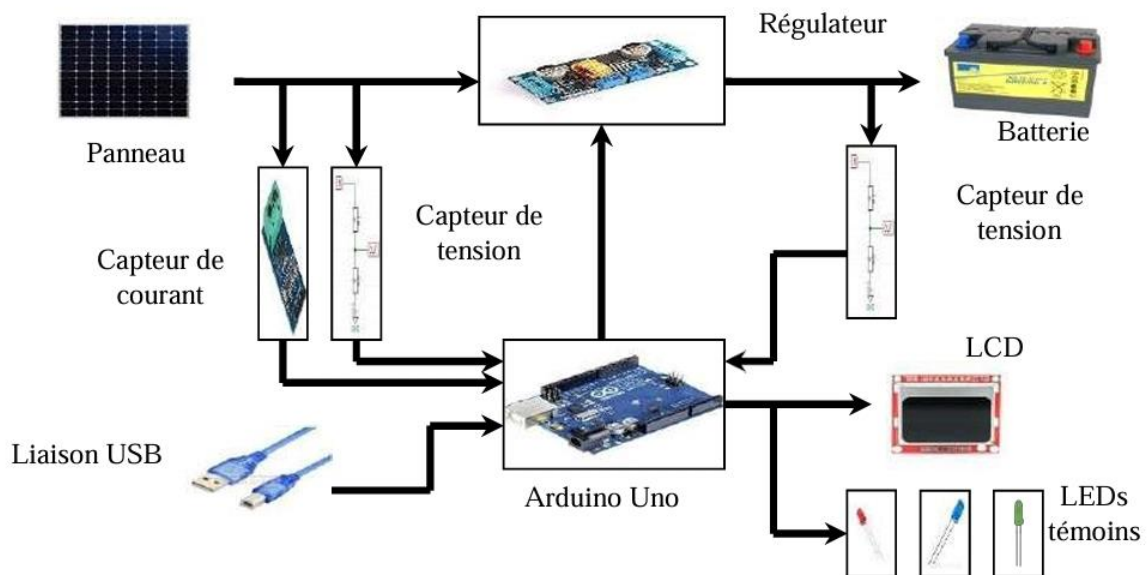


Ecole Polytechnique de l'Université de Tours
Département Electronique et Energie

Chargeur Solaire Intelligent avec MPPT



Etudiant Ingénieur : El Hadji Fallou FALL

Email : galassefall123@gmail.com

Table des matières

I. Introduction	3
II. Aperçu du Projet.....	3
III. Qu'est-ce qu'un contrôleur de charge solaire ?	4
IV. Types de contrôleurs de charge	4
V. Contrôleur MPPT : Avantages et fonctionnement.....	5
VI. Simulation du contrôleur MPPT	6
VII. Conception du contrôleur MPPT avec Arduino.....	8
1. Caractéristiques techniques.....	8
2. Schéma de fonctionnement	9
3. Assemblage du matériel	10
4. Algorithme/programme Arduino	10
VIII. Conclusion	11

Chargeur Solaire Intelligent avec MPPT

I. Introduction

Avec la croissance des besoins en énergie et la nécessité de recourir à des sources renouvelables, l'énergie solaire s'impose comme une solution durable, propre et accessible. Toutefois, pour exploiter efficacement cette source d'énergie, il est essentiel d'optimiser la conversion et le stockage de l'électricité produite par les panneaux solaires. C'est dans ce contexte qu'intervient le contrôleur de charge solaire, un élément clé de tout système photovoltaïque équipé de batteries.

Ce projet vise à concevoir et réaliser un contrôleur de charge solaire MPPT (Maximum Power Point Tracking) en utilisant une carte Arduino Uno et des composants électroniques standards. L'objectif principal est de maximiser le rendement de la charge de la batterie en adaptant dynamiquement les paramètres de fonctionnement du panneau solaire, afin d'exploiter en continu son point de puissance maximale.

Ce projet s'adresse aussi bien aux amateurs de systèmes embarqués qu'aux professionnels souhaitant expérimenter ou développer des solutions solaires intelligentes à faible coût. Il représente une excellente opportunité pour apprendre à interfacer des composants électroniques avec un microcontrôleur, tout en contribuant à une gestion énergétique plus efficace et durable.

II. Aperçu du Projet

Ce projet consiste à concevoir un contrôleur de charge solaire MPPT personnalisé en utilisant une carte Arduino et une combinaison de composants électroniques actifs et passifs. Le terme MPPT signifie "Maximum Power Point Tracking" ou suivi du point de puissance maximale. Les panneaux solaires délivrent généralement une tension supérieure à celle requise pour charger une batterie de 12 V. Par exemple, un panneau prévu pour 12 V peut produire entre 16 et 18 V selon les conditions, alors qu'une tension de 14,6 V suffit pour charger efficacement une batterie 12 V. Cette différence engendre des pertes énergétiques.

La technologie MPPT permet d'exploiter cette tension excédentaire en la convertissant en courant, optimisant ainsi le rendement du système.

Dans cette réalisation, Je vais explorer les principes de la charge solaire et de la technologie MPPT. À l'aide de l'Arduino et de divers composants, nous élaborerons le schéma électronique ainsi que le circuit imprimé du contrôleur de charge. Je développerai ensuite un programme en langage C pour l'Arduino Uno, qui affichera sur un écran LCD 20×4 les principaux paramètres de charge : tension et courant du panneau solaire, puissance, état de la batterie, statut du chargeur, état de charge, rapport cyclique PWM, etc.

Enfin, le système sera testé tout avec une alimentation DC 15V pour en évaluer le bon fonctionnement. Le modèle est conçu pour être utilisé avec un panneau solaire de 50 W, destiné à charger une batterie au plomb de 12 V. L'article présente un contenu riche, détaillant les étapes de conception et offrant des explications approfondies sur chaque composant et fonction du dispositif.

III. Qu'est-ce qu'un contrôleur de charge solaire ?

Le contrôleur de charge solaire est un dispositif électronique essentiel dans un système photovoltaïque. Il sert à réguler le courant provenant du panneau solaire avant qu'il n'atteigne la batterie ou un ensemble de batteries.

Sa fonction principale est de protéger la batterie contre la surcharge et la décharge excessive, deux phénomènes susceptibles d'endommager la batterie et de raccourcir considérablement sa durée de vie. Il joue également un rôle important en empêchant la décharge inversée de la batterie vers le panneau solaire pendant la nuit.

En somme, ce composant assure la stabilité et l'efficacité du système de stockage d'énergie solaire. Pour évaluer la puissance solaire disponible, on peut utiliser un capteur pyranométrique, qui mesure le rayonnement solaire incident.

IV. Types de contrôleurs de charge

Dans un système solaire équipé de batteries, le contrôleur de charge est indispensable. Il régule l'énergie délivrée par les panneaux solaires afin d'assurer une charge adaptée des batteries et d'en prolonger la durée de vie.

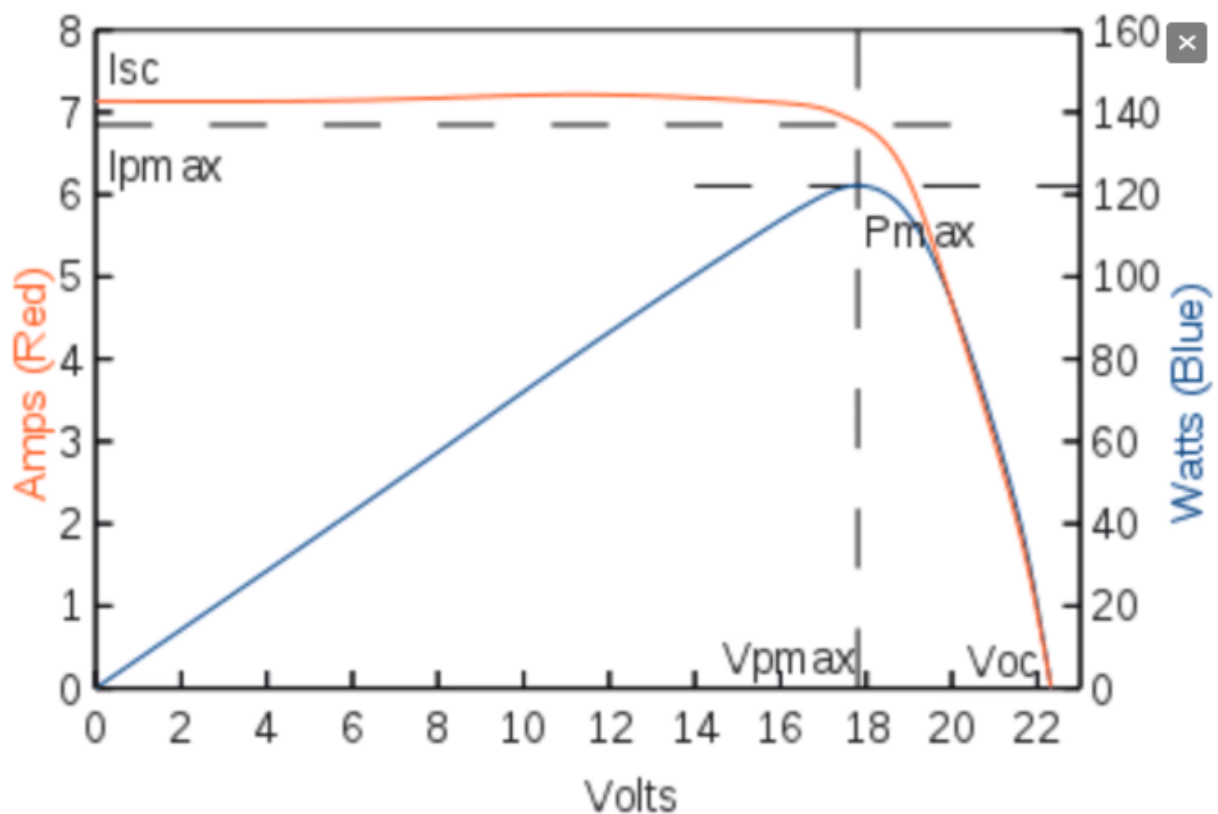
Il existe trois grandes catégories de contrôleurs :

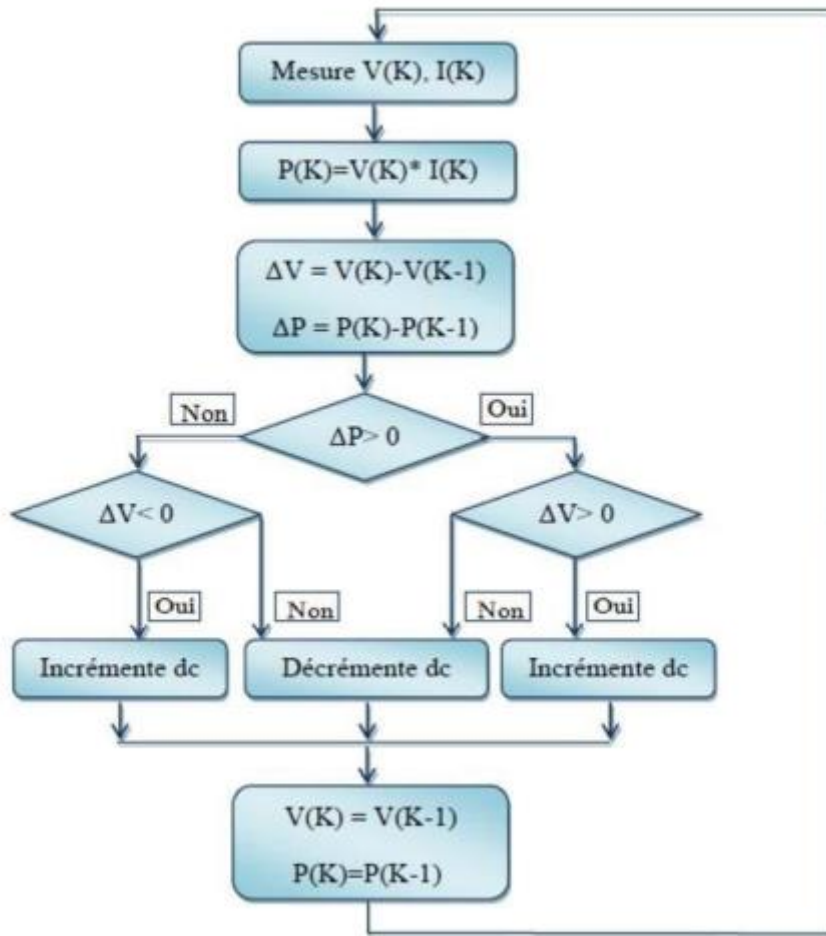
- Contrôleur marche/arrêt (ON/OFF) : modèle simple qui connecte ou coupe l'alimentation en fonction de la tension détectée dans la batterie.
- Contrôleur PWM (modulation de largeur d'impulsion) : améliore la charge en ajustant progressivement la tension. Une fois la batterie chargée, il passe en mode flottant pour maintenir un courant minimal.

- Contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking) : optimise le rendement en ajustant continuellement la tension et le courant pour extraire la puissance maximale disponible.

V. Contrôleur MPPT : Avantages et fonctionnement

Le contrôleur MPPT est le plus performant des trois. Il transforme l'excédent de tension produit par les panneaux solaires en courant supplémentaire, améliorant considérablement l'efficacité de charge. Il est particulièrement adapté aux installations à haute tension d'entrée ou avec de longues distances de câblage, grâce à la possibilité d'utiliser des câbles plus fins sans pertes significatives.





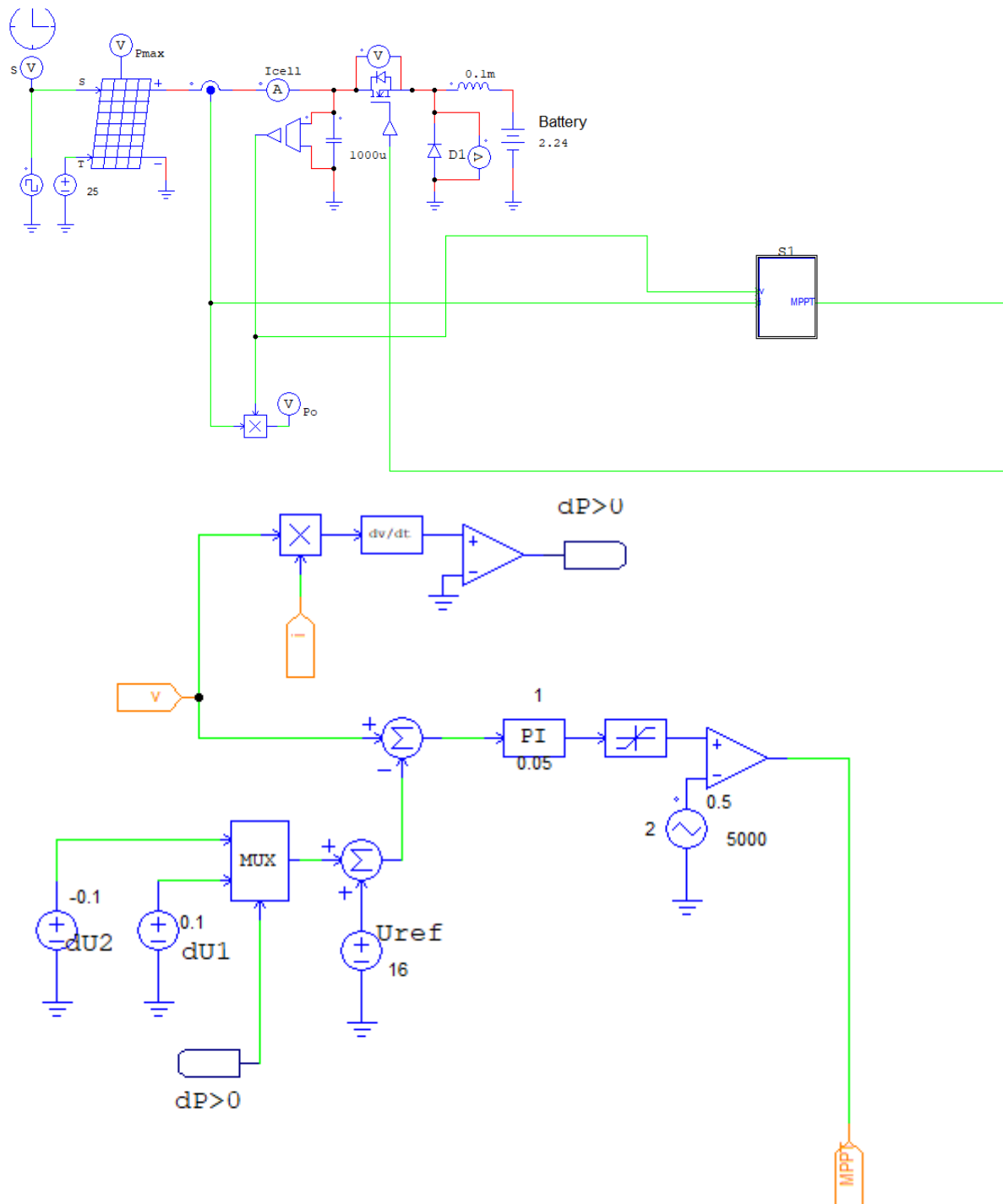
Algorithme MPPT

Le rendement des contrôleurs MPPT varie entre 94 % et 99 %, ce qui représente jusqu'à 30 % de gain par rapport aux PWM. Ils sont idéaux pour les climats froids ou nuageux, bien que leur efficacité baisse légèrement en cas de faible luminosité. En contrepartie, ils sont plus coûteux et encombrants.

VI. Simulation du contrôleur MPPT

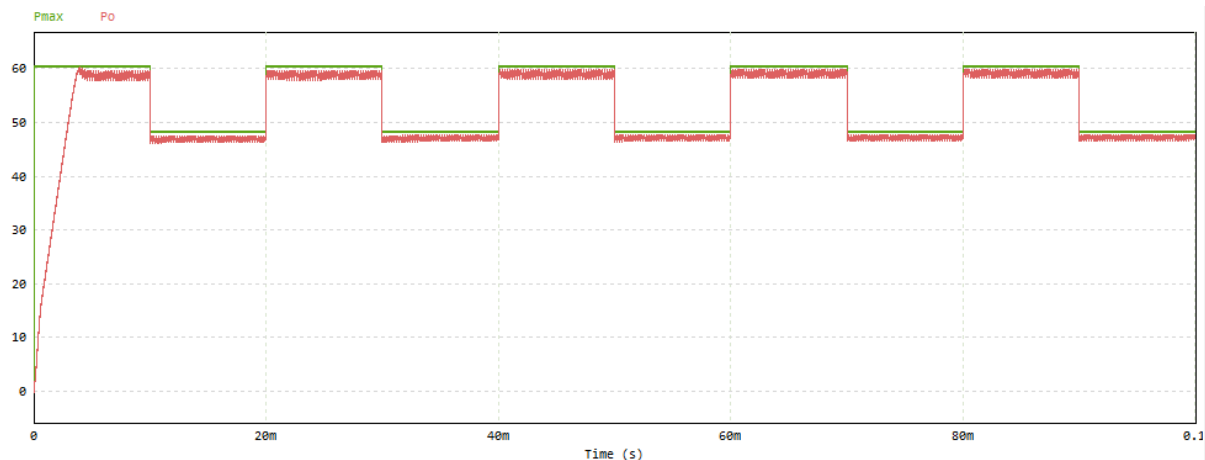
Pour simuler un contrôleur MPPT dans PSIM, on commence par modéliser le système photovoltaïque complet. Le panneau solaire est représenté par son modèle électrique équivalent, avec des paramètres ajustables (tension en circuit ouvert, courant de court-circuit, puissance maximale). Un convertisseur DC-DC (généralement un hacheur Buck pour les applications 12V) est utilisé pour adapter la tension du panneau à celle de la batterie. Des capteurs mesurent la tension et le courant en entrée du convertisseur, permettant à l'algorithme MPPT (comme

Perturb & Observe ou Conductance Incrémentale) de calculer le rapport cyclique optimal pour extraire la puissance maximale.



La simulation permet de valider le comportement dynamique du système sous différentes conditions d'ensoleillement et de charge. En variant l'irradiance ou la température, on observe comment le contrôleur ajuste le PWM pour suivre le point de puissance maximale. Les courbes de puissance, tension et courant doivent confirmer l'efficacité de l'algorithme. On vérifie également la stabilité de la

tension batterie, qui doit rester entre 12V et 14,1V pour éviter les surcharges ou décharges profondes.



Enfin, PSIM offre des outils avancés pour analyser les pertes dans les composants (MOSFET, diode, inductance) et optimiser le rendement global. Une simulation réussie garantit que le contrôleur fonctionnera correctement lors de l'implémentation matérielle, réduisant les risques de dysfonctionnements. Cette étape est cruciale pour concevoir un système solaire fiable et performant.

VII. Conception du contrôleur MPPT avec Arduino

Ce projet utilise un Arduino Uno pour piloter un système basé sur l'algorithme MPPT. L'ensemble comprend un écran LCD 20×4, des indicateurs LED, ainsi que diverses protections électriques.

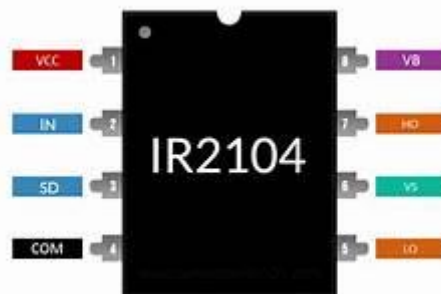
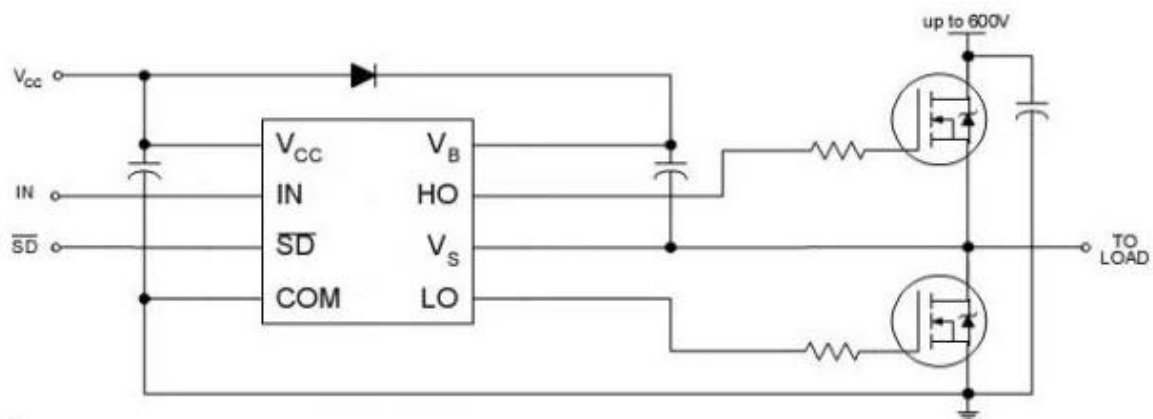
1. Caractéristiques techniques

- Tension nominale : 12 V
- Courant maximal : 5 A (standard), 10 A (en pointe)
- Tension d'entrée : 12 à 25 V (en circuit ouvert)
- Puissance du panneau : 50 W
- Indicateurs : LED d'état de charge, écran LCD
- Fréquence de commutation : 50 kHz
- Composants principaux : MOSFET IRFZ44N, driver IR2104, capteur de courant ACS712

2. Schéma de fonctionnement

Le circuit est basé sur un convertisseur abaisseur comprenant des MOSFET synchrones, une inductance et des condensateurs. L'IR2104 pilote les MOSFET via un signal PWM de l'Arduino. Deux diviseurs de tension permettent la lecture des tensions panneau et batterie via les entrées analogiques A0 et A2.

Un MOSFET supplémentaire empêche la décharge nocturne de la batterie vers les panneaux. Des diodes TVS assurent la protection contre les surtensions, et le capteur ACS712 mesure le courant. L'état de charge est indiqué par trois LED, tandis qu'un bouton gère l'allumage temporaire de l'écran LCD.



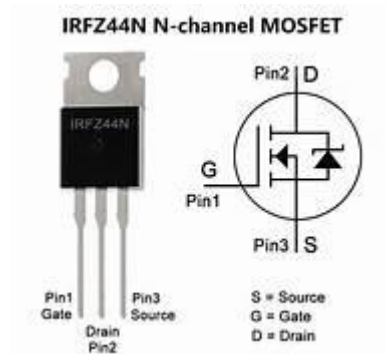
Driver MOSFET IR2104



capteur tension



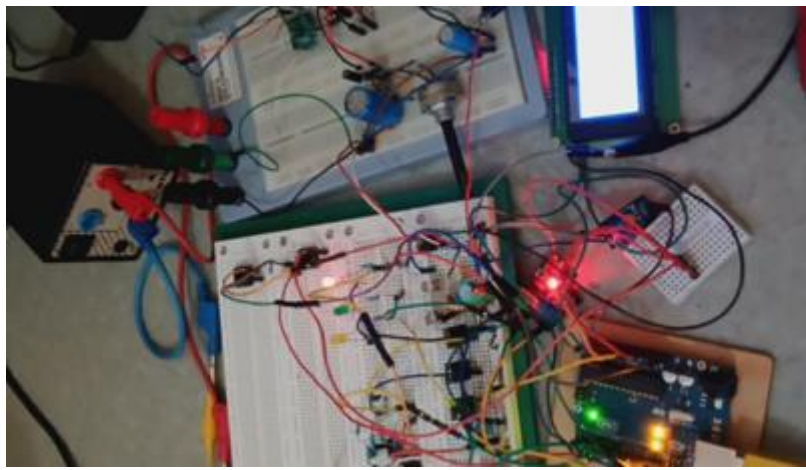
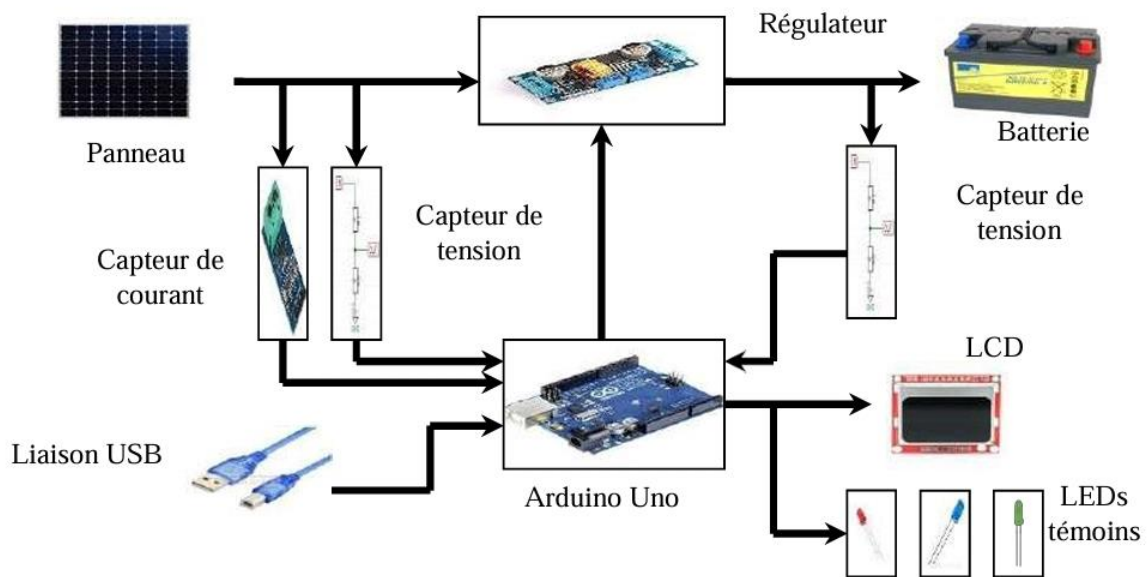
capteur courant ACS712



3. Assemblage du matériel

Avant tout soudage, il est essentiel de vérifier les signaux d'alimentation et de commande pour éviter d'endommager les composants. L'assemblage a été réalisé sur une carte Vero.

Le système est alimenté par un panneau solaire de 24 V et une batterie plomb-acide de 12 V (7 Ah). Il peut alimenter des appareils à courant continu ou un onduleur. L'Arduino Nano et les autres composants sont alimentés par un adaptateur DC de 5 à 9 V.



4. Algorithme/programme Arduino

Nous pouvons utiliser l'IDE Arduino pour écrire le code du projet de contrôleur de charge solaire MPPT. Ce code contient tous les paramètres et fonctions permettant de mesurer la tension, le courant, la puissance et la tension de la batterie du panneau solaire, l'état du chargeur, l'état de charge, le cycle de service PWM et l'état de charge. L'écran LCD 20×4 affiche l'état de ces paramètres en temps réel.

Le code nécessite [la bibliothèque LCD I2C](#) ainsi que [la bibliothèque TimerOne](#) pour la compilation.

VIII. Conclusion

Ce projet a permis de concevoir un système de gestion de charge solaire performant, intelligent et accessible, basé sur la technologie MPPT (Maximum Power Point Tracking). Grâce à l'intégration d'un Arduino Nano, de composants électroniques simples mais efficaces, et d'un algorithme de suivi du point de puissance maximale, nous avons pu créer un contrôleur capable d'optimiser le rendement énergétique d'un panneau solaire pour la charge d'une batterie au plomb 12 V.

Comparé aux solutions plus simples comme les contrôleurs ON/OFF ou PWM, le MPPT présente des avantages significatifs en termes d'efficacité énergétique, de rapidité de charge et de compatibilité avec des configurations photovoltaïques de tension plus élevée. Il exploite au mieux l'énergie disponible, en particulier dans des conditions d'éclairement variables, ce qui le rend indispensable pour les installations solaires modernes, notamment celles en site isolé ou soumises à des contraintes climatiques.

L'utilisation d'un écran LCD pour l'affichage en temps réel des paramètres (tension, courant, puissance, état de charge) ainsi que la présence de protections intégrées (surtensions, courts-circuits, inversion de polarité) assurent à la fois la sécurité, la fiabilité et la simplicité d'utilisation de l'appareil.

Ce projet démontre qu'il est possible de réaliser un système MPPT performant à faible coût avec des moyens accessibles, tout en apprenant des notions fondamentales d'électronique de puissance, de programmation embarquée et de gestion d'énergie renouvelable. Il constitue une excellente base pour des améliorations futures, telles que la télémetrie sans fil, la régulation adaptative, ou encore l'intégration dans un système domotique ou hybride (solaire + réseau).

En somme, cette réalisation est une contribution concrète au développement de solutions écoresponsables et autonomes, à la portée des passionnés de technologie comme des professionnels de l'énergie.