



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Department de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Mesure-Analyse-Qualité

Thème

Etude et réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie solaire

Présenté et soutenu publiquement par :

BAHRI EL HARETH
AMIRAT MOHAMED EL AMINE

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
DJELGHOUM FARIDA	MAA	IMSI	Président
ZEBIRATE SORAYA	Pr	IMSI	Encadreur
BENABED KHADIDJA	MAA	IMSI	Examineur

Juin 2016

Dédicace

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant, nous avons pu achever ce
travail que je le dédié*

** A mes très chers parents*

**A ma grand-mère et mon grand-père.*

**A mes chère sœurs: Amel et Chérifa.*

**A toute la famille Amirat, et ElMezouar*

**A mon collègue de travail Bahri Hareth*

**A toute la promotion Master Mesure Analyse Qualité 2015-
2016 à qui je souhaite bonheur et réussite.*

AMINE

Dédicace

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant, nous avons pu achever ce
travail que je le dédié*

** A mes très chers parents*

**A ma grand-mère et mon grand-père.*

**A mes chère frères et sœurs*

**A toute la famille Bahri, et Laïb*

**A mon collègue de travail Amirat Mohammed El amine*

**A toute la promotion Master Mesure Analyse Qualité 2015-
2016 à qui je souhaite bonheur et réussite.*

Elhareth

Remerciements

On remercie avant tout Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et la patience afin de réaliser ce modeste travail.

On tient à remercier vivement notre encadreur Madame ZBIRATE SORAYA pour avoir proposé et dirigé ce travail aussi notre Co-encadreur Monsieur BENABADJI NOUREDDINE pour son suivi, aide et conseils au cours de la réalisation.

On tient à exprimer nos vifs remerciements à tous les membres jury d'avoir accepté de juger notre travail.

On remercie tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

On tient à remercier chaleureusement nos camarades d'étude parcours « M-A-Q » ainsi que tous nos amis de l' « IMSI ».

En fin on remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin pour nous aider à achever ce travail.

Résumé

L'énergie solaire est l'énergie du futur : elle est sûre, propre et 100% écologique. Dans de nombreux pays à travers le monde et spécialement en Algérie, l'énergie solaire est subventionnée par l'État et constitue donc une alternative rentable aux combustibles fossiles conventionnels. Cependant, le rapport coût-rendement est le problème qui freine l'essor de cette énergie.

Dans notre travail, nous sommes intéressés à mener une recherche technologique sur l'utilisation de l'énergie photovoltaïque. En effet, nous avons réalisé un système photovoltaïque de type autonome constitué d'un module photovoltaïque, d'un régulateur solaire, et d'une batterie qui alimente une charge.

Le rôle principal du régulateur solaire est le contrôle continu de l'état de charge de la batterie afin d'assurer sa protection contre les surcharges et les décharges excessives ainsi que sa maintenance.

Le régulateur réalisé est basé sur la commande d'un convertisseur DC-DC par un signal rectangulaire « PWM » de haute fréquence généré par le microcontrôleur PIC 16F616.

Mots clés : Systèmes photovoltaïques autonome – Point de puissance maximale (MPPT) - convertisseur DC DC - Microcontrôleur PIC

ABSTRACT

Solar energy is the energy of the future: it is safe, clean and 100% environmentally friendly. In many countries around the world and specially in Algeria, solar energy is subsidized by the state. However, the cost-performance ratio is the problem that stops the development of this energy.

In our work, we are interested by a technical research of photovoltaic energy uses .In fact; we achieved an autonomous type of photovoltaic system, which is consisted of a photovoltaic module, a solar regulator, and a battery that supplies a charge.

The main role of the solar controller is the continuous control of the battery charge status to ensure its protection against overloads or excessive discharges.

The regulator is based on the control of a DC-DC converter by a rectangular signal "PWM" high frequency generated by the PIC microcontroller 16F616.

Keywords: autonomous photovoltaic systems - maximum power point tracking (MPPT) – DC-DC converter - PIC microcontroller

الشمسية هي الشمسية العديدة لها

بديلا للمحروقات و تبقى تكلفة هذا الأخير الهاجس الوحيد الذي يعيق

الشمسية و على ضوء هـ

للشحنات المغذية للبطارية

التفريغ المفرط

الحماية

لحالة شحن البطارية

هو

الدور الرئيسي بالإضافة الى صيانتها.

عن طريق إشارات مستطيلة الشكل ذات تردد

على التحكم في محول التيار مستمر-

الدقيق. " PIC16F616"

(PWM)

- التيار (MPPT)-

- الكلمات المفتاحية: النظم الكهربائية الضوئية

"PIC"

SOMMAIRE

La liste des figures	1
La liste des tableaux.....	3
Liste des abréviations.....	4
La liste des symboles	5
Introduction générale	6
CHAPITRE I: Généralités sur le Système Photovoltaïque.....	9
Introduction.....	9
I.1 Historique	9
I.2 Le rayonnement solaire sur notre planète.....	10
I.3 Système photovoltaïque	11
I.3.1 La conversion photovoltaïque	11
I.3.2 Cellule photovoltaïque.....	11
I.3.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	11
I.3.4 Types des cellules.....	13
I.3.5 Rendement énergétique des différents types de cellules	14
I.3.6 Générateur photovoltaïque (panneau solaire)	15
I.4 Domaine d'utilisation du photovoltaïque	16
I.4.1 Les applications autonomes.....	16
I.4.2 Les applications raccordées au réseau public de distribution d'électricité	16
I.4.3 Avantages et inconvénients du générateur photovoltaïque	17
Conclusion	18
CHAPITRE II: Générateur photovoltaïque autonome.....	19
Introduction	19
II.1 Composants d'un système autonome	19
II.2 Caractéristiques techniques des modules	20
II.2.1 Puissances des modules photovoltaïques	21
II.2.2 Influence de l'éclairement sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	22
II.2.3 Influence de la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	23
II.2.4 Association des cellules photovoltaïque en série	24
II.2.5 Association des cellules photovoltaïque en parallèle	24
II.3 Stockage de l'énergie	25

II.3.1 Caractéristiques principales d'une batterie	25
▪ Capacité nominale	26
▪ Température	26
▪ Cycle et durée de vie	26
▪ Profondeur de décharge (PDD en français et DOD en anglais	27
▪ Tension nominale	27
▪ Taux de décharge	27
▪ Taux de recharge	27
▪ Etat de charge	27
▪ Rendement en quantité d'électricité	27
▪ Rendement en énergie	27
▪ Taux d'auto décharge	28
▪ Nombre de jours d'autonomie	28
II.3.2 Batterie solaire.....	28
II.3.2.a Les Accumulateurs au plomb-acide	28
▪ Composition d'une batterie solaire plomb-acide	28
▪ Principe de fonctionnement	29
▪ Technologie de batteries au plomb	30
▪ Batterie à électrolyte liquide	30
▪ Batterie ouverte	31
▪ Batterie étanche.....	31
▪ Batterie AGM.....	32
▪ Batterie gel	32
II.3.2.b Les Accumulateurs au Nickel- cadmium	32
II.4 Système de régulation	33
II.4.1 Technique de régulation	33
II.4.2 Types de régulateurs photovoltaïques	33
▪ Les régulateurs de charge parallèle (shunt).....	33
▪ Les régulateurs de charge séries.....	34
▪ Le régulateur de type PWM (Pulse Width Modulation)	35
▪ Le régulateur de type MPPT (Maximum Point Power Tracking	36
II.4.3 Régulateur de charge et phases de charge de la batterie	36
Conclusion	37
CHAPITRE III : Les microcontrôleurs	38
Introduction.....	38

III.1- Qu'est ce qu'un microcontrôleur (μ C)	39
III.2- Intérêt des microcontrôleurs	40
III.3- Caractéristiques types d'un PIC 8-bit : Le PIC 16F84	40
III.4- Fonctionnement du PIC 16F84	42
III.4.1- Les oscillateurs	43
III.4.2- Le reset	43
III.4.3- La mémoire EEPROM	44
III.4.4- La mémoire FLASH	44
III.4.5- Les interruptions	44
III.4.6- Le timer TMR0	44
III.4.7- Le WatchDog	45
III.5- Description brève du PIC16F616.....	45
III.5.1- Le port A	46
III.5.2- Le port C	47
Conclusion.....	49
Chapitre IV: Conception et réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie 24V ...	50
IV.1- introduction	50
IV.2- DESCRIPTION HARDWARE	51
IV.2.1- Le microcontrôleur 8-bit (PIC16F616)	52
IV.2.2- Le module afficheur à cinq LEDs	52
IV.2.3- La circuiterie pour 2 voies de mesures	53
IV.2.4- La section alimentation régulée	54
IV.2.5- La section convertisseur élévateur de tension (Boost).....	55
IV. 3– MESURES	56
IV.4- DESCRIPTION FIRMWARE	59
IV.4-1. Le fichier principal KL104FW1.ASM	60
Conclusion.....	66
Conclusion générale	67
Références	70
Annexe	73

LA LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques.

Figure I.1 : Constitution d'une cellule photovoltaïque	12
Figure I.2 : Cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin.....	13
Figure I.3 : Cellule photovoltaïque à base de silicium multi cristallin	14
Figure I.4 : Cellule photovoltaïque à base de silicium amorphe	14
Figure I.5 : Un panneau solaire	15
Figure I.6 : Ombrières photovoltaïques	17

Chapitre II : Générateur photovoltaïque autonome

Figure II.1 : Composants d'un système autonome	20
Figure II.2 : Courbe caractéristique I/U	21
Figure II.3 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$	22
Figure II.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$	23
Figure II.5 : Influence de la température sur la caractéristique électrique $I=f(V)$	23
Figure II.6 : Influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$	24
Figure II.7 : Caractéristique des cellules photovoltaïque en série	24
Figure II.8 : Caractéristique des cellules photovoltaïque en parallèle	25
Figure II.9 : Construction d'une batterie monobloc	29
Figure II.10 : Cellule électrochimique de base	29
Figure II.11 : L'évolution de la tension avec le temps durant la charge et la décharge d'une batterie.....	30
Figure II.12 : Batteries au plomb	31
Figure II.13 : Batterie Nickel-Cadmium	33
Figure II.14 : Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle	34
Figure II.15 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série	34
Figure II.16 : Chronogramme du signal MLI durant la charge et la décharge	35

Chapitre III : Les microcontrôleurs

Figure III.1 : brochage du PIC16F84	41
Figure III.2 : synoptique d'un PICmicro.....	43
Figure III.3 : le reset automatique, et le reset manuel	43
Figure III-4 : brochage du PIC16F616.....	45

Figure III-5 : synoptique interne des broches RA0 et RA1	46
Figure III-6 : synoptique interne des broches RC0 et RC1	47
Figure III-7 : synoptique interne du compteur TMR0	48

Chapitre IV : Conception et réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie 24V

Figure IV.1 : Aperçu du dispositif réalisé	51
Figure IV.2 : Synoptique du montage réalisé	52
Figure IV.3 : module afficheur à cinq LEDs.....	53
Figure IV.4 : Circuiterie pour les 2 voies de mesures analogiques	54
Figure IV.5 : Section alimentation régulée	55
Figure IV.6 : Section convertisseur élévateur de tension	56
Figure IV.7 : Sortie PWM de la broche CCP1 du microcontrôleur	57
Figure IV.8 : Signal PWM sur la base du transistor T5	57
Figure IV.9 : Signal PWM sur le gate du transistor T4	58
Figure IV.10 : Signal PWM sur le drain du transistor T4.....	58
Figure IV.11 : Programmeur JDM2 pour PIC sur port série d'un PC	59
Figure IV-12 : Aperçu du programmeur utilisé	60
Figure IV-13 : Organigramme du programme principal.....	62
Figure IV.14. : Organigramme pour les mesures Uboost et Iboost	63
Figure IV-15 : Organigramme de gestion du module PWM	64
Figure IV-16 : Schéma détaillé et complet du dispositif réalisé	65

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques

Tableau I.1 Rendement énergétique des différents types des cellules PV.....	15
---	----

Chapitre III : Les microcontrôleurs

Tableau III-1. Registres associés au compteur TMR0.....	48
---	----

Tableau III-2. Paramétrage du bit PSA, et des 3 bits PS2, PS1, PS0.....	49
---	----

CHAPITRE IV : Conception et réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie 24V

Tableau IV-1. Fichiers du code source.....	60
--	----

LA LISTE DES ABREVIATIONS

PV:	Photovoltaïque
AGM :	Absorbed Glass Mat
MOSFET:	Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor
PWM:	Pulse Width Modulation
MLI:	Modulation de Largeur d'Impulsion
MPPT:	Maximum Power Point Tracking
ALU:	Unité arithmétique et logique
RISC:	Reduce Instructions Set computer
EPROM:	Erasable Programmable Read Only Memory(mémoire de lecture à programmation effaçable)
ROM:	Read-Only Memory(mémoire informatique non volatile)
PIC:	Programmable Integrated Circuit (contrôleur d'interface périphérique)
TTL:	Transistor-Transistor Logic
CMOS:	Complementary Metal Oxide Semi-Conductor
E²PROM:	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (mémoire morte effaçable électriquement et programmable)
ADC :	Analog to Digital Converter (Convertisseur analogique-numérique)
DC/DC :	Direct Current / Direct Current (Continue/continue)
SOC:	Taux de charge
PDD:	Profondeur de décharge
μC:	Microcontrôleur

LISTE DES SYMBOLES

U : La tension(V)

Us : La tension de sortie(V)

Uc : La tension fournie par une cellule(V)

Vco : La tension en circuit ouvert(V)

Vbatt : La tension de batterie(V)

Ibatt : Le courant de batterie(A)

I : Le courant(A)

Isc : Le courant du court-circuit(A)

Is : Le courant de sortie(A)

P : La puissance(W)

Pm : Le point de puissance maximale

R : Résistance()

C : Condensateur(f)

W : Watt

Wc : Watt-crête

Ah : Ampère heure

Wh : Watt heure

°C : degré celcius

A : Ampère

V : Volte

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie électrique est un facteur essentiel de l'évolution et du développement des sociétés sur le plan de l'amélioration des conditions de vie, et sur le plan de développement des secteurs industriels. Elle est devenue indispensable par la multiplicité des domaines d'activité où elle est demandée. Donc, elle doit être produite, transportée, et distribuée d'une façon permanente.

Selon « *The Office of Technology Assessment* » du Congrès Américain, les réserves mondiales de pétrole connues seront épuisées en 2037 (même si d'autre prétendent que le pétrole durera 60 ans , le gaz 120 ans , le problème reste inchangé) , et parallèlement, la forte croissance de la population prévue dans les années à venir qui devrait encore augmenter les besoins en électricité et le soucis de pollution , toutes ces perspectives ont encouragé le grand public à s'orienter vers les énergies renouvelables qui englobent entre autre l'énergie éolienne, l'énergie solaire et la biomasse [34].

L'énergie solaire est une source d'énergie inépuisable et propre car elle ne provoque pas d'émissions de gaz nocifs pour notre environnement. Elle se propage dans l'espace sous forme des photons, donc, elle est disponible partout et sans cesse renouvelable.

Les pays du tiers monde, particulièrement les zones rurales de certain d'entre eux et qui rencontrent des problèmes de maintenance, de manque de combustible et de pièces de rechange, verront dans le procédé photovoltaïque une possibilité de développement efficace.

L'Algérie, de part sa situation géographique, bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, l'une des possibilités de l'exploitation de cette dernière est sa transformation directe en une énergie électrique, au moyen des convertisseurs photovoltaïques.

L'intensité de l'énergie solaire reçue à la terre est variable, et très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement. Conséquemment, il est nécessaire d'équiper le système par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu. Or, dans une installation photovoltaïque autonome, les recherches ont montré que le couplage directe d'un générateur photovoltaïque et d'une batterie est le plus simple à réaliser, mais il ne peut pas offrir de bonnes performances vu la batterie qui est un élément très critique, elle ne doit pas être trop chargée ou trop déchargée, cela aura comme résultat un vieillissement très rapide.

Pour assurer la meilleure autonomie du système photovoltaïque à l'aide d'une batterie, la régulation de la charge et de la décharge de celle-ci est alors indispensable. Pour cela, il faut intercaler dans le système un "régulateur solaire", dont le rôle est de garder la batterie saine. Ces raisons ont poussé les chercheurs scientifiques à développer, à améliorer et à optimiser l'exploitation des systèmes photovoltaïques. Généralement, les travaux effectués sont axés et orientés vers l'optimisation de la puissance du système photovoltaïque :

- 🚦 Par l'orientation du panneau photovoltaïque.
- 🚦 Par la recherche du Point de Puissance Maximale [MPPT].
- 🚦 Par la régulation de la charge et de la décharge de la batterie en introduisant un régulateur solaire dans le système, qui est l'objectif du travail proposé.

L'évolution continue de l'électronique de puissance, plus particulièrement les dispositifs de conversion de la puissance « les convertisseurs DC/DC » et « les convertisseurs DC/AC » a ouvert de nouveaux horizons dans la conception de nouveaux schémas plus sophistiqués et moins encombrants, cela est lié au fait que le rendement de ces dispositifs électroniques influence directement sur le rendement et le coût global du système photovoltaïque dans son ensemble. [35]

L'emploi de microcontrôleurs programmables comme cerveau du régulateur s'impose vu leur fiabilité, leur faible encombrement, et leur capacité d'être flashés facilement et rapidement pour mettre à jour le programme.

L'objectif de ce travail est une contribution à la réalisation d'un régulateur solaire qui permet le contrôle continu de l'état de charge d'une batterie au plomb acide afin d'augmenter sa durée de vie. Cela est équivalent à une exploitation à moindre coût de l'énergie solaire en garantissant une plus grande fiabilité des panneaux et des batteries.

Le système à étudier est constitué d'un module photovoltaïque, un étage de puissance constitué d'un convertisseur DC-DC commandé par un signal *PWM* généré par un microcontrôleur de type « PIC16F616 ».

La réalisation expérimentale a été effectuée au niveau du Laboratoire d'Electronique de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle (Oran).

CHAPITRE I

Généralités sur le Système Photovoltaïque

Introduction

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle ou artificielle. L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, qui produisent de l'électricité lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Il arrive sur terre 15000 fois plus d'énergie que ce dont nous avons besoin.

I.1 Historique

Parmi les dates marquantes des découvertes sur l'énergie photovoltaïque, citons les suivantes :

) **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

- J **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- J **1959** : les Etats-Unis mettent en orbite Vanguard, le premier satellite alimenté par des cellules photovoltaïques.
- J **Années 70** : les crises pétrolières renforcent l'intérêt et les crédits accordés à l'énergie photovoltaïque.
- J **1978** : le premier mégawatt crête installé est atteint dès 1978.
- J **De 2006 à 2011** : la capacité photovoltaïque totale installée dans le monde a plus que décuplé en 5 ans. [1]

I.2 Le rayonnement solaire sur notre planète

La conception de systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement utile sur le site d'installation, dans le plan des panneaux solaires, c'est un des paramètres essentiels de l'étude préalable : pour un besoin électrique donné, plus d'énergie solaire reçue implique moins de panneaux solaires à installer et inversement.

On serait tenté de penser que l'énergie solaire hors atmosphère étant connue, ainsi que la course du soleil en tout point du globe, on peut reconstituer l'énergie solaire reçue au sol. Ce serait oublier l'influence de l'atmosphère qui provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident. Le diffus représente plus de 50% du rayonnement annuel disponible dans les régions tempérées contre 30 à 45% dans les pays ensoleillés et en montagne, et 15 à 20% lors des belles journées, même dans les pays du Sud.

Or, la modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. L'état de notre ciel et donc le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépendent d'un grand nombre de paramètres :

- Gaz présent dans l'atmosphère ;
- Nuages ;
- Albédo (réflectivité du sol) ;
- Température ambiante ;
- Vent ;
- Humidité relative ...

Or ces paramètres dépendent :

- Du lieu géographique ;
- De la saison ;
- De l'heure de la journée ;
- Des conditions météo du moment...

Bien sur les scientifiques en particulier les climatologues, élaborent des modèles pour décrire et prédire ces phénomènes atmosphériques, mais le moyen le plus sûr pour déposer de données fiables est encore de recourir à des statistiques accumulées sur les années antérieures grâce à des instruments de mesure. Certes le climat évolue et il faudra en tenir compte, mais relativement lentement par rapport aux marges de sécurité que l'on prend de toute façon. [2]

I.3 Système photovoltaïque

I.3.1 La conversion photovoltaïque

La conversion de l'énergie met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés :

- L'absorption de la lumière dans les matériaux ;
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques ;
- La collecte des charges.

Il est donc clair qu'un matériau doit avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque. [2]

I.3.2 Cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs produits à partir d'une matière première très pure, comme le silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité [1].

I.3.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Le matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium). On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

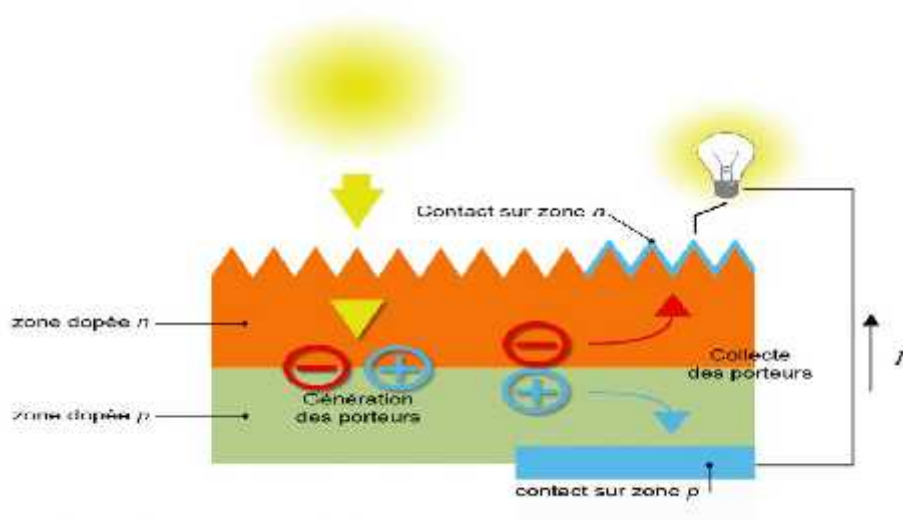


Figure I.1 Constitution d'une cellule photovoltaïque

En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les

directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité. [3]

I.3.4 Types des cellules

Le silicium cristallin représente aujourd'hui environ 80% du marché des matériaux utilisés dans la fabrication des panneaux.

) Cellules monocristallines

C'est la filière historique du photovoltaïque. Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en une seule pièce. Elles ont un bon rendement mais la méthode de production est laborieuse et coûteuse. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires » [1].

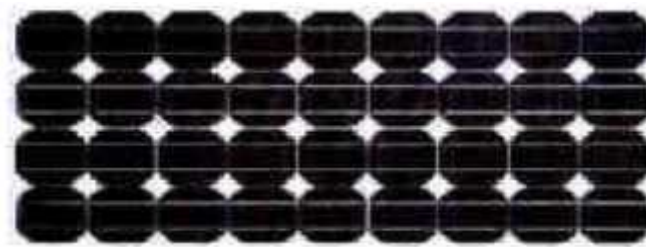


Figure. I.2 Cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin.

) Cellules poly cristallines

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium composé de cristaux multiples. Elles ont un rendement plus faible que les cellules monocristallines mais leur coût de production est moindre.

Des avancées technologiques permettent aujourd'hui de produire des cellules poly cristallines à couche mince afin d'économiser le silicium. Ces cellules ont une épaisseur de l'ordre de quelques micromètres d'épaisseur.

Le rendement moyen d'un panneau cristallin est de 14,5%. [1]

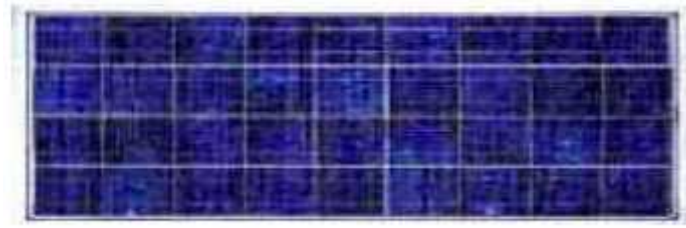


Figure I.3 Cellule photovoltaïque à base de silicium multi cristallin.

J) Cellules amorphes

Leur coût est plus faible mais le rendement l'est aussi (5 à 10%). Dans ce cas ceux ne sont pas des cristaux mais des atomes organisés en couche homogène. Très sensible au rayonnement diffus, à utiliser dans les zones peu ensoleillées. Un rendement de 10% signifie que pour une puissance de 1000 W qui arriveraient sur le panneau, celui-ci produirait 100 W [3] figure I.4.



Figure 1.4 Cellule photovoltaïque à base de silicium amorphe.

I.3.5 Rendement énergétique des différents types de cellules

Matériau	Rendement	Longévité	Principales utilisation
Silicium monocristallin	15 à 22 %	20 à 30 ans	Modules de grandes dimensions : pour toits et façade, appareils de faibles puissances, espace (satellites)...
Silicium poly cristallin	10 à 13 %	20 à 30 ans	Modules de grandes dimensions : pour toits et façades, générateur de toutes tailles...
Amorphe	5 à 10 %	20 à 25 ans	Appareils de faible puissance (calculatrices, montre...)

Tableau I.1 Rendement énergétique des différents types des cellules PV. [3]

I.3.6 Générateur photovoltaïque (panneau solaire)

Le panneau solaire figure I.5 ou (champ solaire) se compose de plusieurs modules photovoltaïques interconnectés en série ou en parallèle afin de produire la puissance requise. La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend :

-) Des besoins en électricité.
-) Taille du panneau.
-) Ensoleillement du lieu d'utilisation.

Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire. [3]



Figure 1.5 Un panneau solaire.

I.4 Domaine d'utilisation du photovoltaïque

Marquée par une grande variété permise par les caractéristiques intrinsèques de la technologie photovoltaïque, la longue liste des applications du photovoltaïque peut être divisée en deux grandes catégories :

I.4.1 Les applications autonomes

C'est-à-dire non-raccordées à un réseau électrique, apparues les premières, comportent quatre domaines distincts :

- J) Les satellites artificiels pour lesquels le photovoltaïque constitue la seule source d'énergie qui réponde à toutes les contraintes.
- J) Les applications « professionnelles », relais de télécommunications, balises maritimes ou aéroportuaires, signalisation routière, bornes de secours autoroutières, horodateurs de stationnement, etc.).
- J) L'électrification rurale des sites isolés, habitat dispersé, refuges, dispensaires et écoles dans les pays en voie de développement, ...

I.4.2 Les applications raccordées au réseau public de distribution d'électricité

On peut le subdiviser en trois grands domaines :

- J) Les systèmes attachés à un bâtiment consommateur d'électricité, qu'il soit à usage résidentiel ou professionnel. Les modules peuvent être surimposés à la toiture. Leur surface active va de quelques dizaines à quelques milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques kilowatts-crêtes à quelques mégawatts-crêtes
- J) Les systèmes posés sur ou intégrés à des structures non-consommatrices d'électricité par elles-mêmes mais pour lesquelles les panneaux remplissent une fonction bien identifiée en sus de la production d'électricité (ombrière de parking, couverture de passage public,...). Leur surface active va en général de quelques centaines à quelques milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts-crêtes figure 1.5.
- J) les parcs photovoltaïques au sol, constitués de quantités importantes de modules posés sur des structures porteuses, dont la production est exclusivement destinée à l'alimentation

directe du réseau électrique. Leur surface active va de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés (puissance de quelques centaines de kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts). [4]



Figure I.6 Ombrières photovoltaïques

I.4.3 Avantages et inconvénients du générateur photovoltaïque

A. Avantages

Les avantages des installations photovoltaïques modernes sont parfaitement évidents, elles offrent de grandes possibilités technologiques et industrielles.

- Le solaire photovoltaïque est une affaire sûre et sans risque.
 - Les systèmes photovoltaïques sont simples et rapides à installer ;
 - La production électrique photovoltaïque est robuste, tolérante aux pannes et nécessite très peu de maintenance ;
 - La production de l'électricité est réalisée sans combustion et à un niveau de température peu élevé ;
 - Les modules photovoltaïques sont recyclables ;
 - Les installations photovoltaïques permettent de réduire les rejets polluants et préservent les ressources naturelles ;
 - La mise en place d'une installation photovoltaïque donne de la valeur à un bâtiment.
- [5].

B. Inconvénients

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à 230V alternatif, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible Voltage ($< 30V$), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur [3].

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a abordé les différents concepts ainsi les éléments de base du panneau solaire ; Dans le prochain chapitre nous allons détailler les différentes parties du système photovoltaïque.

CHAPITRE II

Générateur photovoltaïque autonome

Introduction

Un système solaire autonome n'est pas seulement un générateur photovoltaïque mais comporte aussi du stockage d'énergie, des régulateurs, et des récepteurs spécialement développés pour cet usage. Concevoir un système autonome demande souvent de revoir sa consommation d'énergie et d'optimiser celle-ci pour ne garder que l'essentiel nécessaire à la fonction à alimenter. [2]

II.1 Composants d'un système autonome

Quand on veut une vraie autonomie sans autre apport énergétique, toute l'énergie doit être apportée en journée par le champ photovoltaïque et le stockage est indispensable dès qu'il

existe une consommation hors des périodes d'ensoleillement, contrairement à un système photovoltaïque raccordé qui puise la nuit l'énergie sur le réseau. [2]



Figure II.1. Composants d'un système autonome

II.2 Caractéristiques techniques des modules

Tous les modules photovoltaïques sont caractérisés par leur puissances maximales (puissance crête) exprimé en Wc (Watt-crête) et correspondant à la puissance maximale qu'ils doivent en principe fournir des les conditions normales d'essai (STC). La puissance crête doit figurer clairement Watt-crête sur la fiche technique obligatoirement fournie par le fabricant ou le revendeur. La puissance effective des modules en fonctionnement est presque invariablement inférieure à leur puissance crête.

Les modules photovoltaïques peuvent fournir des tensions différentes. Certains modules pour système photovoltaïques raccordés au réseau fournissent 72 voltes, alors que des modules destinés à des tâches spécifiques d'éclairages ou communication peuvent fournir seulement 3 voltes ou même moins. La plupart des installations solaire photovoltaïques non raccordés au réseau (celles qui nous intéressent ici) importe des modules à 36 cellules (quelquefois 72). Les modules à 36 cellules fournissent la tension optimale pour charger une batterie de 12 v. Il faut impérativement vérifier la puissance et la tension nominale du module que l'on veut acheter.

Le nombre de cellules donnent une estimation de la tension du courant que produira le module. N'oubliez pas de compter les cellules dans le module que vous projeter acheter.

II.2.1 Puissances des modules photovoltaïques

La puissance électrique d'un module dépend du nombre de cellules qu'il comporte, de leur type, et de leur surface totale elle varie en fonction des paramètres suivant :

- → Quantité du rayonnement solaire
- → Inclinaison du module par rapport au soleil
- → Température du module et
- → Tension d'alimentation de la charge ou de la batterie.

Les concepteurs de systèmes photovoltaïques doivent bien prendre en compte ces divers paramètres. Les trois premiers paramètres déterminent le lieu et le mode d'installation du module. Le dernier paramètre dépend de la tension de fonctionnement de la batterie, du régulateur de charge.

La figure ci-dessous montre la courbe caractéristique d'un module d'une puissance nominale de 42 Wc dans les conditions normale d'essais. La partie gauche indique l'intensité du courant en fonction du courant. La partie inférieure indique la tension générée par le module pour différentes intensités.

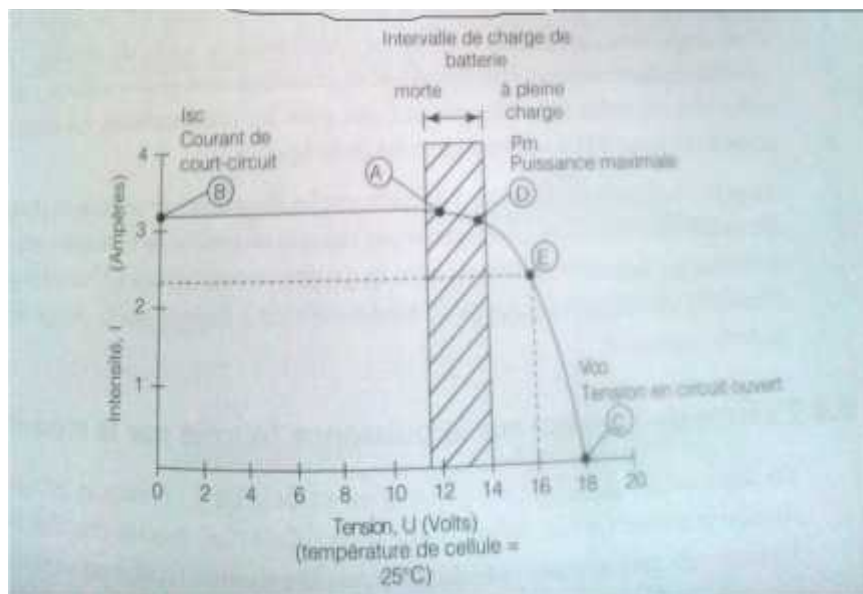


Figure II.2. Courbe caractéristique I/U [17]

La puissance du module peut être calculer pour chaque point de la courbe en multipliant l'intensité par la tension ainsi, par exemple, si un module charge une batterie de 12 v, le courant produit par le module a une intensité de 3.2 A et la puissance fournie est de 38.4

W (Ampère x Volte = puissance, et donc $12 \text{ V} \times 3.2 \text{ A} = 38.4 \text{ W}$ soit moins que la puissance nominale 42 Wc).

La courbe présente plusieurs points remarquables :

- → I_{sc} , le courant du court-circuit, est l'intensité mesurée en plein soleil
- → V_{co} , la tension en circuit ouvert, est la tension mesurée en circuit ouvert, Il s'agit de la tension maximale que le module peut fournir un jour de grand soleil
- → P_m , le point de puissance maximale, est le point où le module fournit la puissance maximale. Il est conseillé de faire fonctionner un module aussi près que possible de ce point.

La partie hachurée de la figure ci-dessus représente les intervalles de tensions de charge d'une batterie au plomb. Une batterie peu chargée est proche de 11 V , une batterie bien chargée peut être au-delà de 14 V . La courbe caractéristique I/U montre que l'intensité du courant de charge du module décroît à mesure que la charge de la batterie augmente. [17]

II.2.2 Influence de l'éclairement sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant à l'obscurité inchangé. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire I_{cc} proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P max du panneau solaire vers les puissances inférieures. [3]

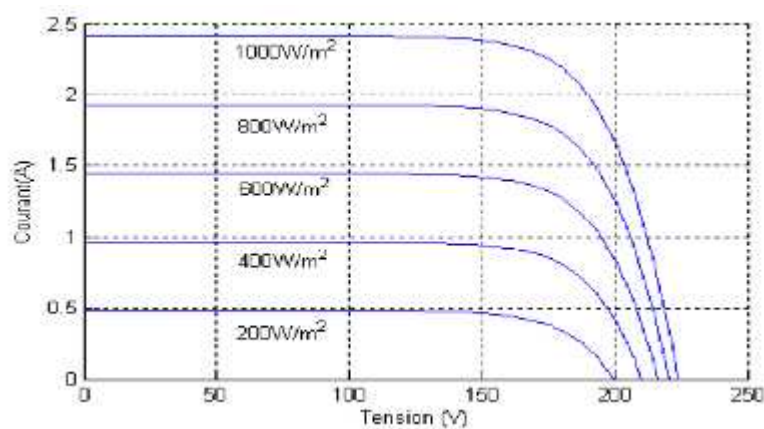


Figure II.3 Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$.

La figure (II.4) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$.

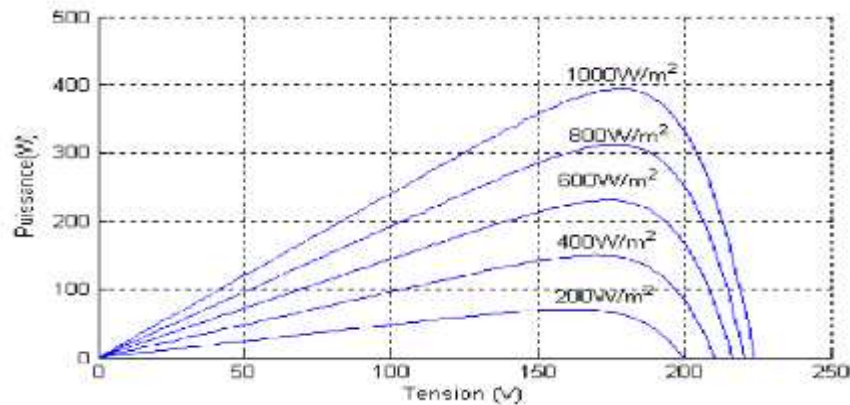


Figure II.4. Influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$.

II.2.3 Influence de la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La figure (II.5) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$.

Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais celle-ci influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution. [3]

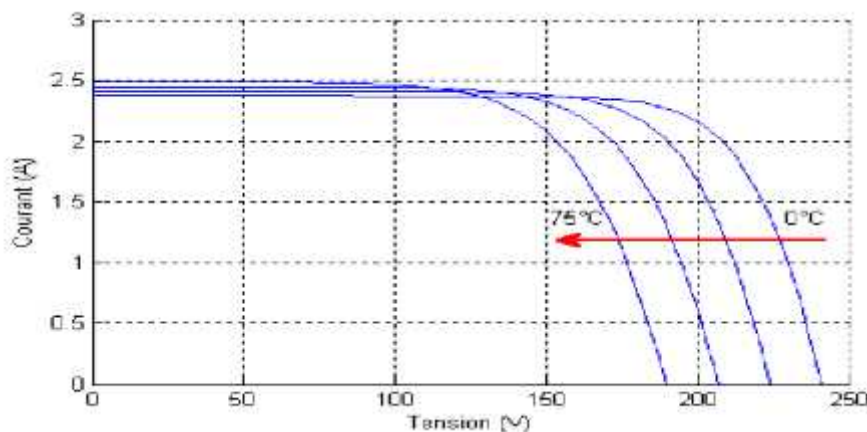


Figure II.5. Influence de la température sur la caractéristique électrique $I=f(V)$

La figure (II.6) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$.

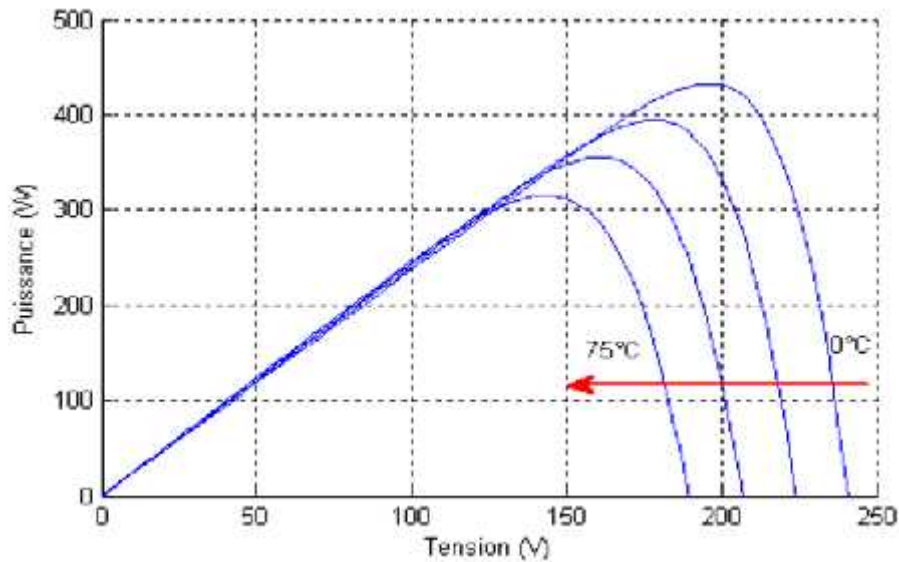


Figure II.6. Influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

II.2.4 Association des cellules photovoltaïque en série

Le groupement série permet d'augmenter la tension de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en série la tension de sortie U_s a pour expression générale :

$U_s = n \cdot U_c$ avec U_c : tension fournie par une cellule. Pour ce groupement, le courant est commun à toutes les cellules [3]. Exemple : groupement de 3 cellules en série.

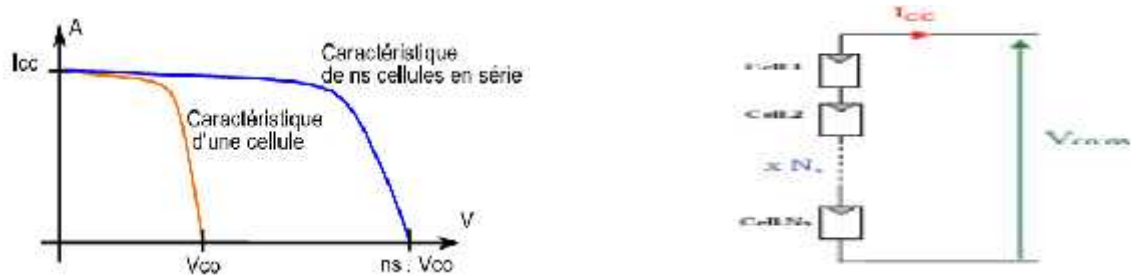


Figure II.7. Caractéristique des cellules photovoltaïque en série.

II.2.5 Association des cellules photovoltaïque en parallèle

Le groupement en parallèle permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en parallèle, le courant de sortie I_s a pour expression

générale : $I_s = n \cdot I$ avec I : courant fourni par une cellule .Pour ce groupement, la tension est commune à toutes les cellules. [3]

Exemple : groupement de 3 cellules en parallèle :

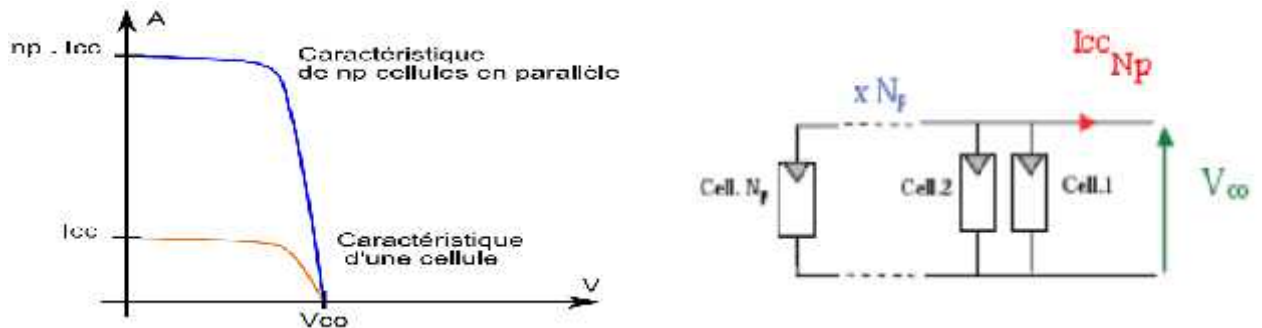


Figure II.8. Caractéristique des cellules photovoltaïques en parallèle.

II.3 Stockage de l'énergie

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure.

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation [6]. La technologie plomb-acide assez ancienne est malgré tout la plus utilisée dans le monde [7].

Aujourd'hui, diverses limites freinent le développement de tels systèmes comme leur durée de vie, leur recyclage en fin de vie, l'impact sur l'environnement, le coût, le rendement de stockage et de restitution de l'énergie. Ainsi pour des systèmes de production de l'énergie électrique à grande échelle dont la durée de vie doit être supérieure à trente ans, le stockage reste un problème majeur et le principal frein au développement des énergies durables

II.3.1 Caractéristiques principales d'une batterie

Une batterie, ou plus précisément, une cellule de batterie, est constituée de trois composants : une électrode positive, une électrode négative et un électrolyte. L'empilement de ces trois composants en « sandwich » forme un système électrochimique qui peut fournir un courant électrique. [8]

- **Capacité nominale**

C'est la quantité maximum d'énergie que contient une batterie. Elle s'exprime en Ampère heure (Ah). Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. La capacité s'exprime en Ah ou en Wh et revêt suivant son unité différentes significations.

Capacité en Ah : C'est la quantité de courant qui peut être extraite en décharge durant un intervalle de temps donné et à un certain taux de décharge.

Capacité en Wh : elle est encore appelée capacité énergétique et représente l'énergie que peut fournir la batterie pendant un intervalle de temps donné. Elle est fonction de la capacité en Ah, de la tension de fonctionnement de l'accumulateur et de la profondeur de décharge autorisée. Précisons que cette dernière grandeur permet la détermination de la quantité d'énergie que peut fournir la batterie.

Capacité estimée : C'est une estimation faite par le constructeur quant à la quantité d'Ampère heure (Ah) que l'on peut extraire de la batterie.

Capacité disponible: C'est le nombre total d'ampères heure que l'on peut extraire d'une batterie pleinement chargée pour des conditions de service données : taux de décharge, état de charge initial, tension de seuil bas, température, âge de l'équipement, etc.

- **Température**

La variation de température influence le rendement de la batterie. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 °C. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie. Il faut donc prévoir si possible une régulation thermique pour maintenir sa durée de vie.

- **Cycle et durée de vie**

C'est le nombre de séquences de charge/décharge, que peut subir une batterie à sa profondeur de décharge. Il détermine les performances de la batterie et sa durée de vie. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).

- **Profondeur de décharge (PDD en français et DOD en anglais)**

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut tirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie. Par exemple, si une batterie de 100 Ah (pleine capacité) voit sa capacité diminuer de 25 Ah, alors son taux de décharge (DOD) est 25 % et son taux de charge (SOC) est 75 %.

- **Tension nominale**

C'est la tension type de la batterie. Elle correspond aussi à la tension de fonctionnement du système autonome.

- **Taux de décharge**

C'est le temps nécessaire pour décharger entièrement la batterie. Supposons une batterie de capacité de 100 Ah et de courant 5 A : le taux de décharge sera $100 \text{ Ah} / 5 \text{ A}$ soit 20 heures ; il est noté C/20 ou C20.

- **Taux de recharge**

C'est la quantité de courant qu'il faut pour recharger une batterie en un temps donné (temps du taux de recharge). Supposons une batterie de 100 Ah et de taux de décharge C20 : le taux de recharge sera $100 \text{ Ah} / 20 \text{ h}$ soit 5 A.

- **Etat de charge**

C'est le pourcentage de la quantité d'énergie disponible dans la batterie à un instant t. Il est noté SOC. Sa valeur varie entre 0 pour une batterie totalement vide et 1 pour une batterie remplie. $\text{SOC} = 1 - \text{DOD}$

- **Rendement en quantité d'électricité**

Le rendement en quantité d'électricité est le rapport entre le nombre d'ampère heures fournis par un accumulateur et celui qu'il faut pour le remettre dans l'état initial. Ce rendement varie entre 0,70 et 0,95 suivant le type d'accumulateur.

- **Rendement en énergie**

Le rendement en énergie est le rapport entre le nombre de watts heure restitués par la batterie et le nombre de watts heure qui lui sont fournis. Il est toujours inférieur au

rendement en quantité d'électricité, la tension en décharge étant toujours inférieure à la tension en charge par suite des différentes polarisations intervenant dans l'accumulateur. Ce rendement varie entre 0,45 et 0,80.

- **Taux d'auto décharge**

L'auto décharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

- **Nombre de jours d'autonomie**

C'est la durée pendant laquelle la batterie peut alimenter toute seule l'installation en courant, sans être rechargée ni endommagée. [6]

II.3.2 Batterie solaire

Ces batteries sont prévues pour être utilisées dans des installations solaires photovoltaïques. Elles sont conçues pour supporter un nombre élevé de cycle (puisqu'elles seront déchargées toutes les nuits et rechargées tous les matins), leur profondeur de décharge est généralement bonne mais peut varier fortement d'un modèle à l'autre.

II.3.2.a. Les Accumulateurs au plomb-acide

L'accumulateur est un dispositif physique qui transforme l'énergie chimique stockée en une énergie électrique par le biais d'une réaction chimique appelée oxydoréduction. Dans ce type de réactions les électrons se déplacent d'un matériau à un autre à travers un circuit électrique simple. Une batterie accumulateurs peut être composée d'une ou plusieurs éléments appelés cellule électrochimique. Par opposition aux batteries, on distingue les piles, pour lesquelles la réaction chimique n'est pas réversible [9]. La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [10].

- **Composition d'une batterie solaire plomb-acide**

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. [10]

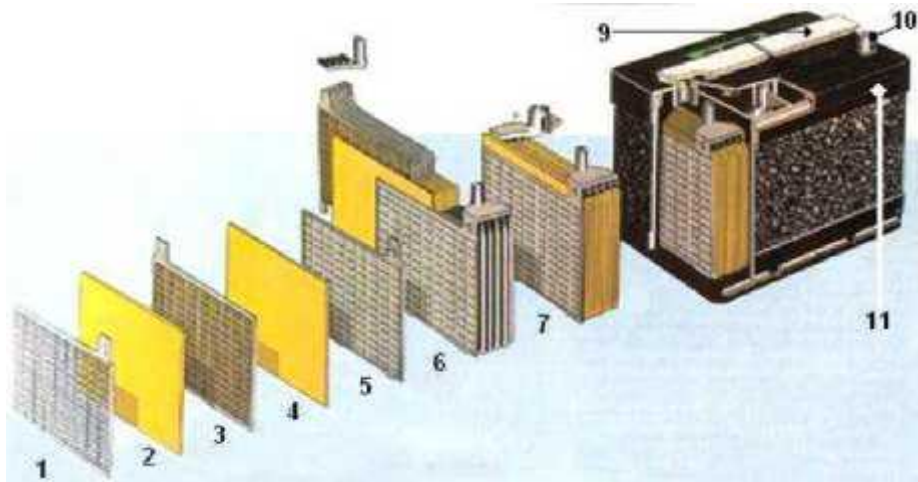


Figure II.9. Construction d'une batterie monobloc [17]

- 1 Grille.
- 2 Séparateur.
- 3 Plaque positive.
- 4 Plaque négative.
- 5 Barrette.
- 6 Faisceau négatif
- 7 Élément complet
- 8 Pont
- 9 Rampe de bouchon
- 10 Borne.
- 11 Bac.

▪ *Principe de fonctionnement*

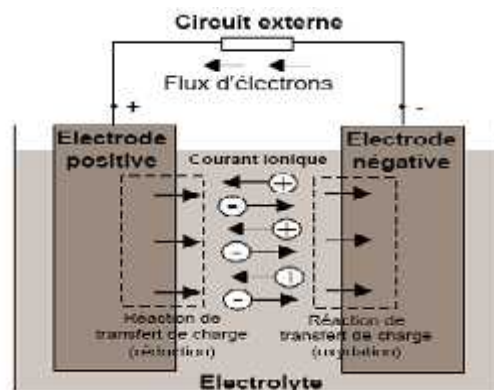
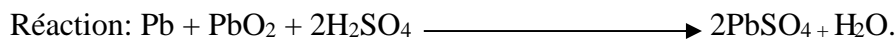
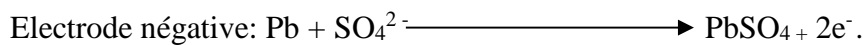


Figure II.10. Cellule électrochimique de base

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons. L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale [11] :



Durant la décharge, la concentration de l'acide dans l'électrolyte diminue, alors que durant la recharge, l'effet inverse se produit. la figure II.3.2 montre l'évolution de la tension avec le temps durant la charge et la décharge d'une batterie.

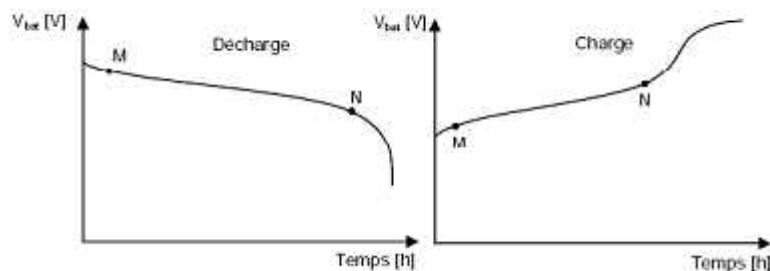


Figure II.11. L'évolution de la tension avec le temps durant la charge et la décharge d'une batterie.

▪ *Technologie de batteries au plomb*

Dans le cadre d'une utilisation en solaire, chaque type de batterie Plomb présente des avantages et des inconvénients [13].

A. Batterie à électrolyte liquide

Une batterie à électrolyte liquide est une batterie contenant de l'acide à l'état liquide. Ces batteries ne peuvent fonctionner correctement que si elles sont posées à plat, elles sont

par exemple mal adaptées pour un bateau soumis au roulis. En cas de casse, l'acide peut s'échapper ce qui représente un danger pour l'homme et l'environnement. Les performances des batteries à électrolyte liquide varient très fortement d'un modèle à l'autre. Les batteries à électrolyte liquide craignent particulièrement le froid : si l'électrolyte gèle, la batterie ne pourra plus être utilisée.



Figure II.12. Batteries au plomb

B. Batterie ouverte

Une batterie ouverte est une batterie à électrolyte liquide dotée de bouchons permettant de la remplir. Les batteries ouvertes ne sont pas étanches : le liquide qui est à l'intérieur s'évapore peu à peu, il faut donc contrôler régulièrement son niveau et compléter si nécessaire avec de l'eau distillée.

Une batterie ouverte peut être soit :

Sèche, une batterie sèche ne contient pas encore de liquide, il faudra la remplir d'acide sulfurique avant de pouvoir l'utiliser. Les batteries sèches présentent l'avantage de pouvoir être transportée sans danger. En particulier les batteries sèches sont acceptées dans les avions.

Humide, une batterie humide contient déjà le liquide. On trouve rarement des batteries humides dans le commerce parce qu'elles sont dangereuses à transporter et ne peuvent pas être stockées longtemps.

C. Batterie étanche

Une batterie étanche est une batterie à électrolyte liquide ou non dotée d'un système permettant d'empêcher l'évaporation. Ces batteries n'ont pas besoin d'être remplies avant l'utilisation et ne nécessitent pas de maintenance. Elles sont acceptées dans les transports aérien mais présente quand même un risque en cas de casse (fuite d'acide).

Ces batteries sont aussi appelées batteries scellées, batteries à valve, batteries à

recombinaison de gaz, batteries VLRA, batteries "zéro maintenance" ou "maintenance free".

D. Batterie AGM

Les batteries AGM sont un type de batterie étanche. Dans une batterie AGM, l'électrolyte est liquide mais maintenu en place par des fibres. Il n'y a donc pas de risque de fuite et la batterie peut fonctionner sans être parfaitement à plat.

Les batteries AGM peuvent en général supporter un grand nombre de cycle et des profondeurs de décharge élevées. Elles ont une bonne résistance au froid.

E. Batterie gel

Les batteries gel sont un type de batterie étanche. Dans une batterie gel, l'électrolyte est gélifié. Cela permet d'éliminer le risque de fuite d'acide en cas de casse et de faire fonctionner la batterie dans toutes les positions.

Les batteries gel peuvent en général supporter un grand nombre de cycle et des profondeurs de décharge élevées. Elles résistent mieux au froid que les batteries classiques mais moins bien que les batteries AGM, elles ont souvent une bonne tenue à la chaleur et un taux d'autodécharge faible. [13]

II.3.2.b Les Accumulateurs au Nickel- cadmium

Les batteries de nickel- cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb- acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel. [12]



Figure II.13. Batterie Nickel-Cadmium

II.4. Système de régulation

Dans un système photovoltaïque autonome, le régulateur de charge a une fonction primordiale. Il protège toute l'installation et notamment la batterie qui est l'élément le plus sensible [14]. Pratiquement tous les régulateurs de charge incluent une fonction qui empêche la surcharge de la batterie par le panneau solaire photovoltaïque. Il contrôle l'état de charge de la batterie et limite ou interrompt le courant de charge lorsque la batterie est pleinement chargée. La technologie de régulation de charge ayant connu des avancées considérables depuis les années 1990, il faut rechercher un modèle offrant de fonctions et non pas se contenter d'un modèle basique [2].

II.4.1 Technique de régulation

Toute la régulation se fait grâce à la mesure de la tension aux bornes de la batterie. Une batterie déchargée possède une tension faible (autour de 11,4 V pour une batterie de 12 V), alors qu'une batterie chargée possède une tension forte (autour de 13,2 V). Le régulateur de charge doit donc avoir une lecture précise de la tension aux bornes de la batterie, afin de savoir si elle se trouve dans une période de fin de charge ou en fin de décharge. C'est pour cela que l'on place toujours le régulateur à proximité des batteries, pour éviter les chutes de tension dues à la distance et pour pouvoir prendre en compte la température environnante [12].

II.4.2 Types de régulateurs photovoltaïques

Les régulateurs de charge de système photovoltaïque autonome peuvent se classer en quatre groupes principaux :

- **Les régulateurs de charge parallèle (shunt)**

Tout le courant des panneaux passe dans la batterie et lorsque le seuil de coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur. Il est donc nécessaire de rajouter une diode

entre cet interrupteur et la batterie pour ne pas court-circuiter la batterie. Cette diode pourra servir de diode anti retour. L'interrupteur utilisé est le plus souvent un MOSFET car il est plus intéressant qu'un transistor bipolaire car il dissipe moins d'énergie. Il est également plus intéressant qu'un relais car le relais présente une résistance de passage très faible. [18]. Il est bien adapté aux petits systèmes c'est une technologie ancienne qui n'est plus vraiment disponible sur le marché car elle ne permet pas de recharger la batterie à plus de 70% de sa capacité [16]

Le principe du régulateur shunt est illustré sur le schéma suivant :

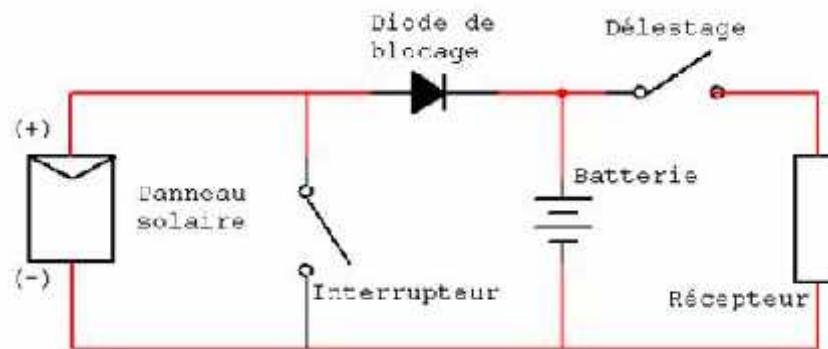


Figure II.14. Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle

- *Les régulateurs de charge séries*

Ce type de régulateur est très répandu et a supplanté le régulateur shunt. L'interrupteur de charge (un relais le plus souvent) est ici en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte.

La différence avec la technique « shunt », c'est que le relais peut être commutant en laissant passer le courant vers un autre récepteur.

Cette propriété permet d'utiliser la totalité de la puissance solaire en alimentant un récepteur auxiliaire (ventilation, pompage, chauffage en pays froid. [19]

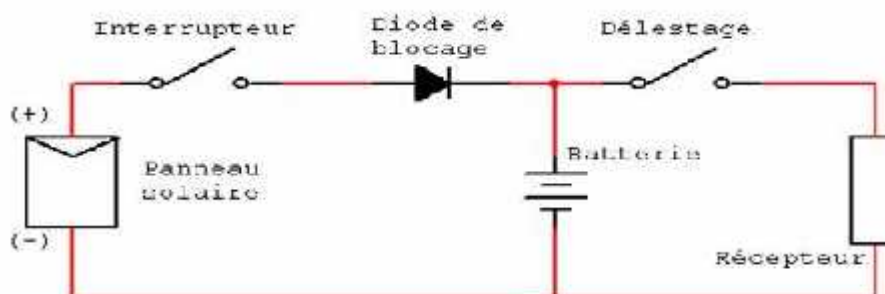


Figure II.15. Schéma de principe d'un régulateur de charge série

- **Le régulateur de type PWM (Pulse Width Modulation)**

La technologie PWM, soit en version Française "Modulation de Largeur d'Impulsion", est une méthode très efficace qui permet de moduler la fréquence et la durée des impulsions de courant envoyé. Le régulateur PWM permet ainsi la recharge totale à 100% d'une batterie solaire alors que les anciens systèmes dits "shunt" se contentaient de restaurer la batterie à hauteur de 70% de ses capacités en ouvrant le circuit en fin de charge afin de détourner l'énergie qui ne pouvait être stockée.

Le régulateur PWM est piloté via un microprocesseur intégré très performant, il vérifie en permanence l'état de charge de la batterie pour ajuster la durée et la fréquence des impulsions de courants à lui délivrer. Quand la batterie est complètement déchargée, les impulsions de courant sont longues et très fréquentes voire continues pour accorder une recharge maximale et rapide. Au fur et à mesure que la batterie se charge, les impulsions vont devenir moins longues et moins fréquentes. Quand la batterie est presque entièrement chargée et c'est le processus le plus complexe de charge d'une batterie, les impulsions deviennent de plus en plus brèves et de plus en plus espacées jusqu'à s'arrêter complètement une fois que la batterie sera chargée à 100% de ses capacités. Cette technologie PWM diminue ainsi la sulfatation des plaques conductrices car le courant de charge de la batterie est pulsé à hautes fréquences [16].

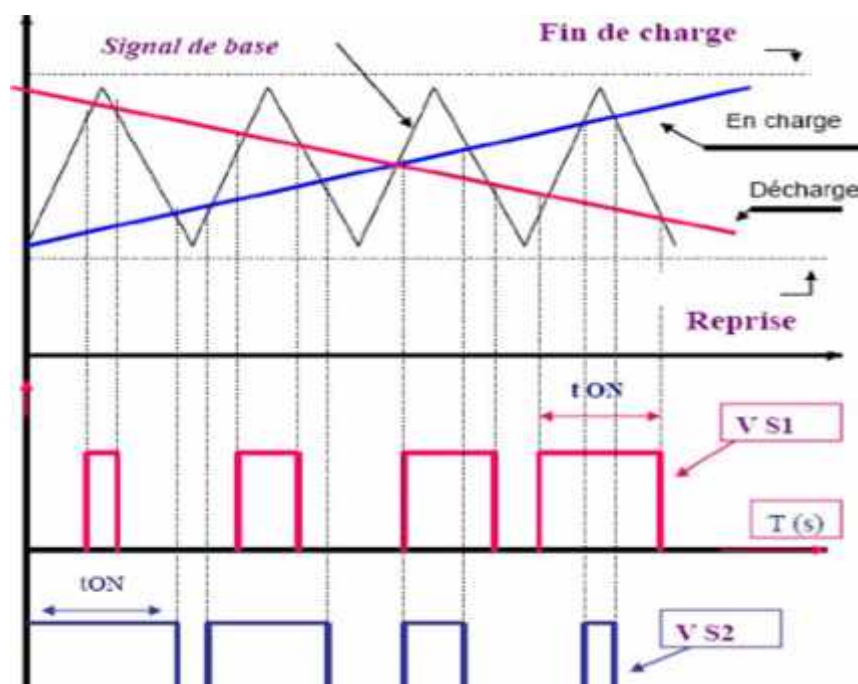


Figure II.16. Chronogramme du signal MLI durant la charge et la décharge

- **Le régulateur de type MPPT (Maximum Point Power Tracking)**

La technologie MPPT, soit en version Française "Recherche du point de puissance maximum", est la méthode la plus efficace à l'heure actuelle et surclasse la technologie PWM. Ce type de régulateur est certes plus cher à l'achat et ne sera utilisé que dans la recherche de l'optimisation absolue d'une installation. Le régulateur MPPT offre l'avantage d'utiliser votre panneau solaire à 100% de ses capacités car il va non plus utiliser 13.2v pour recharger la batterie mais la totalité des 17v délivrés par le panneau solaire.

Un régulateur classique comme le régulateur PWM se contente d'alimenter la batterie sur une tension égale à celle de la batterie selon son état de charge soit 13.2v à son maximum de charge et proche de 11.7v lorsque la batterie est déchargée. Il y a donc une perte évidente sachant que la puissance d'un panneau solaire est donnée en multipliant la tension de sortie de 17v par le courant de sortie en Ampères. Le régulateur MPPT utilise lui les 17v quel que soit l'état de la batterie, ce qui permet d'accroître la vitesse de charge de la batterie en optimisant les caractéristiques de courant et de tension du panneau solaire et de la batterie. Un logiciel intégré se charge de la variabilité des caractéristiques afin d'optimiser la charge de la batterie.

[16]

II.4.3 Régulateur de charge et phases de charge de la batterie

Différents types de régulateurs font varier l'alimentation de la batterie selon la phase de charge. Les phases de charge sont :

- → Charge principale : Pendant cette phase qui dure jusqu'à ce que l'état de charge atteigne environ 80% toute l'énergie fournie par le module est transmise directement à la batterie
- → Charge d'absorption : Pendant cette phase, la charge se réduit progressivement jusqu'à ce que l'état de charge atteigne 100 %
- → Charge d'entretien : Lorsque la batterie est à pleine charge, le régulateur fournit juste assez de courant pour maintenir cette pleine charge, on parle aussi de charge « lente »
- → Egalisation : Proposée par certains types de régulateurs seulement à utiliser une fois par mois environ, l'égalisation fournit une charge brève mais élevée destinée à réduire la stratification de l'acide et la sulfatation de la batterie et à égaliser les tensions des différentes cellules. [17]

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a cité les paramètres influant sur le système photovoltaïque, les différents modèles des batteries de stockage ainsi les typologies des régulateurs existants. Dans le prochain chapitre on va faire une étude sur le microcontrôleur qui commande le fonctionnement du notre système.

CHAPITRE III

Les microcontrôleurs

Introduction

Les microcontrôleurs envahissent notre environnement sans que nous le sachions. Ces petits composants se retrouvent de plus en plus dans tous les matériels que nous utilisons quotidiennement, machine à laver, mulot (souris), ordinateur, téléviseur. Dotés d'une logique programmée ils sont capables de réagir à l'environnement un peu à la manière d'automates programmables. Mais leurs propriétés ne se limitent pas à offrir un certain nombre d'entrées sorties logiques. Ils sont parfois dotés de fonctions supplémentaires telles que convertisseurs analogique numérique, horloges temps réel, comptage rapide etc. L'intérêt pour ces composants est directement fonction de leur prix.

Plusieurs fondeurs se partagent ce marché, citons INTEL, MOTOROLA, AMTEL, ZILOG, PHILIPS et enfin MICROCHIP. [20]

III.1- Qu'est-ce qu'un microcontrôleur (μ C)

C'est un ordinateur monté dans un circuit intégré. Les avancées technologiques en matière d'intégration, ont permis d'implanter sur une puce de silicium de quelques millimètres carrés la totalité des composants qui forment la structure de base d'un ordinateur. Comme tout ordinateur, on peut décomposer la structure interne d'un microprocesseur en trois parties : Les mémoires, le processeur, et les périphériques.

- Les mémoires sont chargées de stocker le programme qui sera exécuté ainsi que les données nécessaires et les résultats obtenus.
- Le processeur est le cœur du système puisqu'il est chargé d'interpréter les instructions du programme en cours d'exécution et de réaliser les opérations qu'elles contiennent. Au sein du processeur, l'unité arithmétique et logique **ALU** interprète, traduit et exécute les instructions de calcul.
- Les périphériques ont pour tâche de connecter le processeur avec le monde extérieur dans les deux sens. Soit le processeur fournit des informations vers l'extérieur (périphérique de sortie), soit il en reçoit (périphérique d'entrée).

Les PICS sont des composants RISC (**R**educe **I**nstructions **C**onstruction **S**et), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne. La famille des PICS est subdivisée en 3 grandes familles : La famille **Base-Line**, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, la famille **Mid-Range**, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie la 16F84 et 16F876), et la famille **High-End**, qui utilise des mots de 16 bits (18FXXX). Pour identifier un PIC, on utilise simplement son numéro :

- Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, **16** indique un PIC Mid-Range.
- Vient ensuite parfois une lettre L, qui indique un PIC *Low Power*.
- Vient ensuite une ou deux lettres pour indiquer le type de mémoire programme :
 - **C** indique que la mémoire programme est une EPROM inscriptible une seule fois
 - **CR** pour indiquer une mémoire de type ROM
 - **F** pour indiquer une mémoire de type FLASH.

- On trouve ensuite un nombre qui constitue la référence du PIC.
- Enfin, après un tiret, on trouve deux chiffres indiquant la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir. [21]

III.2- Intérêt des microcontrôleurs

Les microcontrôleurs sont de taille tellement réduite qu'ils peuvent être sans difficulté implantés sur l'application même qu'ils sont censés piloter. Leur prix et leurs performances simplifient énormément la conception de système électronique et informatique.

On peut encore préciser :

- Les performances sont identiques voir supérieurs à ses concurrents.
- Très utilisé donc très disponible.
- Les outils de développement sont gratuits et téléchargeables sur le WEB.
- Le jeu d'instruction réduit est souple, puissant et facile à maîtriser.
- Les versions avec mémoire flash présentent une souplesse d'utilisation et des avantages pratiques indéniables.
- La communauté des utilisateurs des PICs est très présente sur le WEB. On trouve sur Internet quasiment tout ce dont on a besoin, tutoriaux pour démarrer, documents plus approfondis, schémas de programmeurs avec les logiciels qui vont avec, bibliothèques de routines, forums de discussion . . .
-

L'utilisation des microcontrôleurs ne connaît de limite que l'ingéniosité des concepteurs, on les trouve dans nos cafetières, les magnétoscopes, les radios. [21]

III.3- Caractéristiques types d'un PIC 8-bit : Le PIC 16F84 :

Ce microcontrôleur, souvent surnommé PIC micro, possède 13 broches configurables, réparties sur deux ports : le port A et le port B.

Le port A possède 5 broches (nommées RA0 à RA4), mais la broche RA4, également appelée TOCKI, peut servir pour une éventuelle temporisation externe.

Le port B, lui, possède 8 broches (de RB0 à RB7), mais la broche RB0 peut également servir comme interruption éventuelle.

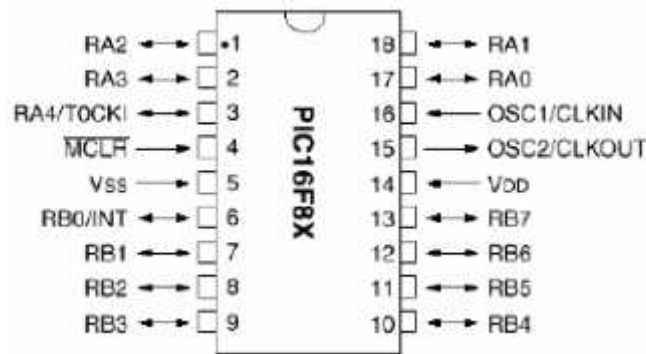


Figure III.1 : Brochage du PIC16F84

La broche 4 du PIC micro, nommée MCLR barre, sert à indiquer au PIC s'il est en fonctionnement normal (un '1' logique) ou alors s'il est en cours de programmation (un '0' logique). Cette broche sert également à un éventuel Reset du PIC.

Les 4 broches restantes sont : l'alimentation (la broche 5 : Vss = 0 volts, et la broche 14 : Vdd = +5 volts) ainsi que l'oscillateur externe (broches 15 et 16).

Outre ces caractéristiques, il faut savoir que le PIC16F84 n'utilise pas de signaux analogiques, mais uniquement numériques (logique). De plus, il faut savoir, qu'il ne fait pas la différence entre les niveaux logiques TTL et CMOS. Il est donc alors préférable d'utiliser les deux extrêmes de signaux logiques TTL (0 et 5 volts), pour éviter tout problème possible.

Voici enfin, les caractéristiques du PIC 16F84 fournies par Microchip :

- Mémoire de programme : 1KO, type Flash
- Mémoire de données RAM : 68 octets
- Mémoire de données E²PROM : 64 octets
- Niveau de la pile : 8
- Jeux d'instruction RISC : 35 de 14 bits
- Temps d'exécution des instructions normales : 4*Tosc
- Temps d'exécution des instructions de saut : 8*Tosc
- Cause d'interruption : 4
- Fréquence max de travail : 10 MHz
- Lignes E/S numérique : 13
- Temporisateur : un pour l'utilisateur, un pour le Watchdog
- Tension d'alimentation : 2 à 6 V continu
- Tension de programmation : 12 à 14 V continu.

- Boîtier : DIL 18

Enfin, autre point fort du PIC : la consommation, car en tant que système embarqué, il faut que ce microcontrôleur consomme peu. Ainsi, des 2 mA de consommation en fonctionnement normal, il peut passer à 10 μ A en fonction veille ou sommeil, comme par exemple sur un téléphone portable, quand on ne s'en sert pas, la lumière reste éteinte : il est en veille.

En revanche, au moindre appui sur un bouton (interruption externe, broche RB0 ici), il se remet en marche. Le Pic fonctionne de la même manière. [22]

III.4- Fonctionnement du PIC 16F84 :

Nous traiterons ici les principaux systèmes du PIC micro, plus ou moins utiles. Nous illustrerons ces systèmes par des schémas, les plus clairs et les plus compréhensibles possibles.

Certains de ces systèmes, étant des paramètres configurables, devront faire l'objet d'attention selon que vous déciderez où non de les mettre en œuvre.

Nous verrons donc :

- Les entrées/sorties
- Les différents types d'oscillateurs possibles (pour l'horloge)
- Le reset
- La mémoire e²prom
- La mémoire flash, utilisée dans le pic
- Les interruptions
- Le tmr0
- Le Watchdog
- Le RTCC

Les entrées/sorties sont l'interface entre le système embarqué et le monde extérieur. Les entrées/sorties sur le PIC sont réparties sur deux ports : le port A (5 E/S) et le port B (8 E/S). Pour configurer ces dernières, il s'agit de rentrer un '1' pour la mettre en entrée, ou un '0' pour une sortie. Quand chaque bit est déterminé, on obtient alors le mot binaire à rentrer dans le registre de configuration.

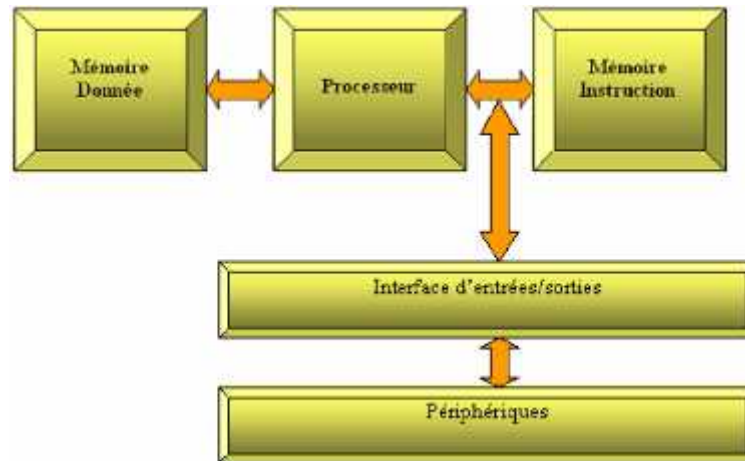


Figure III.2. Synoptique d'un PICmicro.

III.4.1- Les oscillateurs

Ils peuvent être de plusieurs types. Ces oscillateurs coûtent peu cher à fabriquer, et peuvent être très précis lorsqu'ils sont basés sur des quartz. Si votre système n'a pas besoin d'une horloge précise, on peut alors se contenter d'un oscillateur simple, dit RC. La constante de temps est alors : $\tau = RC$. [22]

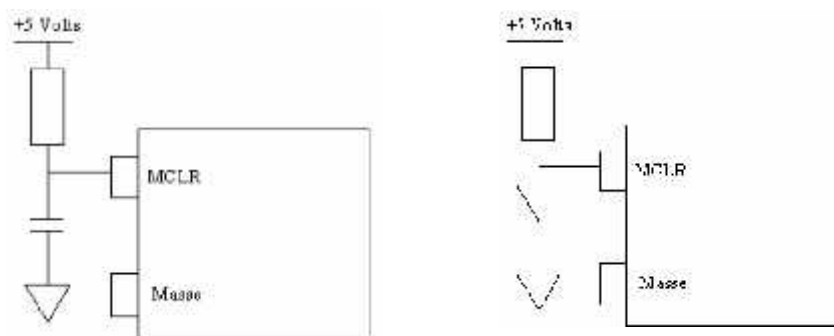


Figure III.3. Le reset automatique, et le reset manuel.

III.4.2- Le reset

Le reset est relativement important. En effet, lorsque le système a des ratés, ou plante, il est utile de pouvoir le réinitialiser. Il est également possible et utile parfois d'effectuer un reset lors de la mise sous tension. Le reset s'effectue en mettant un '0' logique sur la patte 4 du microcontrôleur. Il existe plusieurs types de système de reset : le manuel, l'automatique, et

un mixte (le modèle mixte, permettant un reset automatique lors de la mise sous tension et également un interrupteur de reset manuel). [22]

III.4.3- La mémoire EEPROM

L'EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) est une mémoire interne au PIC. Il s'agit d'une mémoire non volatile dans laquelle le PIC peut stocker des données, comme par exemple les résultats d'une acquisition. [22]

III.4.4- La mémoire FLASH

La mémoire flash est le nouveau type de mémoire EEPROM. Bien plus souple que les premières générations de ces dernières, la mémoire flash permet une écriture/effacement de toute la mémoire ou que d'une partie, au choix. Ce type de mémoire possède beaucoup de caractéristiques intéressantes. [22]

III.4.5- Les interruptions

Une interruption, notée IT, est un sous-programme prioritaire, occupant l'adresse 04. Quand une interruption intervient, le programme principale interrompt sa tâche en cours, puis va appeler le sous-programme d'interruption.

Il existe quatre modes d'interruptions :

- Une modification de RB0 (en entrée)
- La fin de l'écriture en EEPROM
- Le débordement du timer interne TMR0
- Une modification de l'état des pattes RB4 à RB7 (configurées en entrées).
- C'est le registre INTCON (*INTerrupt CONtrol*) qui sert à gérer les interruptions.

[22]

III.4.6- Le timer TMR0

Il s'agit d'un temporisateur interne de 8 bits, qui peut être initialisé à une valeur donnée. A chaque passage de FF à 00 (en hexa), le bit de débordement est activé. Il faut alors le remettre à zéro, pour pouvoir détecter un autre débordement (non automatique). Il possède deux modes de fonctionnement possible, dont le choix s'effectue par la mise à 1 ou à 0 du bit TOSC, l'entrée horloge devenant alors la patte RA4, en mode dit « TOCKI ».

Ces deux modes sont :

- Temporisateur interne (peut alors servir pour des fonctions de temps)
 - Compteur d'évènements (peut servir pour compter des évènements extérieurs).
- [22].

III.4.7- Le WatchDog

Littéralement le « chien de garde », le Watchdog est un système de surveillance du bon déroulement du programme. Il s'agit d'un compteur, qui est réinitialisé régulièrement dans le cas d'un fonctionnement normal. Mais dans le cas d'un dysfonctionnement, le compteur va jusqu'au bout et déclenche alors un reset interne, par débordement, réinitialisant le PIC. Ce compteur peut fonctionner à la fréquence de l'oscillateur, ou bien à une fréquence spécifique, désignée par la fréquence de l'oscillateur modifiée par un diviseur. [22]

III.5- Description brève du PIC16F616

Tout comme le PIC16F84, le PIC16F616 est aussi un microcontrôleur 8 bits de la gamme *mid-range* de Microchip, mais il contient une mémoire flash plus grande (4 kB), une mémoire EEPROM plus grande (256 octets), une mémoire RAM plus grande ; il contient beaucoup plus de modules internes et plusieurs possibilités d'interruptions. Il est réalisé en technologie CMOS et peut être cadencé par une horloge de 0 à 20 MHz. Son alimentation se fait par une tension continue à choisir dans l'intervalle [2.0 V, ..., 5.5 V].

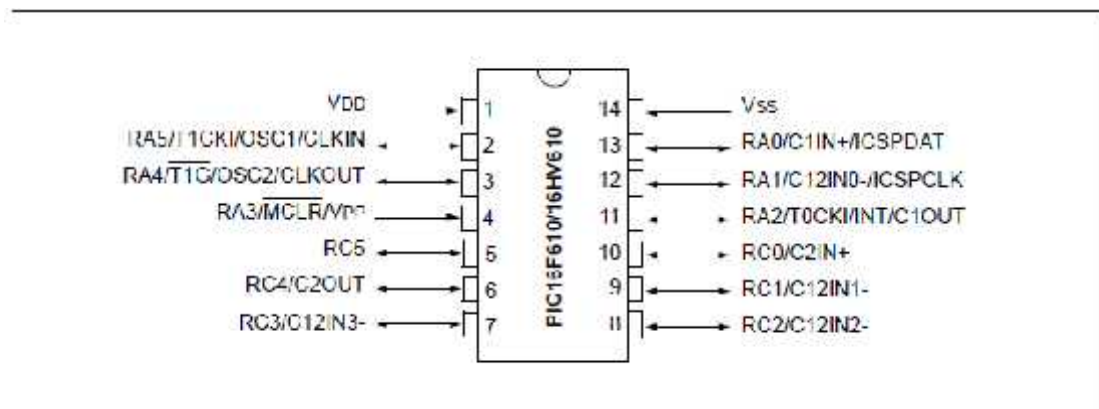


Figure III-4. Brochage du PIC16F616.

Contrairement au PIC16F84, le brochage suivant montre que la majorité des pattes sont réservées à un usage multiple. Le PIC16F616 dispose de deux ports d'entrées sorties, dénommés Port A et Port C. Le port A est manipulé à travers les 6 lignes (broches 11, 12, 13,

4, 3, 2), tandis que le port C est manipulé à travers les 6 lignes (broches 5, 6, 7, 8, 9, 10). Deux broches (2 et 3) sont aussi réservées aux circuits de l'horloge à quartz ou RC ou de l'horloge externe, tandis que l'alimentation du composant se fait entre les broches Vdd (1) et Vss (14). Enfin, la broche MCLR (4) permet un reset manuel de ce composant.

Ces 2 ports sont accessibles par les broches nommées respectivement RA0 à RA5 (du PortA) et RC0 à RC5 (du PortC). Le sens de transfert de chaque ligne RAx ou RCx est déterminé par un bit situé dans le registre TRIS correspondant (TRISA ou TRISC) (bit = 0 pour configurer une ligne en sortie, ou bit = 1 pour configurer une ligne en entrée).

III.5.1- Le port A :

Dans la structure des broches RA0 à RA3, les bascules B1 et B2 correspondent respectivement à l'un des bits des registres PORTA et TRISA. Lorsque la broche RAx est programmée en entrée, la sortie QT de B2 est à l'état logique 1, les deux MOS canal P et N voient leur grille portée respectivement à 1 et 0, ils sont bloqués et l'état de la borne lue par le buffer TTL est déterminée par le circuit extérieur relié à cette borne. En sortie, au contraire, QT=0 et la tension sur les grilles des MOS est entièrement déterminée par l'état de la bascule B1. Si, par exemple, QD=1, le MOS P est conducteur (0 sur sa grille) et le MOS N bloqué, la broche de sortie est portée au niveau logique 1.

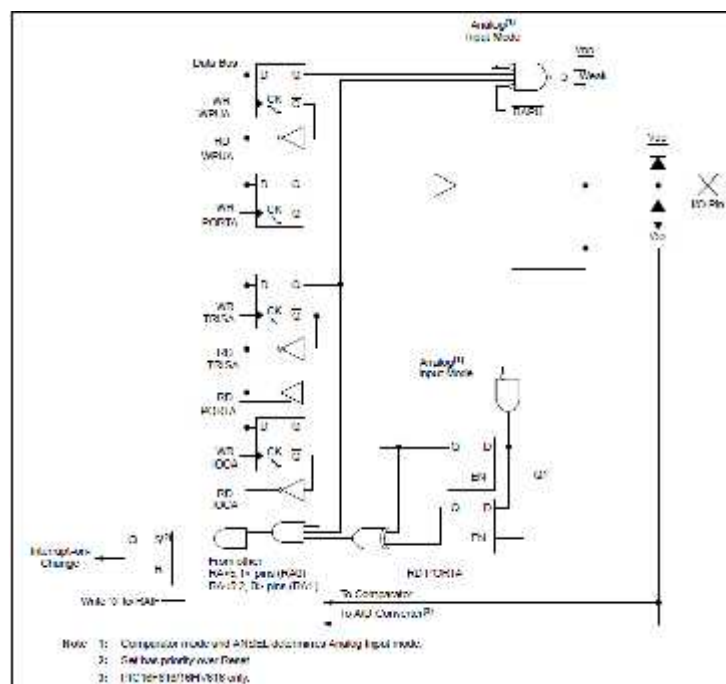


Figure III-5. Synoptique interne des broches RA0 et RA1.

III.5.2- Le port C

Le port C a une structure différente. En plus des entrées analogiques du convertisseur ADC, il comporte un module EUSART pour permettre une liaison série synchrone ou asynchrone. La figure suivante indique la structure interne des broches RC0 et RC1 :

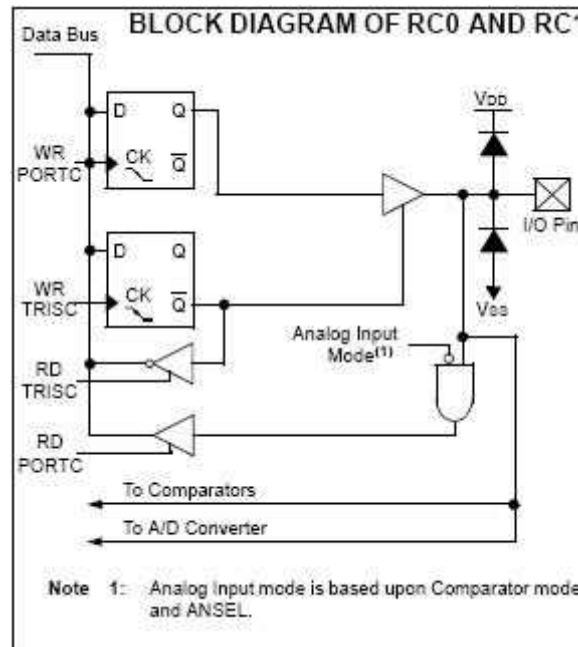


Figure III-6. Synoptique interne des broches RC0 et RC1.

Attention, les registres systèmes ANSEL (91h) et CMCON0 (19h) doivent être correctement initialisés pour configurer les broches comportant une entrée analogique, en broches digitales.

Le PIC16F616 possède un compteur interne (ou timer, dit TMR0, **figure III-7**) dont le fonctionnement est déterminé par le contenu du registre OPTION_REG et qui active une interruption (bit N°2, dit TOIF, du registre INTCON, notation : INTCON<2>) à chaque dépassement (*overflow*). Les événements qui font avancer le compteur TMR0 sont soit :

1. Un signal synchrone du compteur interne et de fréquence $F_{osc}/4$, si le bit N°5 (dit T0CS) du registre OPTION_REG, est à 0. On dit dans ce cas qu'on est en mode « timer ».
2. Une transition sur la broche RA4/T0CKI. (3), si le bit N°5 (dit T0CS) du registre OPTION_REG, est à 1. On dit dans ce cas qu'on est en mode « compteur ». Dans ce cas, le bit N°4 (dit T0SE) du registre OPTION_REG

permet de préciser lors de quelle transition (montante si TOSE=0, ou descendante si TOSE=1) le comptage est effectué.

Le bit N°3 (dit PSA) du registre OPTION_REG permet ce faire intervenir ou non un diviseur supplémentaire (*prescaler*) dont le taux de division est déterminé par les bits N°2, 1,0 (dits PS2, PS1, PS0). Ce prédiviseur est utilisé également par le chien de garde intégré.

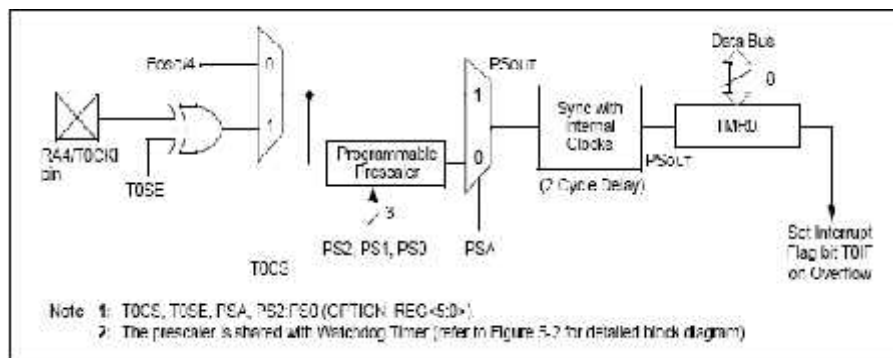


Figure III-7. Synoptique interne du compteur TMR0.

Ce compteur TMR0 est associé à un registre (noté aussi TMR0) qui contient la valeur codée 8 bits de ce compteur. Ce registre peut être lu ou écrit. Cependant, l'écriture dans ce registre remet à zéro les bits PS2, PS1, PS0 du prédiviseur, et de plus, le comptage ne redémarre que 2 cycles plus tard (2 µs pour un quartz de 4 MHz). Le **tableau III-1** indique les registres associés au compteur TMR0, leurs adresses, la signification de chaque bit et enfin leurs valeurs initiales, suite à un reset quelconque (de type POR, power on reset, à la mise en marche, ou autres ...).

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other RESETS
01h	TMR0	Timer0 Module Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
0Bh,3Bh	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0010 000x	00C0 0001
81h	OPTION_REG	RBPV	INTEDG	T0CS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111
85h	TRISA	-	-	-	PORTA Data Direction Register				-	1111	---1 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented (locations read as 0). Shaded cells are not used by Timer0.

Tableau III-1. Registres associés au compteur TMR0.

PSA	PS2	PS1	PS0	/tmr0	/WD	Temps tmr0	Temps typique Watchdog (minimal)
0	0	0	0	2	1	512 μ s	18 ms (7ms)
0	0	0	1	4	1	1024 μ s	18 ms (7ms)
0	0	1	0	8	1	2048 μ s	18 ms (7ms)
0	0	1	1	16	1	4096 μ s	18 ms (7ms)
0	1	0	0	32	1	8192 μ s	18 ms (7ms)
0	1	0	1	64	1	16384 μ s	18 ms (7ms)
0	1	1	0	128	1	32768 μ s	18 ms (7ms)
0	1	1	1	256	1	65536 μ s	18 ms (7ms)
1	0	0	0	1	1	256 μ s	18 ms (7ms)
1	0	0	1	1	2	256 μ s	36 ms (14 ms)
1	0	1	0	1	4	256 μ s	72 ms (28 ms)
1	0	1	1	1	8	256 μ s	144 ms (56 ms)
1	1	0	0	1	16	256 μ s	288 ms (112 ms)
1	1	0	1	1	32	256 μ s	576 ms (224 ms)
1	1	1	0	1	64	256 μ s	1,152 Sec (448 ms)
1	1	1	1	1	128	256 μ s	2,304 Sec (996 ms)

Tableau III-2. Paramétrage du bit PSA, et des 3 bits PS2, PS1, PS0.

- **PSA à PS0** sont les bits de configuration du prédiviseur.
- **/tmr0** indique la valeur du prédiviseur résultante sur le timer0.
- **/WD** indique la valeur du prédiviseur résultante sur le Watchdog.
- **Temps tmr0** indique le temps max entre 2 interruptions tmr0 avec quartz de 4MHz.
- **Temps watchdog** indique le temps typique disponible entre 2 reset watchdog (indépendant du quartz utilisé). La valeur entre parenthèses indique le temps minimal, qui est celui à utiliser pour faire face à toutes les circonstances.

Attention, choisir un prédiviseur=1 pour TMR0, revient en réalité à assigner le prédiviseur au Watchdog (PSA=1). Par ailleurs, la valeur contenue dans le prédiviseur n'est pas accessible en lecture.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le principe de fonctionnement, les composants ainsi que les intérêts de la pièce maitresse du notre montage le microcontrôleur. Dans le chapitre suivant on va-le consacré pour décrire le régulateur de charge 24 v réalisé.

CHAPITRE IV

Conception et réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie 24V

IV.1- INTRODUCTION

Un chargeur de batterie classique, à bas coût, est basé sur une conception électronique basique, souvent réduite à un transformateur de puissance abaisseur de tension et une diode de puissance pour redresser le signal alternatif de sortie basse tension (le condensateur de filtrage est parfois omis).

Ce type de chargeur n'est pas du tout recommandé pour la recharge et l'entretien de batteries solaires qui nécessitent une procédure déterminée pour leur garantir une durée de vie maximale. A la suite d'une recherche bibliographique sur internet à propos de la technologie des batteries solaires et la conception de contrôleurs de charge basés sur l'emploi d'un

microcontrôleur PIC dédié au contrôle et suivi de la recharge selon les trois étapes successives suivantes :

1. Une première phase dite « *bulk charge* » consistant à recharger aussi vite que possible la batterie jusqu'à une tension de seuil déterminée U_1 .
2. Une deuxième phase dite « *absorption phase* » consistant à maintenir la tension de seuil U_1 constante durant un délai déterminée (une heure).
3. Une troisième phase dite « *float charge* » consistant à réduire le courant de charge jusqu'à abaisser la tension de charge à une valeur U_2 dite tension d'entretien. Le montage suivant a été réalisé dans ce sens, tout en minimisant le coût total et en palliant au mieux aux composants non disponibles.



Figure IV.1. Aperçu du dispositif réalisé.

IV.2- DESCRIPTION HARDWARE

Le synoptique suivant indique les principaux modules de ce montage :

- un microcontrôleur 8-bit (PIC16F616),
- un module afficheur à cinq LEDs,
- la circuiterie pour 2 voies de mesures (tension et courant de charge Uboost et Iboost),
- la section alimentation régulée à 5.12V précise,
- et enfin, le convertisseur élévateur de tension (Boost).

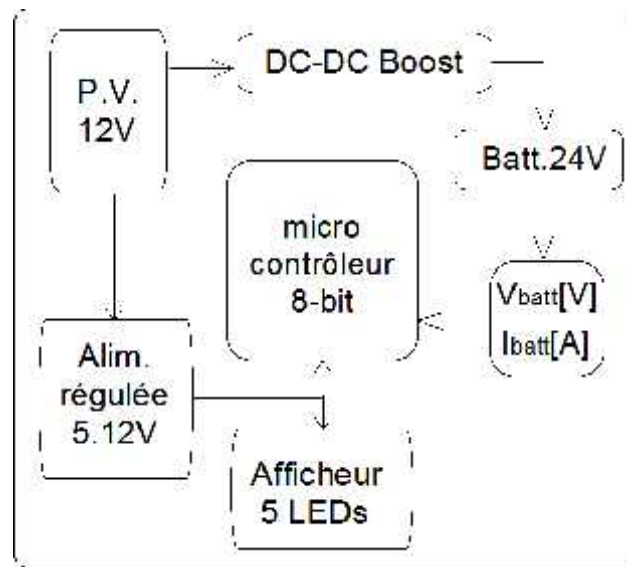


Figure IV.2. Synoptique du montage réalisé.

IV.2.1- Le microcontrôleur 8-bit (PIC16F616)

Il s'agit d'un microcontrôleur de la gamme *mid-range* de la société américaine Microchip [23], fondé en 1989 en Arizona (USA) et devenu leader mondial dans cette catégorie de composants numériques programmables depuis l'année 2000.

Il est doté d'une architecture RISC, dont les performances en vitesse d'exécution et taux d'occupation mémoire sont bien meilleurs que l'ancienne architecture CISC (exemple : Motorola 68705 ou Intel 8051). Il est alimenté par une tension particulière de 5.12 [V]. Ce choix a été dicté par les impératifs de fonctionnement du module interne de conversion analogique numérique ADC de résolution 10-bit.

En effet, avec une résolution de 10-bit, on dispose de 1024 pas de mesures, et en fixant une tension de 5.12 [V], on obtient alors une sensibilité de $5120 / 1024 = 5$ [mV]. Enfin, ce microcontrôleur est cadencé par une horloge système interne de 8 MHz (et de précision 1%), nécessaire pour obtenir un signal PWM à 31.25 kHz, utile au circuit élévateur de tension (Boost).

IV.2.2- Le module afficheur à cinq LEDs

Les broches du PORTC du microcontrôleur (sauf la broche RC5 consacré à la sortie PWM) sont configurées en sortie pour la commande de cinq LEDs indépendamment, afin de visualiser la gamme des tensions utiles dans ce dispositif, allant de 20V à 28V, par bonds de 1V. Il n'était pas

nécessaire de disposer d'un afficheur plus précis, à 3 digits 7-segments (LED ou LCD) car le coût global serait supérieur, pour un avantage de lecture de précision non indispensable. En effet, la recharge d'une batterie est un phénomène physique lent, et limité dans une gamme de tensions suscitée.

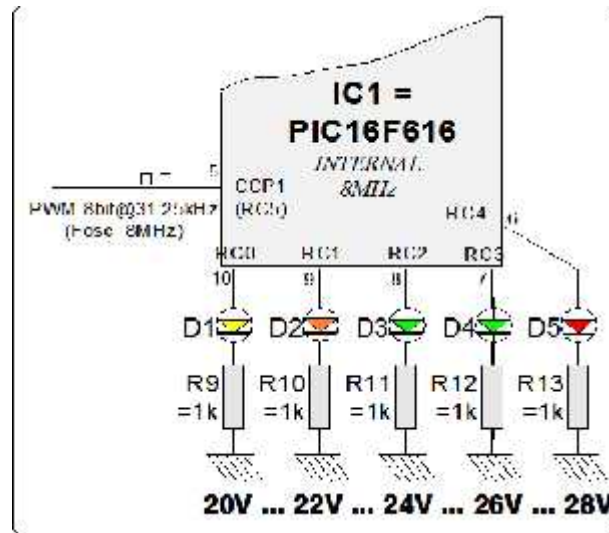


Figure IV.3. Module afficheur à cinq LEDs.

IV.2.3- La circuiterie pour 2 voies de mesures

Deux entrées analogiques, AN1 et AN0, du microcontrôleur ont été consacrées respectivement à la mesure de la tension de charge Uboost et du courant de charge Iboost de l'accumulateur d'énergie (une batterie 24V).

La tension de charge est mesurée à partir du diviseur de tension classique (R1, Aj1, R2) de rapport 1/6. On peut ainsi mesurer une tension de charge pouvant aller jusqu'à un maximum de 30.6 V, à partir de l'entrée analogique AN1 (limitée à 5.1V seulement).

Le courant de charge de la batterie Iboost se fait par la mesure d'une chute de tension à travers une très faible résistance (0.05 Ohm) mise en série sur le pôle négatif de la batterie à recharger.

Le calcul de la puissance maximale dissipée par cette résistance dépend du courant maximum pouvant être délivré par les panneaux solaires en service.

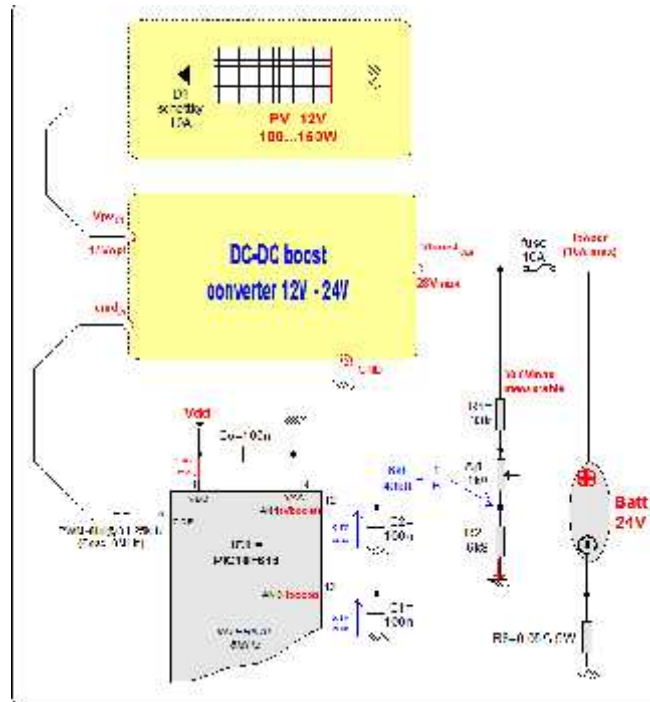


Figure IV.4. Circuiterie pour les 2 voies de mesures analogiques.

IV.2.4- La section alimentation régulée

La section alimentation régulée a été réalisée en composants discrets pour minimiser son propre courant de polarisation, réduit à quelques dizaines de microampères seulement, au lieu d'utiliser le régulateur intégré classique 78L05 [24] (dont le courant de polarisation est de 4 mA).

Cette section est prévue pour abaisser la tension délivrée par le système de panneaux photovoltaïques de 12 V (mais qui délivre une tension typique de 17V en plein ensoleillement) à seulement 5.12 V nécessaire pour alimenter l'ensemble des circuits actifs (le microcontrôleur et le module afficheur à LEDs).

Cette valeur particulière de 5.12V (et non 5V seulement), a été choisie pour satisfaire les impératifs de fonctionnement du module interne convertisseur analogique-numérique ADC 10-bit. Elle est ajustée à partir d'une tension de référence de 1.24V fournie par la diode LM385 [25], et le transistor T20 jouant le rôle d'amplificateur d'erreur et commandant le transistor ballast T21 pour disposer d'un courant de sortie suffisant.

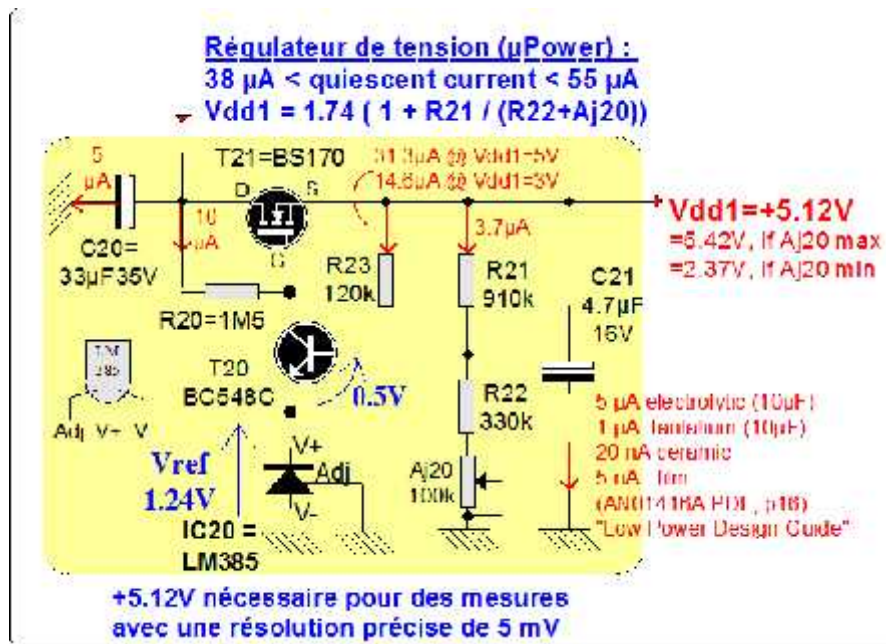


Figure IV.5. Section alimentation régulée.

IV.2.5- La section convertisseur élévateur de tension (Boost)

Il s'agit d'un circuit classique d'alimentation à découpage type élévateur de tension (12V vers 24V) [26]. Cette catégorie d'alimentation travaille à des fréquences de découpage allant de 20kHz à 1 MHz.

Une fréquence de découpage plutôt basse demande d'utiliser de gros condensateurs de filtrage ainsi qu'une grosse inductance, et présente une nuisance sonore à proscrire, ce qui nous a fait préférer une fréquence aussi élevée que possible (le PIC, cadencé à une horloge système de 8 MHz, nous délivre un signal PWM de 31.25 kHz max [27]).

Ainsi, une inductance de 10 à 47 μH est préconisée, ainsi qu'un condensateur de filtrage autour de 470 μF est suffisant. Toutefois, pour minimiser les pertes en commutation (et réduire l'échauffement), un transistor de type MOSFET (T4) a été préféré à un transistor bipolaire.

En effet, de nos jours, il y a des transistors MOSFET qui présentent une résistance à l'état passant (R_{dsON}) de quelques milliOhms seulement (16 milliOhms pour un IRFZ46N [28]). De même, un circuit discret jouant le rôle de "driver MOSFET" a été prévu (transistors T5, T6 et T7), en remplacement de circuit intégré spécialisé dans cette fonction, que nous n'avons pas pu trouver localement.

Enfin, la diode anti-retour doit être du type schottky de puissance, ou une diode rapide à haut rendement, par exemple, une BY229-600 [29]. La diode zener DZ1 de 18V a été prévue pour protéger l'entrée *Gate* du transistor MOSFET T4 (limitée à 20V seulement), tandis que la diode zener DZ3 de 33V a été prévue pour écrêter les pics de tension au niveau du *Drain* (qui peuvent avoisiner la centaine de volt !).

On peut aussi préférer pour DZ3 une diode transil [30] de 43V dont l'avantage par rapport à une diode zener est la rapidité de commutation.

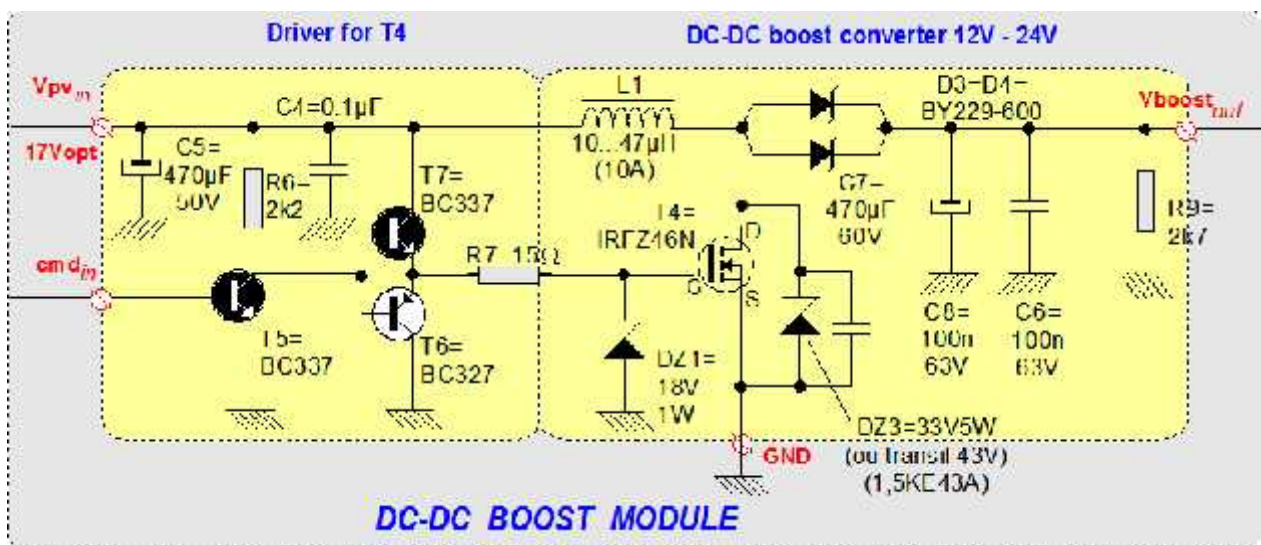


Figure IV.6. Section convertisseur élévateur de tension.

Voici enfin le schéma détaillé et complet du dispositif réalisé en figure IV.17.

IV. 3- MESURES

Une série de mesures sur oscilloscope numérique a été relevées pour analyser les signaux à différents points de contrôle critiques du prototype réalisé.

La figure suivante montre le signal PWM, disponible en sortie de la broche CCP1 (pin 5) du microcontrôleur. On constate une fréquence de l'ordre de 31.25 kHz, telle préconisée par le datasheet de ce microcontrôleur.

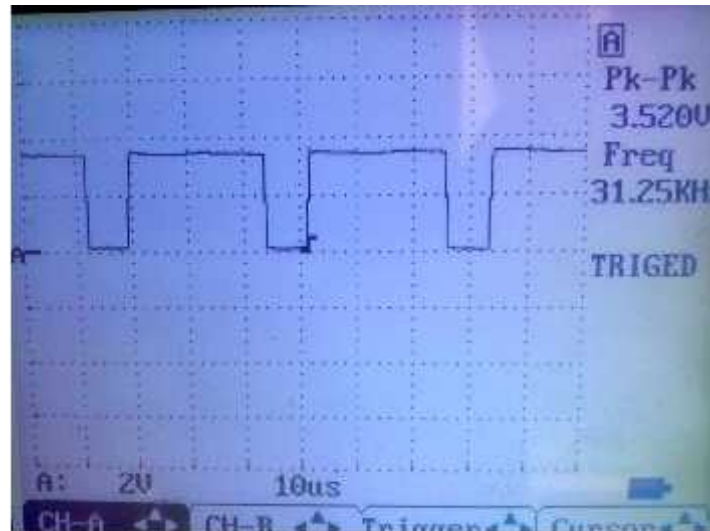


Figure IV.7. Sortie PWM de la broche CCP1 du microcontrôleur.

Ce signal PWM se présente comme suit, au niveau de la base du transistor bipolaire T5 :

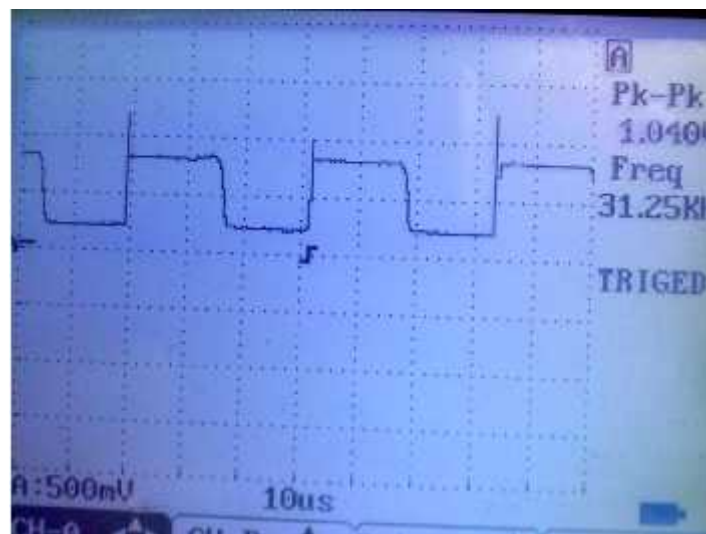


Figure IV.8. Signal PWM sur la base du transistor T5.

Le driver totem pôle composé des transistors T6 et T7 a pour rôle principal d'augmenter l'amplitude du signal PWM tel que le transistor commutateur T4 puisse passer d'état de saturation complète à un état de blocage complet.

L'oscillogramme suivant montre bien qu'au niveau du gate de ce transistor commutateur T4, l'amplitude atteint presque 17V crête à crête !

T4 est un MOSFET canal-N dont la résistance équivalente en mode passant est seulement de 0,016 Ohm !

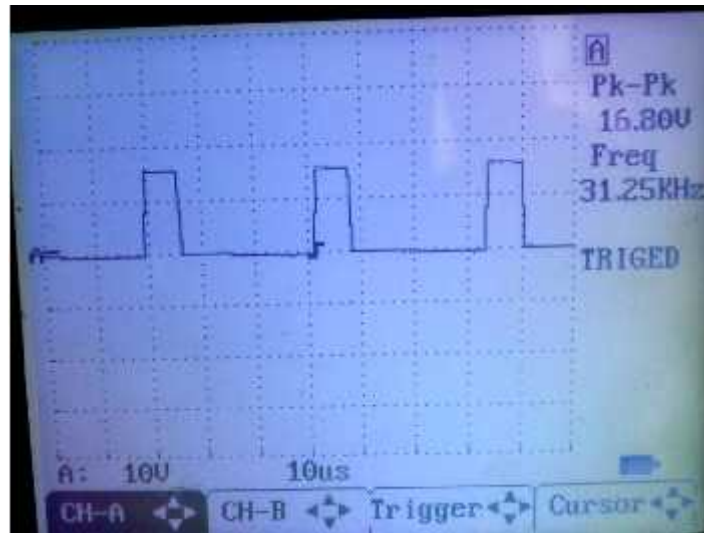


Figure IV.9. Signal PWM sur le gate du transistor T4.

A la sortie drain de ce transistor commutateur T4, l'amplitude du signal PWM dépasse 35V grâce à la présence de la bobine L1 qui permet d'emmagasiner l'énergie électrique sous forme magnétique lorsque T4 est fermé, puis de la restituer sous forme d'une impulsion haute tension lorsque T4 est ouvert, par effet d'auto-induction.

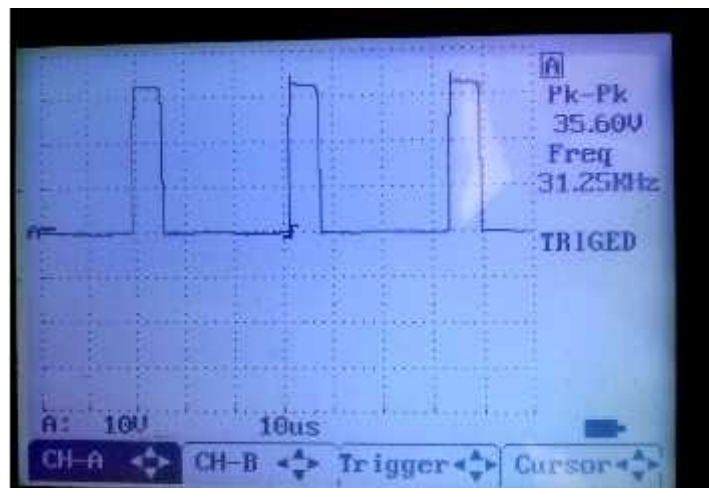


Figure IV.10. Signal PWM sur le drain du transistor T4.

VI.4- DESCRIPTION FIRMWARE

Le microcontrôleur a été programmé en assembleur, en utilisant l'environnement intégré MPLAB v8.92 (année 2013) [31] disponible gratuitement sur le site de Microchip.

Ensuite, la gravure dans la puce a été assurée par le logiciel PicPgm version 1.7.8.0 (année 2012) de l'auteur Christian Stadler [32], également gratuit, à travers le port série d'une plateforme PC/Windows.

Enfin, le programmeur utilisé est un circuit relativement simple, dit programmeur JDM2 pour microcontrôleurs PIC [33].

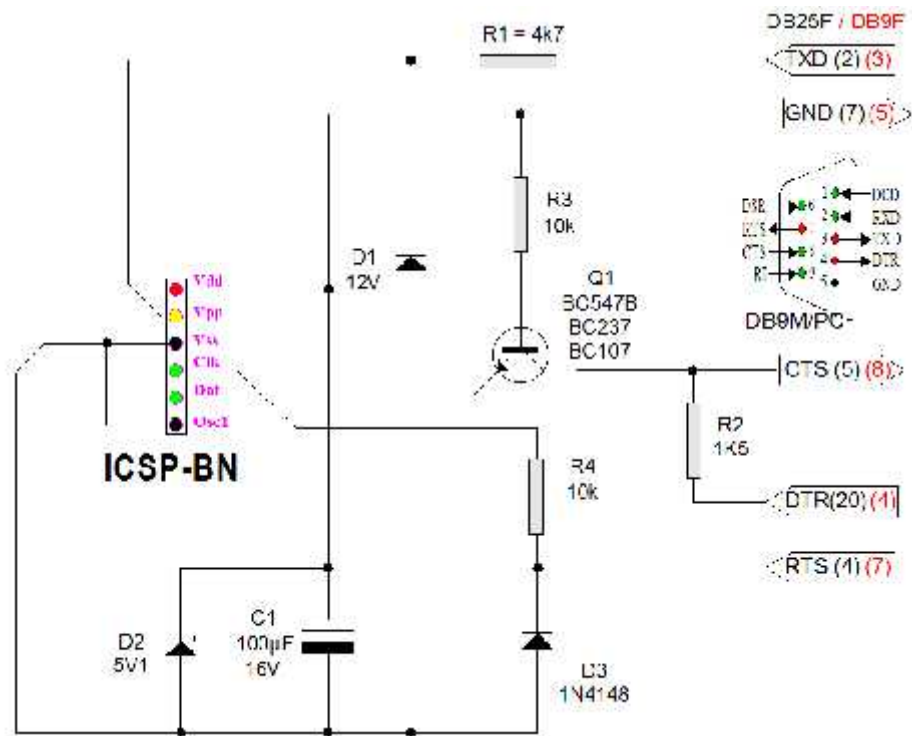


Figure IV-11. Programmeur JDM2 pour PIC sur port série d'un PC.

Paramétrage du logiciel pour programmeur de PIC sur port série :

-) Programmeur = JDM2 Programmer.
-) Port = COM1 (ou COM2)
-) Interface = Direct I/O



Figure IV-12. Aperçu du programmeur utilisé

Une programmation modulaire a été adoptée pour le code source en assembleur : un fichier principal (**KL104FW1.ASM**) suivi de 4 fichiers secondaires associés :

UTILF616.INC	Macros et routines d'utilités générales.
IF8B16B3.INC	Macros de tests divers (équivalent de l'instruction IF du langage C).
F616ADC.INC	Acquisition des mesures 10-bit.
PWM8_616.INC	Routines nécessaires pour gérer le module PWM.

Table IV.1. Fichiers du code source

IV.4-1. Le fichier principal KL104FW1.ASM

Le programme principal comprend plusieurs tâches, dont la principale est de configurer les registres systèmes des modules internes qui seront sollicités par la suite :

- Configuration de chaque broche des PORTA et PORTC en entrée ou sortie.

- Réglage de la fréquence de l'horloge système interne à 8 MHz +/- 1%
- Configuration du registre system OPTION_REG.
- Désactivation des résistances de rappel internes (pullup).
- Configuration des entrées analogiques (2 entrées seulement : AN0 & AN1).
- Désactiver les 2 comparateurs internes (pour économiser la consommation en courant).
- Initialiser à zéro toute la zone mémoire consacrée aux variables.

Après cette phase d'initialisation, le programme principal entre dans une boucle sans fin, pour procéder au traitement de trois phases successives :

- La mesure (sur la broche AN0) du courant de charge de la batterie,
- Ensuite, la mesure (sur la broche AN1) de la tension de charge,
- Et enfin la mise à jour de l'affichage des LED.

Chacune de ces trois phases dure moins d'une milliseconde (Le PIC16F616, cadencé avec une horloge système de 8 MHz, permet une acquisition de donnée avec une durée de l'ordre de 75 μ s !)

L'organigramme de la figure IV-14 montre plus de détails concernant ce programme principal.

La figure IV-15 concerne le fichier **F616ADC.INC** dédié aux routines des mesures de courant et tension comme indiqué auparavant. Nous trouvons dans ce fichier les registres concernés pour choisir la durée d'échantillonnage, le canal de mesure, les temps mort à respecter avant et après chaque mesure, etc....

Enfin, la figure IV-16 concerne le fichier **PWM8_616.INC** qui permet la gestion du module PWM (*Pulse With Modulation*) en choisissant la fréquence fixe du signal à délivrer (31.25 kHz), le rapport cyclique, réglage de 0% à 100%, par seuil codé en 8-bit, les registres concernés, etc....

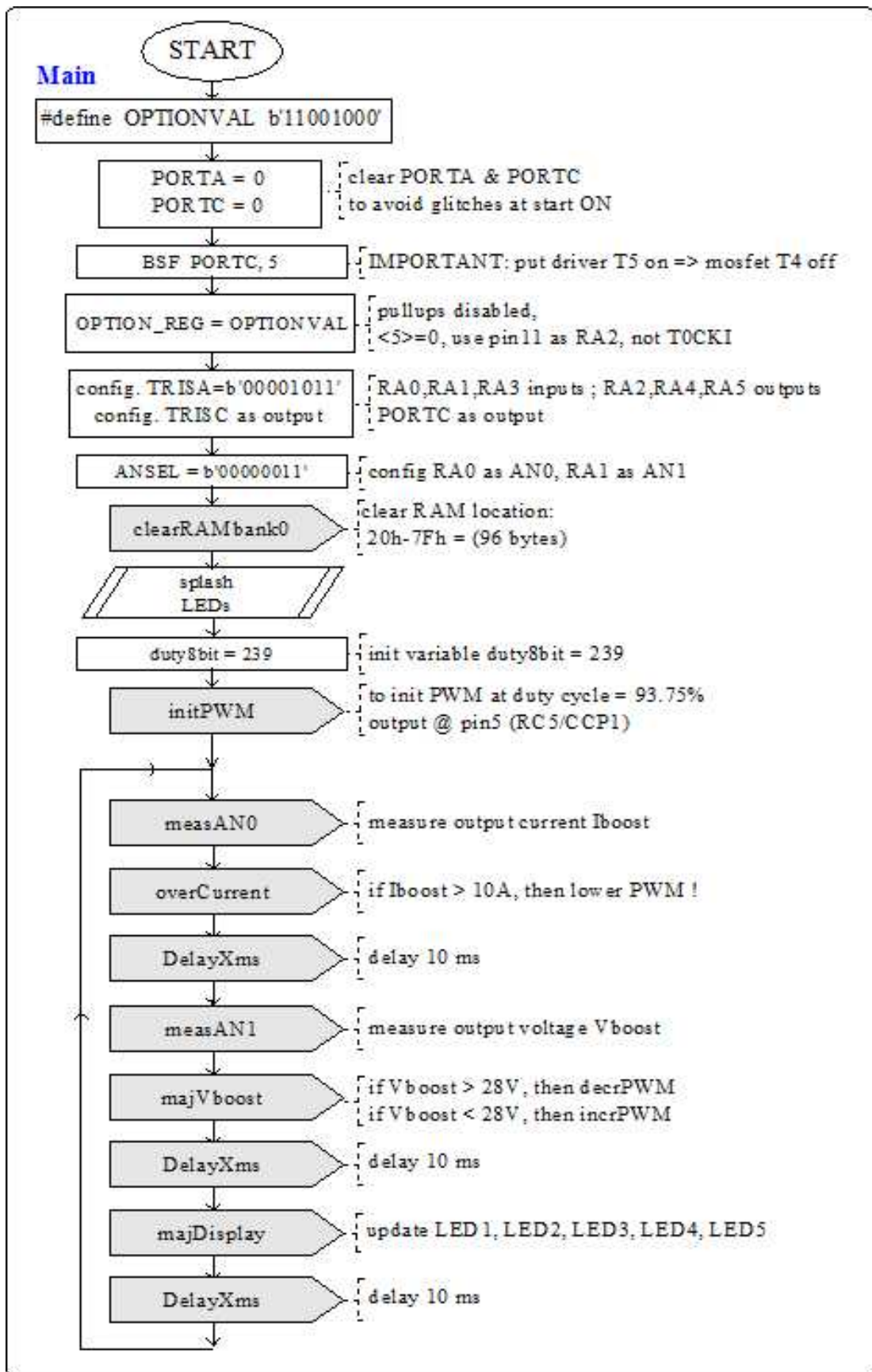


Figure IV.13. Organigramme du programme principal.

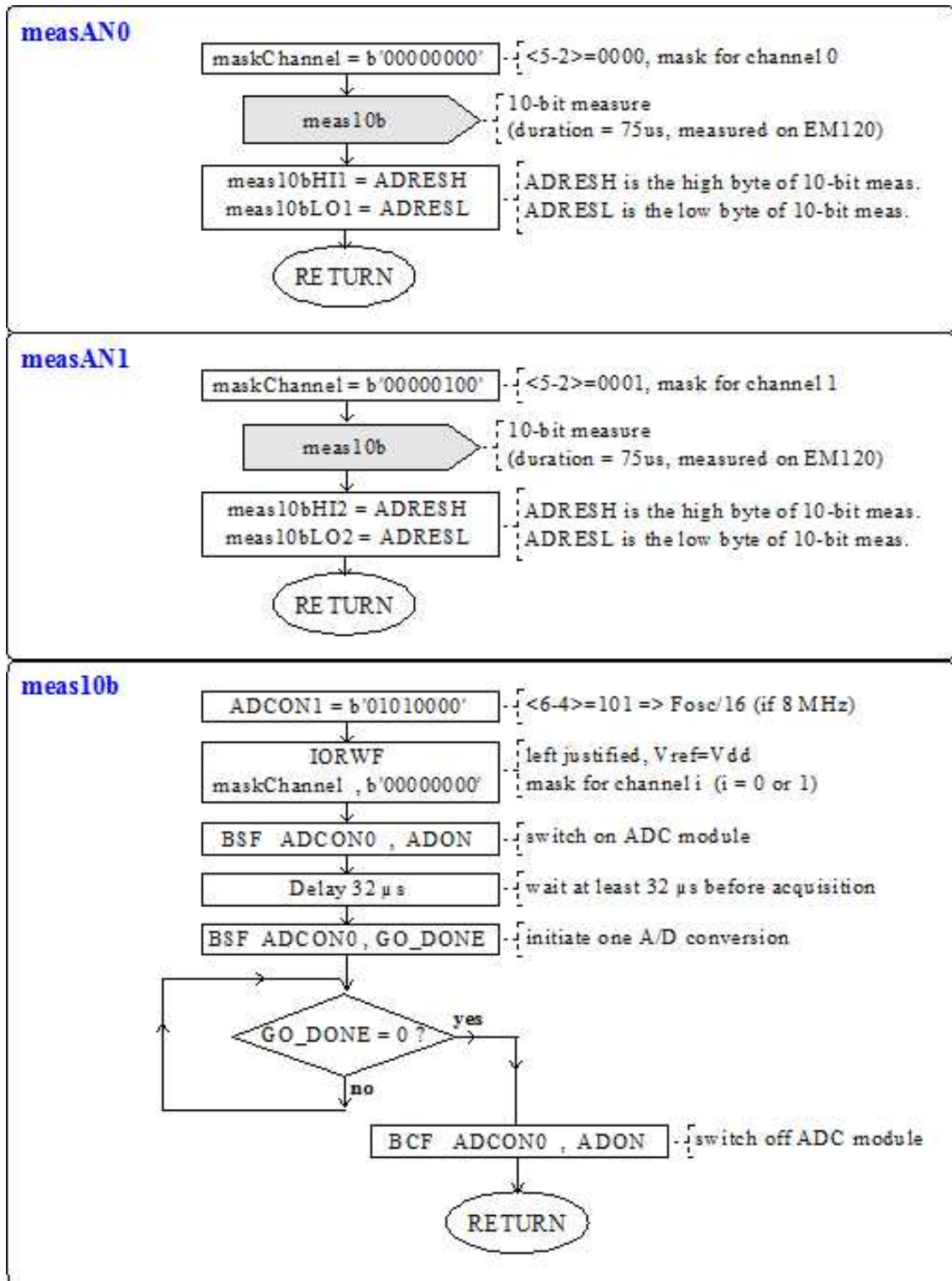


Figure IV-14. Organigramme pour les mesures Uboost et Iboost.

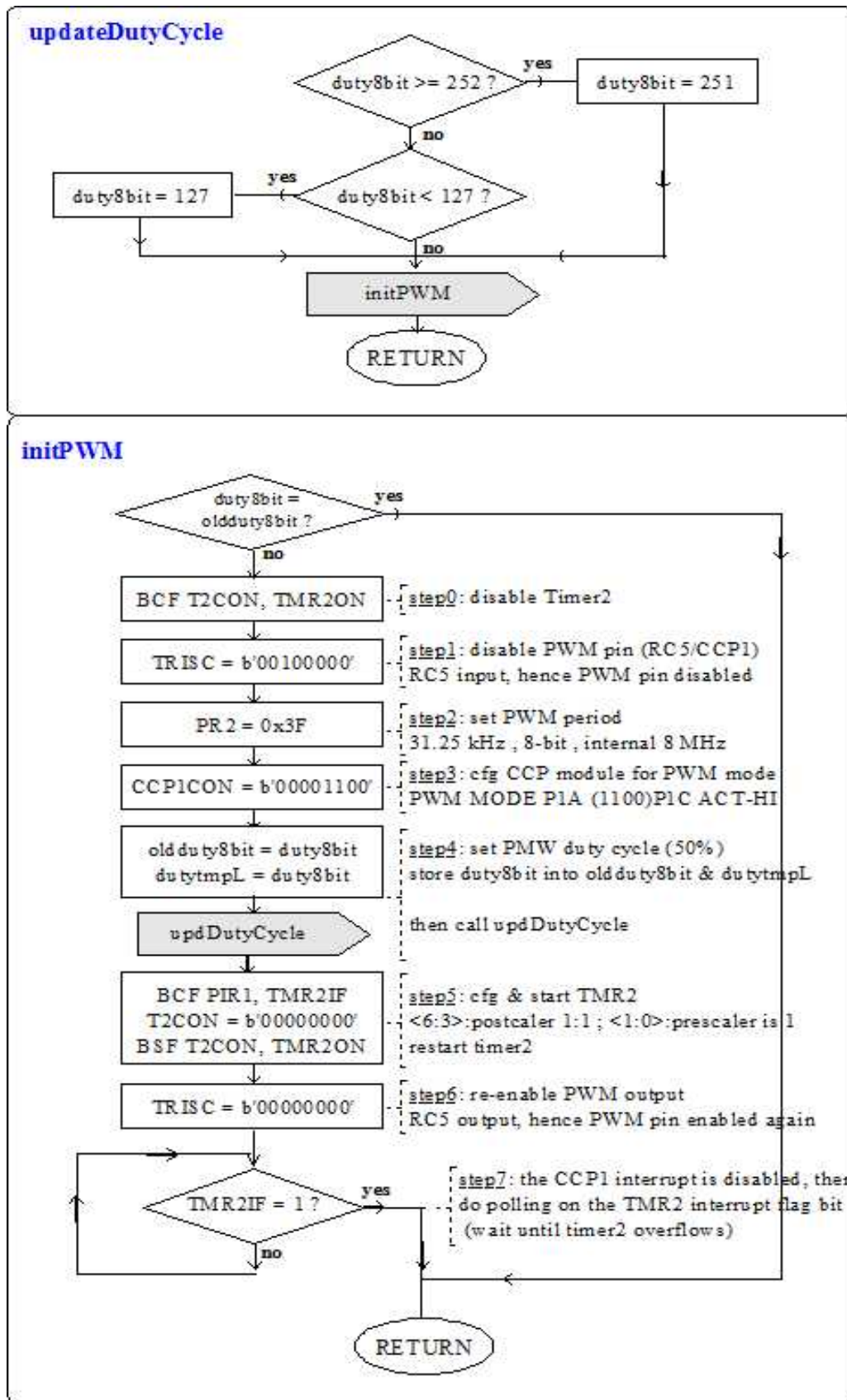


Figure IV-15. Organigramme de gestion du module PWM.

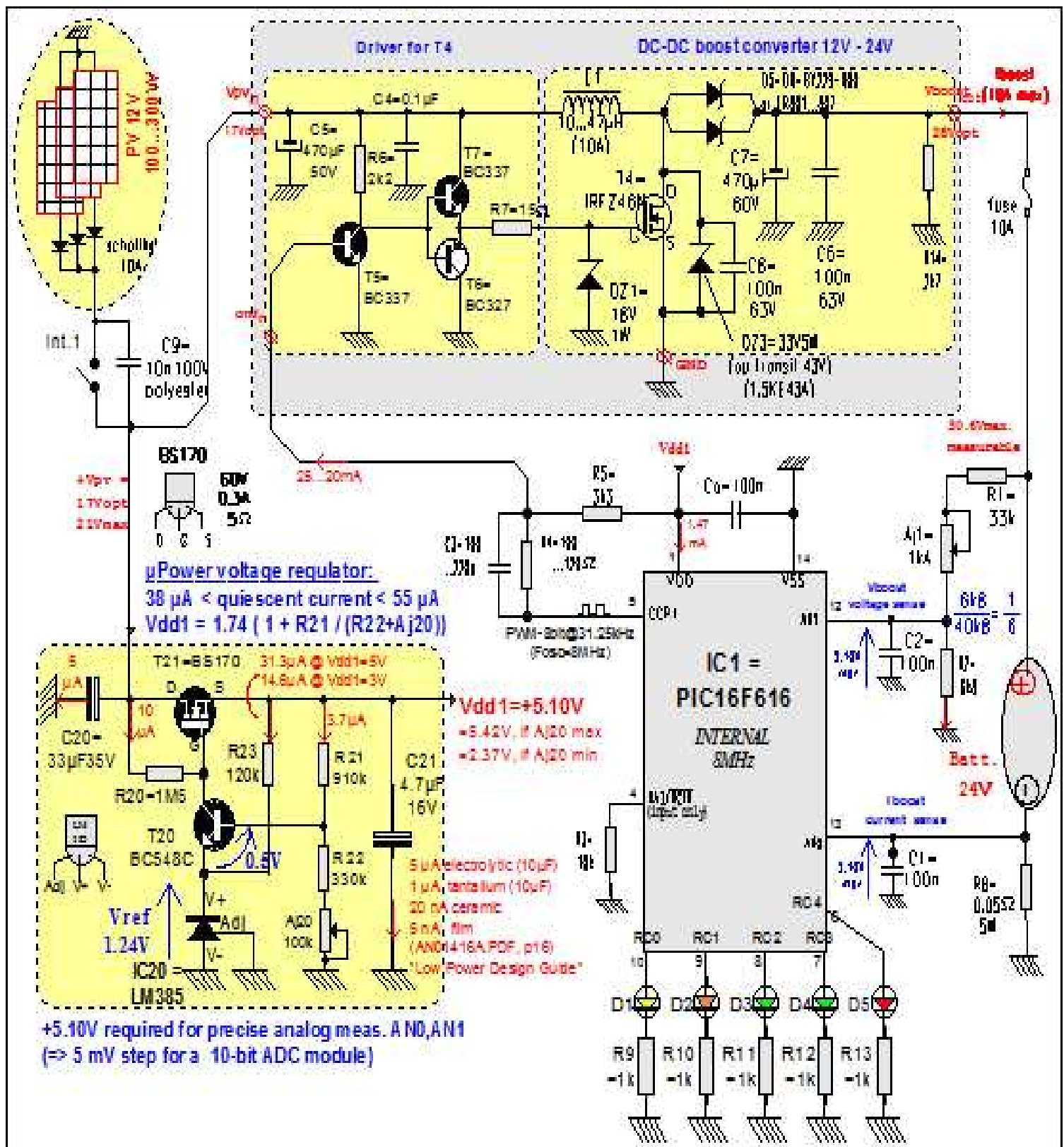


Figure IV.16. Schéma détaillé et complet du dispositif réalisé.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre on a présenté le schéma global du montage réalisé, ces différents modules de puissance et de commande ainsi que leurs principes de fonctionnement.

CONCLUSION GENERALE

Le développement de la commande des systèmes par circuit programmables a occupé le domaine de la technologie moderne, ce qui nous a poussé à choisir les microcontrôleurs PIC qui sont plus fiables, moins encombrants et peuvent être flashés facilement afin d'assurer plusieurs tâches dans le système.

L'objectif de ce modeste travail est une contribution pour développer l'utilisation de l'énergie photovoltaïque, notamment dans les sites isolés et le domaine de l'éclairage public qui nécessite l'utilisation des accumulateurs.

Le but envisagé est de concevoir un régulateur solaire dont le but est de réguler l'état de charge d'une batterie au plomb acide 24 V.

On a commencé par une vue globale sur le potentiel solaire en Algérie en lisant les dernières publications des revues des centres de recherches du photovoltaïque afin de mettre à jour nos connaissances; on a par la suite, fait des recherches bibliographiques sur des notions de base concernant l'effet photovoltaïque, principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques, modélisation, domaines d'utilisation et conception d'une installation photovoltaïque. Dans cette étape nous nous sommes intéressés à l'influence des différents paramètres (éclairage, température) sur la caractéristique « courant-tension » du module photovoltaïque et leurs influences sur la conception d'une meilleure installation autonome qui répondra mieux à nos besoins en électricité.

Nous avons abordé par la suite, la partie commande, où nous avons déterminé les éléments constitutifs du convertisseur DC-DC afin d'adapter le courant fourni par le panneau photovoltaïque à la batterie. Le régulateur de tension nous a ainsi permis de donner une meilleure alimentation à notre microcontrôleur.

Enfin, nous avons développé l'ensemble du dispositif expérimental, où nous avons décrit en détail chacune des pièces qui composent notre régulateur solaire.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le régulateur envisagé est bien adapté pour le contrôle de l'état de charge de notre batterie, et la protéger contre toute charge et décharge excessive, en assurant une meilleure autonomie au système photovoltaïque et une longue vie à notre batterie en diminuant ainsi le coût globale du système.

On note que pendant l'élaboration de notre travail, nous avons rencontré plusieurs difficultés surtout dans la partie réalisation à cause de la non-disponibilité de quelques composants qui influencent largement le bon fonctionnement du système.

Cependant, on peut dire que notre travail nous a permis d'améliorer nos capacités pratiques et d'enrichir nos connaissances dans le domaine du photovoltaïque.

En conclusion, malgré l'insuffisance des moyens (composants et équipements), nous sommes satisfaits des résultats obtenus puisqu'ils répondent adéquatement aux objectifs fixés au départ. Nous sommes tout de même conscient que, comme dans tout projet, il y'aurait place à l'amélioration.

PERSPECTIVES

Après avoir analysé et développé notre étude pratique et expérimentale de notre projet qui consistait en la réalisation d'un contrôleur de charge pour batterie 24 V, nous souhaiterions que ce thème fera l'objet d'une recherche ultérieure plus approfondie dans ce sens (si on accepte un coût global supérieur) :

- 1- Remplacer le microcontrôleur PIC16F616 (gamme 8-bit), par un autre dans la gamme 16-bit, en particulier, un dsPIC, qui a la particularité de traiter une acquisition analogique double voies, simultanément, et à très haute rapidité (moins d'une microseconde). Par ailleurs, un dsPIC offre un module PWM pouvant travailler à des fréquences nettement supérieures, ce qui a pour conséquence la possibilité de réduire la valeur et la dimension de la bobine L1, ce qui permet de réduire davantage la dimension du circuit imprimé.

- 2- Remplacer le driver en composants discrets (T5, T6, T7) pour la commande du MOSFET T4, par un circuit intégré dédié pour cette fonction, par exemple le TLP250. Ce circuit permet de réduire les temps de transition à la commutation du MOSFET T4, ce qui a pour effet d'augmenter le rendement de l'étage de puissance, et de diminuer les pertes par effet joule.

- 3- Remplacer toute l'alimentation stabilisée faites en composants discrets, et qui est du type régulateur série (limité à un rendement max. de l'ordre de 60%), par une autre de type à découpage, basée sur un circuit intégré spécialisé, par exemple le MCP16311. Le rendement dépassera les 90% en respectant le schéma type du constructeur.

- 4- Rajouter deux capteurs de température, un au niveau des panneaux solaires, et l'autre au niveau des batteries. En effet, un panneau solaire produit plus d'énergie en hiver, qu'en été. La caractéristique Puissance = f (températures) montre clairement que la puissance maximale diminue, lorsque la température d'un panneau solaire augmente. La mesure de cette température est donc nécessaire pour optimiser l'algorithme de transfert maximum de puissance. La remarque est similaire pour une batterie, où les limites V_{batMAX} et V_{batMIN} sont différentes, d'une température à l'autre (ces limites diminuent lorsque la température augmente, dans une proportion de l'ordre de $-25mV/°C$).

REFERENCES

- [1] www.connaissanecedesenergies.org/Fiche-pedagogique/solaire-photovoltaïque.
- [2] ANNE LABOURET, MICHEL VILLOZ « Energie solaire photovoltaïque 3^{ème} édition »
- [3] BENGHANIMA WALID « Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque » PFE Electronique 2012.
- [4] **site web** www.photovoltaïque.info.fevrier 2016
- [5] « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations » 2^{ème} édition 2010
- [6] CLARENCE SEMASSOU « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés du besoin du bien » Thèse du doctorat, université Bordeau 1 Décembre 2011.
- [7] **Jean-Francois Reynaud.** « Recherches d'optimums d'énergie pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques » Micro et nanotechnologies/Micro électronique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2011.
- [8] www.enerstone.fr/fr/batteries.
- [9] DEKKICH ABDELLAH « Modèle de batterie générique et estimation de l'état de charge » mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la production automatisée MONTREAL le 02/05/2014
- [10] P.Derk «Electrochemical Energy Storage for Renewable Sourceand Grid Blancing», ouvrage ISBN:978-0-444-62616-5,2014.
- [11] M. Nkouimi, «Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques»,Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, École National Supérieur Polytechnique de Yaoundé, 2010.
- [12] AMARA KARIMA “Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension » mémoire de magister spécialité électronique université de TIZI-OUZOU 2015.

- [13] **site web** www.batterie-solaire.com/2015
- [14] **site web** www.cleantechsguide.com/2011
- [15] **site web** www.arebor-energie.fr
- [16] **site web** www.cleantechsguide.com/comment-choisir-un-regulateur-de-charge/
- [17] Mark Hankins “Installation solaire photovoltaïque autonome” Conception et installation d’unités non raccordées au réseau DUNOD 2012.
- [18] Yves Brière PROJET D.INITIATIVE PERSONNELLE LE MICROTRANSAT Partie électronique et énergétique 2006.
- [19] **site web** : www.lepanneausolaire.net. mars 2016
- [20] **site web** www.fribotte.free.fr/bdtech/piclinuxette/piclinuxette.html.2016
- [21] V.Tourtchine. Microcontrôleur de la famille PIC. Support de cours & Prise en main du logiciel MPLABBOUMERDES - 2009.
- [22] Alexandre GALODÉ Le PIC 16F84 :l’essentiel ,2004.
- [23] PIC16F616 datasheet, DS41288A: 14-pin flash-based, 8-bit CMOS microcontroller, Microchip Technology Inc., **2006**.
- [24] LM78XX/LM78XXA Rev 1.0, FairChild Semiconductor Inc, **1996**
www.fairchildsemi.com.
- [25] LM185/ LM285/ LM385 Adjustable Micropower Voltage References, National Semiconductor, February **2005**.
- [26] Pierre Mayé, Les alimentations électroniques, édition DUNOD, Janvier **2001**.
- [27] Lucio Di Jasio, A technique to increase the frequency resolution of PICmicro MCU PWM modules, AN1050, Microchip Technology Inc., **2006**.
- [28] IRFZ46N datasheet, HEXFET power MOSFET, PD 91277, International Rectifier, 01/24/**2001**.
- [29] BY229-600 datasheet, Fast Switching Plastic Rectifier, Document Number 88540, Vishay Semiconductors, 09-Mar-**2005**.
- [30] Diode transil bidirectionnelle 1,5KE43A (43V, 1500W crête), STMicroelectronics, **2003**.
- [31] MPLAB v8.92, integrated development environnement assembler software, MICROCHIP, **2013**.
- [32] PicPgm : a free and simple PIC development programmer software for Windows, Linux & MacOS X, <http://picpgm.picprojects.net/>.
- [33] JDM2 programmeur pour PIC micro, <http://www.jdm.homepage.dk/newpics.htm>.

[34] L.Stoyanov,G.Notton et V.Lazarov «Optimisation des systèmes multi sources de production d'électricité à énergie renouvelables » Revue des énergies renouvelables Avril 2007, V10 N°1 .

[35] A.Zaatri and T. Kerbach «Design of PWM DC-DC converter dedicated to a photovoltaic system » Seventh World Renewable Energy Congress (WREC VII).22 June -5 July 2002 Cologne- Germany.

ANNEXE



PIC16F610/616/16HV610/616

14-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$, typical
 - User selectable frequency: 4 MHz or 8 MHz
- Power-Saving Sleep mode
- Voltage Range:
 - PIC16F610/616: 2.0V to 5.5V
 - PIC16HV610/616: 2.0V to user defined maximum (see note)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR)
- Watchdog Timer (WDT) with Independent Oscillator for Reliable Operation
- Multiplexed Master Clear with Pull-up/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash:
 - 100,000 write Flash endurance
 - Flash retention: > 40 years

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 20 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Note: Voltage across internal shunt regulator cannot exceed 5V.

Peripheral Features:

- Shunt Voltage Regulator (PIC16HV610/616 only):
 - 5 volt regulation
 - 4 mA to 50 mA shunt range
- 11 I/O Pins and 1 Input Only
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pins
 - Individually programmable weak pull-ups
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of V_{DD})
 - Fixed Voltage Reference
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch
 - Built-In Hysteresis (user selectable)
- Timer0: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Timer1 Gate (count enable)
 - Option to use OSC1 and OSC2 in LP mode as Timer1 oscillator if INTOSC mode selected
 - Timer1 oscillator
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins

PIC16F616/16HV616 only:

- A/D Converter:
 - 10-bit resolution
 - 8 external input channels
 - 2 internal reference channels
- Timer2: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz

PIC16F610/616/16HV610/616

PIC16F616/16HV616 14-Pin Diagram (PDIP, SOIC, TSSOP)

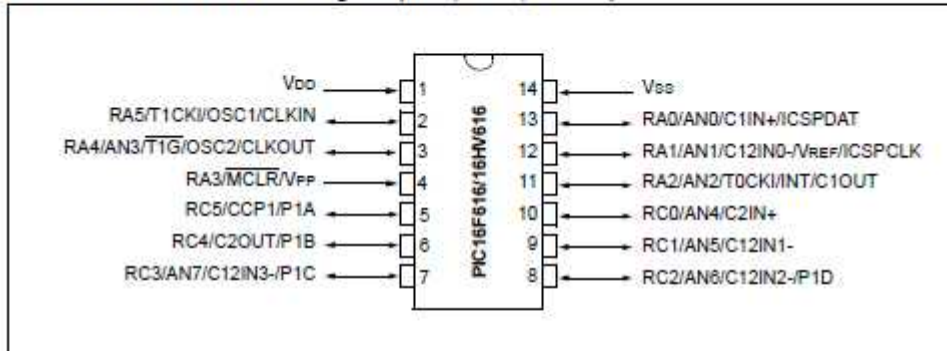


TABLE 2: PIC16F616/16HV616 14-PIN SUMMARY

IO	Pin	Analog	Comparators	Timer	CCP	Interrupts	Pull-ups	Basic
RA0	13	AN0	C1IN+	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RA1	12	AN1/VREF	C12IN0-	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RA2	11	AN2	C1OUT	T0CKI	—	INT/IOC	Y	—
RA3 ⁽¹⁾	4	—	—	—	—	IOC	Y ⁽²⁾	MCLR/VPP
RA4	3	AN3	—	T1G	—	IOC	Y	OSC2/CLKOUT
RA5	2	—	—	T1CKI	—	IOC	Y	OSC1/CLKIN
RC0	10	AN4	C2IN+	—	—	—	—	—
RC1	9	AN5	C12IN1-	—	—	—	—	—
RC2	8	AN6	C12IN2-	—	P1D	—	—	—
RC3	7	AN7	C12IN3-	—	P1C	—	—	—
RC4	6	—	C2OUT	—	P1B	—	—	—
RC5	5	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—
—	1	—	—	—	—	—	—	VDD
—	14	—	—	—	—	—	—	VSS

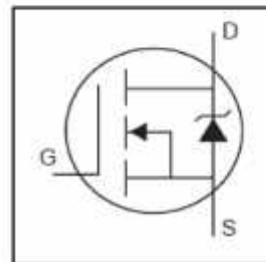
Note 1: Input only.

Note 2: Only when pin is configured for external MCLR.

IRFZ46N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 16.5m\Omega$
$I_D = 53A^{\oplus}$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

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



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^{\circ}C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	53 \ominus	A
$I_D @ T_C = 100^{\circ}C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	37	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{1}}$	180	
$P_D @ T_C = 25^{\circ}C$	Power Dissipation	107	W
	Linear Derating Factor	0.71	W/ $^{\circ}C$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{1}}$	28	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{1}}$	11	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{2}}$	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	$^{\circ}C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.4	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

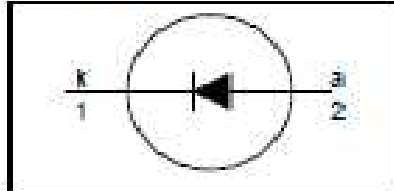
**Rectifier diodes
fast, soft-recovery**

BY229 series

FEATURES

- Low forward volt drop
- Fast switching
- Soft recovery characteristic
- High thermal cycling performance
- Low thermal resistance

SYMBOL



QUICK REFERENCE DATA

V_{RM} = 200 V/ 400 V/ 600 V/ 800 V
I_{AVM} = 8 A
$I_{SM} \leq 60$ A
$t_r \leq 135$ ns

GENERAL DESCRIPTION

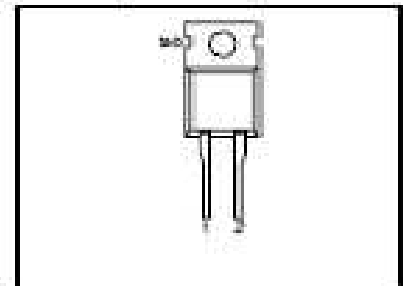
Glass-passivated double diffused rectifier diodes featuring low forward voltage drop, fast reverse recovery and soft recovery characteristic. The devices are intended for use in TV receivers, monitors and switched mode power supplies.

The BY229 series is supplied in the conventional leaded SOD69 (TO220AC) package.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
tab	cathode

SOD69 (TO220AC)



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.				UNIT
				BY229	-200 200	-400 400	-600 600	
V_{RRM}	Peak non-repetitive reverse voltage		-	-200 200	-400 400	-600 600	-800 800	V
V_{RRM}	Peak repetitive reverse voltage		-	200	400	600	800	V
V_{RWM}	Crest working reverse voltage		-	150	300	500	600	V
V_R	Continuous reverse voltage		-	150	300	500	600	V
I_{AVM}	Average forward current ¹	square wave; $\delta = 0.5$; $T_{case} \leq 122$ °C	-	6				A
		sinusoidal; $a = 1.57$; $T_{case} \leq 125$ °C	-	7				A
I_{FRM}	RMS forward current		-	11				A
I_{SM}	Repetitive peak forward current	$t = 25$ μ s; $\delta = 0.5$; $T_{case} \leq 122$ °C	-	16				A
I_{SM}	Non-repetitive peak forward current	$t = 10$ ms	-	60				A
		$t = 8.3$ ms sinusoidal; $T_c = 150$ °C prior to surge; with reapplied $V_{RRM(max)}$	-	66				A
I^2t	I^2t for fusing	$t = 10$ ms	-	18				A ² s
T_{stg}	Storage temperature		-40	150				°C
T_j	Operating junction temperature		-	150				°C

¹ Neglecting switching and reverse current losses.

NPN general purpose transistor**BC337****FEATURES**

- High current (max. 500 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification, e.g. driver and output stages of audio amplifiers.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92, SOT154 plastic package.
PNP complement: BC327.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

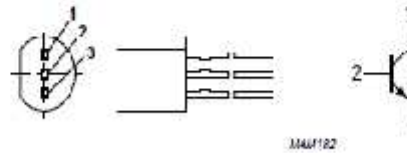


Fig. 1 Simplified outline (TO-92, SOT154) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	-	50	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	-	45	V
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	-	5	V
I_C	collector current (DC)		-	500	mA
I_{CM}	peak collector current		-	1	A
I_{BM}	peak base current		-	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1	-	625	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		-	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

NPN general purpose transistor

BC337

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.2	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}; T_j = 150^\circ\text{C}$	–	–	5	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	100	–	600	
			100	–	250	
			160	–	400	
			250	–	600	
	AC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	40	–	–	
$V_{CE(sat)}$	collector emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$			700	mV
V_{BE}	base emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ note 1			1.2	V
C_{ic}	collector capacitance	$I_E = I_C = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	5	–	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz

Note

1. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

BS170 / MMBF170 N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 500mA DC. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

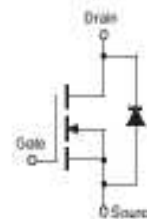
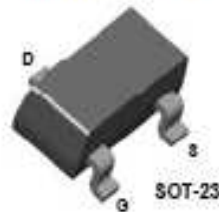
Features

- High density cell design for low $R_{DS(ON)}$.
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.

BS170



MMBF170



Absolute Maximum Ratings $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
V_{DS}	Drain-Source Voltage	60		V
V_{DGR}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1\text{M}\Omega$)	60		V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	- 55 to 150		$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		$^\circ\text{C}$

Thermal Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
P_D	Maximum Power Dissipation	830	300	mW
	Derate above 25°C	6.6	2.4	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	150	417	$^\circ\text{C}/\text{W}$

**BC548
BC548A
BC548B
BC548C**



NPN General Purpose Amplifier

This device is designed for use as general purpose amplifiers and switches requiring collector currents to 300 mA. Sourced from Process 10. See PN100A for characteristics.

Absolute Maximum Ratings* TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage	30	V
V _{CBO}	Collector-Base Voltage	30	V
V _{EB0}	Emitter-Base Voltage	5.0	V
I _C	Collector Current - Continuous	500	mA
T _J , T _{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

* These ratings are limiting values above which the reliability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or transient cycle operations.

Thermal Characteristics TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max	Units
		BC548 / A / B / C	
P _D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	525 5.0	mW mW/°C
R _{θJC}	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3	°C/W
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	°C/W

NPN General Purpose Amplifier

(continued)

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
--------	-----------	-----------------	-----	-----	-------

OFF CHARACTERISTICS

$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0$	30		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$	30		V
$V_{(BR)ESD}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$	30		V
$V_{(BR)EBD}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$	5.0		V
I_{CBO}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 30\text{ V}, I_E = 0, T_A = +150^\circ\text{C}$		15 5.0	nA μA

ON CHARACTERISTICS

β_{DC}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 2.0\text{ mA}$	548	110	800	
			548A	110	220	
			548B	200	450	
			548C	420	800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.25 0.60	V V	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 2.0\text{ mA}$ $V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$	0.58	0.70 0.77	V V	

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

β_M	Small-Signal Current Gain	$I_C = 2.0\text{ mA}, V_{CE} = 5.0\text{ V},$ $f = 1.0\text{ kHz}$	125	600	
NF	Noise Figure	$V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A},$ $R_B = 2.0\text{ k}\Omega, f = 1.0\text{ kHz},$ $B_{NF} = 200\text{ Hz}$		10	dB

BC548 / BC548A / BC548B / BC548C

LM185/LM285/LM385 Adjustable Micropower Voltage References

Check for Samples: [LM185-ADJ](#), [LM285-ADJ](#), [LM385-ADJ](#)

FEATURES

- Adjustable from 1.24V to 5.30V
- Operating Current of 10 μ A to 20mA
- 1% and 2% Initial Tolerance
- 1 Ω Dynamic Impedance
- Low Temperature Coefficient

DESCRIPTION

The LM185/LM285/LM385 are micropower 3-terminal adjustable band-gap voltage reference diodes. Operating from 1.24 to 5.3V and over a 10 μ A to 20mA current range, they feature exceptionally low dynamic impedance and good temperature stability. On-chip trimming is used to provide tight voltage tolerance. Since the LM185 band-gap reference uses only transistors and resistors, low noise and good long-term stability result.

Careful design of the LM185 has made the device tolerant of capacitive loading, making it easy to use in almost any reference application. The wide dynamic operating range allows its use with widely varying supplies with excellent regulation.

The extremely low power drain of the LM185 makes it useful for micropower circuitry. This voltage reference can be used to make portable meters, regulators or general purpose analog circuitry with battery life approaching shelf life. Further, the wide operating current allows it to replace older references with a tighter tolerance part.

The LM185 is rated for operation over a -55°C to 125°C temperature range, while the LM285 is rated -40°C to 85°C and the LM385 0°C to 70°C . The LM185 is available in a hermetic TO package and a LCCC package, while the LM285/LM385 are available in a low-cost TO-92 package, as well as SOIC.

Connection Diagram



Figure 1. TO-92 Package Bottom View

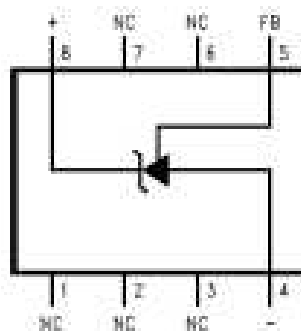


Figure 3. SOIC Package Top View



Figure 2. TO Package Bottom View

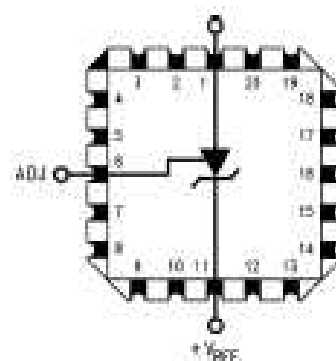


Figure 4. 20-LCCC Top View



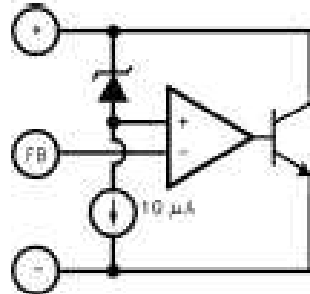
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in official applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Block Diagram



Typical Applications

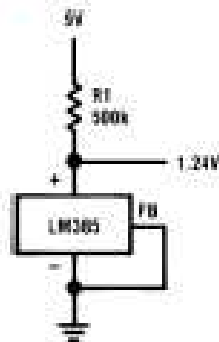
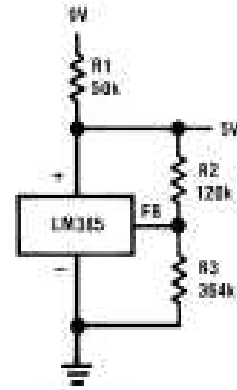


Figure 5. 1.2V Reference



$$V_{out} = 1.24 \left(\frac{R3}{R2} + 1 \right)$$

Figure 6. 5.0V Reference



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.