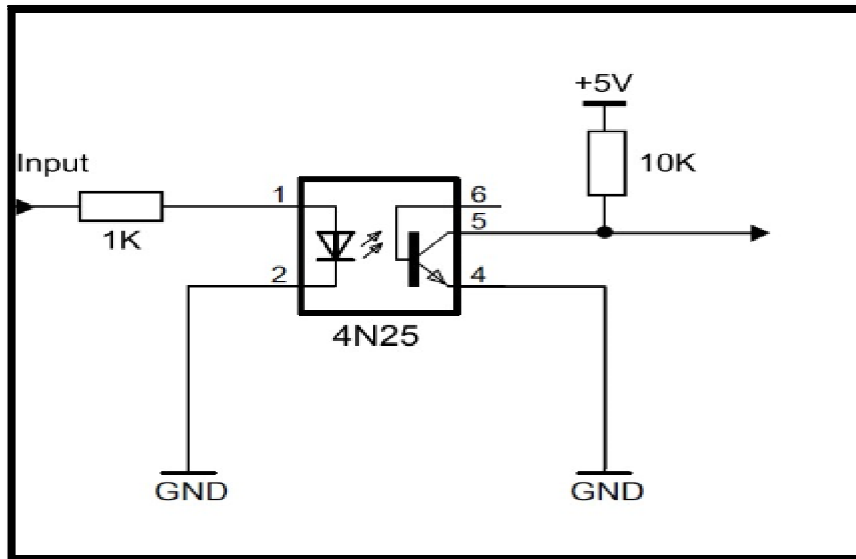
III.4.4 La carte driver du convertisseur BUCK

Cette carte est constituée de deux composants essentiels : l'Optocoupleur 4N25 et le driver IR21094.

a. Optocoupleur 4N25 (datashett (annexe1))

Il réalise une conversion "énergie électrique" en "énergie électrique". C'est un dispositif d'isolement qui permet la transmission de niveaux électriques de manière non-galvanique. Il est constitué d'une diode électroluminescente (LED) et d'un phototransistor intégrés dans le même boîtier annexe(1). Pour isoler le circuit de commande du circuit de puissance, nous avons dû utiliser un Optocoupleur de type 4N25 DE LA figure (III.6), disponible au laboratoire [20].

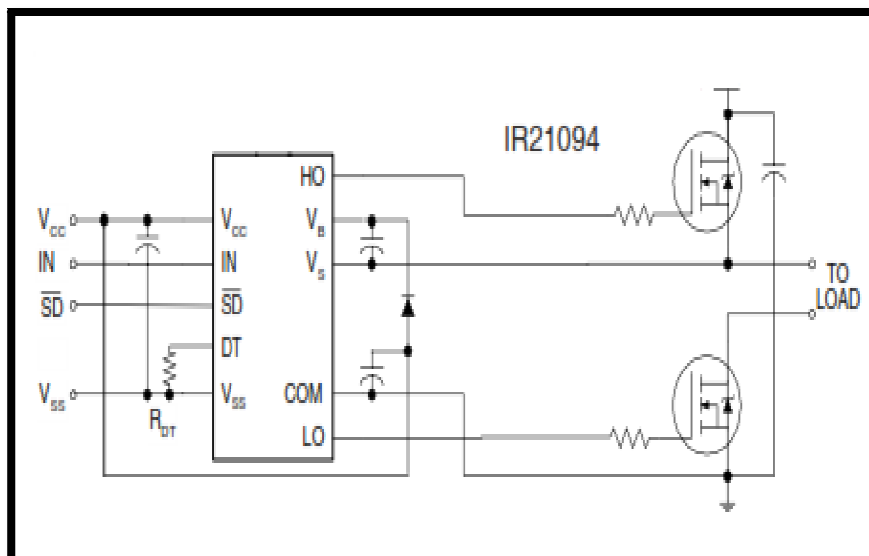
Le signal d'entrée du 4N25 est obtenu par le microcontrôleur via la patte RC2. La sortie de l'optocoupleur attaque un circuit spécialisé IR21094 qui a un circuit fonctionnel de la figure (III.7).



fig(III.6): Circuit de fonctionnement 4N25

b. Driver IR21094 (datasheet (annexe2))

C'est un circuit qui a pour rôle principal d'améliorer le signal de sortie de l'optocoupleur. Il génère deux signaux PWM sur les pattes 7 et 12. Le signal généré sur la patte 7 est mis à la masse parce que on n'a pas besoin d'un deuxième signal et le signal de sortie généré par la patte 12 polarise l'étage de puissance via Q1 (MOSFET de type IRF830). La patte 3 sert a activé ou désactiver le circuit.



fig(III.7): Circuit de fonctionnement du IR21094

III.5 La partie capteurs a effet hall

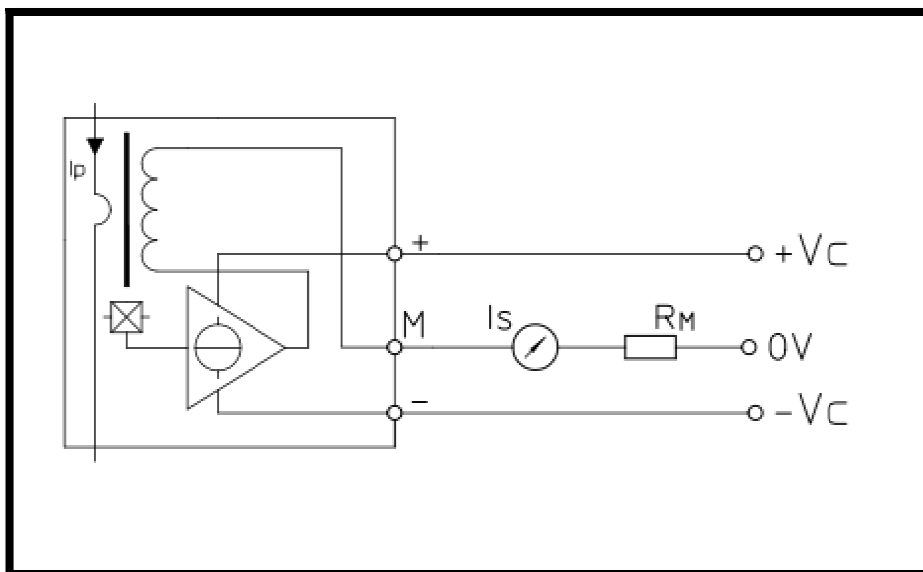
Un compteur doit mesurer le courant et la tension de charge, cela peut être fait simplement à l'aide du capteur de courant et de tension respectivement. Pour notre prototype nous avons utilisé des capteurs à effet hall pour la tension et le courant, car il offre plusieurs avantages, qui sont:

- Le circuit est léger et de petite taille.
- Pas de saturation.
- Grande précision.

III.5.1 Le capteur de courant LA55-P

LA25-P, commercialisé par la société LEM, qui est représenté par le Circuit fonctionnel de la figure(III.8). C'est un capteur de courant à effet Hall à boucle fermée permettant de mesurer des courants alternatifs, continus ou impulsions. Les principales caractéristiques données par le constructeur pour une alimentation symétrique de +15V,-15V sont les suivantes[28],[22]:

- Résistance de mesure : $50\Omega < R_m < 400\Omega$;
- Rapport de transformation: $k=1/1000$;
- Un courant nominal : $I_{pn}=55A$;
- Bande de puissance : 200Hz ;



fig(III.8): Circuit de fonctionnement du LA55-P

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

L'annexe (4) des capteurs LEM précise les conditions d'utilisation pour une plage de mesure de courant généralement de 1.5 à 2 fois le courant nominal I_{PN} . Il est toutefois possible de mesurer des courants plus élevés pour autant qu'on tienne compte des deux paramètres suivants:

- La résistance de mesure ne doit pas être inférieure à la valeur R_{mmin} indiquée sur la fiche technique, cela afin de limiter la puissance dissipée par l'électronique du capteur.
- La température maximale du conducteur primaire ne doit pas dépasser la valeur indiquée sur la fiche technique afin de ne pas endommager les différents éléments du capteur.

a. Calcul de la résistance de mesure R_m

Dans notre cas, puisque nous disposons d'une alimentation +15V ; -15V et nous avons fixé le courant de mesure maximal à 55A, la résistance minimale indiquée par le constructeur est de $R_m = 50\Omega$. Par contre la résistance maximale indiquée est de 400Ω , la résistance normalisée utilisée est $R_m = 100\Omega$.

b. Gamme de puissance à choisir pour R_m

Afin d'éviter une dérive thermique excessive de R_1 et dans un souci de fiabilité l'utilisateur choisira généralement une résistance R_m ayant une gamme de puissance 3 à 4 fois supérieure à la puissance nominale à dissiper.

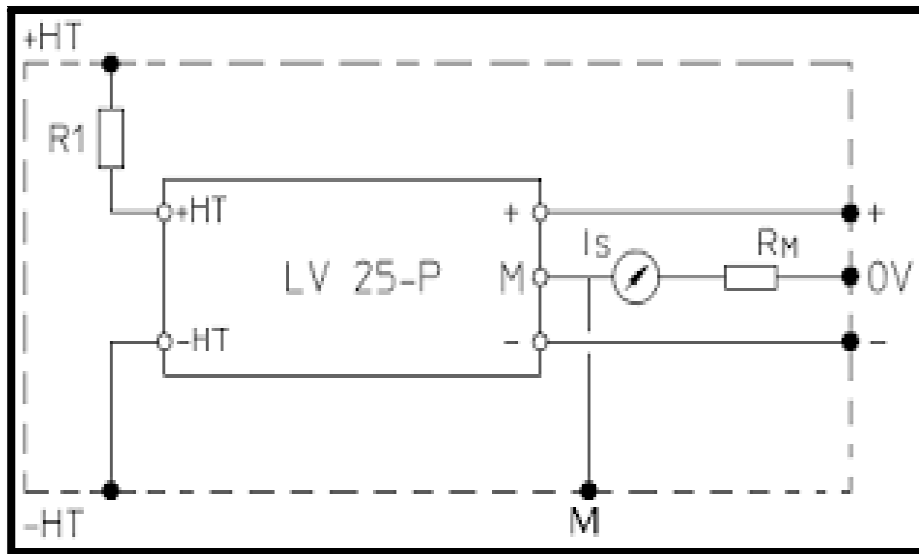
$$P_{n1} = I_{PN} \times U = 55 \times 15 = 0.82 \text{ KW} \quad (\text{III.9})$$

Alors la gamme de puissance de la résistance R_m doit être d'au moins d'une puissance

$$3P_{n1} = 0.82 \times 3 = 2.45 \text{ KW} \quad (\text{III.10})$$

III.5.2 Le capteur de tension LV25-P

Ce capteur de tension pour qu'il puisse fonctionner doit être alimenté en ($\pm 12V$ ou $\pm 15V$). Comme représenté par le Circuit fonctionnel de la figure (III.9), Une résistance R_1 est placée à l'entrée de ce capteur de telle sorte que sa valeur dépend de la valeur de la tension à mesurer de sorte que le courant circulant dans les enroulements primaires ne dépasse pas les 10 mA. Une autre résistance R_m est placée à la sortie du capteur. Il a pour rôle de fixer la tension de sortie du capteur à la valeur souhaitée. Annexe (5)



fig(III.9): Circuit de fonctionnement du LV25

a. La résistance R1

Dans notre cas, la résistance R1 calculée est égale à $R1 = 1.210 K\Omega$, ce qui dans le but de mesurer des tensions allant jusqu'à 15V avec un courant de $I_{pn} = 10mA$.

$$V = (R1 + R_p) I_{pn} \quad (III.11)$$

Avec R_p est la résistance interne à l'entrée de capteur LV25

b. gamme de puissance à choisir pour R1

Afin d'éviter une dérive thermique excessive de R_1 et dans un souci de fiabilité l'utilisateur

choisit généralement une résistance R_1 ayant une gamme de puissance 3 à 4 fois supérieure à la puissance nominale à dissiper. La puissance nominale dissipée dans R_1 est :

$$P_{nr1} = (I_{PN})^2 \times R1 = 0.01^2 \times 1210 = 0.12W \quad (III.12)$$

Alors la gamme de puissance de la résistance R1 doit être d'au moins d'une puissance :

$$3P_{nr1} = 0.1213 \times 3 = 0.363W = 363KW \quad (III.13)$$

c. La résistance R_m

Le calcul de la résistance secondaire R_m du capteur de courant est valable pour capteur de tension, la résistance minimale indiquée par le constructeur est de $R_m = 100\Omega$.

Par contre la résistance maximale indiquée est de 350Ω .

La valeur de cette dernière est choisie égale à 300Ω .

$I_{sn} = 50\text{mA}$. Ce qui donnera une tension analogique à la sortie du capteur de valeur maximale :

$$V_{\max} = R_m I_{\max} = 300 \times 50 \times 10^{-3} = 15\text{V} \quad (\text{III.14})$$

d. gamme de puissance à choisir pour R_m

Afin d'éviter une dérive thermique excessive de R_m et dans un souci de fiabilité l'utilisateur

choisira généralement une résistance R_m ayant une gamme de puissance 3 à 4 fois supérieure à la puissance nominale à dissiper. La puissance nominale dissipée dans R_1 est :

$$P_{N2} = V_{\max} \times I_{sn} = 15 \times 50 \times 10^{-3} = 0.75\text{W} \quad (\text{III.15})$$

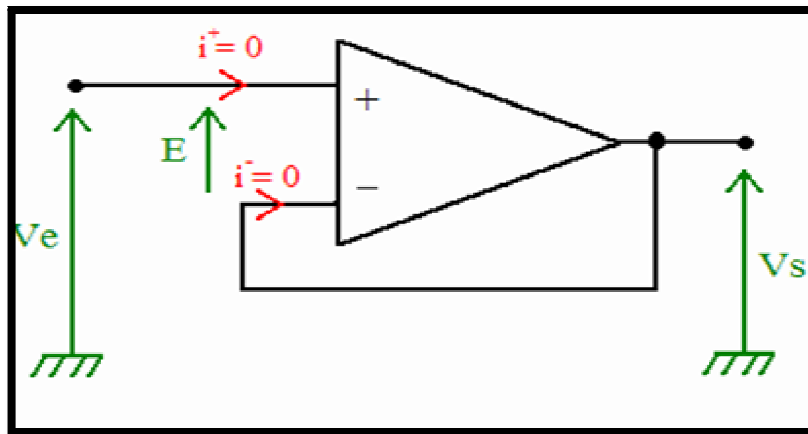
Alors la gamme de puissance de la résistance R_1 doit être d'au moins d'une puissance.

$$3P_{N2} = 0.75 \times 3 = 2.25\text{W} \quad (\text{III.16})$$

III.5.3 Amplificateur opérationnel en montage SUIVER

Un amplificateur opérationnel (A.O) est un circuit intégré (ou puce électronique) qui se présente sous la forme d'un petit boîtier noir. Le mode suiveur de tension qui est représenté à la figure (III.10) est typiquement utilisé dans un circuit où l'on cherche à "découpler" les impédances, c'est à dire à empêcher une impédance de source de constituer avec une impédance de charge. [29]

En première analyse ce montage ne présente aucun intérêt mais on constate que son impédance d'entrée est très grande et son impédance de sortie très faible. La sortie ne prélevant aucune puissance sur le circuit d'entrée qui ne perturbe pas celui-ci. Ce montage constitue un adaptateur d'impédance, la résistance d'entrée de ce montage est infinie. Il permet aussi de prélever une tension sans la perturber, car il possède un courant d'entrée nul.



fig(III.10): Circuit de fonctionnement d'un amplificateur en mode suiveur

Pour notre conception nous avons choisi d'utiliser le AD704 qui est un circuit intégré constitué de 4 amplificateurs opérationnels et nous allons utiliser deux seulement, un pour la sortie du capteur de tension LV25 et l'autre pour la sortie du capteur de courant LA55.

La sortie des deux capteurs sera l'entrée de l'AD704 en mode SUIVER qui est alimenté avec (-15V, +15V). Donc la valeur de la résistance R_m des capteurs à effet Hall doit être choisie pour faire en sorte que la tension de sortie ne dépasse pas les 15V, la sortie de l'AD704 sera l'entrée analogique du pic 16F877A qui est alimenté en 5V et mesurera des tensions jusqu'à 5V maximum. Si l'on dépasse la valeur limite, on risque de détériorer le composant, il est possible dans ce contexte d'utiliser un pont diviseur de tension pour ne pas dépasser 5V, pour cela nous avons calculé les bonnes valeurs pour le pont diviseur.

III.6 Partie commande par le microcontrôleur pic 16F877A

III.6.1 Présentation du Microcontrôleur pic 16F877A

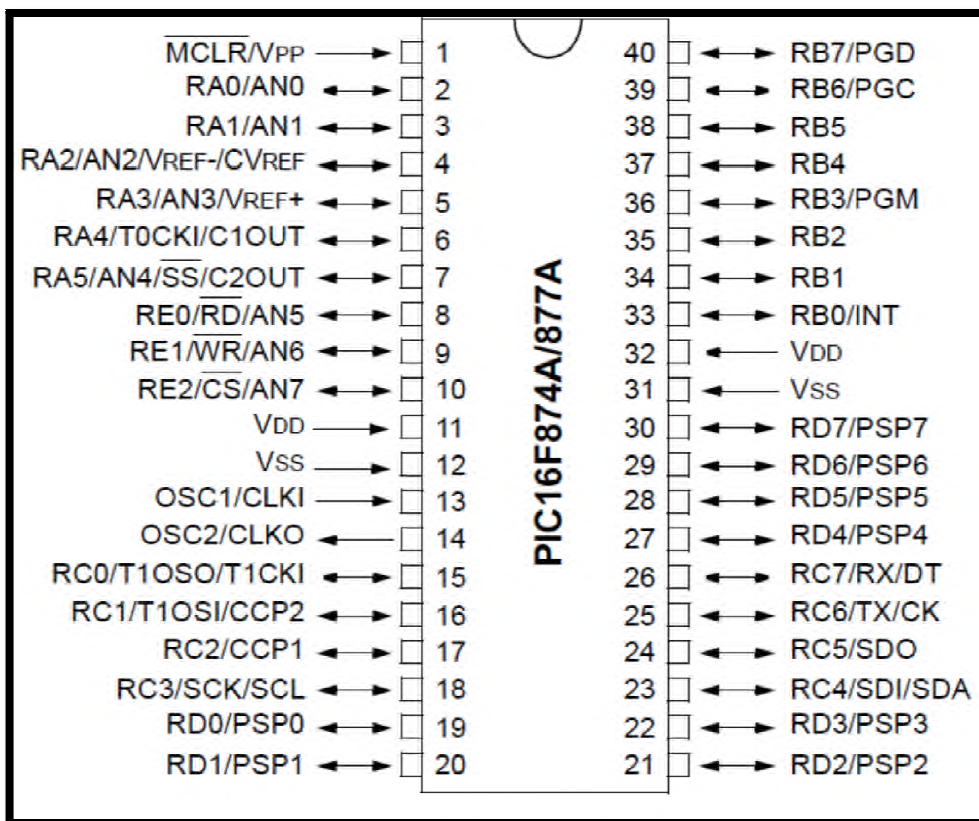
Le PIC16F877A est un composant électronique qui traite une information d'une manière automatique, Ils contiennent de la RAM, de la ROM, quelques ports d'E/S parallèles, des ports séries, des compteurs programmables (Timers), des CAN/CNA, des interfaces pour réseaux de terrain. Ils sont en général utilisés pour contrôler des simples machines (appareils électroménagers, lecteurs de carte à puce...), pour notre étude le microcontrôleur a pour rôle de faire la gestion de la tension et courant du chargeur ainsi la communication avec l'utilisateur via l'interface. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus leur décodage sera rapide ce

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

qui augmente la vitesse de fonctionnement du microcontrôleur [24,26].

Le choix d'un PIC pour une application dépend principalement de :

- Nombre d'entrées/sorties de l'application.
- Du type de la mémoire utilisée RAM, EPROM, FLASH et de sa taille (elle dépend de la programmation des PIC).
- De l'existence ou non d'une mémoire EEPROM.
- La disponibilité du composant sur le marché.
- La facilité de sa mise en œuvre.
- Son prix d'achat.



fig(III.11): PIC 16F877-A

III.6.2 Les périphériques du PIC16f877A

Le PIC 16f877A contient cinq ports d'entrées/sorties (I/O), nommés : A, B, C, D et E qui permettent au PIC de communiquer avec le monde extérieur. Le schéma de la figure(III.11) représente la structure externe du PIC 16F877-A

Le PIC 16F877-A comprend [25] :

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

Tous les ports peuvent être configurés soit en entrée ou en sortie, selon le bit qui se situe au registre TRIS (registre de direction) de chaque port.

- Si le bit de TRISX se met à 1 la broche de Portx se place en entrée.
- Si le bit de TRISX se met à 0 la broche de Portx se place en sortie.

1. Le portA

Ce port est formé de 6 bits (pins) d'entrées/sorties de RA0 à RA5, les 5 pins (RA0 à RA3) et RA5 peuvent être utilisés comme des entrées sorties numériques, soit comme entrées analogiques. La broche RA4 peut être utilisée [23]:

- Entrée/sortie numérique.
- Comme entrée horloge pour le Timer TMR0.

Si le registre TRISA=1, les pins se placent en entrées. Si le registre TRISA=0, les pins se placent en sorties.

2. Le PortB

Il possède 8 pins d'entrées sorties de RB0 à RB7. RB0 : peut-être entrée d'interruption externe
RB1 : entrée de l'USART.

RB2 : sortie ou horloge de l'USART.

RB3 : E/S du module capture/compare /PWM. RB4 : contrôle du mode de programme.

RB6 : E/S du Timer 1.

RB7:entrée d'horloge pour Timer 1.

Donc la configuration de direction se fait à l'aide de registre TRISB.

Dans notre simulation le port B est utilisé pour l'afficheur LCD.

3. Le portC

C'est un port bidirectionnel à 8 bits de RC0 à RC7. Toutes ces broches peuvent être utilisées soit comme entrées/sorties ou comme broches d'accès aux différentes ressources internes (USART, CCP, Timer 1), à l'aide du registre TRISC.

4. Le portD

C'est un port bidirectionnel à 8 bits qui ne partage avec aucune ressource interne ce Port dispose d'un mode de fonctionnement particulier qui s'appelle le mode esclave parallèle (PSP). [24]

5. Le port E

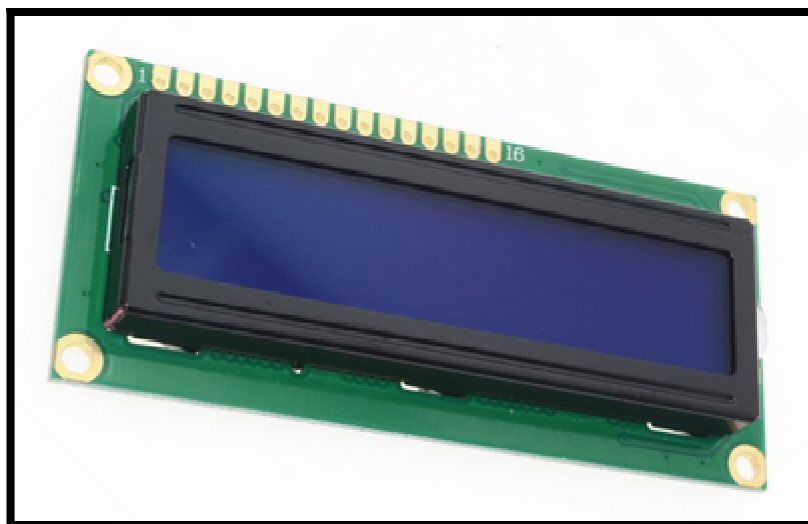
Ce port contient seulement 3 bits de RE0 à RE2, qui ne sont pas concernés de TRISE, ils sont implémentés pour d'autres fonctions.

- Les pins REX peuvent être utilisés avec la ressource PSP.
- Les pins peuvent être utilisés comme entrées analogiques.

III.6.3 Commandes de l'interface

III.6.3.1 Afficheur LCD

Les afficheurs à cristaux liquides représenté par la figure(III.12) sont des modules compacts intelligents et nécessitant peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils sont relativement bons marché et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Un microprocesseur diminue considérablement leurs consommation ($<0.1\text{mw}$) ils sont pratiquement seuls à être utilisé sur les appareils à alimentation par piles plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et ne diffèrent les uns des autres, non par leurs dimensions (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leurs tensions de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant cet éclairage est gourmand en intensité (250mA max).



fig(III.12): Afficheur LCD 2 lignes de 16 caractères

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7, broches 7 à 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou ligne 2, les sens de défilement du curseur. [27]

Pour utiliser le LCD il faut bien sûr l'alimenter par 5V et la masse. Ensuite il va falloir relier les ports RS, R/W et Eau PIC (RA0, RA1 et RA2) puis les ports D0 à D7.

Après avoir alimenté le LCD il faudra envoyer une série de commandes pour l'initialisation. Si la phase de l'initialisation est terminée, on peut envoyer directement des codes pour que le LCD les affiche.

Le programme n'est ni gourmand en taille mémoire, ni en RAM, l'exécution est préalablement plus longue mais le coût de l'affichage se fait à temps court.

III.6.3.2 affichage des grandeurs sur l'afficheur LCD

La valeur analogique est la valeur de la tension appliquée sur un pin de notre PIC et comme l'électronique interne du PIC ne comprend que les valeurs binaires donc il faut transformer cette valeur en numérique, ce procédé s'appelle numérisation et pour effectuer cette tâche on aura besoin d'un convertisseur analogique numérique. Il possède huit canaux, cinq entrées de ses canaux sont les pins RA0 à RA3 plus RA5, sont nommés de AN0 à AN4 et les trois autres sont les pins RE0, RE2, RE3 qui sont nommés de AN5 à AN7. Comme représenté sur l'annexe (15).

a. Affichage de la tension et courant de la batterie

Le microcontrôleur récupère la tension et le courant capté aux bornes de la batterie par l'intermédiaire des capteurs à effet hall capteur de tension LV25 et le capteur de courant LA55, un amplificateur opérationnel AD704P est placé à la sortie des deux capteurs et la sortie du SUIVER un diviseur de tension. Les deux signaux mesurés pour la tension et mesure2 pour le courant rentrent à travers les broches RA0 ET RA1 du port A qui est configuré en convertisseur analogiques du PIC et permettent après conversion dans le PIC de les afficher sur l'afficheur LCD et connaître le courant et la tension aux bornes de la batterie de chargeur réalisé.

La tension de référence utilisée par le PIC pour les conversions analogiques numériques est son alimentation 5 V régulée.

b. Affichage du SOC de la batterie a chargé

L'état de charge (SOC), exprimé en %, est le rapport entre la capacité résiduelle et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie restant dans la batterie. La profondeur de décharge (DOD), exprimé en %, est le rapport entre la capacité déjà déchargée et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie consommée dans la batterie. La somme des valeurs de SOC et DOD donne toujours 100%.

Exemple : Une batterie qui a une profondeur de décharge de 30% à un état de charge de 70%.

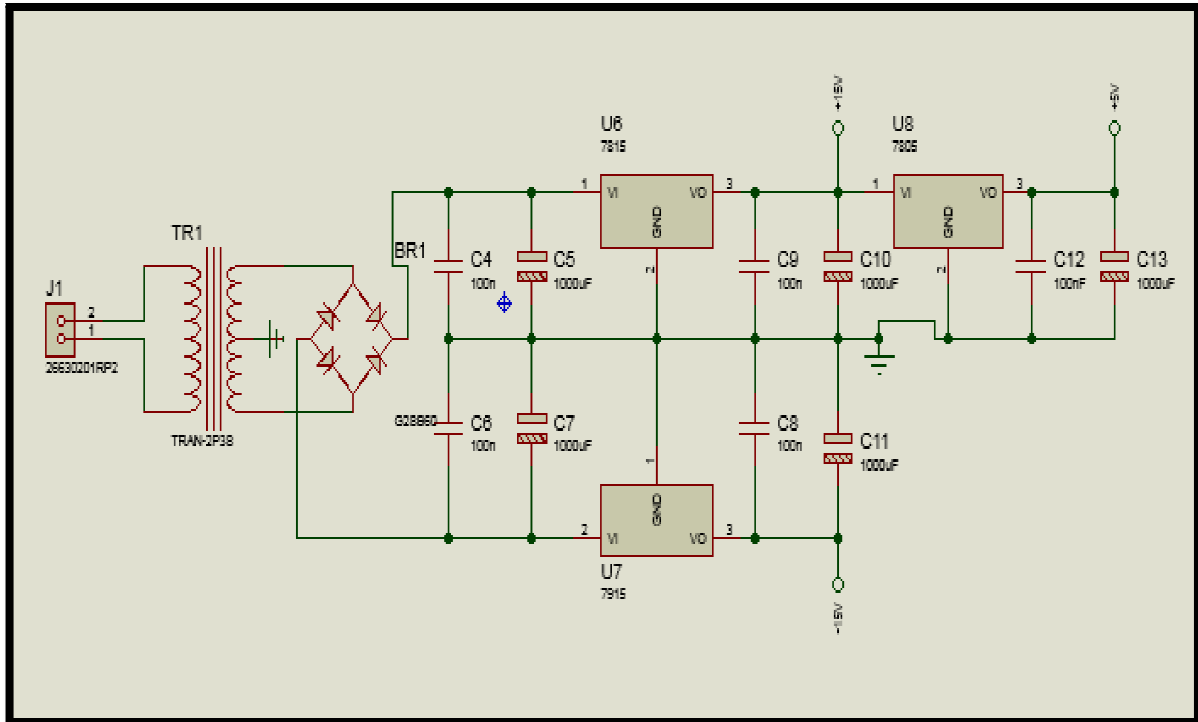
Pour affiché le SOC ou pourcentage de l'état de charge de la batterie nous avons réalisé une fonction dans le programme sur MIKROC, cette fonction utilise la valeur de tension de la batterie diviser sur la valeur de la tension maximal débité par notre chargeur solaire multiplier par 100, c'est le rapport entre la tension de la batterie et la tension maximal du chargeur solaire.

III.7 La partie Alimentation

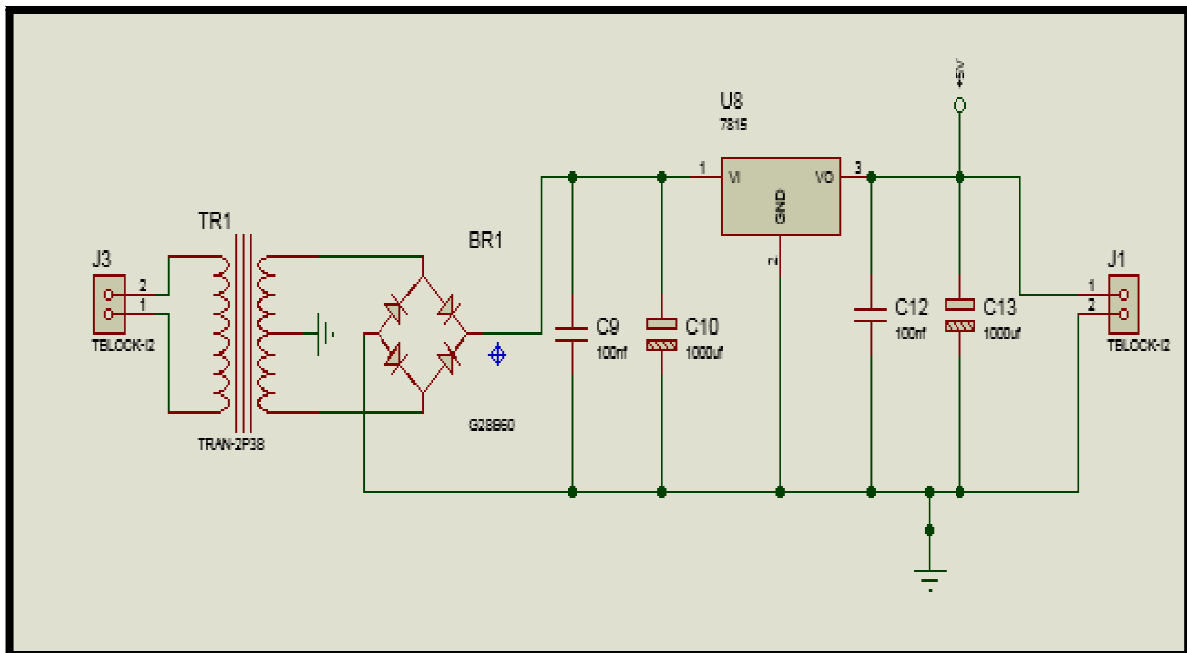
On désire réaliser une alimentation stabilisée multi sorties pour alimenter d'une part la carte de commande, et d'autre part une alimentation symétrique pour polariser les amplificateurs opérationnels et pour faire fonctionner nos capteur a effet hall capteur de tension et de courant. Et une autre alimentation avec une masse indépendante pour alimenter l'optocoupleur 4N25 et le IR21094.

La figure(III.13) Présente la partie alimentation multi sortie 5V et -15/15, cette alimentation comporte : un transformateur deux points sont à prendre en considération lors d'un choix du transformateur, la puissance qu'il doit fournir et son rapport de transformation. Un pont de diodes, condensateurs de filtrage et des régulateurs choisis; le choix se fait à partir de la tension désiré; pour nos composants nous avons besoin d'une alimentation symétrique de +15V/-15V avec régulateurs LM7815, LM7915 et une alimentation de +5V avec un régulateur LM7805 et en une alimentation de +15V qui partage pas la même masse avec l'alimentation symétrique, elle représenté par la figure(III.14).

Chapitre III: Conception du chargeur solaire



fig(III.13): partie alimentation 5V & 15/15V sur ISIS PROTEUS



fig(III.14): partie alimentation 15V sur ISIS PROTEUS

III.7.1 Fonctionnement du montage

Le transformateur génère une tension sinusoïdale d'amplitude $V_m=12.5V$ et de fréquences $f=50Hz$. Cette tension est redressée sur deux alternances par le pont de diodes.

Le régulateur est un circuit intégré qui génère une tension constante (qui dépend du model

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

utiliser) entre ses broches 2 et 3 lorsque la tension entre ses bornes 2 et 3 est supérieure à un seuil noté V_T . Pour un fonctionnement normal du montage, il faut que quel que soit la charge, la tension aux bornes de la capacité soit supérieure à la tension de seuil du régulateur.

Le rôle de cette alimentation est d'alimenter l'amplificateur opérationnel AD704P, nos capteurs de tension LV25 et le capteur de courant LA55, elle ce fait à l'aide d'une alimentation stabilisée délivrant une tension symétrique de valeurs $+15V/-15V$. Et nous avons choisi le montage représenté sur la figure (III.13), qui comporte deux régulateurs, l'un délivrant $+15V$ (L7815) et l'autre $-15V$ (L7915), par contre le 4N25 et le Driver IR21094 avec une alimentation de $15V$ avec une masse indépendante de l'autre alimentation comme le montre la figure (III.14).

L'alimentation de la carte de commande qui est l'interface constituée par un microcontrôleur PIC16f877A et L'afficheur LCD ce fait à l'aide d'une alimentation de tension $+5V$, nous avons choisi le régulateur L7805, nous avons choisi le montage représenté sur la figure (III.13), Des condensateurs de filtrage seront ajoutés en entrée et en sortie des régulateurs.

III.7.2 Outils de programmation d'un PIC 16f877A

La programmation des PIC se fait par le langage assembleur qui est un langage de bas niveau qui représente le langage machine sous une forme lisible par un humain. Les combinaisons de bits du langage machine sont représentées par des symboles dits « mnémoniques » (du grec mnêmonikos, relatif à la mémoire), c'est-à-dire faciles à retenir.

Le programme assembleur convertit ces mnémoniques en langage machine en vue de créer par exemple un fichier exécutable.

Le développement des environnements de programmation, nous a permis de voir naître de nouveaux compilateurs qui permettent de programmer avec les langages haut niveau tels que le C, PASCAL, BASIC etc...

Ces environnements comportent aussi des bibliothèques qui permettent de faciliter le développement. Il existe plusieurs outils de développement, les uns sont gratuits, les autres sont payants. Dans notre recherche de l'outil que nous allons utiliser pour programmer notre PIC, nous avons optés pour le langage C. Ce choix est à la fois un choix personnel et un choix technologique. D'une part, le langage C est utilisé dans différents systèmes et domaines de développement, ce qui nous permettra une évolution future, d'autre part, le langage C est l'un des langages les plus puissants.

III.8 Simulation sur ISIS PROTEUS

Pour savoir la fonctionnalité de notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela on utilise le logiciel ISIS qui est un très bon logiciel de simulation en électronique. ISIS est un éditeur de schémas qui intègre un simulateur analogique, logique ou mixte. Toutes les opérations se passent dans cet environnement, aussi bien la configuration des différentes sources que le placement des sondes et le tracé des courbes. La simulation permet d'ajuster et de modifier le circuit comme si on manipulait un montage réel. Ceci permet d'accélérer le processus et de réduire son coût. Il faut toujours prendre en considération que les résultats obtenus de la simulation sont un peu différents de celles du monde réel, et ce dépend de la précision des modèles SPICE¹ des composants et de la complication des montages.

III.8.1 Les résultats de la simulation de notre système

L'annexe(17) montre les différents signaux de l'étage de puissance au différents niveaux à la sortie du 4N25 et du I21094 et à la sortie du chargeur, l'oscilloscope est branché comme l'annexe (16).

Le signal obtenu à la sortie de l'optocoupleur 4N25, visualisé par un oscilloscope sur PROTEUS, nous constatons que le signal est faiblement distordu et avec une tension plus élevée.

Le signal obtenu à la sortie du driver IR21094 a la même allure avec le signal PWM fourni par microcontrôleur (circuit de commande) mais avec une tension plus élevée. Ce signal de sortie est connecté à l'étage de puissance qui attaquera la grille de notre MOSFET. Le rôle principal du driver IR 21094 est d'améliorer le signal de sortie de l'optocoupleur.

Le signal à la sortie du chargeur visualisé sur oscilloscope, nous constatons que notre prototype fonctionne correctement et nous donne les résultats définis dans notre cahier de charge qui est une tension de 13,2V.

Les résultats de simulations sont affichés sur l'interface de communication qui est l'afficheur LCD, L'annexe(18) montre que les grandeurs affichées sur LCD sont correctement affichées. Quand la tension de la batterie arrive à la tension nominale et la capacité nominale le chargeur s'arrête en faisant annuler le rapport cyclique et le courant débité, le SOC sera au max égal à 1, une fonction utilisée dans le programme du microcontrôleur fait

Chapitre III: Conception du chargeur solaire

que si la tension de la batterie arrive à sa capacité maximale le rapport cyclique sera nul, alors comme sa la batterie est charger avec toute sécurité et la durée de vie de cette dernière est augmenter et aussi le cout d'investissement des batterie de stockage est réduit.

Pour la réalisation des typons des différentes parties de notre chargeur solaire après la simulation est sur le logiciel sur ARES PROTEUS, son utilisation d'une manière général est simple, après avoir configuré les paramètres adéquats, nous avons tracé les pistes en veillant à éviter le chevauchement des lignes et les court-circuités les résultats des différents typons sur les annexes (11-12-13-14). Après identification des différents composants électronique de notre système, on peut choisir les différentes empreintes de ces composants, car chaque composant peut avoir plusieurs types de boitiers la réalisation peut avoir lieu.

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes et la méthodologie suivie pour la conception du chargeur solaire commandé par un microcontrôleur pour améliorer le fonctionnement et les performances du système. Nous avons ensuite décrit les différentes étapes de conception des différentes parties électroniques : partie de puissance ; partie alimentation de quelques composants utilisés, carte de contrôle du chargeur et la partie des capteurs effet hall et pour finir une simulation avec les résultats.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but principal de notre travail concernait l'étude et la conception d'un chargeur solaire à base d'un microcontrôleur PIC16f877A pour une batterie à plomb acide afin d'obtenir une source d'énergie provenant d'une énergie renouvelable. Le projet nous a permis d'apprendre à gérer un projet en autonomie, de réaliser des tests et de valider les circuits en fonction de ce que l'on attendait. Ce qu'il faut retenir ; lors de la conception d'un projet des étapes et de bonnes méthodes doivent être prises pour une gestion de projet efficace. On remarquera que suivre un planning est souvent difficile, du fait des aléas de fonctionnement.

En conclusion à titre personnel, ce projet de fin d'étude nous a permis de nous enrichir dans les domaines de l'électronique et de l'électrotechnique et de la programmation des microcontrôleurs en découvrant des logiciels tels que "PROTEUS" (ISIS et ARES). Et aussi grâce à la réalisation de ce projet, certes que nous avons rencontré beaucoup de difficultés sur la partie réalisation mais ça valait la peine puisque c'était un domaine nouveau pour nous. Cela nous a permis aussi de faire une recherche bibliographique plus approfondie en comparant avec celle entreprise durant la phase de simulation. Ce projet a également été une source de découverte dans la conduite de projet, il nous a donné une idée sur la complémentarité entre la théorie et la pratique et nous a permis de nous confronter à la réalité et aux difficultés de la pratique.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Antonio Luque and Steven Hegedus «Handbook of Photovoltaic Science and Engineering», John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate», 2003.
- [2] : M. BOUKLI-HACEN Omar THESE DE MAGISTER « Conception et Réalisation d'un Générateur photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Énergétique », 2011.
- [3] : A. Labouret et M. Volloz : « énergie solaire photovoltaïque » 4^{ème} édition. DUNOD », 2010 France.
- [4] : D. salim « simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone », thèse magister, université de setif 2011.
- [5] : C. Pastor « conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », thèse doctorat, institut national des sciences appliquées de toulouse, 2006.
- [6] : <http://energie2demain.com/xpcontent/uploads/polycristaline.jpg>.
- [7] : BENHABIB Choukri cour « les énergies renouvelables » Faculté Aboubekr Belkaid Tlemcen département génie électrique et électronique.
- [8] : L. Protin, S. Astier « convertisseur photovoltaïque technique de l'ingénieur réf 3360 ».
- [9] : S. MOUHADJER « contribution à l'optimisation du rendement des générateurs photovoltaïques et éolienne par l'intégration des systèmes électroniques d'adaptation à commande MPPT » thèse de doctorat université de Tlemcen 2008.
- [10] : F. Kininger, « Photovoltaic Systems Technology », University of Kassel », 2003
- [11] : D. Desmettre, F. Mattera, "Petit mémento sur les batteries à usage solaire", CEA-GENEC.
- [12] : M. Jacquier, "Accumulateurs", SAFT, Techniques de l'Ingénieur, D940.
- [13] : G. Caillon, "Accumulateurs portables", SAFT, Techniques de l'Ingénieur, E2 140.
- [14] : C. Peutot, "Chargeurs de batteries", Techniques de l'Ingénieur, E3 994.
- [15] : N.E. Bagshaw, "Lead alloys: past, present and future", Journal of Power Sources, 53(1995) pp.25-30.
- [16] : R.D. Prengaman, "Lead-acid technology : a look to possible future achievements", Journal of Power Sources, 78 (1999) pp.123-129.
- [17] : D. Berndt, "Valve-regulated lead-acid batteries", Journal of Power Sources, 100(2001) pp.29-46.
- [18] : P.T. Moseley, "Improving the valve-regulated lead-acid battery", Journal of Power Sources, 88 (2000) pp.71-77.
- [19] : (introd) Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, 2003.

- [20] : Angel Cid Pastor(Etude de l'intégrabilité d'une loi de commande MPPTPour Générateur Photovoltaïque) juin 2003.
- [21] : BONNAUD Olivier, « Composants à semi-conducteurs»,s.1. : Edition ellipses, De la Physique du solide aux transistors.
- [22] :LEM Components : Capteurs isolés de courant et de tension caractéristiques, applications, calculs. Edition2004-2005.
- [23] : Besekhria LEMBAREK, Nadir MAATAR. Conception d'une carte de commande de la machine à courant continu par un microcontrôleur PIC 16f877a, 2009.
- [24] : Christian TAVERNIER, les microcontrôleurs PIC, page 14 et 15, 3emeédition2005.
- [25] :John IOVINE, PIC microcontroller project book, second edition 2004, page13.
- [26] : Bigonoff, LA PROGRAMMATION DES PIC, (SECONDE PARTIE), [www.abcelectronique.com/bigonoff/load part2.php](http://www.abcelectronique.com/bigonoff/load_part2.php).
- [27] : SperkFunElelectronique : Datasheet duLCD.
- [28] : L. Flotiot, J.B. Desmoulins : Principe d'un capteur de courant à zéro de flux – cours à l'université de CACHANT - Département de physique » .Version du 01/5/2006.
- [29] : BRAHIM HARAUBIA (Les amplificateurs opérationnels)
- [30] : R.MOUALEK « conception et réalisation d'un émulateur à pile à combustible Pem »

Annexes

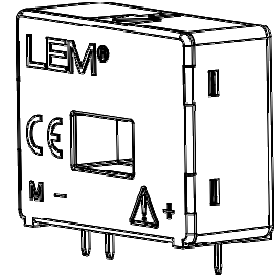


Current Transducer LA 55-P/SP1

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



$I_{PN} = 50 \text{ A}$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current	50	A					
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 100	A					
R_M	Measuring resistance	$T_A = 70^\circ\text{C}$		$T_A = 85^\circ\text{C}$				
		$R_{M \min}$	$R_{M \max}$	$R_{M \min}$	$R_{M \max}$			
		with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	0	215	0	210	Ω
			@ $\pm 100 \text{ A}_{\max}$	0	35	0	30	Ω
		with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	0	335	30	330	Ω
	@ $\pm 100 \text{ A}_{\max}$	0	95	30	90	Ω		
I_{SN}	Secondary nominal current	25	mA					
K_N	Conversion ratio	1 : 2000						
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V					
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA					

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.65	%	
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.90	%	
ϵ_L	Linearity error		< 0.15	%	
I_O	Offset current @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ	Max	
I_{OM}	Magnetic offset current ¹⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M after an overload of $3 \times I_{PN}$			± 0.10	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	- $25^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$	± 0.05	± 0.30	mA
		- $40^\circ\text{C} \dots - 25^\circ\text{C}$	± 0.10	± 0.50	mA
t_{ra}	Reaction time to 10 % of I_{step}		< 500	ns	
t_r	Response time ²⁾ to 90 % of I_{step}		< 1	μs	
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/ μs	
BW	Frequency bandwidth (- 1dB)		DC .. 200	kHz	

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_S	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	145 Ω
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	150 Ω
m	Mass		18 g
		Standards	EN 50178:1997

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL94-V0.

Special features

- $I_{PM} = 0 \dots \pm 100 \text{ A}$
- $K_N = 1 : 2000$.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Applications: Industria

Notes: ¹⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit

²⁾ With a di/dt of 100 A/ μs .

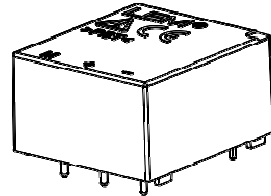


$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



RoHS



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal rms current	10	mA			
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ±14	mA			
R_M	Measuring resistance	R_{Mmin} R_{Mmax}				
				with ± 12 V	@ ± 10 mA _{max}	30
			@ ± 14 mA _{max}	30	100	Ω
		with ± 15 V	@ ± 10 mA _{max}	100	350	Ω
	@ ± 14 mA _{max}	100	190	Ω		
I_{SN}	Secondary nominal rms current	25	mA			
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000				
U_C	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15	V			
I_C	Current consumption	10 (@ ± 15V) + I_S	mA			

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25 \text{ °C}$ @ ± 12 .. 15V	± 0.9	%	
	@ ± 15 V (± 5%)	± 0.8	%	
ϵ_L	Linearity error	< 0.2	%	
I_{OT}	Offset current @ $I_P = 0, T_A = 25 \text{ °C}$	Typ	Max	
		Temperature variation of I_O 0 °C .. + 25 °C	± 0.06 ± 0.15	mA
		+ 25 °C .. + 70 °C	± 0.10 ± 0.35	mA
t_r	Step response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN}	40	µs	

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
R_P	Resistance of primary winding @ $T_A = 70 \text{ °C}$	250	Ω
R_S	Resistance of secondary winding @ $T_A = 70 \text{ °C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178:1997 UL 508: 2010	

Note: ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
 - Very good linearity
 - Low thermal drift
 - Low response time
 - High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives

Application domain

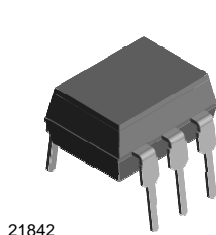
- Industrial.

N° 97.27.19.000.0

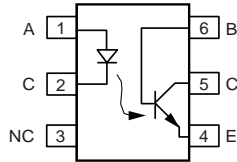


Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



I179004-5

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

FEATURES

- Isolation test voltage 5000V_{RMS}
- Interfaces with common logicfamilies
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pinpackage
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE2002/96/EC



APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relaydriving
- Switch mode power supplyfeedback
- Telephone ringdetection
- Logic groundisolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no.E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN60335

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V_R	5	V
Forward current		I_F	60	Ma
Surge current	$t \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	3	A
Power dissipation		P_{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V_{EBO}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
	$t \leq 1 ms$	I_C	100	mA
Power dissipation		P_{diss}	150	mW

ANALOGUE DEVICE Quad Picoampere Input Current

Bipolar OpAmp

AD704

FEATURES

- High DC Precision
- 75 μV Max Offset Voltage
- 1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Max Offset Voltage Drift
- 150 pA Max Input Bias Current
- 0.2 pA/ $^\circ\text{C}$ Typical I_B Drift
- Low Noise
- 0.5 μV p-p Typical Noise, 0.1 Hz to 10 Hz
- Low Power
- 600 μA Max Supply Current per Amplifier
- MIL-STD-883B Processing Available
- Available in Tape and Reel in Accordance with EIA-481A Standard
- Dual Version: AD706

APPLICATIONS

- Industrial/Process Controls
- Weigh Scales
- EKG/EKG Instrumentation
- Low Frequency Active Filters

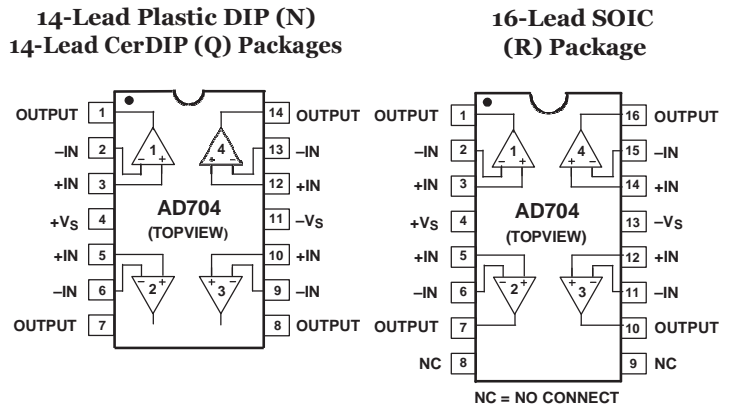
PRODUCT DESCRIPTION

The AD704 is a quad, low power bipolar op amp that has the low input bias current of a BiFET amplifier but which offers a significantly lower I_B drift over temperature. It utilizes super-beta bipolar input transistors to achieve picoampere input bias current levels (similar to FET input amplifiers at room temperature), while its I_B typically only increases by 5 \times at 125 $^\circ\text{C}$ (unlike a BiFET amp, for which I_B doubles every 10 $^\circ\text{C}$ resulting in a 1000 \times increase at 125 $^\circ\text{C}$). Furthermore, the AD704 achieves 75 μV offset voltage and low noise characteristics of a precision bipolar input opamp.

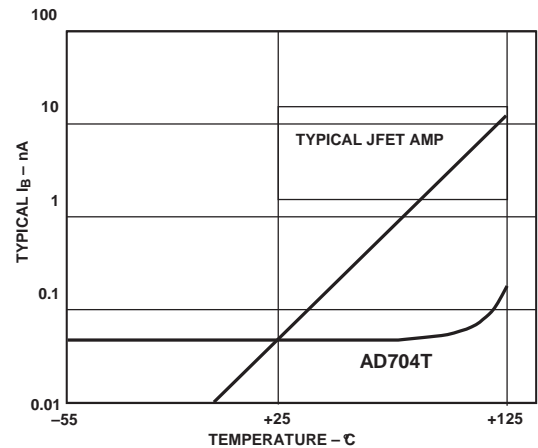
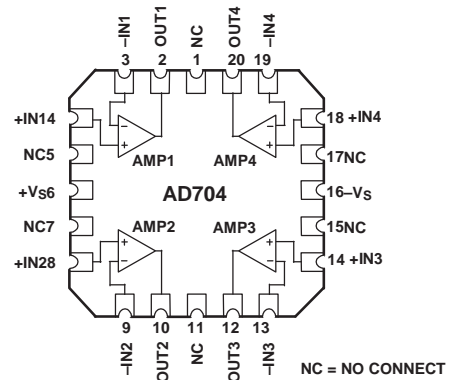
Since it has only 1/20 the input bias current of an AD OP07, the AD704 does not require the commonly used "balancing" resistor. Furthermore, the current noise is 1/5 that of the AD OP07 which makes the AD704 usable with much higher source impedances. At 1/6 the supply current (per amplifier) of the AD OP07, the AD704 is better suited for today's higher density circuit boards and battery-powered applications.

The AD704 is an excellent choice for use in low frequency active filters in 12- and 14-bit data acquisition systems, in precision instrumentation, and as a high quality integrator. The AD704 is internally compensated for unity gain and is available in five performance grades. The AD704J and AD704K are rated over the commercial temperature range of 0 $^\circ\text{C}$ to 70 $^\circ\text{C}$. The AD704A is rated over the industrial temperature of -40 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$. The AD704T is rated over the military temperature range of -55 $^\circ\text{C}$ to +125 $^\circ\text{C}$ and is available processed to MIL-STD-883B, Rev. C.

CONNECTION DIAGRAMS



20-Terminal LCC (E) Package





IR2109(4) (S) &(PbF)

HALF-BRIDGE DRIVER

Features

- **Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +600V**
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V, 5V and 15V input logic compatible
- Cross-conduction prevention logic
- Matched propagation delay for both channels
- High side output in phase with IN input
- Logic and power ground +/- 5V offset.
- Internal 540ns dead-time, and programmable up to 5us with one external R_{DT} resistor (IR21094)
- Lower di/dt gate driver for better noise immunity
- Shut down input turns off both channels.
- Available in Lead-Free

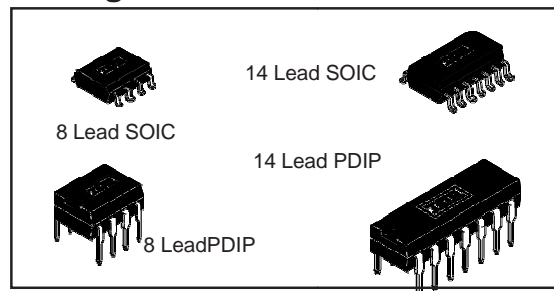
Description

The IR2109(4)(S) are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with dependent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

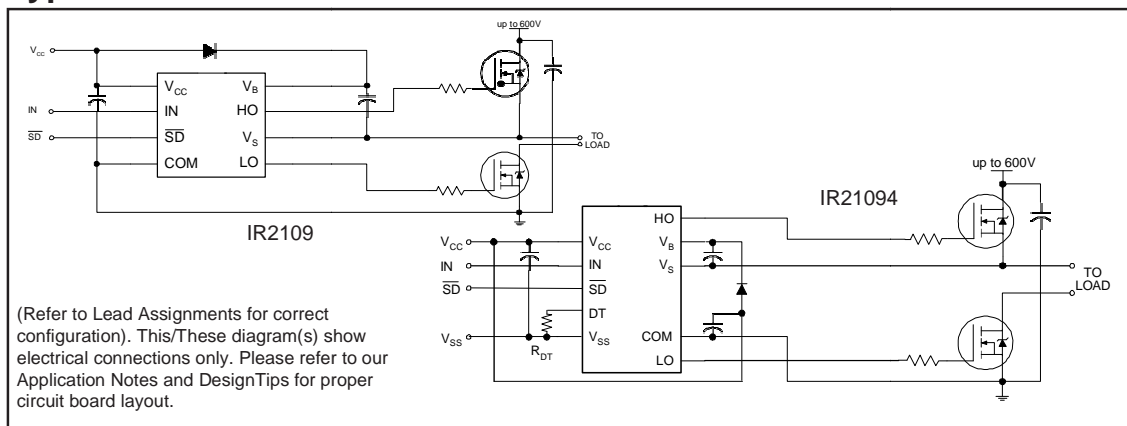
Product Summary

V _{OFFSET}	600V max.
I _{O+/-}	120 mA / 250 mA
V _{OUT}	10 - 20V
t _{on/off} (typ.)	750 & 200 ns
DeadTime	540 ns
(programmable up to 5us for IR21094)	

Packages



Typical Connection



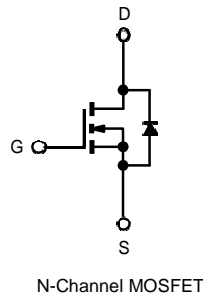
ANNEXE 3: IRf830



IRF830, SiHF830
VishaySiliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	500
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 1.5
Q_g max. (nC)	38
Q_{gs} (nC)	5.0
Q_{gd} (nC)	22
Configuration	Single



FEATURES

- Dynamic V/dt rating
- Repetitive avalanche rated
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple driver requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

Note

* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non-RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information tables in this datasheet for details.

DESCRIPTION

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	500	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	4.5
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	2.9
Pulsed Drain Current ^a		I_{DM}	18
Linear Derating Factor			0.59
Single Pulse Avalanche Energy ^b		E_{AS}	280
Repetitive Avalanche Current ^a		I_{AR}	4.5
Repetitive Avalanche Energy ^a		E_{AR}	7.4
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	P_D	74
Peak Diode Recovery dV/dt ^c		dV/dt	3.5
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{STG}	-55 to +150
Soldering Recommendations (Peak temperature) ^d	for 10 s		300
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10
			1.1

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 24\text{ mH}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 4.5\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{DD} \leq 4.5\text{ A}$, $dI/dt \leq 75\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.8 mm from case.

ANNEXE 7: PONT DE DIODE KBL005

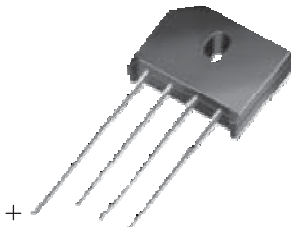


KBL005, KBL01B, KBL02, KBL04, KBL06, KBL08, KBL10

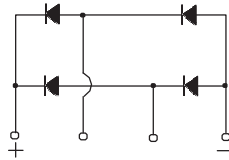
www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

Single-Phase Bridge Rectifier



Case Style KBL



Case Style KBL

FEATURES

- UL recognition, file number E54214
- Ideal for printed circuitboards
- High surge current capability
- High case dielectric strength of 1500V_{RMS}
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD22-B106
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

General purpose use in AC/DC bridge full wave rectification for monitor, TV, printer, SMPS, adapter, audio equipment, and home appliances applications.

PRIMARY CHARACTERISTICS	
Package	KBL
I _{F(AV)}	4 A
V _{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I _{FSM}	200 A
I _R	5 µA
V _F at I _F = 4 A	1.1 V
T _J max.	150 °C
Diode variations	In-line

MECHANICAL DATA

Case: KBL

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E4 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: Silver plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102

Polarity: As marked on body

Mounting Torque: 10 cm-kg (8.8 inches-lbs) max.

Recommended Torque: 5.7 cm-kg (5 inches-lbs)

MAXIMUM RATINGS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	KBL005	KBL01	KBL02	KBL04	KBL06	KBL08	KBL10	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward current at T _A = 50 °C	I _{F(AV)}	4.0							A
Peak forward surge current single sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	200							A
Operating junction and storage temperature range	T _J , T _{STG}	-50 to +150							°C

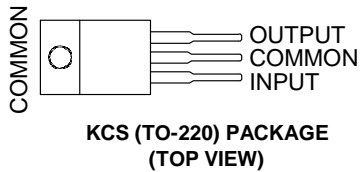
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	KBL005	KBL01	KBL02	KBL04	KBL06	KBL08	KBL10	UNIT
Maximum instantaneous forward drop per diode	I _F = 4.0 A	V _F	1.1						V	
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per diode	T _A = 25 °C	I _R	5.0						µA	
	T _A = 125 °C		1.0						mA	

ANNEXE 8: REGULATEUR DE TENSION LM7805 et LM7815

3-Terminal Regulators

Output Current up to 1.5 A
Internal Thermal-Overload Protection

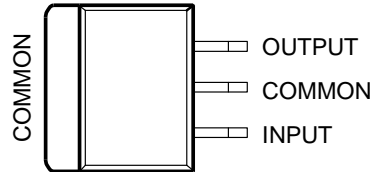
KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



LM78XX SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

High Power-Dissipation Capability
Internal Short-Circuit Current Limiting
Output Transistor Safe-Area Compensation

KTE PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T J	V _O (NOM) (V)	PACKAG E†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP- SIDE MARKIN G
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC		
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are

ANNEXE 9: REGULATEUR DE TENSION LM7915

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

Check for Samples: [LM7905](#), [LM7912](#), [LM7915](#)

FEATURES

- **Thermal, Short Circuit and Safe Area Protection**
- **High Ripple Rejection**
- **1.5A Output Current**
- **4% Tolerance on Preset Output Voltage**

DESCRIPTION

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and

$-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power

package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see [LM137 datasheet](#).

Input Voltage	
($V_o = -5V$)	$-25V$
($V_o = -12V$ and $-15V$)	$-35V$
Input-Output Differential	
($V_o = -5V$)	$25V$
($V_o = -12V$ and $-15V$)	$30V$
Power Dissipation ⁽²⁾	Internally Limited
Operating Junction Temperature Range	$0^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	$230^{\circ}C$

(1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure Specific Performance limits. For ensured specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

(2) Refer to [DESIGN CONSIDERATIONS](#) for details.

Connection Diagram

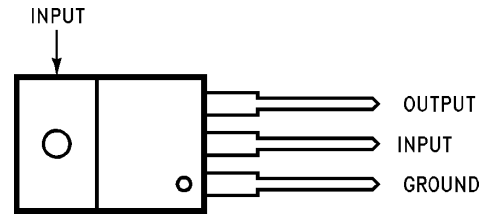
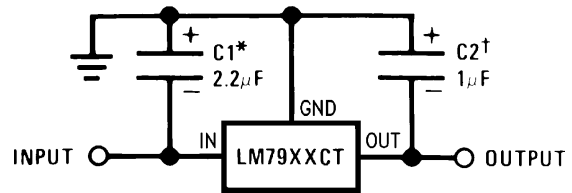


Figure 1. TO-220 Package Front View
See Package Number NDE0003B

Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. $25\mu F$ aluminum electrolytic may be

ANNEXE 10: BATTERIE

$$V_{batt}=12\text{v.}$$

$$C=40 \quad \text{Ah.}$$

$$Q_0== 1.2/\text{h.}$$

$$E_0==16.6463\text{V.}$$

$$R=0.25\Omega.$$

$$K=0.33\Omega.$$

$$A=0.66\text{V.}$$

$$B=2884.61\text{Ah}^{-1}.$$

$$I_{char\ max}= 2C.$$

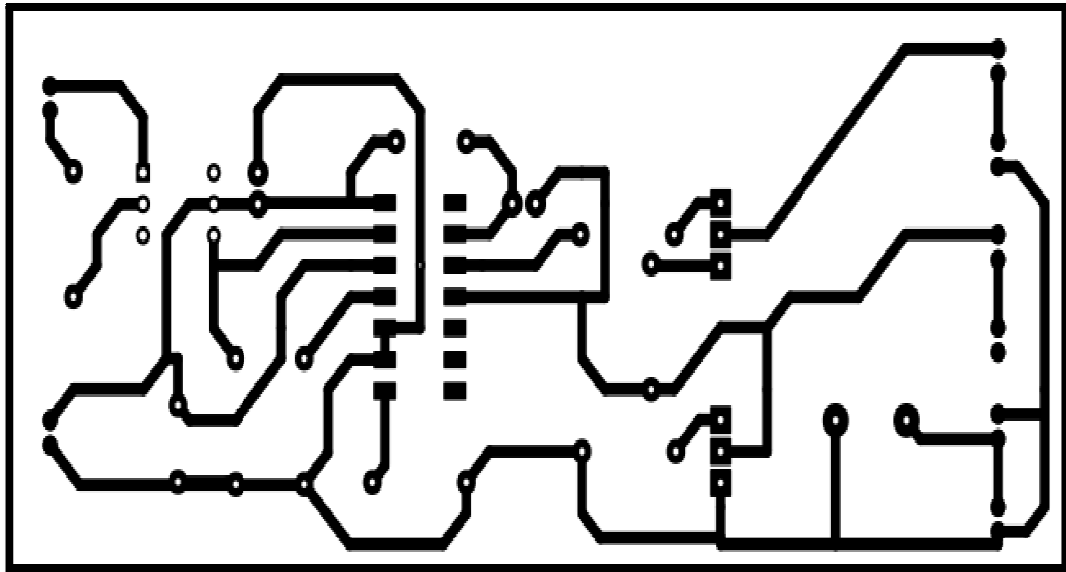
$$I_{Dech\ max}= 1C.$$

$$V_{char\ max} = (4.2 N_s) \text{ en [V].}$$

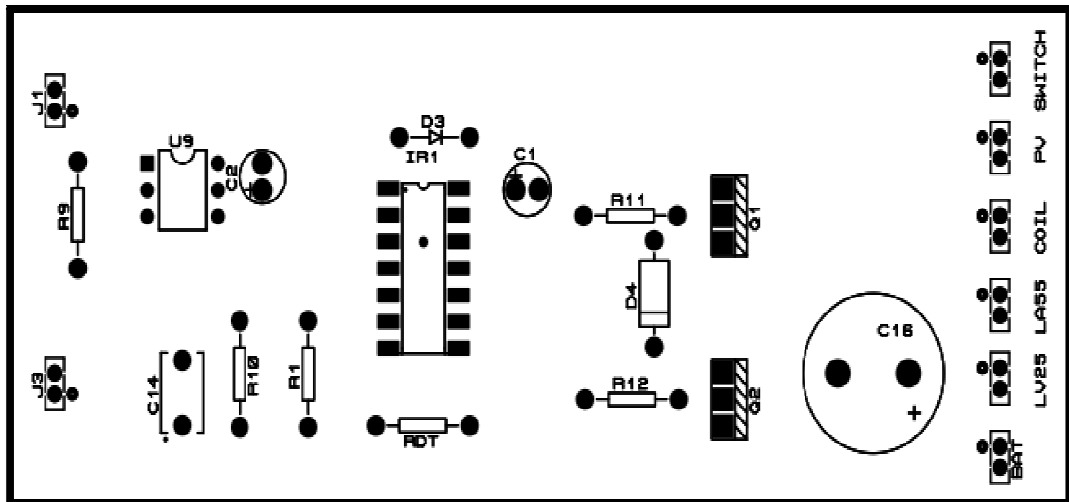
$$V_{DEch\ max} = (3N_s) \text{ en [V].}$$

$$\text{SOC: } 0.1=< \text{SOC}=<1.$$

ANNEXE 11:

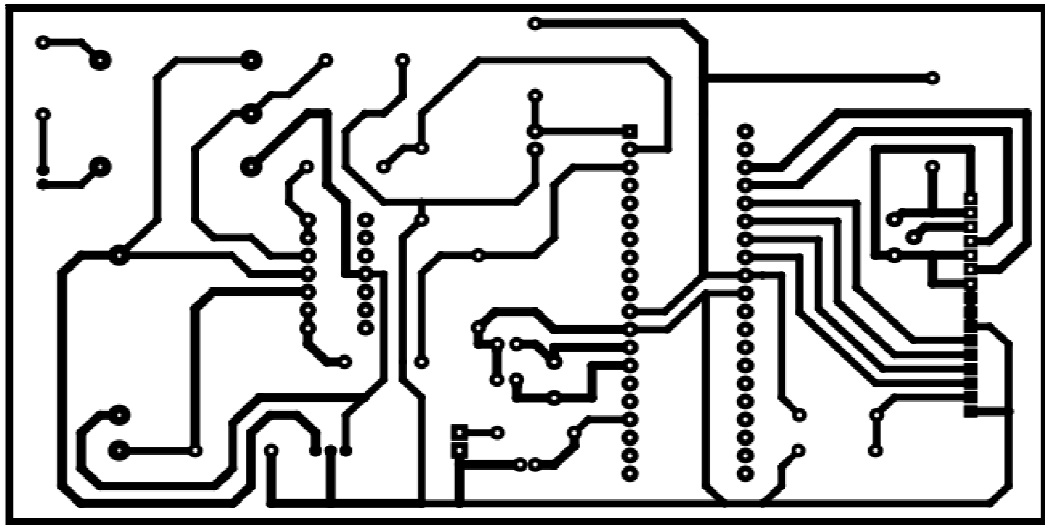


Coté soudure de la partie puissance

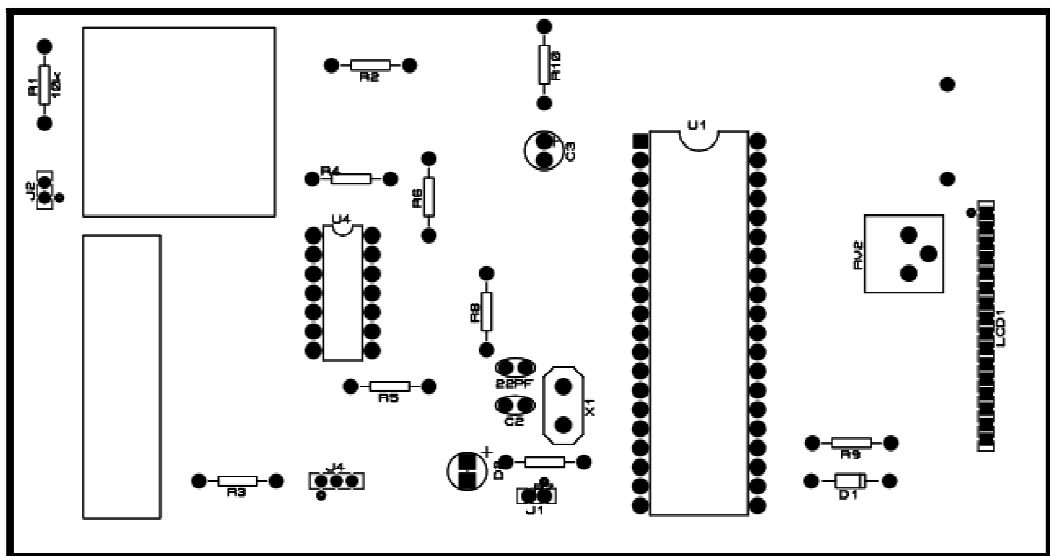


Implantation des composants de la partie puissance

ANNEXE 12:

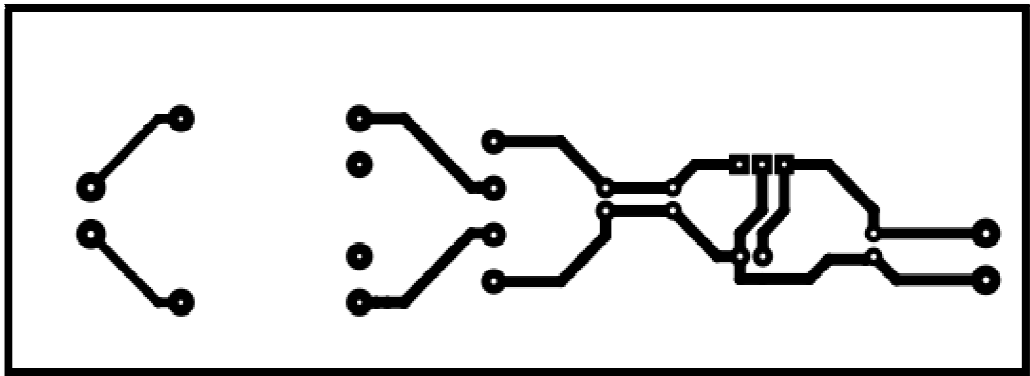


Coté soudure de la partie carte contrôle

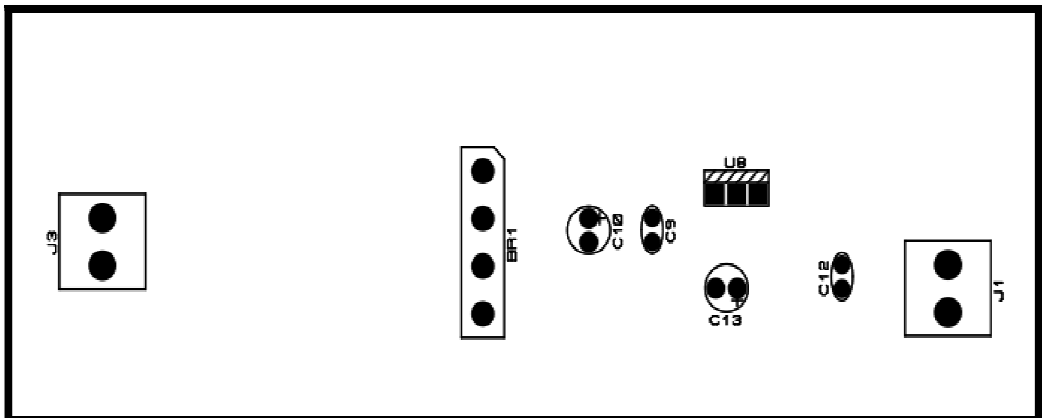


Implantation des composants de la carte de commande

ANNEXE 13:

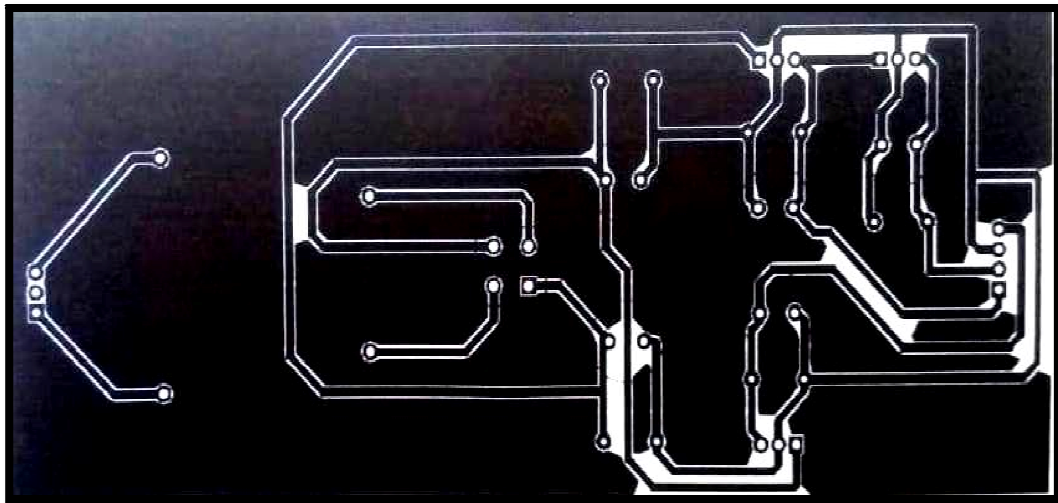


Coté soudure de la carte d'alimentation 0/15V

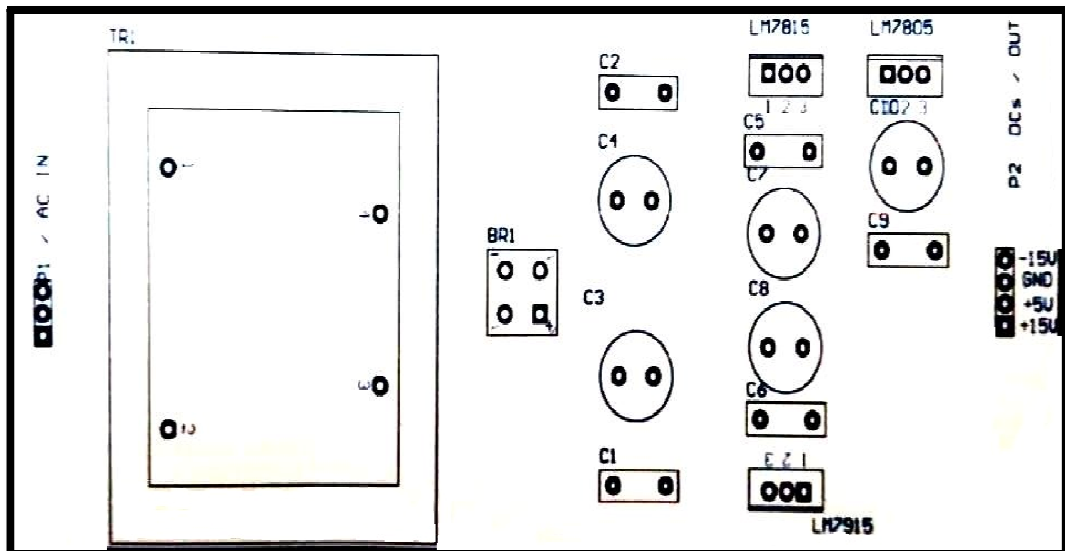


Implantation des composants de la carte d'alimentation

ANNEXE 14:

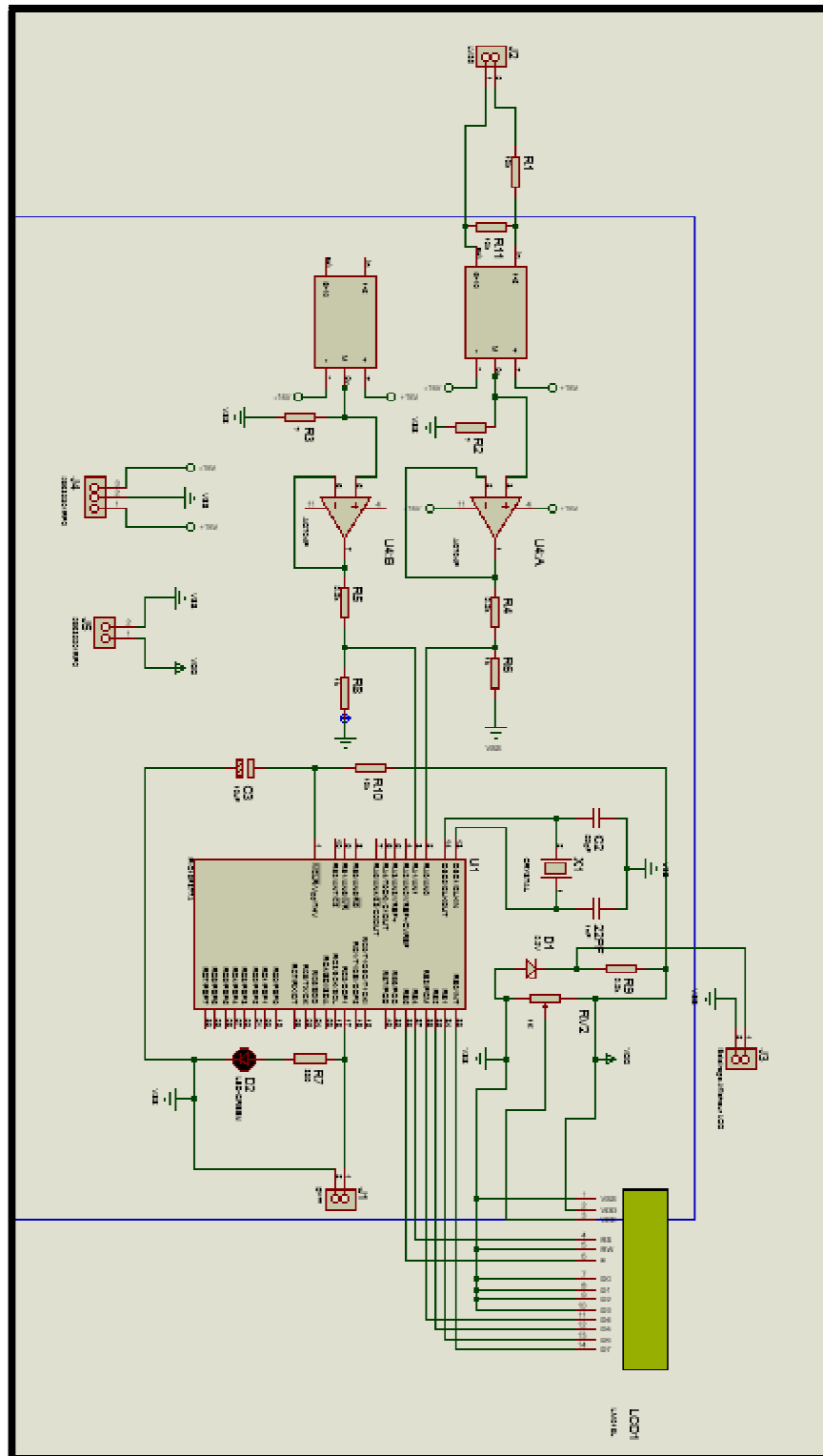


Coté soudure de la partie alimentation 15/-15V & 5V



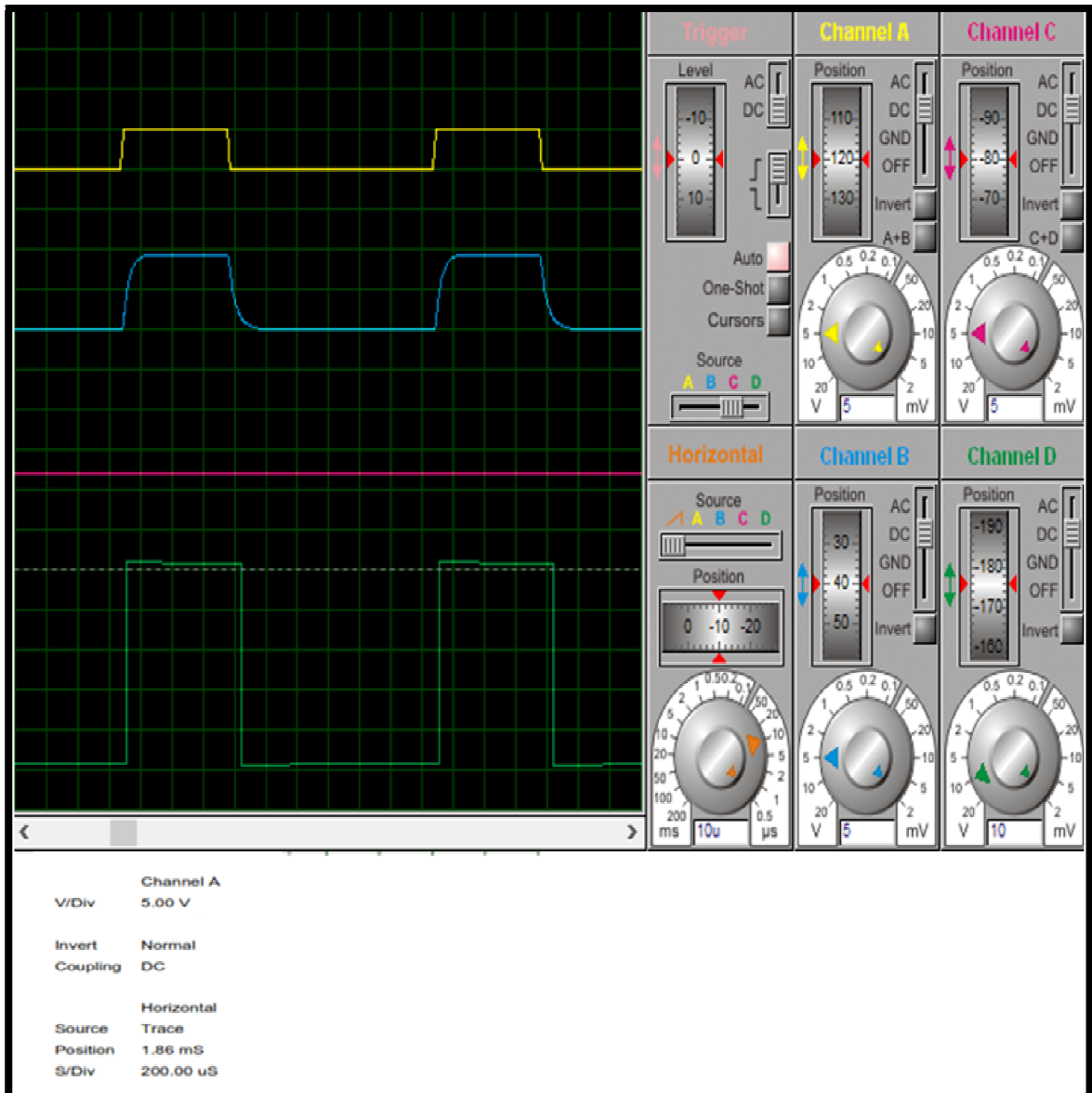
Implantation des composants de la carte d'alimentation 15/-15V & 5V

ANNEXE 15:



Partie contrôle sur ISIS PROTEUS

ANNEXE 17: signaux de la partie puissance



ANNEXE 18 :Affichage de LCD lorsque la batterie est charger

