الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Energie renouvelable

Option : énergie renouvelable en Electrotechnique.

THEME

Etude et réalisation d'un power Bank solaire

Proposé et dirigé par,
Dr Farouk Batache

Préparé et présenté par,
Mr Mohamed Dahmani

شكر و عرفان

وصلت رحلتي الجامعية الى نهايتها هذه السنة
فأود ان اتقدم الى جميع اساتذتي بكل الشكر و العرفان واحدا واحدا ولا استثني منهم احدا
ولو ان تميزوا في فضلهم علي
فاخص بالذكر الدكتور عمر هارون ، و الدكتور حواسين وفقكما الله ورعاكم

امي و ابي
لا يكفي ان اذكر كل مدح لكم، ليوفيكم حقكم
فوجدكم من سهرتم على رعايتي منذ الصغر
و حرستم على اتمامي هذه المذكرة كل حرص
بل وساعدتم في كتابتها و تنقيحها من الأخطاء
و لو اني ادرجتكم ثانيا في هذا الشكر ، الا انكم لبه وظاهره
فجزاكم الله كل خير عنا ، و الهمكم كل المحبة منا .



ملخص

الطاقة هي العنصر الأكثر أهمية لإدارة العالم كله ، والمنافسة مستمرة في إنتاج الطاقة الخضراء. هدفنا هو إنتاج نموذج أولي يخزن الطاقة الكهربائية التي تنتجها الخلايا الكهروضوئية في بطارية ليثيوم .هذا المنتج هو بنك الطاقة الشمسية.

لتنفيذ هذا العمل، من الضروري إجراء دراسة نظرية حول التحكم MPPT ، والمنظمين ، وعلى البطاريات ، لرفع كمية الطاقة المخزنة وتقليل وقت شحن البطارية ، في الجزء العملي قمنا بالبحث عن المكونات الصحيحة لصناعة بطاقة الكترونية ، باستخدام برمجيات متخصصة ISIS) ، MIKROC، (... ARDUINO، وينتهي العمل بدراسة اقتصادية مقارنة بين تصنيع واستيراد هذا المنتج.

Abstract

Energy is the most essential element to run the whole world, competition is going on in the production of green energy.

Our goal is to produce a prototype that will store the electrical energy produced by photovoltaics in a lithium battery. This product is a solar POWERBANK.

To carry out this work, it is necessary to make the theoretical study on the MPPT control, the regulators, and on the batteries, to optimize the power and minimize the battery charging time, follows in the practical part looking for the right components to achieve the PCB, using specialized software (ISIS, MIKROC, ARDUINO…), And the work will end with a comparative economic study between the manufacture and import of this product.

Résumé

L’énergie est l’élément le plus essentiel pour faire marcher le monde entier, la concurrence va dans le cens le da production de l’énergie verte.

Notre objectif est de réaliser un prototype qui va emmagasiner l’énergie électrique produite par le photovoltaïque, dans une batterie lithium. Ce produit est un POWERBANK solaire.

Pour réaliser ce travail en doit faire l’étude théorique sur la commande MPPT, les régulateurs, et sur les batteries, pour optimiser la puissance et minimisé le temps de charge de batterie, ensuit dans la partie pratique chercher les bons composants pour réaliser la carte PCB, à l’aide des logiciels spécialisé (ISIS, MIKROC, ARDUINO …), Et en finira le travail avec une étude économique comparatif entre la fabrication et l’importation de ce produit.

كلمات مفتاحية
بنك الطاقة ، الطاقة الشمسية ، الطاقة المتجددة ، الدراسة الاقتصادية التقنية ، البطاريات ، الكهروضوئية ، الإلكترونيات ، بطاقة الكترونية مطبوعة

Mot clés
Power Bank, énergie solaire, énergie renouvelable, étude économico-technique, batterie, photovoltaïque, électronique, PCB

Key words :
Power bank, solar energy, renewable energy, economic-technical study, battery, photovoltaic, electronics, PCB

Table de matières

I. LISTE DES FIGURES 7

II. LISTE DES TABLEAUX 8

Introduction générale 9

1. CHAPITRE 1 : ETUDE THEORIQUE 11

1.1. Les énergies renouvelables 11
1.1.1. Introduction 11
1.1.2. Eolienne 11
1.1.3. Solaire PV : 12

1.2. Les batteries : 12
1.2.1. Plomb 13
1.2.2. Lithium-ion 16

1.3. La régulation 23
1.3.1. Type de régulation 24

1.4. Les hacheurs 25
1.4.1. Boost (élévateur) 26
1.4.2. Buck 29
1.4.3. Buck/boost 32

2. CHAPITRE 2 : DIMENSIONNEMENT, CONCEPTION : 36

2.1. Module photovoltaïque 36
2.1.1. Modélisation d'un panneau photovoltaïque 36

2.2. Circuit intégré nécessaire au fonctionnement de power Bank : 38
2.2.1. CN3791 38
2.2.2. Circuit de protection de batteries DW01-P : 42
2.2.3. Module de décharge MT3608 45

2.3. Batterie lithium-ion NCR18650B : 46

3. CHAPITRE 3 : REALISATION : 49

3.1. Conception et dimensionnement de surcuit électronique : 49
3.1.1. Conception d'entrée : 49
3.1.2. Ajouter la protection des batteries : 52
3.1.1. Conception de sortie : 54

3.2. Réalisation PCB 56

4. CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE 57

4.1. Cout de réalisation 57

4.2. Prix des pièces : 58

Table des matières

a. Module photovoltaïque : 58
b. Contrôleur photovoltaïques MPPT CN3791 59
c. Amplificateur de tension MT3608 59
d. Contrôleur de charge DW01 60
e. Interrupteur MSK-11027 60
f. Double transistor N-chanel FS8205 61
g. Diode 61
h. LED 62
i. Inductance 10uH 62
j. Résistance 63
k. Condensateur : 63
l. Batterie : 64
m. Connecteur USB 64

4.3. Calcule des couts de composant utilisé : 65

4.4. Calcul du cout estimatif de powerbank (Cout $_{es}$) 65

4.5. Cout de l'importation (cout$_i$) 66

4.6. Conclusion : 68

5. CONCLUSION GENERAL 69

6. BIBLIOGRAPHIE : 70

I. Liste des figures

Figure 1 Comportement de l'accumulateur au plomb vis-à-vis de phénomène de charge....16
Figure 2 : Schéma de principe du modèle Ring. 17
Figure 3: Schéma électrique du modèle RC....18
Figure 4 Schéma électrique du modèle thevenin....19
Figure 5: Schéma électrique du modèle PNGV 20
Figure 6: Schéma électrique du modèle DP 21
Figure 7 : schéma général d'une boucle de régulation 24
Figure 8: principe de base d'un hacheur 26
Figure 9: Schéma de base d'un convertisseur boost 27
Figure 10: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Boost....27
Figure 11: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé 28
Figure 12 Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert 28
Figure 13: Schéma de base d'un convertisseur buck 30
Figure 14: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck....30
Figure 15: Circuit équivalent du buck quand l'interrupteur est fermé....31
Figure 16: Circuit équivalent du buck quand l'interrupteur est ouvert....31
Figure 17: Schéma de base d'un convertisseur buck-boost 33
Figure 18: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck-boost....33
Figure 19: Circuit équivalent du buck-Boost quand l'interrupteur est fermé....33
Figure 20: Circuit équivalent du buck-Boost quand l'interrupteur est ouvert 34
Figure 21 schéma électrique équivalons de panneau photovoltaïque 36
Figure 22: photo de CI CN3791 39
Figure 23 : schéma de principe de fonctionnement DW01-p 42
Figure 24 : schéma d'application de DW01-p 45
Figure 25 : schéma de principe de fonctionnement MT3608 46
Figure 26: changement de capacité de batterie par rapport au cycle de charge....47
Figure 27 : Photo Batterie lithium-ion NCR18650B 48
Figure 28: caractéristiques de charge. 48
Figure 29: Schéma d'utilisation base de CN3791 49
Figure 30: R3 dans la figure est Rcs calculé 50
Figure 31: schéma de contrôleur CN3791....52
Figure 32: schéma de fonctionnement de base de DW01 53
Figure 33 : schéma électrique de partie de protection et charge de batterie 53

Figure 34 Schéma de base de fonctionnement MT3608 54
Figure 35: schéma de module de sorties 55
Figure 36 : schéma générale de circuit de power-bank solaire 56
Figure 37: fichier finale de la plaque imprimée 56
Figure 38 : image du site alibaba.com montrant le prix module photovoltaïque 58
Figure 39: image du site alibaba.com montrant le prix de CN3791 59
Figure 40 image du site alibaba.com montrant le prix de MT3608 59
Figure 41: image du site alibaba.com montrant le prix DW01 60
Figure 42: image du site alibaba.com montrant le prix MSK-11027 60
Figure 43 image du site alibaba.com montrant le prix FS8205 61
Figure 44: image du site alibaba.com montrant le prix diode 61
Figure 45: image du site alibaba.com montrant le prix LED 62
Figure 46 image du site alibaba.com montrant le prix d'inductance 62
Figure 47: image du site alibaba.com montrant le prix des résistances 63
Figure 48: image du site alibaba.com montrant le prix du condensateur 63
Figure 49: image du site alibaba.com montrant le prix batterie 64
Figure 50: image du site alibaba.com montrant le prix connecteur 64
Figure 51: image du site alibaba.com montrant le prix d'un produit similaire 66
Figure 52 image affiche le prix de transport maritime chine ver Algérie 67

II. Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des broches de CI CN3791 : 41
Tableau 2: Description des broches de CI DW01 p 44
Tableau 3: caractéristique technique du NCR18650B 47
Tableau 4 : présente les composants et leurs prix et le totale 65

Introduction générale

L'électricité, forme propre de l'énergie par excellence, est aujourd'hui produite, à près de 80 %, à partir de combustibles fossiles (pétrole, gaz,...) ou fissiles (nucléaire), ressources épuisables et polluantes à la fois [1]. Pour un développement durable, les ressources énergétiques renouvelables sont « propres » et inépuisables, donc capables à long terme de satisfaire la majeure partie de nos besoins. Après de nombreux soubresauts, les contraintes environnementales, le rapprochement de l'échéance d'épuisement des ressources fossiles et fissiles ainsi que les soucis d'indépendance énergétique conduisent depuis les années 1990 à un décollage significatif des filières de production d'électricité de sources renouvelables.

Ce travail est constitué de 4 chapitres :

Le premier chapitre « l'étude théorique » : dans cette partie on a parlé sur la théorie de fonctionnement de chaque module qu'' en va utiliser dans notre travail.

Le deuxième chapitre « dimensionnement, conception » : contient le travail pratique commencé par la modélisation des parties nécessaire au fonctionnement de power banque comme les batteries et le module photovoltaïque ainsi que le choix des composants électroniques et les circuits intégrés.

Le troisième chapitre « et réalisation » : dans ce chapitre on a créé le schéma électrique qui convient au travail de power-Bank solaire et la conception de plaque électronique de façon réalisable en utilisons un logiciel spécifique pour cela (isis Proteus 8 Professional).

Dans le quatrième chapitre : qui représente une étude économique de notre projet dans laquelle je réalise une étude du marché du dit projet.

On fait une comparaison entre le prix d'acquisition (toutes taxes comprises) du power Bank solaire d'importation et le coût de production de ce power Bank qui devrait être manufacturé en Algérie.

Ce travail est une étude économico-technique d'un produit électronique (le powerBank solaire), dans le but de créer un modèle économique d'une fabrique des produits électroniques, et pour atteindre ce but il faut concevoir le prototype en utilisant des composants réels en suite on compare les prix de fabrication avec ceux des produits importés pour connaitre la façon la plus efficiente.

1. Chapitre 1 : Etude théorique

1.1. Les énergies renouvelables

1.1.1. Introduction

L’énergie électrique devient la nécessité N°1 dans notre quotidien, tel que dans notre maison ou bien dans les lieux publics, même en lieu rurale ou safari, par contre les sources d’énergies habituelle sont plus en plus en disparition, plus polluante.

Le monde s’oriente vers les énergies renouvelables comme l’éolienne ou solaire.

1.1.2. Eolienne

L'énergie d'origine éolienne fait partie des énergies renouvelables. L’aérogénérateur utilise l’énergie cinétique du vent pour entraîner l’arbre de son rotor : celle-ci est alors convertie en énergie mécanique elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne. Ce couplage mécanique peut être soit direct si turbine et génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire Enfin il existe plusieurs types d’utilisation de l’énergie électrique produite : soit elle est stockée dans des accumulateurs, soit elle est distribuée par le biais d’un réseau électrique ou soit elle alimente des charges isolées. Le système de conversion éolien est également siège de pertes : à titre indicatif, le rendement est de 59 % au rotor de l’éolienne, de 96% au multiplicateur ; il faut de plus prendre en

compte les pertes de la génératrice et des éventuels systèmes de conversion. (FERKOUS, 2009)

1.1.3. Solaire PV :

L'exploitation photovoltaïque de l'énergie solaire, consiste à convertir directement le rayonnement lumineux solaire en électricité, Elle utilise pour ce faire des modules ou panneaux photovoltaïque, composés des cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie. (Anne, et al., 2009)

1.2. Les batteries :

Une batterie est un appareil composé d'une ou de plusieurs cellules électrochimiques avec des connexions externes fournies pour alimenter des appareils électriques tels que des lampes de poche, des smart phones et des voitures électriques. (Crompton, 2000) Lorsqu'une batterie fournit de l'énergie électrique, sa borne positive est la cathode et sa borne négative, l'anode (Oxidation-Reduction Reactions, 1988). La borne marquée négative est la source d'électrons qui traversera un circuit électrique externe vers la borne positive. Lorsqu'une batterie est connectée à une charge électrique externe, une réaction redox convertit les réactifs à haute énergie en produits à plus basse énergie, et la différence d'énergie libre est transmise au circuit externe sous forme d'énergie électrique (How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry, 2018). Historiquement, le terme "batterie" faisait spécifiquement référence à un appareil composé de plusieurs

cellules, mais l'usage a évolué pour inclure des appareils composés d'une seule cellule. (pistoia, 2005).

Les batteries existent dans toutes sortes de formes et de tailles, des piles miniatures utilisées pour alimenter les appareils auditifs et les montre-bracelet aux petites batterie minces utilisées dans les smartphones, aux grosses batteries au plomb-acide ou aux batteries lithium-ion dans les véhicules, et, à l'extrême extrême, aux énormes banques de piles taille des salles fournissant une alimentation de secours ou d'urgence pour les centraux téléphoniques et les centres de données informatiques.

Selon une estimation de 2005, le secteur mondial des batteries génère des ventes de 48 milliards de dollars US chaque année, avec une croissance annuelle de 6%. (Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation in New York, 2007)

1.2.1. Plomb

La batterie au plomb est un composant développé depuis XIXe siècle et son fonctionnement est bien connu. Deux électrodes de plomb et d’oxyde de plomb sont plongées dans un électrolyte composé d’acide sulfurique dilué. En reliant les deux électrodes a un récepteur externe consommant du courant, elles se transforment en sulfate de plomb et acide se dilue, phénomène qui permet d’évaluer l’état de charge de la batterie en mesurant la densité d’acide. En fournissant un courant opposé au système, l’acide se

concentre et les deux électrodes retournent à leurs états initiaux. (Anne, et al., 2009).

a- Fonctionnement charge

Quand on charge la batterie au plomb, le résultat de la réaction est la formation de plomb et d'acide sulfurique et la densité de l'acide augmente. La réaction totale est : (Développement sous Proteus® d'un régulateur basé sur un algorithme de charge efficace et sécurisée pour batteries au plomb dans un système photovoltaïque, 2012)

$PbSO4 + 2H2O\ PbSo4 \rightarrow PbO2 + Pb + 2H2SO4$

Courbe de charge :

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur. Si on trace graphiquement la différence de potentiel à ses bornes en fonction du temps (Figure 1), on constate qu'après un court régime transitoire, elle s'établit aux environs de 2,2 V/elt à 25°C. (13.2 V tension de la batterie). Dans cette période, la densité des ions augmente, ce qui fait baisser la résistance interne, et augmenter la tension. L'équation électrique de la charge est :

$$V_{bat} = V_b + I_{bat} \times R_b$$

En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension. Les plaques, complètement polarisées ne retiennent plus de courant, car la densité de matériel actif baisse. Ce courant tend alors à électrolyser l'eau, produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (O2 sur l'électrode positive et H2 sur l'électrode négative). Ce phénomène est appelé gazéification. (Développement sous Proteus® d'un régulateur basé sur un algorithme de charge efficace et sécurisée pour batteries au plomb dans un système photovoltaïque, 2012)

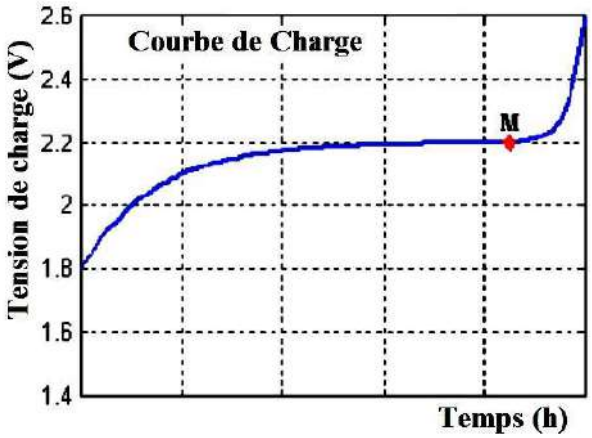


Figure 1 Comportement de l'accumulateur au plomb vis-à-vis du phénomène de charge

b- Fonctionnement décharge

Courbe de décharge (Anne, et al., 2009)

$$V_b = V_{bi} - I.R_{bi} \qquad (1)$$

1.2.2. Lithium-ion

Une batterie lithium-ion ou batterie Li-ion (en abrégé LIB) est un type de batterie rechargeable. Les batteries au lithium-ion sont couramment utilisées pour l'électronique portable et les véhicules électriques et gagnent en popularité pour les applications militaires et aérospatiales. (Massie, et al., 2008) Un prototype de batterie Li-ion a été développé par Akira Yoshino en 1985, sur la base de recherches antérieures de John Goodenough, Stanley Whittingham,

Rachid Yazami et Koichi Mizushima au cours des années 1970 et 1980 (nobelprize, 2019) (National Institute for Materials Science (NIMS), 2016), puis d'un Li commercial. -ion batterie a été développée par une équipe Sony et Asahi Kasei dirigée par Yoshio Nishi en 1991 (National Academy of Engineering, 2014).

Ces batteries ont une grande densité énergétique environ six fois mieux que le plomb étanche. (Anne, et al., 2009)

1.1.1.1. Model électrique de batterie :

a- Modèle Rint :

Le modèle Rint, comme le montre la figure 2 et l'équation (1), implémente une source de tension idéale U_{oc} pour définir la tension de circuit ouvert de la batterie. La résistance R_o et la tension en circuit ouvert U_{oc} sont toutes deux fonction du SoC, SoH et de la température. I_L est le courant de charge avec une valeur positive à la décharge et une valeur négative à la charge, U_L est la tension aux bornes. (Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models, 2011)

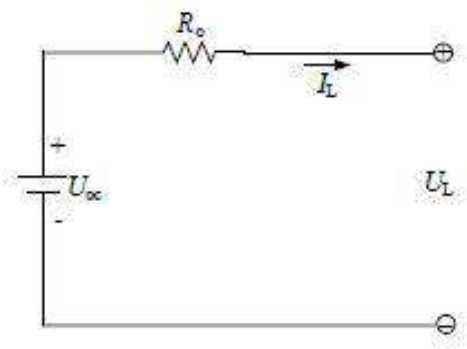


Figure 2 : Schéma de principe du modèle Ring.

$$U_L = U_{oc} - I_L R_o \qquad (2)$$

b- Modèle RC :

Il se compose de deux condensateurs (C_c, C_b) et trois résistances (R_t, R_e, R_c). Le condensateur C_c, qui a une petite capacité et représente principalement l'effet de surface d'une batterie, est appelé condensateur de surface. Le condensateur C_b, qui a une très

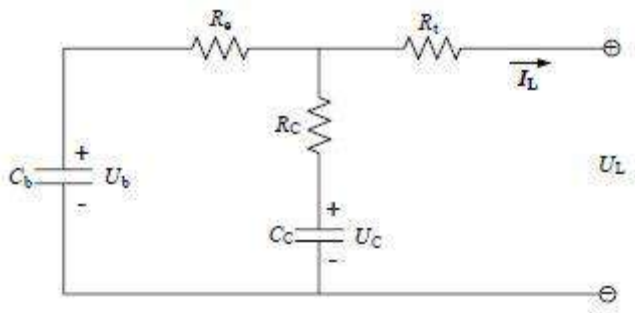


Figure 3: Schéma électrique du modèle RC

grande

capacité et représente la capacité suffisante d'une batterie pour stocker la charge chimiquement, est appelée en vrac condensateur. Le SoC peut être déterminé par la tension aux bornes du condensateur en vrac. Les résistances R_t, R_e, R_c sont nommée résistance terminale, résistance d'extrémité et résistance de condensateur, respectivement. U_b et U_c sont les tensions à travers C_b et C_c, respectivement. Le comportement électrique du circuit peut être exprimé par les équations (2) et (3). (Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models, 2011)

$$[U_L]=\begin{bmatrix}\frac{R_c}{(R_e+R_c)} & \frac{R_e}{(R_e+R_c)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}U_b\\U_c\end{bmatrix}+\left[-R_t-\frac{R_eR_c}{(R_e+R_c)}\right][I_L] \qquad (3)$$

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_b\\\dot{U}_c\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{-1}{C_b(R_e+R_c)} & \frac{1}{C_b(R_e+R_c)}\\\frac{1}{C_c(R_e+R_c)} & \frac{-1}{C_c(R_e+R_c)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}U_b\\U_c\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{-R_c}{C_b(R_e+R_c)}\\\frac{-R_e}{C_c(R_e+R_c)}\end{bmatrix}[I_L] \qquad (2)$$

c- Modèle Thevenin :

Le modèle Thevenin connecte un réseau RC parallèle en série basé sur le modèle Rint, décrivant les caractéristiques dynamiques de la batterie. Comme le montre la figure 3, il est principalement composé de trois parties y compris la tension en circuit ouvert U_{oc}, les résistances internes et les capacités équivalentes. L'intérieur les résistances comprennent la résistance ohmique R_o et la

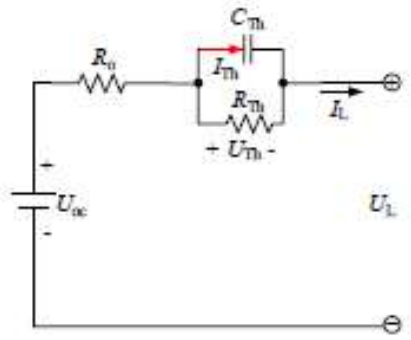


Figure 4 Schéma électrique du modèle thevenin

résistance de polarisation R_{Th}. L'équivalent la capacité C_{Th} est utilisé pour décrire la réponse transitoire pendant la charge et la décharge. U_{Th} est la tension sur C_{Th}. I_{Th} est le courant de sortie de C_{Th}.

Le comportement électrique du modèle de Thevenin peut être exprimée par l'équation (4). (Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models, 2011)

$$\begin{cases} \dot{U}_{Th} = -\dfrac{U_{Th}}{R_{Th}C_{Th}} + \dfrac{I_L}{C_{Th}} \\ U_L = U_{oc} - U_{Th} - I_L R_o \end{cases} \quad (4)$$

d- PNGV modèle :

Le modèle PNGV comme illustré à la figure 4 peut être obtenu en ajoutant un condensateur $1/U_{oc}$ en série sur le modèle de Thevenin pour décrire l'évolution de la tension en circuit ouvert générée dans le temps accumulation de courant de charge. U_d et U_{PN} sont les tensions à travers $1/U_{oc}$ et C_{PN} respectivement. I_{PN} est le courant de sortie du C_{PN}.

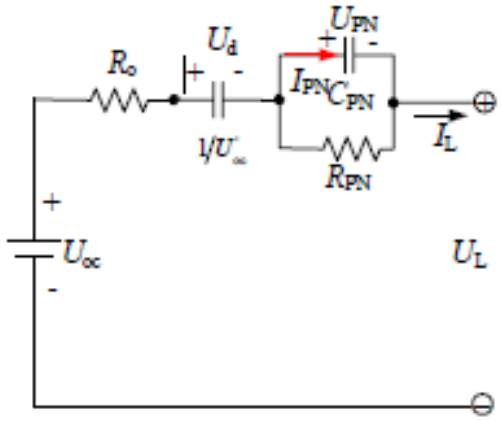


Figure 5: Schéma électrique du modèle PNGV

Le comportement électrique du modèle PNGV peut être exprimé par l'équation (5) :

$$(5)\quad \begin{cases} \dot{U}_d = U'_{oc} I_L \\ \dot{U}_{PN} = -\dfrac{U_{PN}}{R_{PN} C_{PN}} + \dfrac{I_L}{C_{PN}} \\ U_L = U_{oc} - U_d - U_{PN} - I_L R_o \end{cases}$$

e- Dual polarisation modèle :

Le duelle polarisation (DP) modèle basé sur l'analyse teste des caractéristiques d'une batterie lithium-ion, une polarisation évidente peut être observée. La caractéristique de polarisation pourrait être

simulée par le modèle de Thevenin dans une certaine mesure, cependant, la différence entre la polarisation de concentration et la polarisation électrochimique conduit à une simulation inexacte dans les moments à la fin de la charge ou de la décharge. Un modèle de circuit amélioré est présenté sur la figure 5, qui est défini comme un modèle à double polarisation (DP), pour affiner la description des caractéristiques de polarisation et simuler la polarisation de concentration et la polarisation électrochimique séparément.
(Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models, 2011)

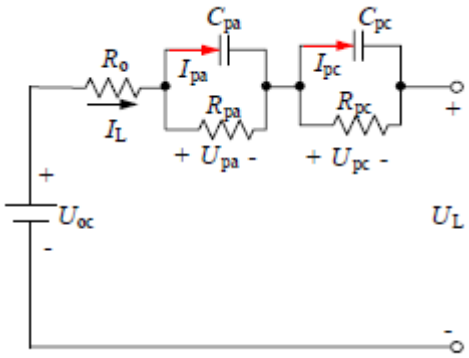


Figure 6: Schéma électrique du modèle DP

Le modèle DP est composé de trois parties :

1- Tension en circuit ouvert U_{oc};

2- des résistances internes telles que la résistance ohmique R_o et les résistances de polarisation, qui incluent R_{pa} pour représenter la résistance efficace caractérisant la polarisation électrochimique et R_{pc} pour représenter la résistance efficace caractérisant la polarisation de concentration,

3- les capacités effectives comme C_{pa} et C_{pc}, qui sont utilisées pour caractériser la réponse transitoire pendant le transfert de puissance vers / depuis la batterie et pour décrire séparément la polarisation électrochimique et la polarisation de concentration. U_{pa} et U_{pc} sont les tensions aux bornes de C_{pa} et C_{pc} respectivement. I_{pa} et I_{pc} sont les courants de sortie de C_{pa} et C_{pc} respectivement. (Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models, 2011)

Le comportement électrique du circuit peut être exprimé par l'équation (6) :

$$\begin{cases} \dot{U}_{pa} = -\dfrac{U_{pa}}{R_{pa}C_{pa}} + \dfrac{I_L}{C_{pa}} \\ \dot{U}_{pc} = -\dfrac{U_{pc}}{R_{pc}C_{pc}} + \dfrac{I_L}{C_{pc}} \\ U_L = U_{oc} - U_{pa} - U_{pc} - I_L R_0 \end{cases} \qquad (6)$$

f- Cout de lithium :

La réduction des coûts est l'un des moyens essentiels d'accroître la compétitivité du stockage sur batterie par rapport aux autres options technologiques. Le coût de fabrication des batteries au lithium a considérablement chuté de 1000 €/KWh (Anne, et al., 2009) au cours des dernières années (2010), principalement en raison de la fabrication accrue dans les secteurs des véhicules électriques et de la consommation. Des coûts de 273 $ / kWh sont maintenant signalés par certains fabricants, ce qui représente une réduction de 73% depuis 2010. (curry, 2017) , Bien qu'ils soient encore trop coûteux pour certaines applications de stockage, tel que le

nivellement de la charge et l'arbitrage, ces réductions ont permis jusqu'à présent la majorité des déploiements de stockage. En se concentrant sur des applications de niche dans par exemple régulation de fréquence et remplacement des pics. La *Bloomberg new énergie finance* (BNEF) prévoit que les prix des batteries lithium-ion pourraient baisser à 73$/kWh en 2030, ce qui pourrait ouvrir le marché à d'autres sources de revenus. (curry, 2017)

1.3. La régulation

La régulation regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Les grandeurs utilisées par un système de régulation sont :

a- La grandeur réglée : c'est la grandeur physique que l'on désir réglée, elle donne son nom à la régulation.

b- La consigne : c'est la valeur que doit prendre la grandeur réglée.

c- La grandeur réglante : c'est la grandeur physique qui a été choisie pour le contrôle de la grandeur réglée.

d- Les grandeurs perturbatrices : ce sont les grandeurs physiques qui influencent la grandeur réglée. Généralement elles ne sont pas de même nature que la grandeur réglée.

e- L'organe réglant : c'est l'élément qui agit sur la grandeur réglante.

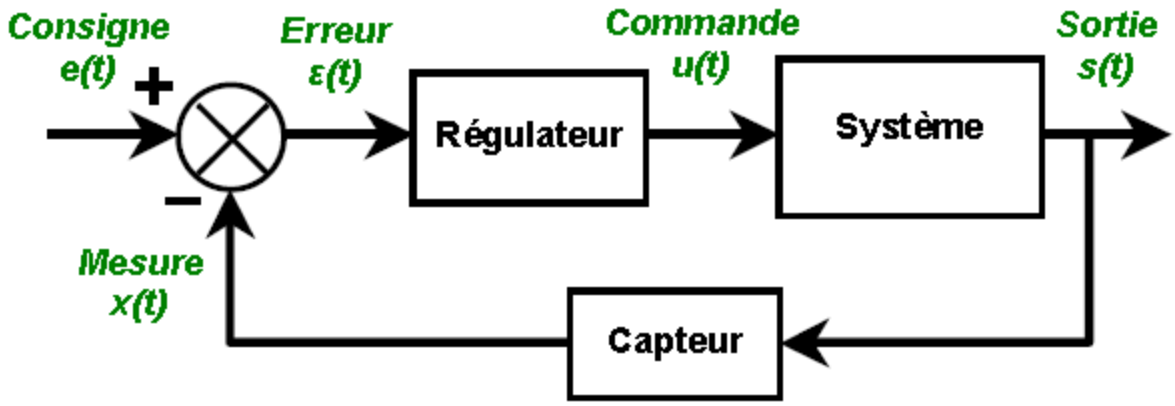


Figure 7 : schéma général d'une boucle de régulation

Don notre cas en vas utiliser une régulation MPPT donc la grandeur réglée est : le courant, la grandeur réglante est le temps d'ouverture du surcuit d'hacheur, les grandeurs perturbatrices est la température et l'insolemment, l'organe réglant est le hacheur qu'en va implanter avec une commande MPPT

1.3.1. Type de régulation

a) **TOR** : Tout Ou Rien (ON-OFF Control).

b) **MLI** : Modulation de la Largeur d'Impulsion (PWM) avec PID.

c) **PID** : Continue Proportionnelle, Intégrateur, Dérivateur.

d) **FUZZY** : Continue PID avec l'introduction de la logique floue.

e) **MULTI-BOUCLES** : Maître Esclave, Cascade, Rapport.

f) **NUMERIQUE** : Modèle de référence.

g) ANFIS :

Le contrôle adaptive network based fuzzy inférence system (ANFIS) Est un ensemble flou mis en œuvre dans le cadre des réseaux adaptatifs. Il est proposé par «Jang» en 1993. (Jang, 1993). Le modèle ANFIS fait son apprentissage par la méthode «hybride»

qui est basée sur le principe rétro propagation et la méthode des moindres carrés.

Le contrôleur ANFIS a deux entrées : l'erreur et la variation de l'erreur, et une seule sortie qui s'appelle la variation du rapport cyclique. (Jang, 1993)

1.4. Les hacheurs

Les hacheurs sont des convertisseurs électrique DC/DC, construits d'une carte électronique qui contient 2 parties, l'une de la commande et l'autre de puissance. Dans les types des hacheurs en constate 3 types principaux, les hacheurs élévateurs (boost), les hacheurs diminuants (buck), et les hacheurs élévateurs/diminuants (Buck/boost)

Le hacheur est un convertisseur continue/continue (DC/DC) permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue a un autre niveau de tension (ou de courant).

Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue.

Les hacheurs sont des convertisseurs continus qui procèdent par découpage d'une grandeur d'entrée continue, tension ou courant et

dont la grandeur de sortie est également continue ou à faible ondulation

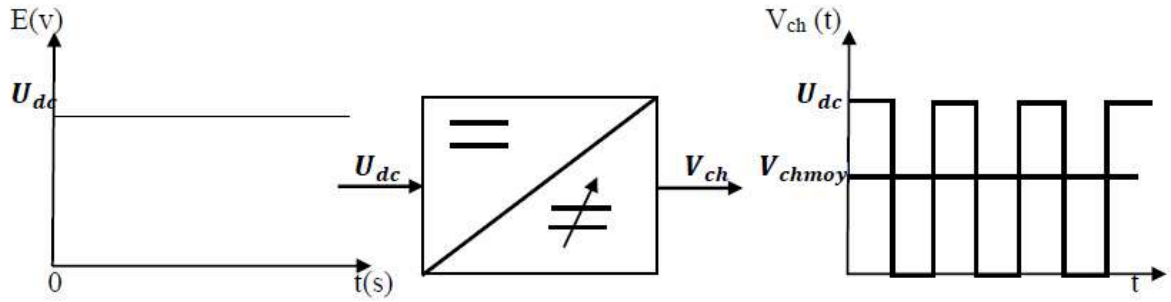


Figure 8: principe de base d'un hacheur

1.4.1. Boost (élévateur)

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Il est composé essentiellement d'un interrupteur K (exemple : transistor) et d'une diode D.

L'interrupteur K est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe T_d et de rapport cyclique variable α.

Durant chaque période, K est fermé de l'instant 0 à αT_d et ouvert de αT_d a T_d.

Selon la présence et l'absence du courant dans l'inductance on peut repartir deux modes de fonctionnement, conduction discontinue ou conduction continue. On s'intéresse au second cas qui est le plus important.

La figure (09) présente le schéma de principe de ce convertisseur, et la figure (10) donne les intervalles de conduction de

l'interrupteur et de la diode ainsi que les formes d'ondes des courants (à gauche) et tensions (à droite).

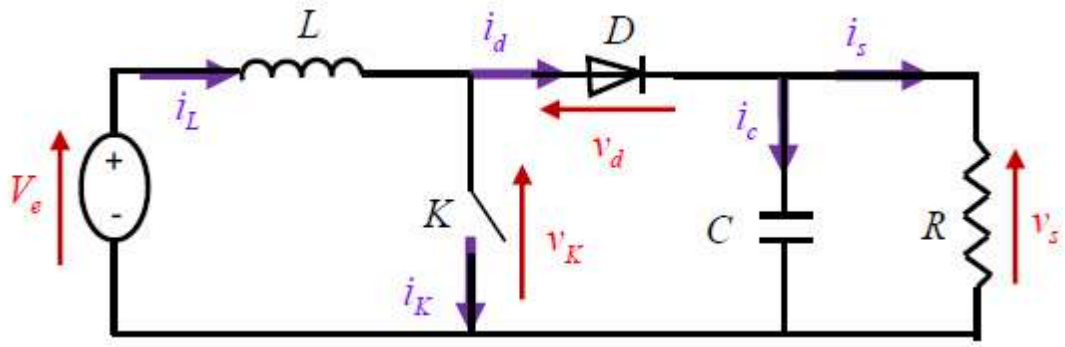


Figure 9: Schéma de base d'un convertisseur boost

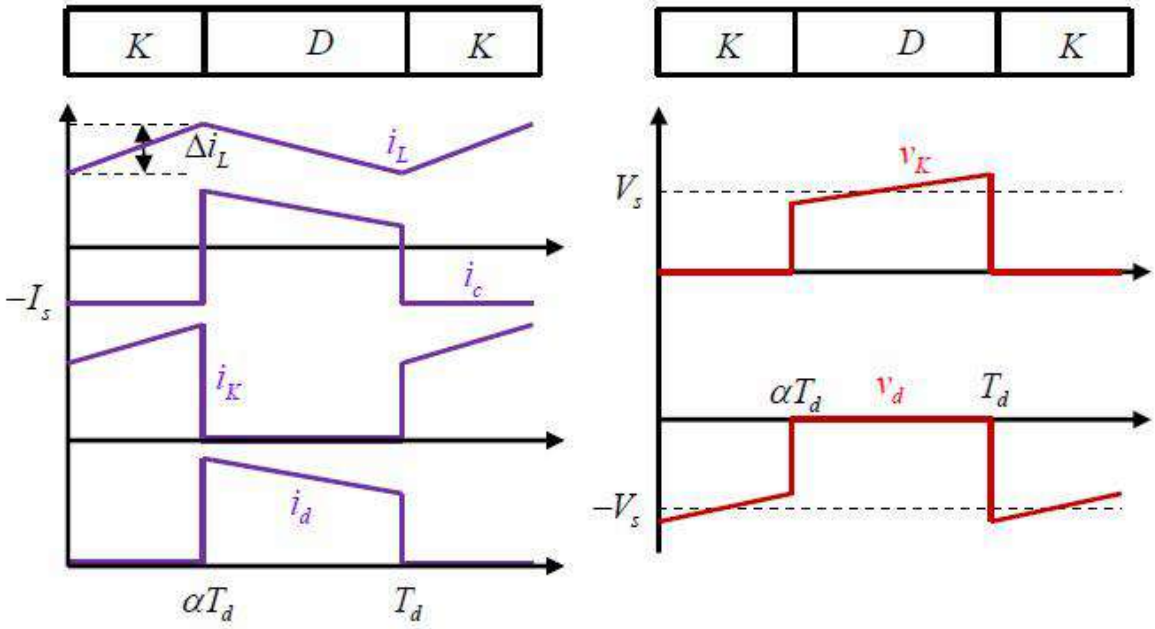


Figure 10: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Boost

Lorsque K est fermée et D est ouvert durant l'intervalle [0 αT_d], le circuit électrique du convertisseur est présenté dans la figure 11

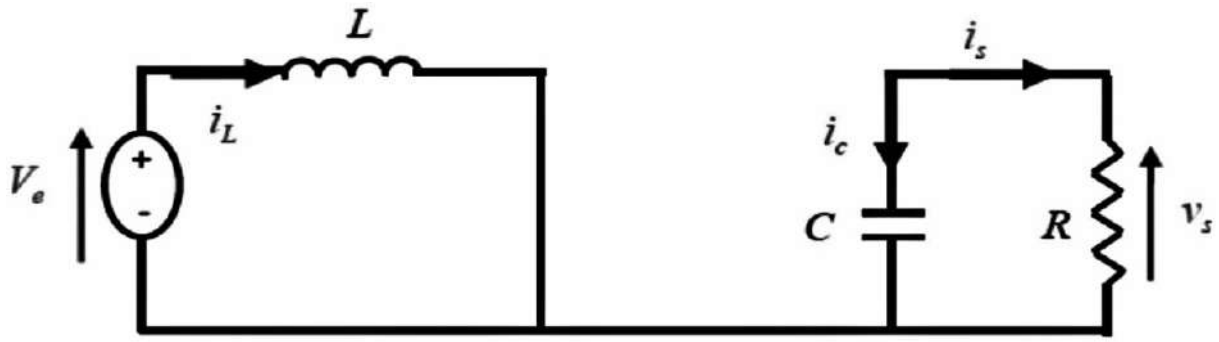


Figure 11: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé

$$V_e = L\frac{di_L}{dt} \qquad (7)$$

$$i_L = I_{min} + \frac{V_e}{L}t \qquad (8)$$

Imin représente la valeur minimale de courant dans l'inductance.

On a l'instant t = αT_d , le courant atteint sa valeur maximale dans l'inductance Imax suivant la formule (9) :

$$i_{max} = I_{min} + \frac{V_e}{L} \propto T_d \qquad (9)$$

Lorsque K est ouvert et D est fermé durant l'intervalle [αTd Td], le circuit électrique devient alors, voire la figure 12 :

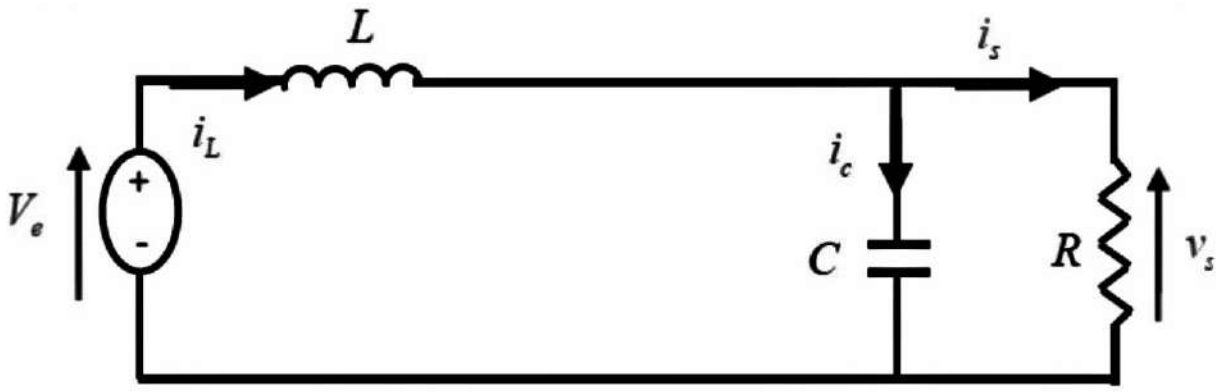


Figure 12 Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert

On a les équations (10) et (11) comme suit :

$$L\frac{di_L}{dt} = V_e - V_s \qquad (10)$$

$$i_{max} = I_{min} + \frac{V_e}{L} \propto T_d \qquad (11)$$

À l'instant t= T_d, le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale I_{min} :

$$i_{max} = I_{min} + \frac{V_e V_s}{L}.(1-\propto).T_d \qquad (12)$$

Avec $\Delta i_L = I_{max} - I_{mi}$: représente l'ondulation e courant dans l'inductance Ceci dit, l'égalité des deux équations de l'ondulation de courant (9) et (12) donne la valeur moyenne de la tension de sortie V_s :

$$V_s = \frac{1}{1-\propto} V_e \qquad (13)$$

D'après l'équation (13) on peut contrôler la valeur moyenne de la tension de sortie du convertisseur en faisant varier sa tension d'entrée ou son rapport cyclique. Celui-ci étant toujours compris entre 0 et 1, alors le montage fonctionne en élévateur de tension.

1.4.2. Buck

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. On procède de la même manière dans l'étude du convertisseur boost.

La figure (13) illustre le principe de fonctionnement de ce convertisseur. Ainsi, la figure (14) donne les intervalles de

conduction de l'interrupteur et de la diode ainsi que les formes d'ondes des courants (à gauche) et tensions (à droite).

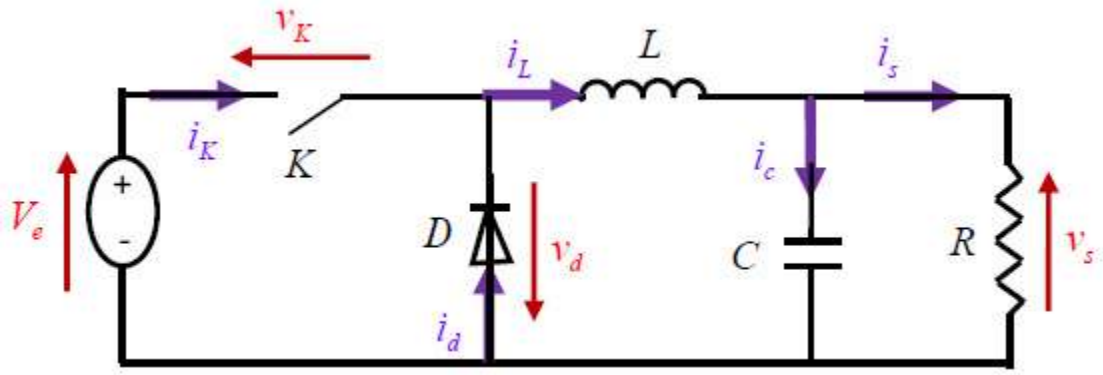


Figure 13: Schéma de base d'un convertisseur buck

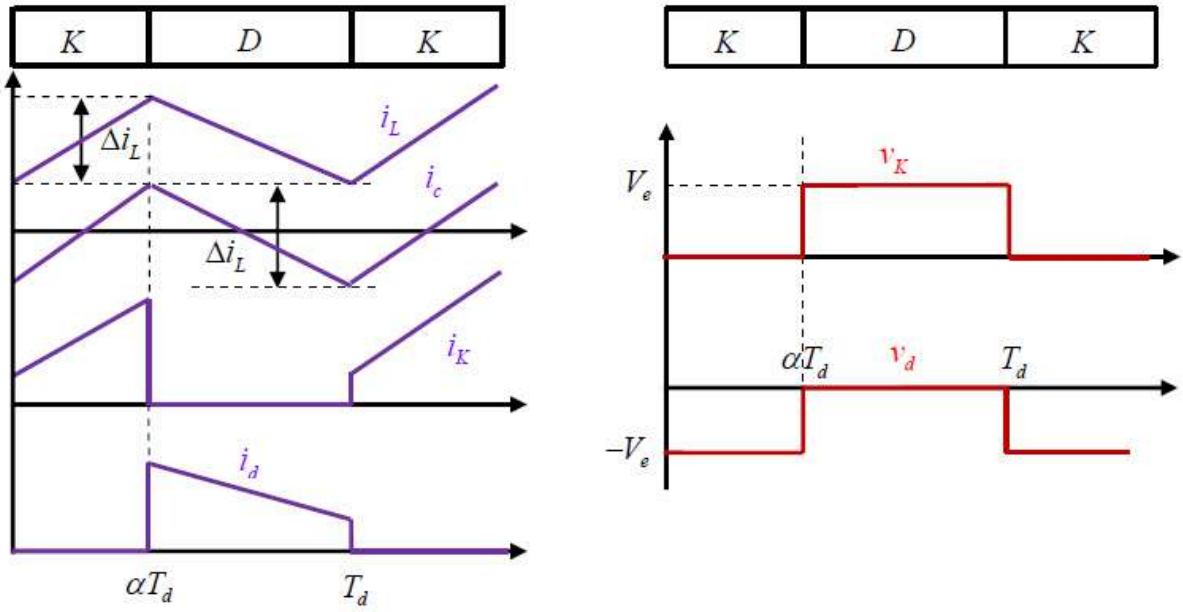


Figure 14: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck

Lorsque K est fermée et D est ouvert durant l'intervalle [0 αT_d], le circuit électrique du convertisseur est présente dans la figure 15.

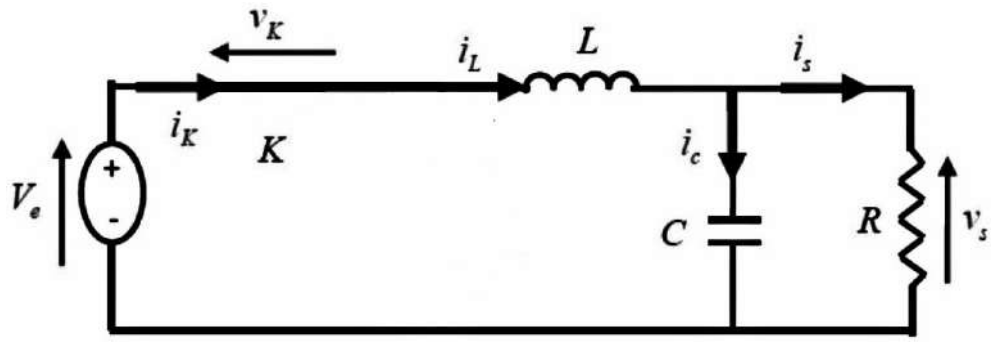


Figure 15: Circuit équivalent du buck quand l'interrupteur est fermé

On présente les équations (14) et (15) comme suit :

$$V_e = L\frac{di_L}{dt} + V_s \qquad (14)$$

$$i_L = I_{min} + \frac{V_e - V_s}{L}t \qquad (15)$$

a l'instant $t = \alpha T_d$, le courant atteint sa valeur maximale dans l'inductance I_{max}

$$I_{max} = I_{min} + \frac{V_e - V_s}{L} \propto T_d \qquad (16)$$

Lorsque K est ouvert et D est fermée durant l'intervalle [αT_d T_d], le circuit électrique devient alors, voir la figure 16 :

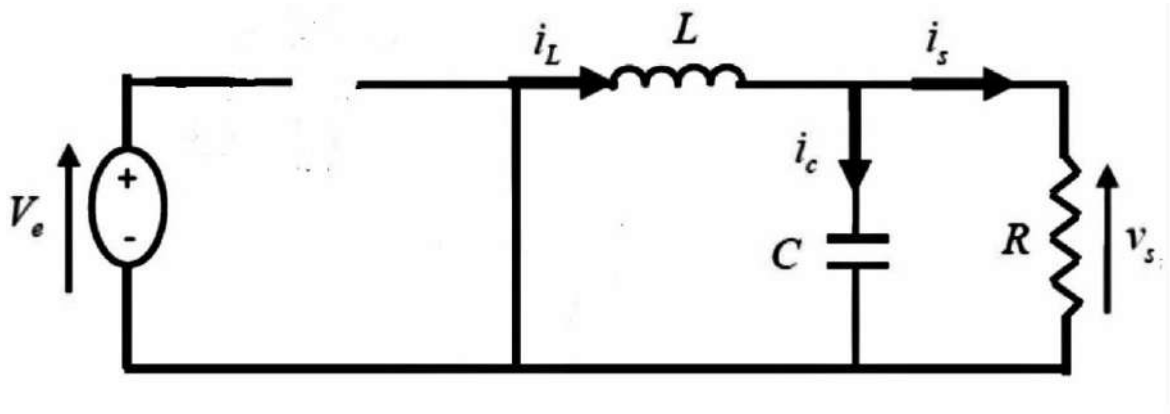


Figure 16: Circuit équivalent du buck quand l'interrupteur est ouvert

$$L\frac{di_L}{dt} = -V_s \qquad (17)$$

$$i_L = I_{max} - \frac{V_s}{L}(1 - \propto T_d) \qquad (18)$$

À l'instant t= T_d, le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale I_{min} exprime comme suit :

$$I_{min} = I_{max} - \frac{V_s}{L}(1-\propto)T_d \qquad (19)$$

Avec $\Delta i_L = I_{max} - I_{min}$ représente l'ondulation du courant dans l'inductance

L'Egalite des deux équations de l'ondulation de courant (15) et (19) donne la valeur moyenne de la tension de sortie Vs :

$$V_s = \propto V_e \qquad (20)$$

En appliquant le principe de conservation de puissance entre l'entrée et la sortie du convertisseur, on peut établir la valeur moyenne du courant dans l'inductance :

$$I_L = I_s \qquad (21)$$

Donc le convertisseur est abaisseur en tension

1.4.3. Buck/boost

Un convertisseur Buck-Boost contient une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse.

La figure 17 présente le principe de fonctionnement de ce convertisseur, et la figure (18) illustre les intervalles de conduction de l'interrupteur et de la diode ainsi que les formes d'ondes des courants (à gauche) et des tensions (à droite).

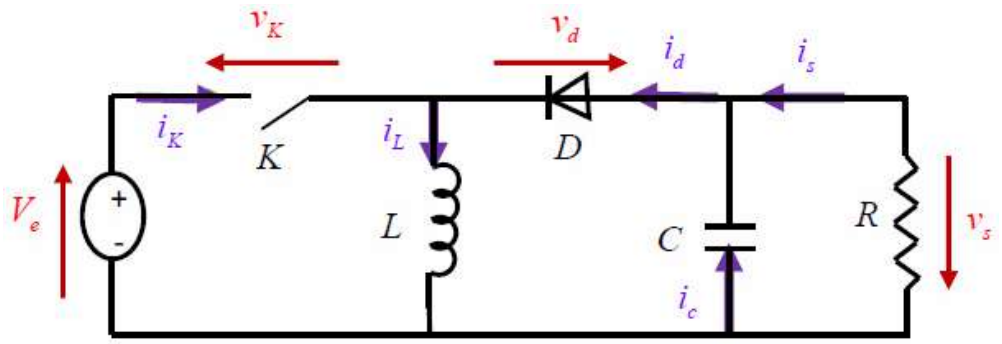


Figure 17: Schéma de base d'un convertisseur buck-boost

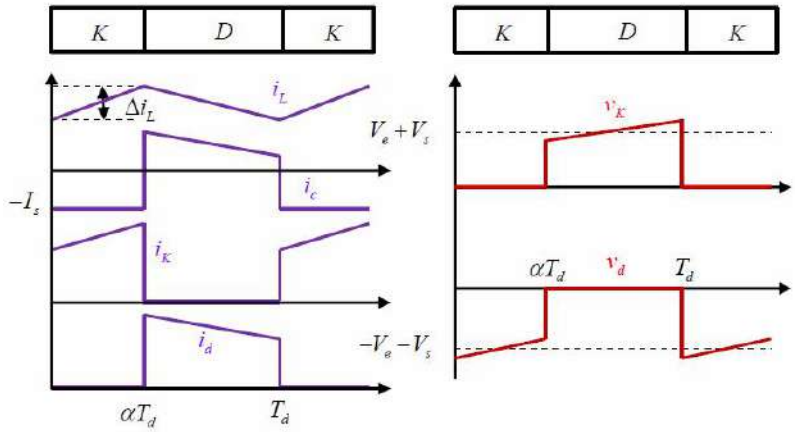


Figure 18: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck-boost

Lorsque K est fermée et D est ouvert durant l'intervalle [0 αTd], le circuit électrique du convertisseur sera comme montré dans la figure suivante :

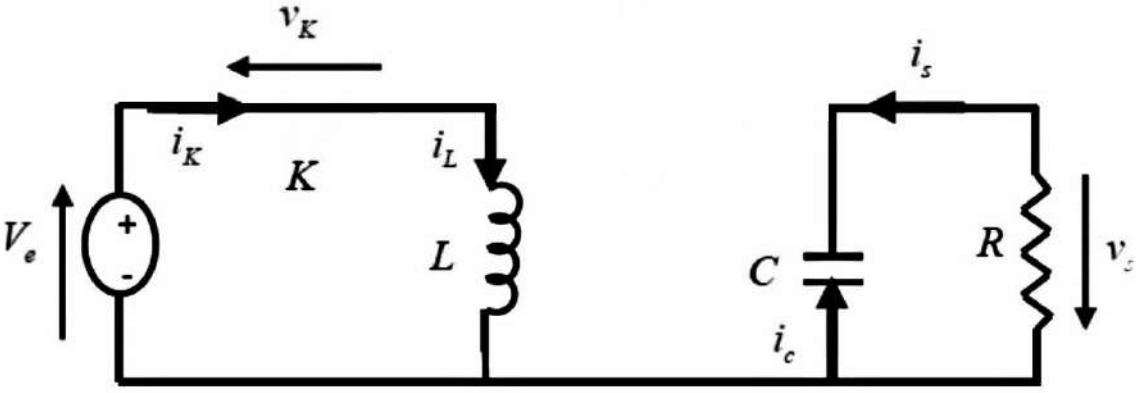


Figure 19: Circuit équivalent du buck-Boost quand l'interrupteur est fermé

On a les équations qui régissent le système comme suit :

$$V_e = L\frac{V_e}{L}t \qquad (22)$$

$$i_L = I_{min} + \frac{V_e}{L} \propto T_d \qquad (23)$$

à l'instant t = αT_d , le courant atteint sa valeur maximale dans l'inductance I_{max} d'où :

$$I_{max} = I_{min} + \frac{V_e}{L} \propto T_d \qquad (24)$$

Lorsque K est ouvert et D est fermée durant l'intervalle [αT_d T_d], le circuit électrique devient (figure 20) :

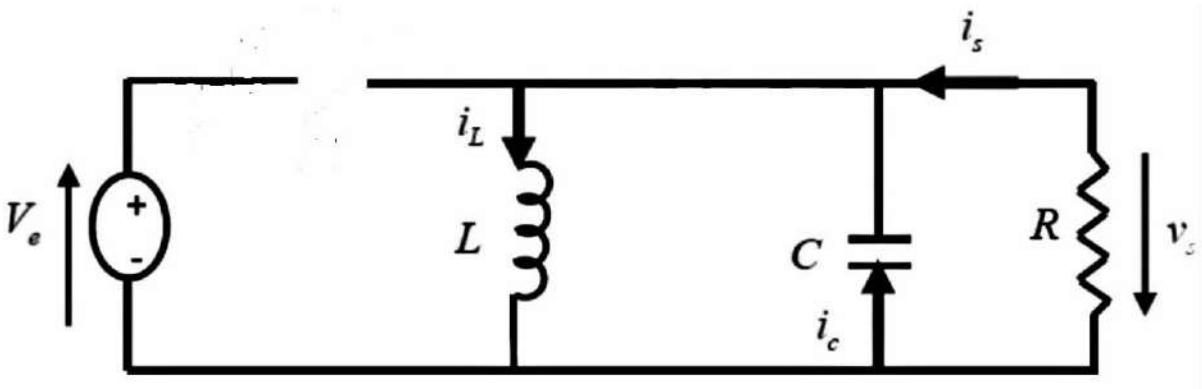


Figure 20: Circuit équivalent du buck-Boost quand l'interrupteur est ouvert

On prend maintenant les nouvelles équations :

$$L\frac{di_L}{dt} = V_s \qquad (25)$$

$$i_L = I_{max} + \frac{V_s}{L}(t - \propto T_d) \qquad (26)$$

a l'instant t= T_d , le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale I_{min} comme suit:

$$I_{min} = I_{max} + \frac{V_s}{L}(1-\propto)T_d \qquad (27)$$

Ainsi que l'ondulation du courant dans l'inductance est exprimée : $\Delta i_L = I_{max} - I_{min}$.

L'Egalite des deux équations de l'ondulation de courant (24) et (27) donne la valeur moyenne de la tension de sortie V_s

$$V_s = \frac{\propto V_e}{1-\propto} \qquad (28)$$

En appliquant le principe de conservation de puissance entre l'entrée et la sortie du convertisseur, on peut établir la valeur moyenne du courant dans l'inductance comme suit :

$$\mathrm{I_L} = \frac{\mathrm{I_s}}{1-\propto} \qquad (29)$$

La tension de sortie du convertisseur Buck-Boost est négative par rapport à la tension d'entrée. Son amplitude peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon la valeur du rapport cyclique. C'est un abaisseur-élévateur-inverseur en tension.

2. Chapitre 2 : Dimensionnement, conception :

2.1. Module photovoltaïque

2.1.1. Modélisation d'un panneau photovoltaïque

Le modèle utilisé est défini par une source de courant idéal associée à une diode [D] et a 2 résistances [R_s] et [R_{sh}]. La diode [D] décrit les propriétés semi-conductrices de la cellule photovoltaïque (modélisation du comportement de la cellule dans l'obscurité). La résistance [Rs] résistance série, modélise les pertes ohmiques du matériau. La résistance [R_{sh}] résistance shunt, modélise les courants parasites qui traversent la cellule.

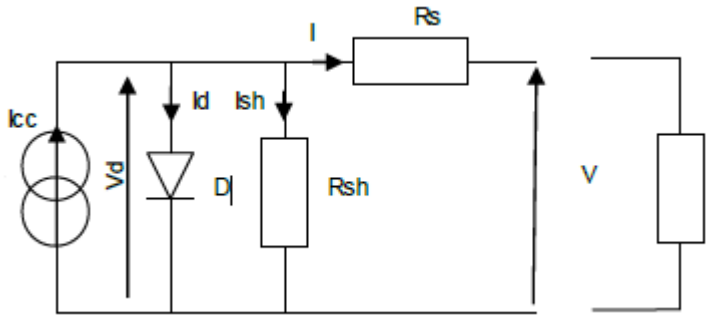


Figure 21 schéma électrique équivalons de panneau photovoltaïque

I. Equations associées du modèle

On considère que R_{sh} est très grande => $I_{sh}=0$

On a l'équation suivante :

$I_{cc}= I_d+I$

Avec

$$\begin{cases} I_d = I_s \times (e^{qV_d/nKT} - 1) \\ V_d = V + R_s \times I \end{cases}$$

Avec $\begin{cases} \text{n: facteur d'idealite de la diode} \\ \text{q: charge de l'electron } \rightarrow\ 1{,}602 \times 10^{-19}\,\text{C} \\ \text{K: constante de Boltzmann } \rightarrow\ 1{,}38 \times 10^{-23} \\ \text{T: temperature de la cellule en degre Kelvin} \\ \text{Is: courant de saturation} \end{cases}$

On caractérise 3 points de fonctionnement

$$\begin{cases} \text{Icc } \rightarrow \text{ Court circuit } \rightarrow \text{ V } = 0 \\ \text{Vco } \rightarrow \text{ Circuit ouvert } \rightarrow \text{ I } = 0 \\ \text{Vpm et Ipm } \rightarrow \text{ Point de puissance maximale } \rightarrow \text{ Pm} \end{cases}$$

b) Valeur de R_s

On a $I_{cc} = I_s \times (e^{qV_d/nKT} - 1) + I$

En circuit ouvert on a

$$\text{I=0 => } I_s = I_{cc} \times \Big/ (e^{qV_{co}/nKT} - 1) = I_{cc} \times \Big/ e^{qV_{co}/nKT}$$

Avec $e^{qV_{co}/nKT} \gg 1$

Le facteur d'idéalité va être utilisé pour définir le nombre de cellules du panneau photovoltaïque que l'on souhaite modéliser ($n=n_{cell}$).

Lorsque l'on se trouve au point de fonctionnement de la puissance maximale (V_{pm} , I_{pm}), on peut écrire l'équation $I_{cc} = I_d + I_{pm}$.

Sachant que (V_{pm} , I_{pm}) est un couple de valeurs connues.

A partir de cette équation, on en déduit

$$I_{cc} = I_s \times e^{q(V_{pm}+R_s \times I_{pm})/nKT} + I_{pm}$$

En posant $V_t = KT/q$ on a

$$I_{cc} = I_s \times e^{V_{pm}+R_s \times I_{pm}/n_{cell} \times Vt} + I_{pm}$$

On obtient $$\frac{Icc-Imp}{Is} = e^{V_{pm}+R_s \times I_{pm}/n_{cell} \times Vt}$$

La valeur de R_s se déduit de l'équation :

$$R_s = n_{cell} \times Vt \times \frac{ln\frac{Icc - Imp}{Is}}{\frac{I_{pm} - I_{pm}}{I_{pm}}}$$

2.2. Circuit intégré nécessaire au fonctionnement de power Bank :

Pour que notre travail soit utilisable dans la vie réel, il faut qu'on fasse une entrée et sortie dons l'entrée est le module solaire, la sortie soit une prise USB pour charger un téléphone mobile donc 5V alors je trouve ses circuit intégré (CI) nécessaire pour la construction de mon produit.

2.2.1. CN3791

Le CN3791 est un contrôleur de chargeur de batterie Li-Ion à courant constant et tension constante qui peut être alimenté par la cellule photovoltaïque avec une fonction de suivi du point de puissance maximale, l'appareil adopte une architecture de commutation PWM abaisseur (buck). Le courant de charge est

réglé par une résistance de détection externe (RCS) entre les broches CSP et BAT. La tension de régulation finale de la batterie en mode tension constante est réglée à 4,2 V typique avec une précision de 1%.

Un cycle de charge commence lorsque la tension à la broche VCC dépasse VUVLO et la tension de la batterie par VSLPR, et la tension à la broche MPPT est supérieure à 1,23 V. Au début du cycle de charge, si la tension de la batterie est inférieure à 66,5% de la tension de régulation (VREG), le chargeur passe en mode de



Figure 22: photo de CI CN3791

charge d'entretien. Le courant de charge d'entretien est réglé en interne à 17,5% (typique) de la courante pleine échelle. Lorsque la tension de la batterie dépasse 66,5% de la tension de régulation, le chargeur passe en mode de charge à courant constant à pleine échelle. En mode courant constant, le courant de charge est réglé par la résistance de détection externe RCS et une référence interne de 120 mV, le courant de charge est égal à 120 mV / RCS. Lorsque la tension de la batterie s'approche de la tension de régulation, le chargeur passe en mode de tension constante et le courant de charge commence à diminuer. Lorsque le courant de charge chute à

16% du courant pleine échelle, le cycle de charge est terminé, la broche DRV est tirée vers le haut à VCC, et un comparateur interne désactive le MOSFET à canal N de tirage interne au niveau du broche, un autre MOSFET à canal N déroulant interne de la broche est activée pour indiquer l'état de la terminaison. Pour redémarrer le cycle de charge, il suffit de retirer et de réappliquer la tension d'entrée. De plus, un nouveau cycle de charge commencera si la tension de la batterie tombe en dessous de la tension de seuil de recharge de 95,5% de la tension de régulation. Le CN3791 adopte la méthode de tension constante pour suivre le point de puissance maximale de la cellule photovoltaïque. La tension de la broche MPPT est régulée à 1,205 V pour suivre le point de puissance maximale du panneau solaire. Lorsque la tension d'entrée n'est pas présente, le chargeur passe automatiquement en mode veille, tous les circuits internes sont arrêtés.

Un comparateur de surtension protège contre les dépassements transitoires de tension (> 7% de la tension de régulation). Dans ce cas, le MOSFET à canal P est désactivé jusqu'à ce que la condition de surtension soit effacée. Cette fonction est utile pour le déchargement de la charge de la batterie ou le retrait soudain de la batterie.

Tableau 1 : Description des broches de CI CN3791 :

Pin No.	Name	Descriptions
1	VG	**Régulateur de tension interne** : VG alimente en interne le pilote de grille, connectez un condensateur 100nF entre la broche VG et la broche VCC.
2	GND	**Masse :** Borne négative de l'alimentation d'entrée.
3	CHRG	**Sortie d'état de charge à vidange ouverte** : lorsque la batterie est en cours de charge, cette broche est tirée vers le bas par un interrupteur interne. Sinon, cette broche est à l'état haut impédance.
4	DONE	**Sortie de terminaison de charge à drain ouvert** : Lorsque la charge est terminée, cette broche est tirée vers le bas par un interrupteur interne. Sinon, cette broche est à l'état haut impédance.
5	COM	**Entrée de compensation de boucle :** connectez un condensateur de 220nF en série avec une résistance de 120Ω de cette broche à GND.
6	MPPT	**Broche de suivi du point de puissance maximale de cellule photovoltaïque :** Connectez cette broche au diviseur de résistance externe pour un suivi du point de puissance maximum. En état de suivi du point de puissance maximale, la tension de la broche MPPT est régulée à 1,205V.
7	Bat	**Entrée négative pour la détection du courant de charge** : Cette broche et la broche CSP mesurent la chute de tension à travers la résistance de détection RCS pour fournir les signaux de courant requis.
8	Csp	**Entrée positive pour la détection de courant de charge** : Cette broche et la broche BAT mesurent la chute de tension à travers la résistance de détection RCS pour fournir les signaux de courant requis.
9	Vcc	Entrée d'alimentation CC externe : VCC est également l'alimentation du circuit interne. Contournez cette broche avec des condensateurs.
10	DRV	**Broche d'entraînement de porte** : Pilotez la gate du MOSFET à canal P externe.

2.2.2. Circuit de protection de batteries DW01-P :

Bien que le CN3791 fais la gestion de charge des batteries au lithium mais, il ne le fait pas suffisamment car il ne fait pas la protection contre les sur-décharges de batteries, alors il nous faut un surcuit en plus pour protéger nos batterie, et bien c'est le DW01-P

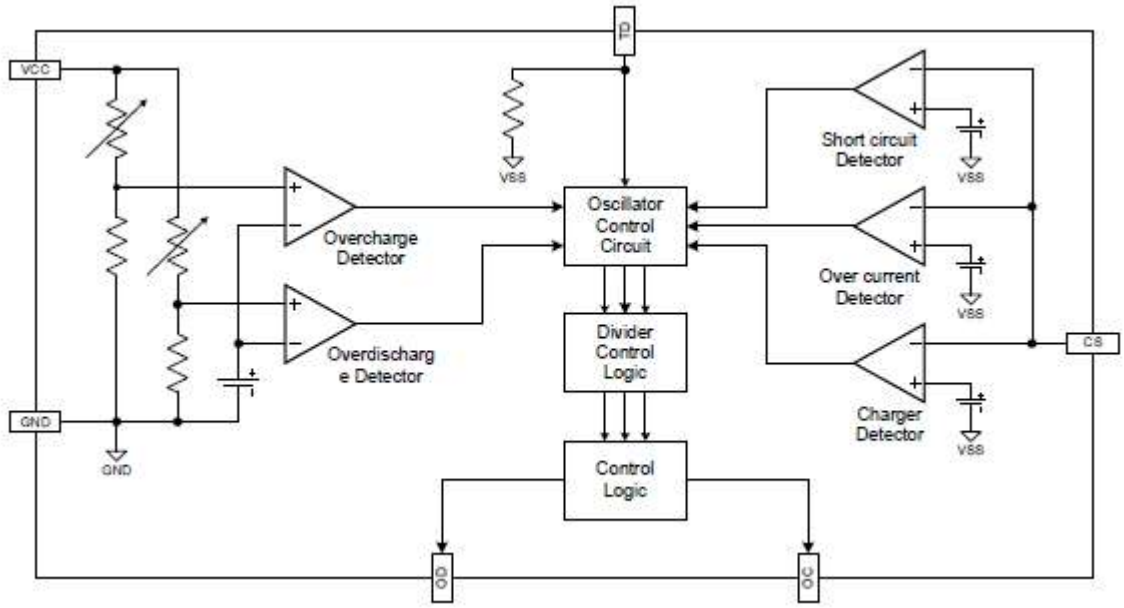


Figure 23 : schéma de principe de fonctionnement DW01-p

Protection contre les surcharges :

Lorsque la tension de la cellule de batterie dépasse la tension de protection contre les surcharges (VOCP) au-delà du délai de surcharge (TOC) période, la charge est inhibée en éteignant le contrôle de charge MOSFET.

La surcharge condition est libérée dans deux cas : La tension de la cellule de batterie diminue plus que la tension de déclenchement de surcharge (VOCR) par autodécharge.

La tension de la cellule de batterie tombe en dessous de la tension de protection contre les surcharges (VOCP) quand la charge est connectée. Lorsque la tension de la batterie est supérieure à VOCP, la

condition de surcharge ne se libère pas même si une charge est connectée au pack.

Protection contre les décharges excessives

Lorsque la tension de la cellule de batterie descend en dessous la tension de protection contre les décharges excessives (VODP) au-delà du délai de décharge excessive (TOD) période, la décharge est inhibée par la désactivation du MOSFET de contrôle de décharge.

La valeur par défaut du délai de décharge excessive est 140ms.

L'inhibition de la décharge est immédiatement libéré lorsque la tension de la cellule de batterie devient plus élevé que la libération de décharge excessive tension (VODR) grâce à la charge.

Protection contre les surintensités

En mode normal, le DW01-P en continu surveille le courant de décharge en détectant la tension de la broche CS. Si la tension de la broche CS dépasse la tension de protection contre les surintensités (VOIP) au-delà du délai de surintensité (TOI1) période, le circuit de protection contre les surintensités fonctionne et la décharge est inhibée en tournant éteindre le MOSFET de contrôle de décharge.

La condition de surintensité revient à la normale mode lorsque la charge est relâchée ou l'impédance entre BATT + et BATT- est supérieur à 500 kΩ.

Le DW01-P fournit deux niveaux de détection de surintensité (0,15 V et 1,05 V) avec deux temporisations de surintensité (TOI1 et TOI2) correspondant à chaque détection de surintensité niveau.

Détection de charge après une décharge excessive

En cas de décharge excessive, la décharge contrôle MOSFET s'éteint et la décharge est inhibé. Cependant, la recharge est toujours autorisée à travers la diode parasite du MOSFET. Une fois que le chargeur est connecté à la batterie, le DW01-P allume immédiatement tout le chronométrage circuits de génération et de détection. Mise en charge la progression est détectée si la tension entre CS et GND est en dessous du seuil de détection de charge tension (VCHA).

Récupération de la mise hors tension automatique

Le CI continue de fonctionner même après le passage à l'état de décharge excessive. La tension de la batterie s'élevant à la tension de décharge, décharge excessive (VODR) ou plus est la seule condition requise pour que le CI revienne à l'état normal.

Tableau 2: Description des broches de CI DW01 p

Pin	**No.**	**Symbol Description**
1	OD	Broche de connexion de porte MOSFET pour le contrôle de décharge
2	CS	Broche d'entrée pour détection de courant, détection de chargeur
3	OC	Broche de connexion de porte MOSFET pour le contrôle de charge
4	NC	nc
5	VCC	**Alimentation**, par une résistance (R1)
6	GND	**Masse :** Borne négative de l'alimentation d'entrée.

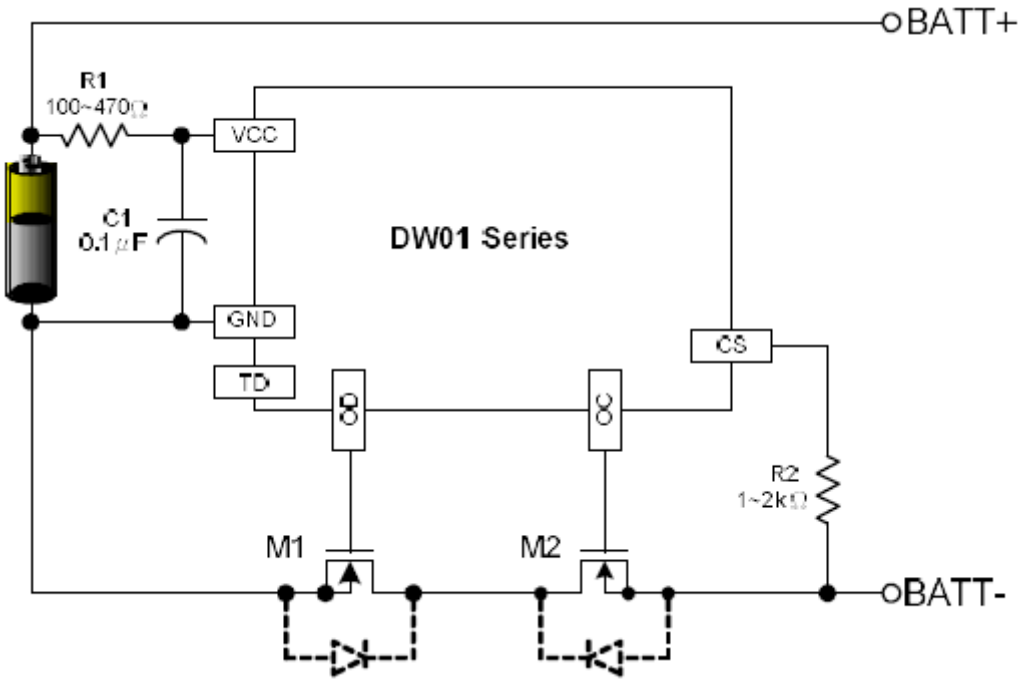


Figure 24 : schéma d'application de DW01-p

2.2.3. Module de décharge MT3608

Pour la sortie de notre power Bank, il nous faut 5V constante pour charger un téléphone mobile ou une caméra, et la tension max de batterie est 4.2V et Diminue à 3.5V quand la batterie est déchargé, donc il faut augmenter et fixer la sortie à la valeur de 5V, et pour cette raison je choisi le MT3608.

Le MT3608 utilise une architecture de régulateur de suralimentation en mode courant de crête à fréquence fixe pour réguler la tension au niveau de la broche de retour. Le fonctionnement du MT3608 peut être compris en se référant au schéma de principe de la figure 25.

Au début de chaque cycle d'oscillateur, le MOSFET est activé par le biais du circuit de commande. Pour éviter les oscillations sous-harmoniques à des cycles de service supérieurs à 50 pour cent, une rampe de stabilisation est ajoutée à la sortie de l'amplificateur de détection de courant et le résultat est introduit dans l'entrée négative

du comparateur PWM. Lorsque cette tension est égale à la tension de sortie de l'amplificateur d'erreur, le MOSFET de puissance est désactivé. La tension à la sortie de l'amplificateur d'erreur est une version amplifiée de la différence entre la tension de référence de la bande interdite de 0,6 V et la tension de retour. De cette manière, le niveau de courant de crête maintient la sortie en régulation. Si la tension de retour commence à chuter, la sortie de l'amplificateur d'erreur augmente. Il en résulte que plus de courant circule dans le MOSFET de puissance, augmentant ainsi la puissance délivrée à la sortie. Le MT3608 dispose d'un démarrage progressif interne pour limiter la quantité de courant d'entrée au démarrage et pour limiter également la quantité de dépassement sur la sortie

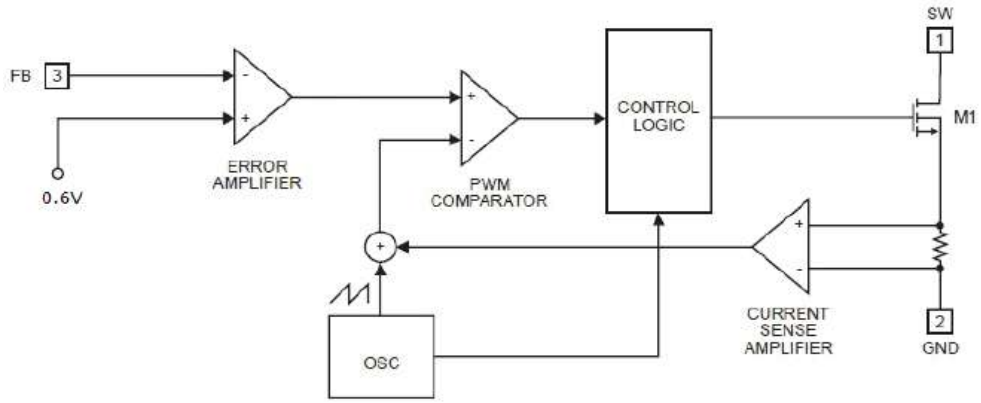


Figure 25 : schéma de principe de fonctionnement MT3608

2.3. Batterie lithium-ion NCR18650B :

On a choisi la batterie NCR18650B de chez Panasonic à cause de sa duré de vie, le graphe suivant démontrerai le changement de capacité de la batterie par rapport au cycle de charge :

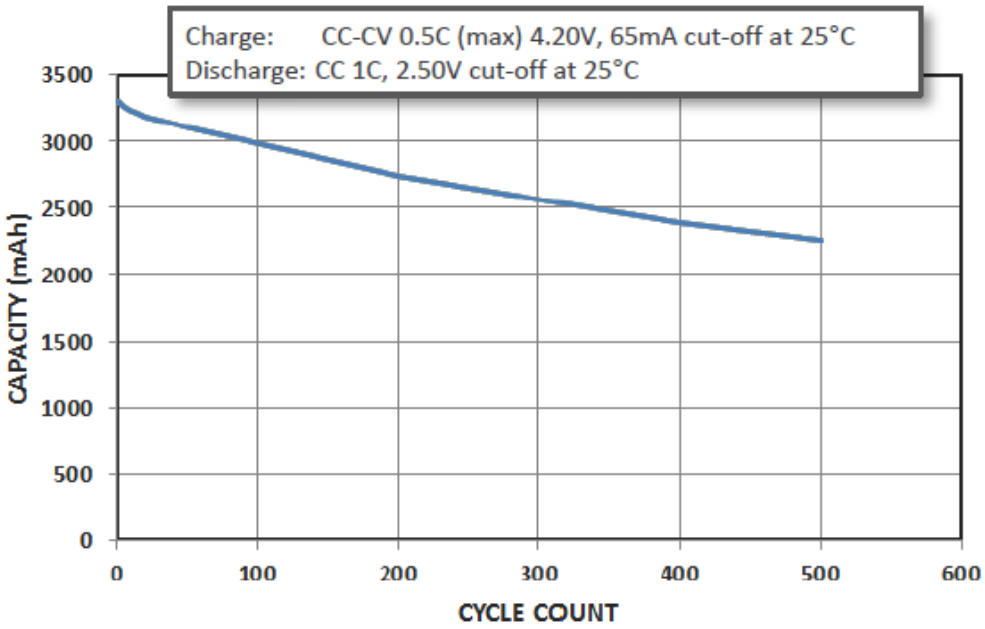


Figure 26: changement de capacité de batterie par rapport au cycle de charge

Dans le tableau suivant en trouve les caractéristiques techniques de batterier NCR18650B :

Tableau 3: caractéristique technique du NCR18650B

Capacité nominale a 20°C	Min 3200mAh
Capacité à 25°C	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh
Tension nominale	3.6v
mise en charge	cc-cv std.1625mA, 4.2V, 4.0hrs
Température	Charge *: 0 à + 45 ° C Décharge : -20 à + 60 ° C Stockage : -20 à + 50 ° c
Densité d'énergie	Volumétrique : 676 Wh / l Gravimétrique : 243 Wh / kg
Poids (max)	48.5g



Figure 27 : Photo Batterie lithium-ion NCR18650B

Dans notre travail on a utilisé des batteries de 10000 mAh pour stocké une quantité d'énergie suffisante à la consommation journalière d'une personne et à cause de manque de batterie 3,7V 10000 mah, on a construit une avec 4 batterie de 3200 mAh avec une connexion entre eux en série.

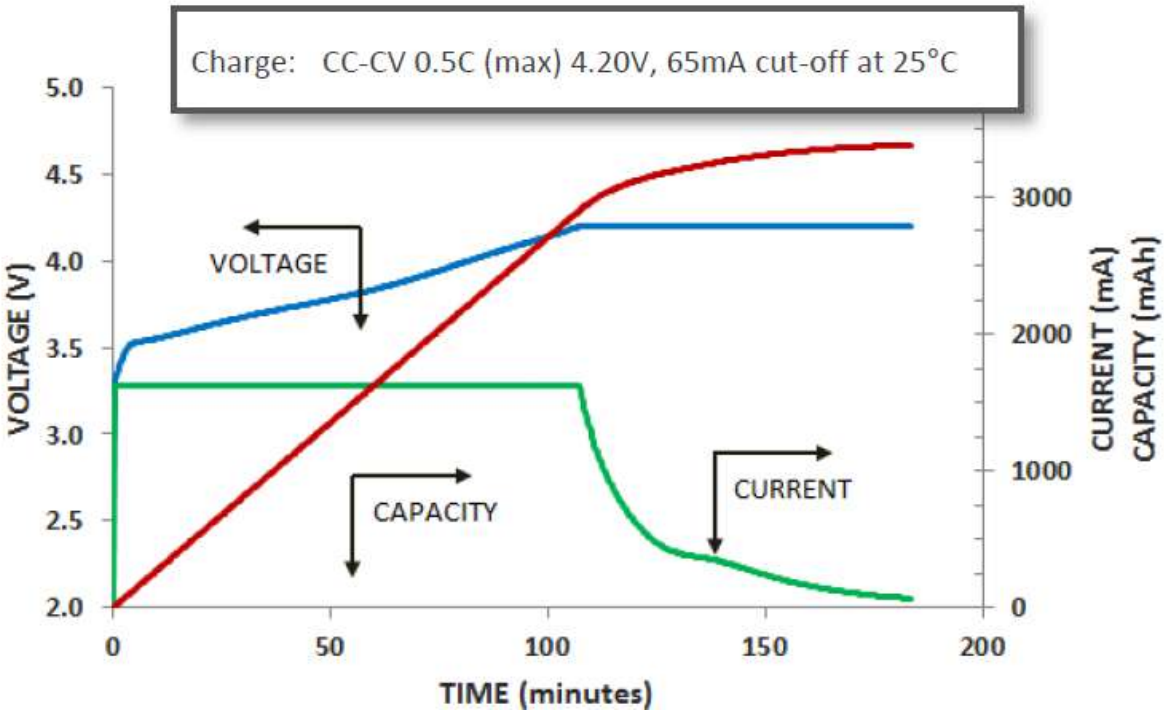


Figure 28: caractéristiques de charge.

3. Chapitre 3 : Réalisation :

3.1. Conception et dimensionnement de surcuit électronique :

Via le logisiel ISIS Proteus j'ai fais la conception du sircuit electronique qui va gerer la charge et decharge de batterie autrement dis qui gere les entrées et les sorties de power bank solaire.

Apres le chois des CI , ou les composants essentiel de la carte tel que : le **CN3791** qui est un controleur de charge avec une comande MPPT dedant , et le **DW01-P** qui fais la protection de batterie contre les surcharges et décharges, ensuite l'amplificateur de tension **MT3608** que j'utilise pour augmenter la tension de batterie a 5V la tension de sortie de power-Bank.

3.1.1. Conception d'entrée :

Tant que on utilise la CN3791 on trouve un schéma d'utilisation base dans leur datasheet, figure suivante :

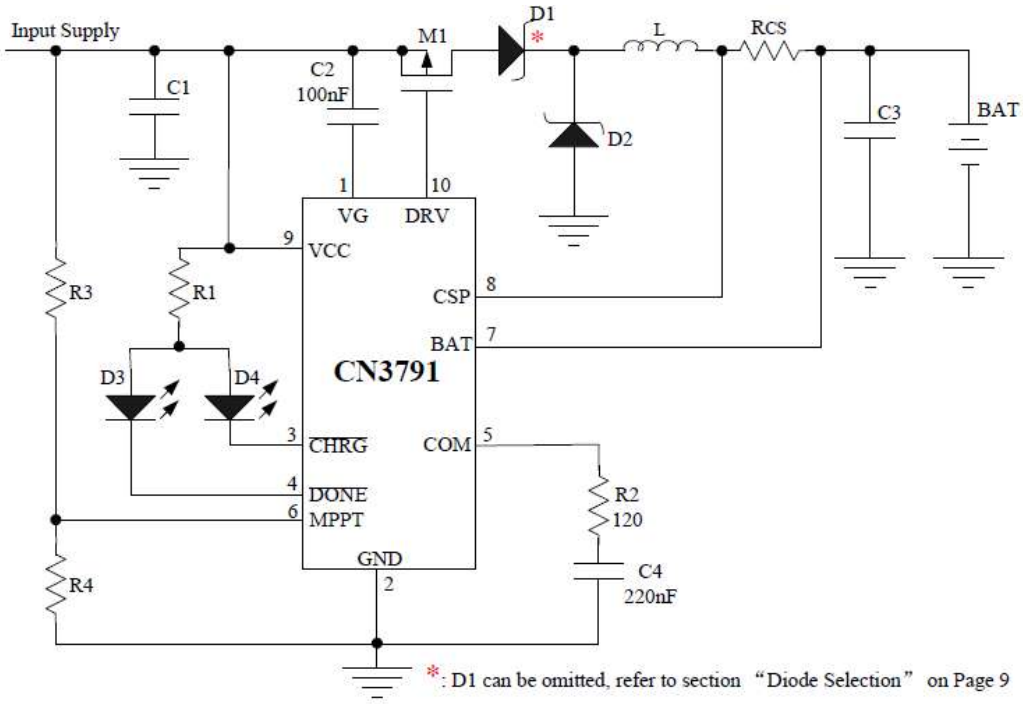


Figure 29: Schéma d'utilisation base de CN3791

Avec ce schéma il faut qu'on calcule les valeurs des composantes tel que R1, R3, R4,L RCS.

Pour calculer La valeur de RCS, et dans le datasheet on trouve la formule :

$$I_{CH} = \frac{120mV}{R_{CS}}$$

Cella veux dire :

I_{CH} est le courant de charge constant de notre batterie ou égale à 1.2A (suivant le datasheet de batterie)

Donc : $R_{cs} = \frac{0.12}{1.2} = 0.1\Omega$

Cette résistance va permettre de contrôler le courant qui circule pour charger la batterie. En réalité, la tension interne de référence est de 120mV c'est pourquoi nous devons la boosté.

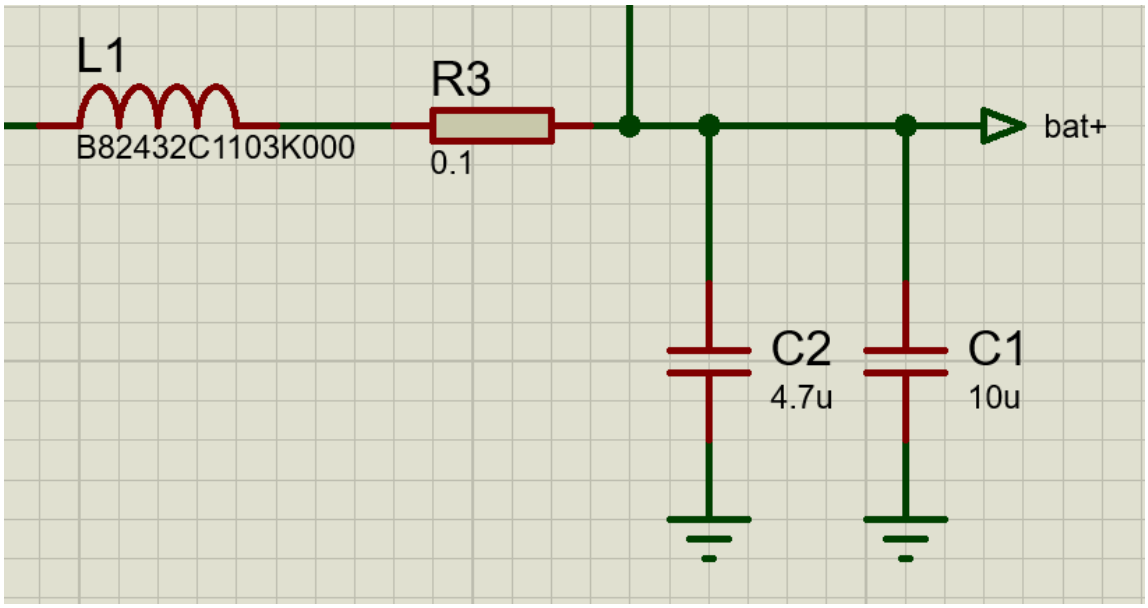


Figure 30: R3 dans la figure est Rcs calculé

L'inductance L1 est 'chargé' et 'déchargé' à travers un mosfet et permet de produire une tension adaptée (4.2v dans notre cas, tension de charge de batterie).

Pour sélectionner une valeur d'inductance adaptée. Il faut s'assurer qu'elle puisse fournir 4.2v tout en sachant que la fréquence de Switch du mosfet est de 300kHz.

Le datasheet nous conseille donc de sélectionner une inductance supérieure à 5× (VCC-Vbat) dans notre cas : 5× (5-4.2) = 4uH.

Le 'ripple current' est le courant accumulé par une inductance L en Δt secondes. Ce courant doit être de 0.3×1.2 soit de 360mA d'après la datasheet. Ce courant va permettre de charger et décharger l'inductance et ainsi de réguler le courant de manière efficace.

Cela signifie que la valeur optimale de l'inductance est de

$$\Delta IL \times V_{bat} \times \left(1 - \frac{V_{bat}}{V_{cc}}\right) = 6.22uH$$

Pour la diode et la mosfet j'ai choisis les conseils par le datasheet donc j'ai le schéma suivant :

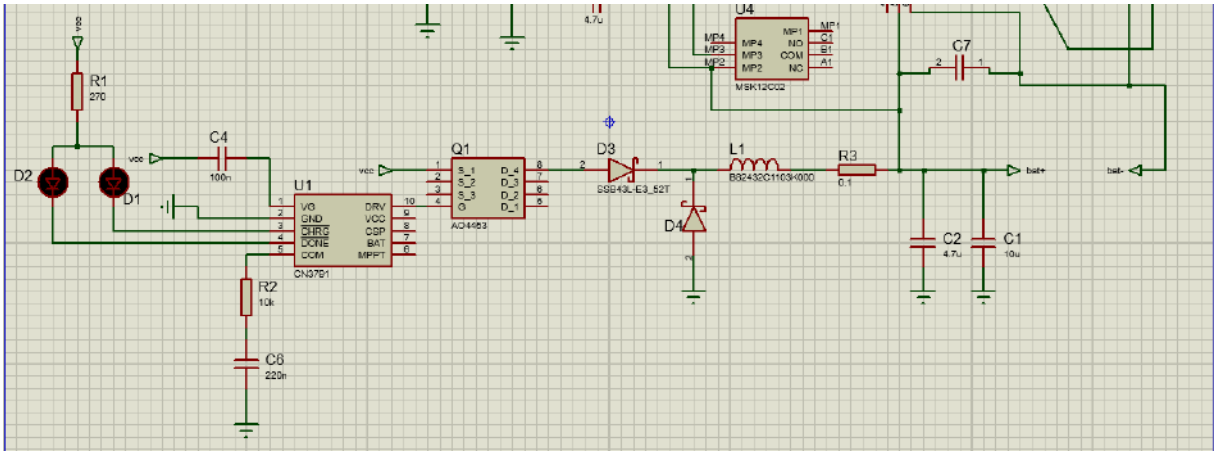


Figure 31: schéma de contrôleur CN3791

3.1.2. Ajouter la protection des batteries :

Avec le schéma de la figure 31, on la base de notre Powerbank solaire, est le régulateur MPPT, ensuite j'ai besoin d'un contrôleur de charge avec une protection de batterie contre les surcharges et décharges, et pour cela j'ai choisi le DW01-P qui va me permettre de protéger ma batterie.

Celui-ci fonctionne en mesurant en permanence la tension aux bornes de la batterie. Si la batterie est sous chargé alors la broche OD (over discharge) initialement à l'état HIGH passera à l'état LOW. Elle empêchera ainsi le passage du courant à travers le mosfet M1. Cela entrainera la coupure pure et simple de la batterie. C'est le même principe pour la broche OC et le mosfet M2.

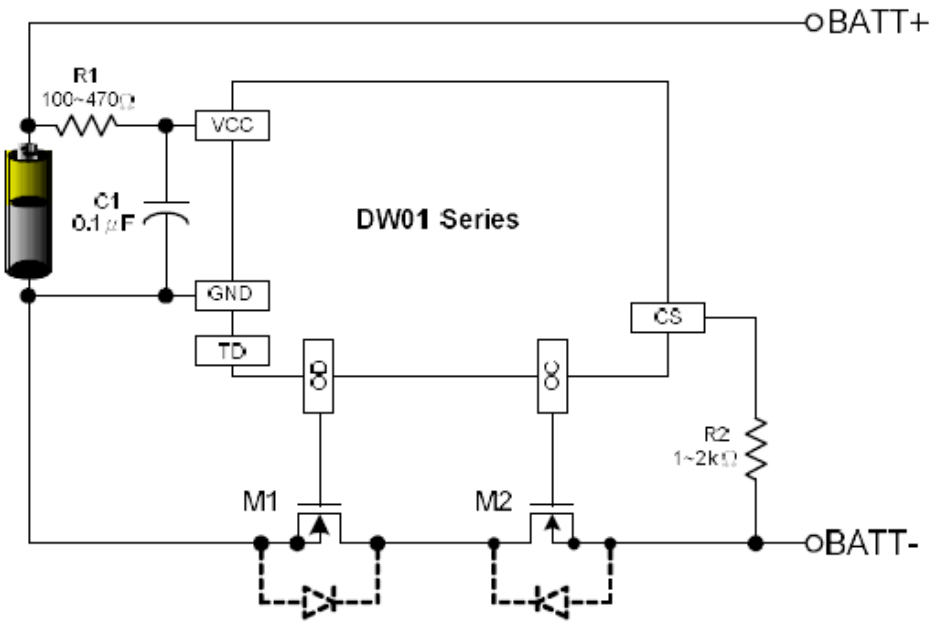


Figure 32: schéma de fonctionnement de base de DW01

La broche CS surveille différentes valeurs tel que, si la batterie n'est pas soumise à un trop fort courant, si elle n'est pas en court-circuit et détecte si elle est en charge et agis en conséquence en activant ou

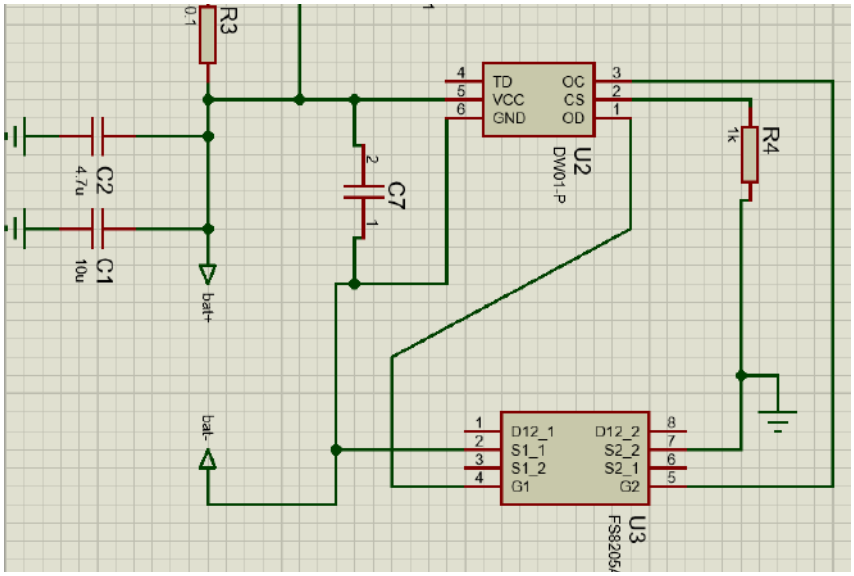


Figure 33 : schéma électrique de partie de protection et charge de batterie

désactivant les mosfet pour la protéger.

Les seuls composants qui ne sont pas donnés explicitement par la documentation sont les mosfet. Ceux-ci comme pour le CN3791

doivent avec une tension minimale de Gâte inférieure à celle fournie par OD et OC et une résistance interne suffisamment faible pour ne pas trop chauffer.

Et pour ces critères ont a sélectionné le FS8205, un mosfet 2-N-channel.

3.1.1. Conception de sortie :

Pour que notre sortie soit utile, il nous faut ajouter un élévateur de tension du 3.6V (tension nominale des batteries) à 5V tension utiles pour les chargeurs de téléphone USB. Donc on a choisi le MT3608.

Pour l'ajouter à notre circuit, il faut calculer les valeurs de résistance R1 et R2 dans le schéma Figure 34, pour régler la valeur de sortie.

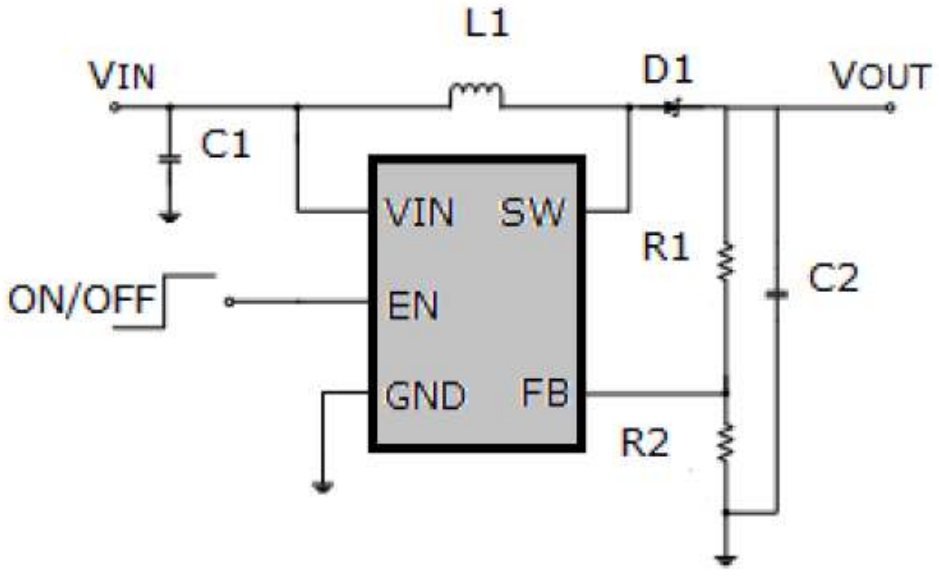


Figure 34 Schéma de base de fonctionnement MT3608

Pour calculer la valeur des R1 et R2, D'après la datasheet pour obtenir la tension de sortie voulue il faut résoudre cette petite équation ! Pour V_{ref} à 0.6v il faudra donc que rapport R1/R2 soit

Égale à $\frac{V_{out}}{V_{REF}} - 1 = \frac{R1}{R2}$ => $\frac{R1}{R2} = 7.333$

En prenant le panel de résistance que nous pouvons avoir, nous arrivons donc à R1=7.5kΩ et R2=10kΩ.

Finalement nous ajoutant un Switch pour activr la sortie ou la désactiver et on obtient le schéma suivant :

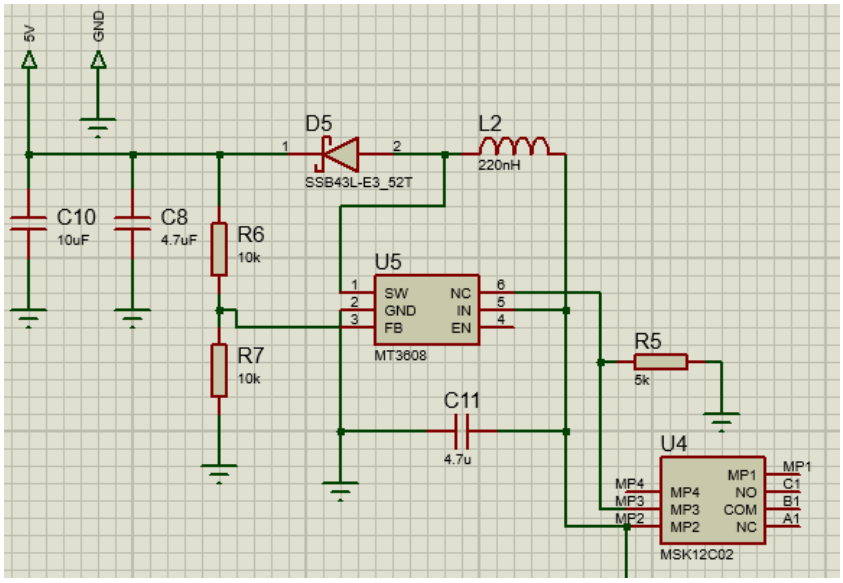


Figure 35: schéma de module de sorties

Finalement nous construiront un surcuit électronique d'un power-Bank solaire avec la fonction MPPT, la figure suivante présente le schéma générale de circuit :

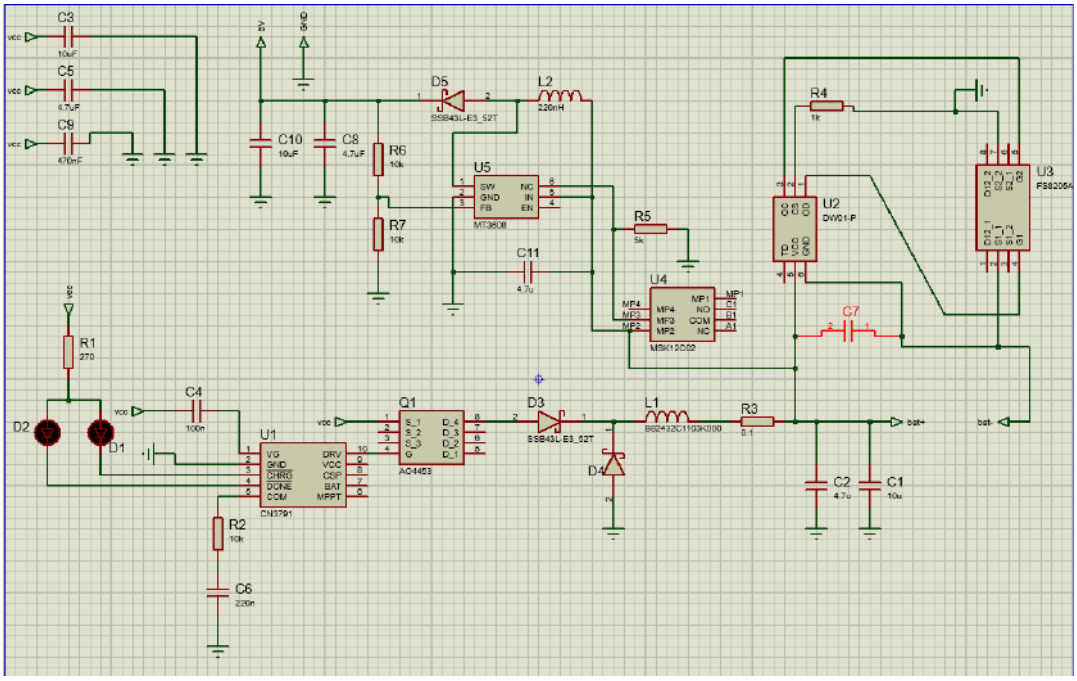


Figure 36 : schéma générale de circuit de power-bank solaire

3.2. Réalisation PCB

Afin de réaliser le surcuit électronique réel il nous manque une étape, Est la conception de la plaque PCB à l'aide d'ISIS Proteus, PCB Layout.

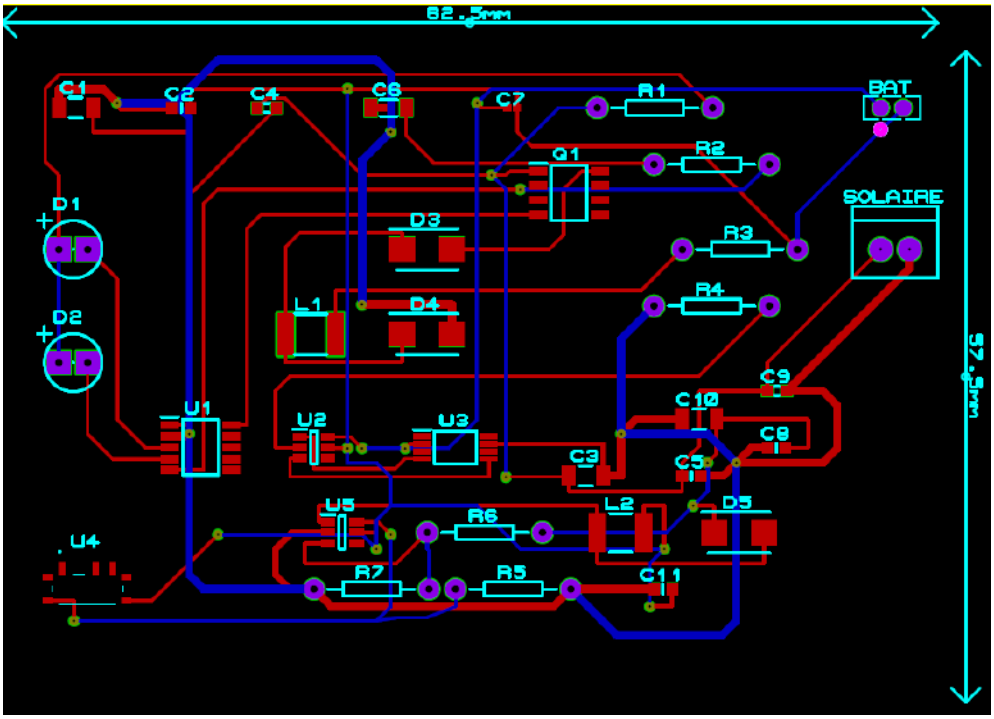


Figure 37: fichier finale de la plaque imprimée

4. Chapitre 4 : Etude économique

Introduction :

Le grand défi mondiale aujourd'hui et de minimiser le cout de l'utilisation de l'énergie électrique, Et c'est ce qui entre en jeu les prix d'achat de ce matériel ou de fabrications.

Dans cette partie en ferais une estimation comparative entre le cout d'usinage appréciation de son impact sur le marché, et le cout d'importation.

4.1. Cout de réalisation

Pour calculer le cout de réalisation nous devant trouver tous les prix du composant électronique avec les prix du livrant vers notre fabrique, en suite calculer le prix de vente avec un revenu minimale qui inclut le cout de développement et le cout de fabrication en plus un revient lucre. Alors on a l'équation de prix de vente :

$$P_{vente} = (C_{fab} * 30\%) + C_{fab}$$

$$C_{\text{fab}} = \frac{cout\ mensuel\ de\ production}{\text{nombre de produit}}$$

Le cout mensuel de production inclut plusieurs variables d'une fabrique, Cela varie d'une fabrique à l'autre, ces variables incluent les machines de production et sa consommation mensuel d'électricité, et de consommable. Ainsi que le cout de réparation en cas de panne.

Pour finaliser notre étude en vas utiliser le cout minimale estimé pour une fabrique d'électronique qui peux fabriquer jusqu'à 50 unité par jour.

Pour atteindre ce nombre de fabrication par jour il nous faut, une machine CNC pour fabriquer les plaques électroniques et 3 ouvrier avec leurs outilles.

Pour assurer le nombre de 50 unités par jour on parle sur 16.5 unité par ouvrier, dans les 8h de travail donc 2unité/h/ouvrier qui travaillent les 8H par jour, avec un salaire max de 30,000.00DA

4.2. Prix des pièces :

Dans ce sous-titre on a fait un relevé général des prix de gros de chaque composant de notre produit depuis la plaque cuivré jusqu'à l'emballage de power bank

Pour trouver les prix en gros chez le constructeur, je cherche sur le site chinois : alibaba.com.

a. Module photovoltaïque :



Figure 38 : image du site alibaba.com montrant le prix module photovoltaïque

Chez Shenzhen Caiyusheng Electronics Co., Ltd. Avec un prix de entre 0.75$ et 1.35$.

b. Contrôleur photovoltaïques MPPT CN3791

On cherche au meilleur prix d'une quantité de 1000 à 2000 pièces et on le trouve chez Shenzhen *Jin Hong Yang Electronic Technology Limited* avec un prix de 0.34$ la pièce

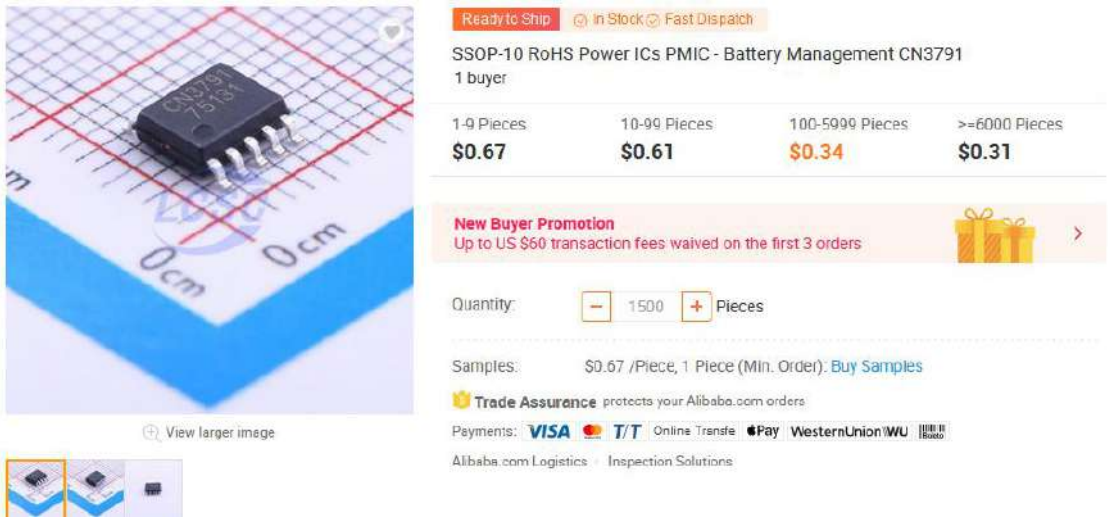


Figure 39: image du site alibaba.com montrant le prix de CN3791

c. Amplificateur de tension MT3608

Avec la même façon de rechercher sur le CN3791, on trouve le MT3608 au prix de 0.04$ pour 1500 pièces chez *Shenzhen Punuo Industrial Co., Ltd.*

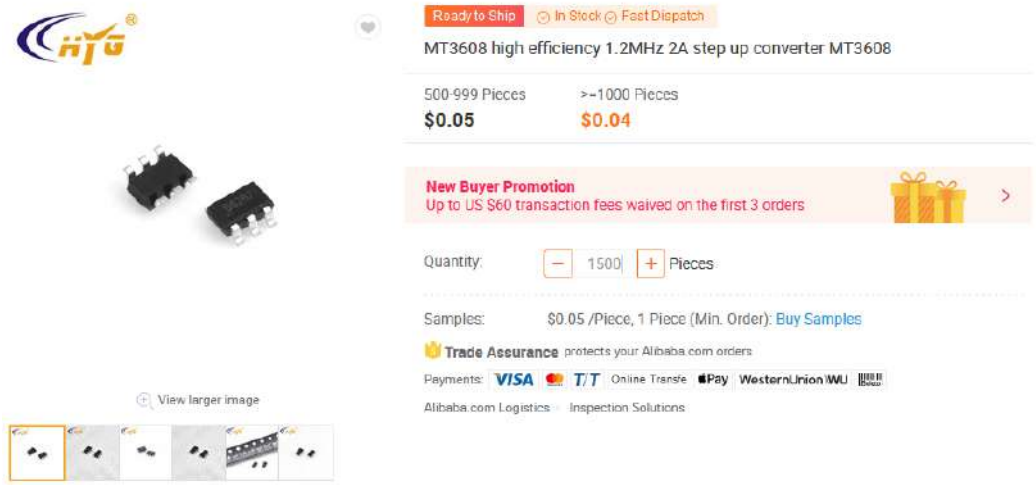


Figure 40 : images du site alibaba.com montrant le prix de MT3608

d. Contrôleur de charge DW01

Chez *Shenzhen Jeking Electronic Corp.* Sq avec un prix de 0.01$ pour les 1500 pièces.

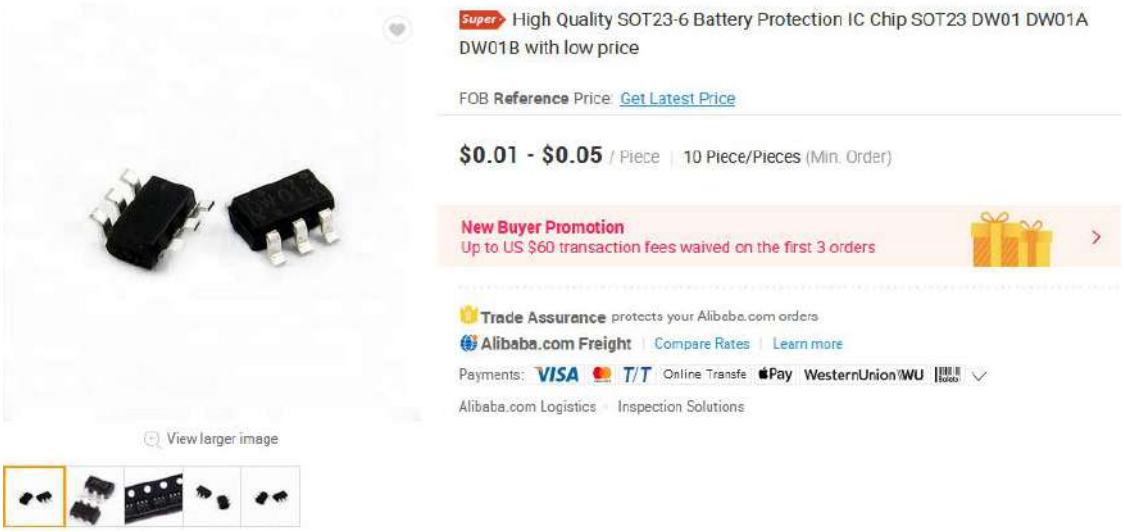


Figure 41: image du site alibaba.com montrant le prix DW01

e. Interrupteur MSK-11027

Pour cet interrupteur je choisi ce type a cause de leurs prix réduit 0.02$ chez *JLCshop* , à travers le site https://fr.findic.com

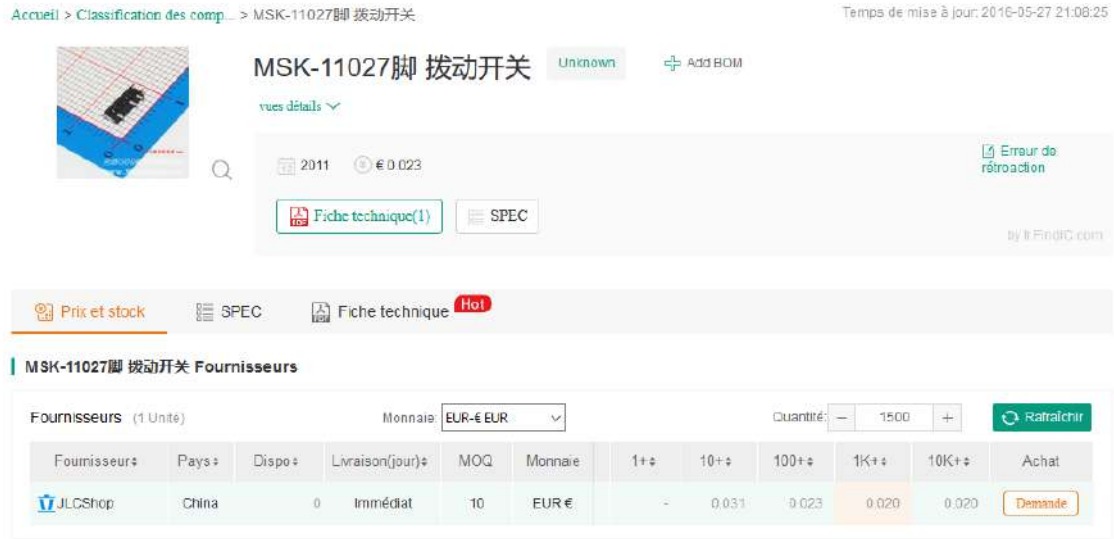


Figure 42: image du site alibaba.com montrant le prix MSK-11027

f. Double transistor N-chanel FS8205

Chez *Shenzhen Bizon Technology Co., Ltd.* Avec un prix de 0.07$/pièces pour plus de 1000 pièces.

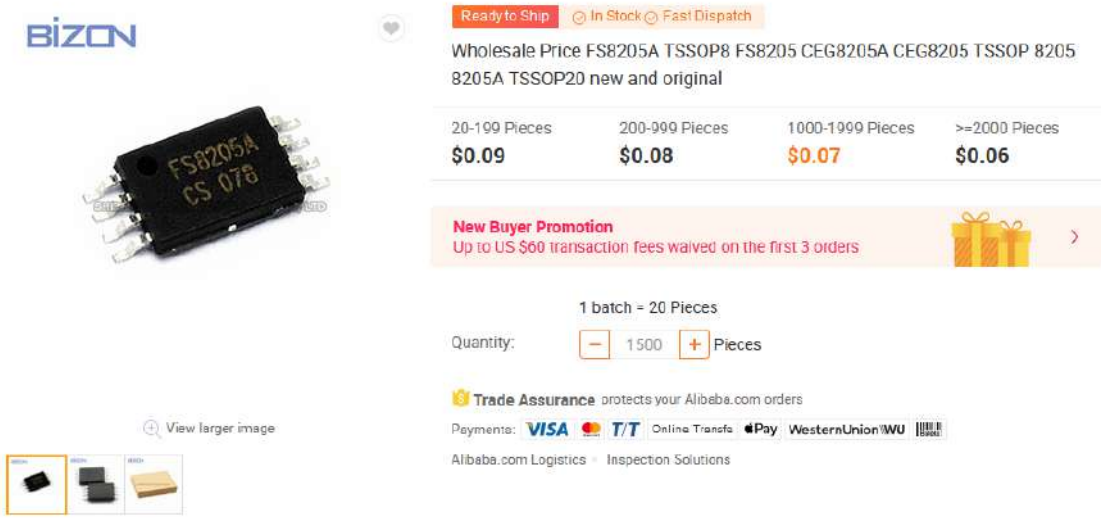


Figure 43 : image du site alibaba.com montrant le prix FS8205

g. Diode

Avec un prix de 0.18$ pour les 4500 pièces.

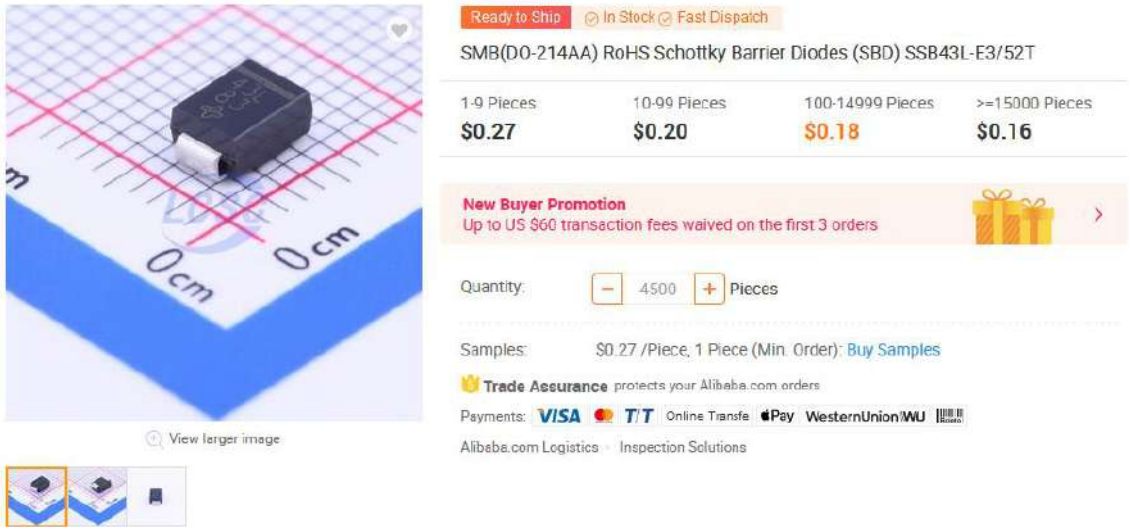


Figure 44: image du site alibaba.com montrant le prix diode

h. LED

Chez *Shenzhen Yonghuaguang Electronics Co., Ltd*. Avec un prix de 0.03$/pièces pour plus de 1000 pièces.

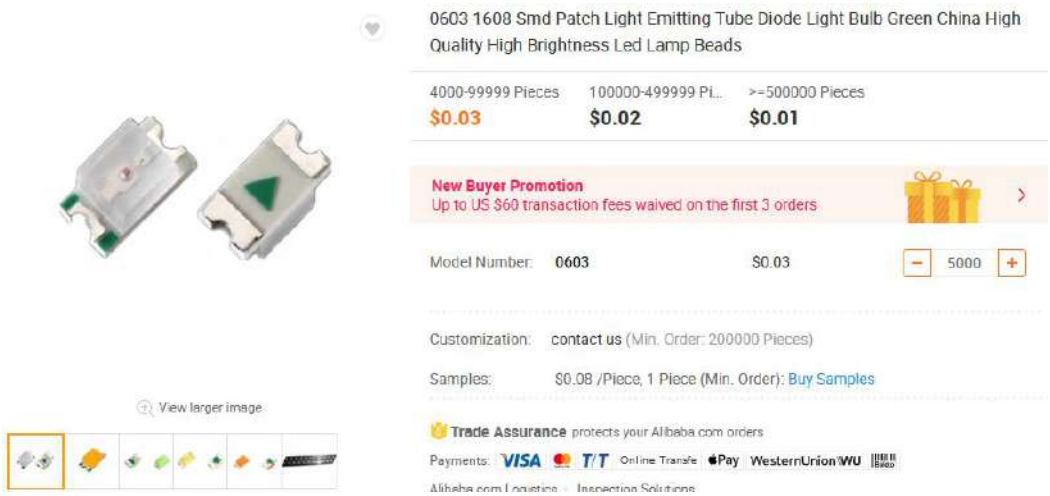


Figure 45: image du site alibaba.com montrant le prix LED

i. Inductance 10uH

Chez LCSC Avec un prix de 0.13$/pièces pour 5000 pièces.



Figure : 46 images du site alibaba.com montrant le prix d'inductance

j. Résistance

Chez *Shenzhen Firstway Electronics Co., Ltd*. Avec un prix de 0.13$/pièces pour 5000 pièces de multiples valeurs.

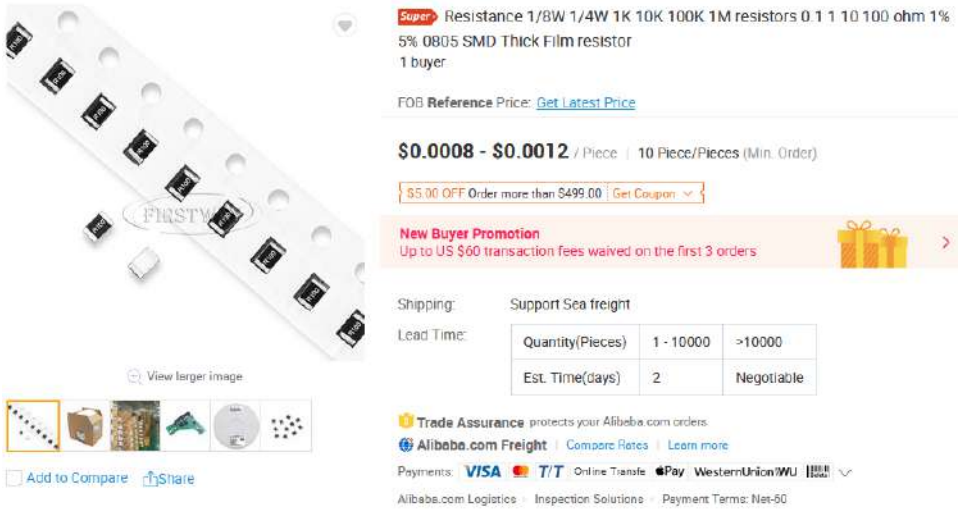


Figure 47: image du site alibaba.com montrant le prix des résistances

k. Condensateur :

Généralement le même prix pour les autres valeurs utilisées dans notre produit. On trouvant ce condensateur chez *Shenzhen JXSQ Technology Development Co., Ltd.*

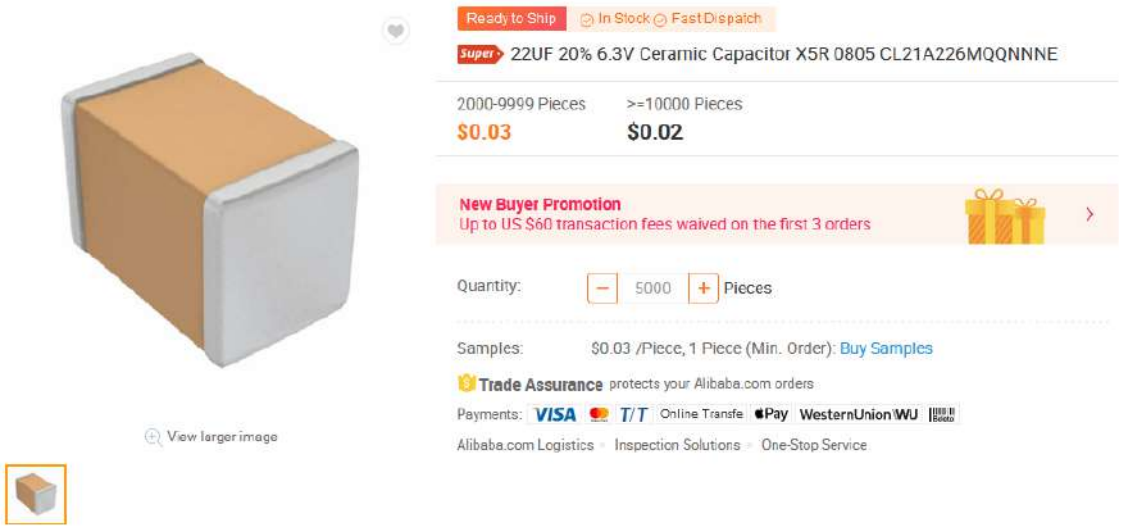


Figure 48: image du site alibaba.com montrant le prix du condensateur

l. Batterie :

On a utilisé la batterie de Panasonic NCR18650b, on l'a trouvé moins cher avec un prix de 1.2$ chez *Shenzhen Chuangneng Ruiyuan Electronics Co., Ltd*.

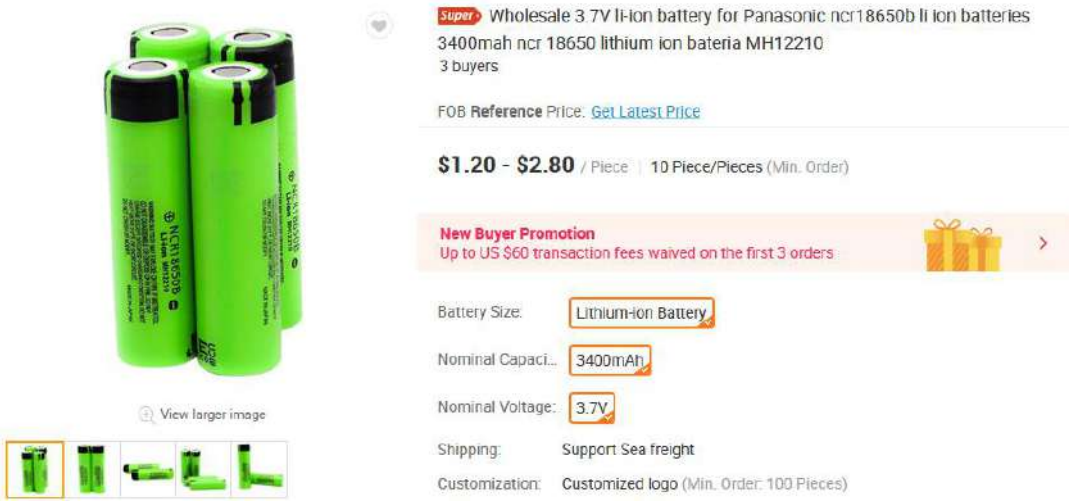


Figure 49: image du site alibaba.com montrant le prix batterie

m. Connecteur USB

Et à la fin pour connecter un téléphone portable il nous faut un connecteur USB, on le trouve chez : *Shenzhen Shouhan Technology Co., Ltd*. avec un prix de 0.02$.

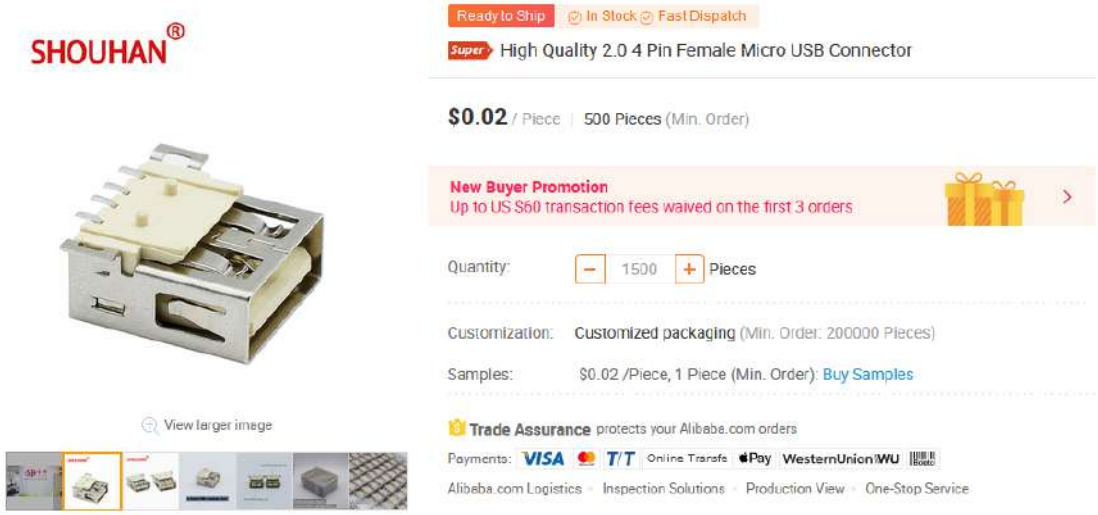


Figure 50: image du site alibaba.com montrant le prix connecteur

4.3. Calcule des couts de composant utilisé :

Le tableau suivant contient le composant utilisé dans notre powerbank avec la quantité et les prix unitaire et total de prix

Tableau 4 : prisante les composent et leur prix et le totale

nom	prix u	qtt	prix
module photovoltaïques	1,350	1	1,35
plaque cuivré	0,140	1	0,14
CN3791	0,340	1	0,34
resistor	0,001	5	0,00
diode	0,180	3	0,54
capasitor	0,030	10	0,30
led	0,030	2	0,06
inductor	0,130	2	0,26
MT3608	0,040	1	0,04
FS8205	0,070	1	0,07
DW01-P	0,010	1	0,01
msk-11027	0,020	1	0,02
battry 3700 Mah	1,200	2	2,40
usb B	0,020	1	0,02
embalage	0,120	1	0,12
		tot	4,32
		tot DA	555,94

Donc le prix finale des composants de powrbank est 555.94 Da, il faut noter que le prix de change utilisé ici est le prix officielle non du marché noire 1$ = 128,57 DA.

4.4. Calcul du cout estimatif de powerbank (Cout $_{es}$)

Pour calculer le cout estimatif de powerbank il faut ajouter le cout de main d'œuvre par produit au cout des pièces,

$$\text{Couts de main d'œuvre par produit} = \frac{\text{nombre de salarier} * \text{ salaire}}{\text{nombre produit fini par mois}}$$

$$\text{Couts de main d'œuvre par produit} = \frac{3 * 30000}{1500} = 60Da$$

Finalement on peut calculer le cout estimatif du produit

cout estimatif du produit

$$= cout\ de\ mains\ d'oeuvre + cout\ de\ piece$$

$$\text{cout estimatif du produit } = 555.94 + 60 = 615.94$$

on calcule le prix de vente de power bank avec un bénéfice de 30% par pièces

$$\text{prix de vent} = (30\%\ \text{cout}_{es}) + \text{cout}_{es}$$

$$\text{prix de vente} = \left(\frac{30}{100} * 615.94\right) + 615.94 = 800.72\ \text{da}$$

4.5. Cout de l'importation ($cout_i$)

Le calcul du cout du produit qu'on va importer passe par 3 étapes, premièrement trouvant le produit à importer, comme nous avons fait pour la recherche des composants électroniques précédemment, entrons dans le site *alibaba.com* et cherchons le produit qu'on veut importer,

ensuite calculer le cout du transport ensuite ajouter les taxes de douane et la TVA.

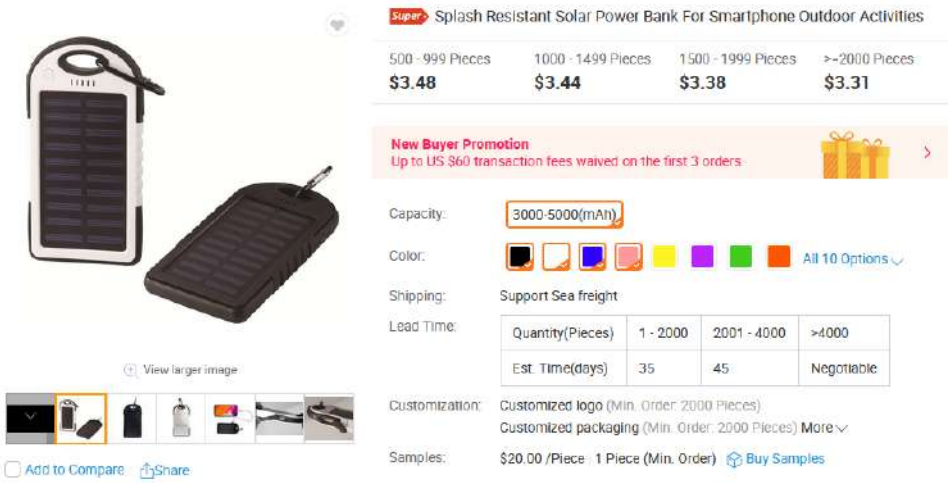


Figure 51: image du site alibaba.com montrant le prix d'un produit similaire

On calcule le prix de vente finale avec un bénéfice de 20%.

Premièrement il faut calculer le cout d'importation qui inclut le cout de transport, y'a plusieurs transite on choisit le moins cher avec une bonne réputation, on trouve la société *Shenzhen Wingspeed International Forwarding Co., Ltd*. Qui coute 1$/Kg pour plus de 100 Kg, et ce le cas chez nous, puisque chaque produit pèse 152g donc pour les 1500 produit on a 187,5Kg, donc les frés du transport est 187.5$.

Maintenant on peut calculer le cout d'importation ($cout_i$) de ce produit



Figure : 52 image affiche le prix de transport maritime chine ver Algérie

Ou on a cout des produits

$$\text{cout}_p = \text{prix unitaire du produit} \times \textit{nobre de produit}$$

$$\text{cout}_p = 3.38 \times 1500 = 5070\$.$$

Pour calculer le cout d'importation il faut ajouter 2 taxes différentes la taxe de douane 30% pour les produit fini, et 19% de la TVA (douanes algerie).

$$\text{cout}_i = ((\text{cout}_p + (\text{cout}_p * 30\%)) * 19\%) + (\text{cout}_p + (\text{cout}_p * 30\%)) + \text{F}_t$$

$$\text{cout}_i = \big(5070 + (5070 * 30\%)\big) * 19\% + \big(5070 + (5070 * 30\%)\big) + 187.5 = 8030{,}79$$

Le cout d’importer 1500 pièces de power banc est 8030,79$, c’est-à-dire 5.35$ la pièce, avec un prix de change de 1$ = 128.5Da, on a le cout/pièce = 826 Da

4.6. Conclusion :

Avec une petite comparaison entre les prix, celui du produit importé ou de notre produit, on trouve une très petite différence de 26DA, mais l’impact de la fabrication est plus grand sur l’économe nationale.

Par contre l’importation augmente les charges monétaires Sur le trésor public, ce qui affaiblit l'économie nationale. Et en cas de crise ou problème politique mondiale, où l’importation s'arrête, on se trouve dans des crises de manque des produits à l’intérieur et le temps sera trop tard pour lancer la fabrication.

5. Conclusion général

A la fin de ce travail on peut dire que la fabrication des produits électroniques n’est Pas si difficile, Cependant, il faut de la concentration et de la diligence pour surmonter les obstacles techniques dans le choix des composants électroniques et conception ainsi que la réalisation.

Dans ce travail, j'ai rencontré des problèmes que je n'ai pas pu surmonter, comme l'obtention de factures pro-forma pour les produits électroniques auprès des importateurs local, ainsi qu'après la fermeture des routes en raison de la maladie Corona et la fermeture des laboratoires universitaires où l'assemblage final n'a pas pu être fait, et l’expérimentation pour une comparaison entre ceux fabriqués localement et ceux importés.

Et avec tout cela, travailler sur un produit tangible permet de fournir une interface modèle pour l'université produisant de vrais projets, c'était parmi les objectifs de ce travail, et une grande partie de celui-ci a été réalisée.

Enfin, je pense que poursuivrai ce travail avec l'amélioration du module photovoltaïque pour augmenter la capacité de stockage tout en réduisant le temps de recharge sera une aventure agréable et utile.

6. Bibliographie :

Anne, Labouret et Michel, Villoz. 2009. *énergie solaire photovoltaïque.* paris : dunod, 2009.

Autonomous Monitoring System using Wi-Fi Economic. **Michael, Ames Ccoa, Garay et Avid, Roman-Gonzalez. 2019.** 08, 2019, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 10, pp. 380-386. www.ijacsa.thesai.org.

Crompton, De Thomas P J. 2000. *Battery Reference Book.* ISBN 978-0-08-049995-6. London : Newnes, 2000. p. 800.

curry, claire. 2017. *lithum-ion battery costs and market.* s.l. : bloomberg new energy finance, 2017.

Développement sous Proteus® d'un régulateur basé sur un algorithme de charge efficace et sécurisée pour batteries au plomb dans un système photovoltaïque. **W, Merrouche, H, Tebibel et A, Malek. 2012.** 2012, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12, pp. 175 – 186.

douanes algerie . Estimation des droits et taxes à payer à l'importation. *direction general des douanes* . [En ligne] [Citation : 11 09 2020.] https://www.douane.gov.dz/spip.php?article215.

Economics and market prospects of portable fuel cells. **Agnolucci, Paolo. 2007.** 2007, International Journal of Hydrogen Energy 32, pp. 4319 – 4328.

Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation in New York. **Rahul, Walawalkar, Jay, Apt et Rick, Mancini. 2007.** 2007, Energy Policy, pp. 2558–2568.

Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models. **Hongwen, He, Rui, Xiong et Jinxin, Fan. 2011.** 2011, energies, pp. 582-598.

FERKOUS, KHALED. 2009. *ETUDE D'UNE CHAINE DE CONVERSION.* [éd.] FERKOUS KHALED. CONSTANTINE, CONSTANTINE, Algerie : s.n., 27 05 2009.

FUZZY AND NEURON FUZZY CONTROL OF FACTS DEVICE. **ABDELHAFID, SEMMAH, et al. 2014.** 2014, Revue roumaine des sciences techniques, pp. 279–289.

How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry. **Schmidt-Rohr, Klaus. 2018.** 1, United States : Copyright © 2018 American Chemical Society and Division of

Chemical Education, Inc., 23 aout 2018, Journal of Chemical Education, Vol. I.
Jang, Jyh-Shing, Roger. 1993. ANFIS : Adap tive-Ne twork-Based Fuzzy. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS.* mai juin 1993, Vol. 23, 3, pp. 665 - 685.
Massie, Santos et Ballon. 2008. Electrovaya, Tata Motors to make electric Indica. *Cleantech Group.* [En ligne] 14 october 2008. [Citation : 05 mai 2020.] https://web.archive.org/web/20110509010846/http://www.cleantech.com/news/3694/electrovaya-tata-motors-make-electric-indica.
National Academy of Engineering. 2014. Yoshio Nishi. *National Academy of Engineering.* [En ligne] 2014. [Citation : 05 mai 2020.] https://www.nae.edu/105800/Yoshio-Nishi.
National Institute for Materials Science (NIMS). 2016. NIMS Award Goes to Koichi Mizushima and Akira Yoshino. *National Institute for Materials Science (NIMS).* [En ligne] 14 septambre 2016. [Citation : 05 mai 2020.] https://www.nims.go.jp/eng/news/press/2016/10/201610120.html.
nobelprize. 2019. The Nobel Prize in Chemistry 2019. *NobelPrize.org.* [En ligne] 2019. [Citation : 05 mai 2020.] https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/summary/.
Oxidation-Reduction Reactions. **Pauling. 1988.** Electrolysis, New York : Dover Publications, Inc, 1988, Vol. I, p. 539.
Paul, Robson et Davide, Bonomi. 2018. *Growing The Battery Storage Market 2018 Exploring Four Key issues* . Singapore : ENERGY STORAGE WORLD FORUM , 2018.
pistoia, gianfranco. 2005. *Batteries for portable devices.* rome : Elsevier, 2005. Vol. I, ISBN 978-0-08-045556-3.